

**CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO:
INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARA PREVENÇÃO
DE DESASTRES NATURAIS NO MUNICÍPIO DE SANTO
ANDRÉ, REGIÃO DO GRANDE ABC, ESTADO DE SÃO
PAULO**

Relatório 4: Resultados da elaboração das Cartas de Aptidão à Urbanização face aos desastres naturais do município de Santo André

SANTO ANDRÉ - OUTUBRO DE 2016



PREFEITOS DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO DO GRANDE ABC

LUIZ MARINHO

Prefeito do Município de São Bernardo do Campo

LAURO MICHELS

Prefeito do Município de Diadema

CARLOS ALBERTO GRANA

Prefeito do Município de Santo André

PAULO NUNES PINHEIRO

Prefeito do Município de São Caetano do Sul

DONISETE BRAGA

Prefeito do Município de Mauá

SAULO MARIZ BENEVIDES

Prefeito do Município de Ribeirão Pires

LUIS GABRIEL FERNANDES DA SILVEIRA

Prefeito do Município de Rio Grande da Serra

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DO GRANDE ABC

Luiz Marinho

PRESIDENTE

Luis Paulo Bresciani

Secretário Executivo

Hamilton Lacerda

Diretor de Programas e Projetos

Carlos Eduardo Alves da Silva

Diretor Administrativo e Financeiro

Leandro Aguiar Piccino

Diretor Jurídico

Sandra Teixeira Malvese

Coordenadora de Programas e Projetos

EQUIPES GESTORAS DO MUNICÍPIO

Prefeitura Municipal de Santo André

Aldo Gomes da Costa Filho - Departamento de Planejamento e Obras - SEMASA

Claudia Campanhão - Departamento de Habitação - SDUH

Débora C. S. Diogo - Departamento de Defesa Civil - SEMASA

Debora Maria Duarte Stefanelli - Departamento de Gestão Ambiental - SEMASA

Fernanda Longhini Ferreira – Gerência de Planejamento e Licenciamento Ambiental
- SEMASA

Leonardo Musumeci - Superintendência do SEMASA

Lígia Cestari Geleilete- Departamento de Habitação - SDUH

Maíra Galvanese – - Departamento de Defesa Civil - SEMASA

Newton J. B. Gonçalves - Secretaria de Gestão de Recursos Naturais de
Paranapiacaba e Parque Andreense

Priscila de Oliveira - Secretaria de Gestão de Recursos Naturais de Paranapiacaba e
Parque Andreense

Reinaldo Bascchera – Departamento de Desenvolvimento de Projetos Urbanos -
SDUH

Samir José M. Geleilete - Departamento de Defesa Civil - SEMASA

Soraia Dias - Superintendência do SEMASA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Klaus Capelle

REITOR

Dácio Roberto Matheus

VICE-REITOR

EQUIPE EXECUTIVA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

Subprojeto 04: Cartas geotécnicas de Aptidão frente aos Desastres

Coordenação

Fernando Rocha Nogueira e Katia Canil

Pesquisadores

Carolina Moutinho Duque de Pinho – Geógrafa, Dra.- Professora Adjunta CECS-UFABC

Cláudia Francisca Escobar de Paiva – Engenheira Civil, Dra. .- Professora Adjunta CECS-UFABC

Fernando Rocha Nogueira – Geólogo, Dr. .- Professor Adjunto CECS-UFABC

Kátia Canil – Geógrafa, Dra. .- Professora Adjunta CECS-UFABC

Melissa Cristina Pereira Graciosa – Engenheira Civil, Dra. .- Professora Adjunta CECS-UFABC

Ricardo de Souza Moretti – Engenheiro Civil, Dr. .- Professor Titular CECS-UFABC

Discentes Bolsistas

Aloá Dandara de Oliveira de Souza – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Amanda Jodas - Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território

Camila Galindo Dantas - Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

Camila de Oliveira Brito – Graduação em Planejamento Territorial

Camila Pereira Santos – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Eric Caravaggio – Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território

Fábio de Santis Campos – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Fernando Cerri Costa - Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

Humberto Alves de Moraes – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Isabela Garcia Dias Thobias – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Juliana Gueiros Fuzati Rodrigues - Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

Juliana de Souza Antunes - – Graduação em Planejamento Territorial

Leonardo Santos Salles Varallo – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Letícia Beatriz Alaminos Silva – Graduação em Planejamento Territorial

Lucas Rangel Eduardo Silva - Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Luiz Felipe Silva – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Marília de Azevedo Baptista Leite – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Rafael Costa e Silva – Graduação em Engenharia Ambiental e Urbana

Raquel Alfieri Galera – Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território

Rodolfo Baesso Moura - Pós-Graduação em Planejamento e Gestão do Território

Sabrina do Nascimento Cordeiro – Graduação em Planejamento Territorial

RESUMO

Este subprojeto, objeto de Convênio entre a **UFABC** e o **Consórcio Intermunicipal Grande ABC**, tem como principal objetivo a elaboração das **cartas geotécnicas de aptidão à urbanização** dos municípios de **Ribeirão Pires** e **Santo André**.

Estabelecida pela Lei Federal 12608/2012 como instrumento de planejamento e de gestão municipal voltado para a prevenção de desastres, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização tem por objetivo subsidiar o planejamento territorial e urbano de modo a evitar o surgimento de novas áreas de risco. Deverá fornecer informações e elementos de análise para que novos projetos de parcelamento do solo considerem potencialidades e restrições impostas pelos materiais e formas do substrato e os processos associados, especialmente deslizamentos de encostas, enxurradas, corridas de massas, inundações e processos hidrológicos e geológicos correlatos. Possibilitará também o planejamento territorial melhor integrado às dinâmicas e fragilidades do meio físico em escala regional, tendo as bacias hidrográficas como unidades de análise. Permitirá ainda aos gestores e técnicos municipais uma maior compreensão de critérios de adequação, de inaptidão ou uso mediante critérios restritivos específicos para o uso e ocupação do solo disponível e cada vez mais demandado pelo crescimento das cidades.

Este quarto relatório apresenta os **resultados finais** do Subprojeto: as Cartas de Aptidão à Urbanização face aos desastres naturais dos municípios de **Santo André** e **Ribeirão Pires**, com a indicação de diretrizes para o planejamento territorial-urbano das áreas de expansão urbana dos municípios, contendo subsídios para revisão e formulação dos planos diretores municipais. Contém ainda o **mapa de integração** destes instrumentos cartográficos disponíveis agora em cinco dos sete municípios da Região (Santo André, São Bernardo do Campo, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra), produzido como suporte à elaboração do Plano Diretor Regional do Grande ABC.

Palavras Chaves: Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, Planejamento urbano, Deslizamentos, Inundações, Santo André, Ribeirão Pires.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	2
3	CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA: ALGUNS ASPECTOS CONCEITUAIS.....	2
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ELABORAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DE SANTO ANDRÉ	7
4.1	ESTUDOS DO MEIO FÍSICO	10
4.1.1	<i>Unidades geológico-geomorfológicas</i>	10
4.1.2	<i>Investigações geotécnicas</i>	17
4.1.3	<i>Formas de relevo</i>	36
4.1.4	<i>Recomendações gerais</i>	43
4.2	ASPECTOS HIDRÁULICOS E DE INUNDAÇÕES	45
4.2.1	<i>Áreas de estudo, metodologias utilizadas e produtos gerados</i>	47
4.2.2	<i>Mapeamento de zonas úmidas</i>	48
4.2.3	<i>Modelagem hidrológica e hidráulica</i>	53
4.2.4	<i>Simulações hidrológicas e hidráulicas</i>	62
4.2.5	<i>Cruzamento de informações para mapeamento das zonas úmidas</i>	74
4.2.6	<i>Recomendações gerais</i>	76
4.3	CARTA DE SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS GEODINÂMICOS E HIDRODINÂMICOS.....	84
4.4	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO	88
4.4.1	<i>Uso e ocupação do solo</i>	88
4.4.2	<i>Áreas prioritárias para conservação do município de Santo André</i>	96
4.5	CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS DESASTRES NATURAIS.....	102



4.5.1	<i>Cruzamento de informações para mapeamento das unidades geotécnicas</i>	103
4.5.2	<i>Zona de Reestruturação Urbana - Santo André</i>	112
4.5.3	<i>Normalização das unidades</i>	112
4.6	VALIDAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO	114
5	CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO, DIRETRIZES E RECOMENDAÇÕES PARA O PARCELAMENTO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	115
5.1	ZONA DE RECUPERAÇÃO URBANA E MACROZONA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL.....	124
5.2	ZONA DE REESTRUTURAÇÃO URBANA.....	139
5.3	CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO - SÍNTESE	142
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	146
	REFERÊNCIAS	147
	APÊNDICE	
	APÊNDICE 1 - RESULTADOS DA MODELAGEM HIDRÁULICA	
	ANEXOS	
	ANEXO 1 - INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E ENSAIOS LABORATORIAIS	
	ANEXO 2 - CRITÉRIOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS CLASSES DE USO DO SOLO	
	ANEXO 3 - CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ (FOLHAS DE 1 A 5) - 1:10.000	
	ANEXO 4 - CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ (ZONA DE REESTRUTURAÇÃO URBANA) - 1:10.000	
	ANEXO 5 - CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SANTO ANDRÉ - SÍNTESE	
	ANEXO 7 - MÍDIA DIGITAL	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Síntese de procedimentos gerais para elaboração de cartas geotécnicas de suscetibilidade, de aptidão e de risco.....	3
Tabela 2.	Padrões de relevo e parâmetros básicos.	12
Tabela 3.	Cruzamentos preliminares para a elaboração das unidades geotécnicas	13
Tabela 4.	Quadro-legenda das unidades geológico-geomorfológicas	14
Tabela 5.	Comportamento e recomendações para cada unidade geológico-geomorfológica mapeada.....	29
Tabela 6.	Intervalos de declividade.....	36
Tabela 7.	Valores de CN em função da cobertura e tipo de solo, para a condição anterior de umidade média (tipo II).....	56
Tabela 8.	Classes de uso e ocupação do solo.....	57
Tabela 9.	Compatibilização das classes de uso de solo de Santo André com as classes de Tucci (1993).	58
Tabela 10.	Hietograma de projeto para São Paulo	60
Tabela 11.	Hietograma de projeto para Cubatão	61
Tabela 12.	Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas de planície protegidas	78
Tabela 13.	Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas de planície	79
Tabela 14.	Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas protegidas	80
Tabela 15.	Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas com ocupação	81
Tabela 16.	Medidas estruturais e não estruturais sugeridas para zonas úmidas	82
Tabela 17.	Estudos complementares sugeridos para zonas úmidas	83



Tabela 18. Suscetibilidade a inundações (unidades I a II) e a movimentos gravitacionais de massa (unidades III a XII).....	85
Tabela 19. Feições identificadas para os cursos d'água e suas respectivas metragens para as áreas de preservação permanente de acordo com legislação vigente, Lei 12.651/2012.	96
Tabela 20. Classificação do uso do solo e grau de prioridade para conservação..	98
Tabela 21. Classificação do Zoneamento das Áreas de Preservação e Recuperação de Mananciais das bacias Billings, Guaió e Alto Tietê Cabeceira, e grau de prioridade para conservação.	98
Tabela 22. Classificação do Zoneamento da Plano Diretor Municipal de Santo André e grau de prioridade para conservação.	99
Tabela 23. Classificação do diagnóstico da cobertura vegetal e grau de prioridade para conservação.	99
Tabela 24. Classificação do mapeamento de remanescentes florestais INPE/SOSMA e do mapeamento Estudo BIOTA FAPESP, e grau de prioridade para conservação	100
Tabela 25. Classes de aptidão.....	105
Tabela 26. Matriz de cruzamento dos aspectos relacionados aos processos geodinâmicos	106
Tabela 27. Matriz de cruzamento dos aspectos hidrodinâmicos (zonas úmidas/inundações)	110
Tabela 28. Quadro legenda das Cartas de Aptidão à Urbanização frente Desastres das áreas ocupadas	117
Tabela 29. Quadro legenda das Cartas de Aptidão à Urbanização frente Desastres das áreas não ocupadas	120
Tabela 30. Total de área ocupada e não ocupada na Zona de Recuperação Urbana	124
Tabela 31. Classes de Aptidão à Urbanização para áreas da Zona de Recuperação Urbana.	125



Tabela 32. Total de área ocupada e não ocupada na Macrozona de Recuperação Urbana.	133
Tabela 33. Classes de Aptidão à Urbanização para áreas da Macrozona de Proteção Ambiental	133
Tabela 34. Quadro-legenda classes de aptidão Zona de Reestruturação Urbana.	139
Tabela 35. Classes de Aptidão à Urbanização para áreas da Zona de Reestruturação Urbana suscetíveis aos processos hidrológicos (inundações).....	140
Tabela 36. Síntese das unidades de terreno em relação às potencialidades e limitações para a ocupação.....	143
Tabela 37. Síntese das classes de aptidão à urbanização da Zona de Reestruturação Urbana	144
Tabela 38. Síntese das classes de aptidão à urbanização da Zona de Recuperação Urbana	144
Tabela 39. Síntese das classes de aptidão a urbanização da Macrozona de Proteção Ambiental	145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Procedimentos metodológicos para elaboração das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais	9
Figura 2.	Mapa de declividade	38
Figura 3.	Trecho do mapa de declividade para validação em campo - Rua dos Missionários, Jardim Santo André.....	39
Figura 4.	Mapa de vertente Côncava	41
Figura 5.	Trecho selecionado para validação da concavidade - Rua dos Missionários , Jd. Santo André.....	42
Figura 6.	Fluxograma de obtenção HAND	51
Figura 7.	Mapa de zonas úmidas	52
Figura 8.	Hietograma de projeto para São Paulo	61
Figura 9.	Hietograma de projeto para Cubatão	62
Figura 10.	Modelagem hidrológica da Bacia do Córrego Guarará	65
Figura 11.	Manchas de inundação da Bacia do Córrego Guarará	66
Figura 12.	Modelagem hidrológica da Bacia do Córrego Cassaquera	67
Figura 13.	Manchas de inundação da Bacia do Córrego Cassaquera	68
Figura 14.	Modelagem hidrológica da Bacia do Rio Grande	69
Figura 15.	Modelagem hidrológica da Bacia do Rio Mogi	70
Figura 16.	Modelagem hidrológica da Bacia do Rio Pequeno.....	71
Figura 17.	Modelagem hidrológica da Bacia do Braço do Rio Grande.....	72
Figura 18.	Árvore de decisão para definição do zoneamento das zonas úmidas..	76
Figura 19.	Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas.....	77
Figura 20.	Carta de suscetibilidade aos processos geodinâmicos e hidrodinâmicos	87
Figura 21.	Mapa de áreas ocupadas.....	92



Figura 22.	Mapa de estruturas de interferência.....	95
Figura 23.	Mapa de áreas prioritárias para conservação ambiental.....	101
Figura 24.	Cruzamento primário das informações.....	103
Figura 25.	Matriz de cruzamento para áreas com baixa suscetibilidade aos processos geodinâmicos.....	107
Figura 26.	Matriz de cruzamento para áreas com média suscetibilidade aos processos geodinâmicos.....	108
Figura 27.	Matriz de cruzamento para áreas com alta suscetibilidade aos processos geodinâmicos.....	109
Figura 28.	Matriz de cruzamento zonas úmidas.....	111
Figura 29.	Matriz de cruzamento - Zona de Reestruturação Urbana, Santo André	112

LISTA DE FOTOS

Foto 1.	Trabalhos para prospecção a trado às margens do rio Tamanduateí Santo André	20
Foto 2.	Coleta de amostra do em terreno aluvionar - Santo André	20
Foto 3.	Amostra coletada em terreno aluvionar - Santo André.....	20
Foto 4.	Talude em migmatito com matriz xistosa. Sítio dos Vianas - Santo André	27
Foto 5.	Área com alta declividade - Rua dos Missionários, Jardim Santo André	39
Foto 6.	Área selecionada para validação da concavidade - Rua dos Missionários , Jd. Santo André.....	42
Foto 7.	Reunião com equipe gestora de Santo André, no dia 29 de setembro, na sede do Consórcio do ABC.	114
Foto 8.	Área de consolidação simples (Av. Sorocaba - Parque João Ramalho - Santo André)	126
Foto 9.	Área de consolidação com restrição IIA. Rua Toledana - Jardim Santo André - Santo André.....	127
Foto 10.	Classe IIIA – Consolidação Complexa na Av. Valentim Magalhães - Vila Guarani - Santo André	128
Foto 11.	Classe IIIA – Consolidação Complexa na Rua Toledana - Jardim Santo André - Santo André.....	128
Foto 12.	Classe IVA – Consolidação Muito Complexa : Rua Arara Azul - Recreio da Borda do Campo - Santo André	129
Foto 13.	Classe IVA – Consolidação Muito Complexa : Rua Tijuca - Sítio Cassaquera - Santo André.....	129
Foto 14.	Trecho de área em Classe IVB – Consolidação Muito Complexa na Av. Maurício de Medeiros – Jardim Irene - Santo André	131
Foto 15.	Trecho de Classe I – Consolidação Simples na Estrada do Gasoduto (S/N) - Parque das Garças - Santo André.....	134



Foto 16.	Trecho de área em Classe VI C – Apta com restrição, situada na Rua Paranapiacaba - Várzea do Rio Grande - Santo André	137
Foto 17.	Classe VII A – Inapta. Ao fundo, vista geral da Serra de Paranapiacaba.	138
Foto 18.	Trecho do Rio Tamanduateí correspondente à área de muito alto risco de inundação (Inundação periódica TR 10).	140

1 INTRODUÇÃO

A **Lei nº 12.608/2012** - que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC, tem como diretriz sua **integração às políticas de ordenamento territorial**, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável. Dentre seus principais objetivos pretende incorporar a redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os elementos da **gestão territorial** e do **planejamento das políticas setoriais**. Seu artigo 22 prevê a alteração da Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, que passa a vigorar considerando que os municípios deverão elaborar **carta geotécnica de aptidão à urbanização**, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo. As prefeituras municipais são as instituições que deverão se apropriar dos resultados destes estudos como instrumentos de gestão e referência para a aprovação de projetos de parcelamento do solo, a urbanização de assentamentos precários ou não consolidados e a ampliação dos limites urbanos.

Concluídas em 2015, com subsídio do Ministério das Cidades, as cartas geotécnicas de aptidão à urbanização dos municípios de **São Bernardo do Campo** e de **Rio Grande da Serra** foram elaboradas por pesquisadores e discentes da UFABC. Nesse mesmo ano, técnicos da Prefeitura de **Mauá**, com apoio de pesquisadores do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo, produziram a carta geotécnica de aptidão para este município. Entendendo a necessidade de tais instrumentos cartográficos para o planejamento e gestão do território regional, foi efetivado um Convênio entre o **Consórcio Intermunicipal Grande ABC** e a **Universidade Federal do ABC** para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização face aos desastres naturais para os municípios de **Santo André** e de **Ribeirão Pires**. Com estes estudos, foi possível realizar a integração dos resultados destas cartas nos cinco municípios como suporte para o **Plano Diretor Regional do Grande ABC**, em construção. Os

municípios de São Caetano do Sul e de Diadema, integrantes da Região, não possuem área de expansão urbana que permitisse ou demandasse tais estudos.

2 OBJETIVOS

Esse projeto tem como principal objetivo a elaboração das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização dos municípios de Santo André e de Ribeirão Pires, com base nos parâmetros dos meios físico, biótico e antrópico. Deverá indicar diretrizes para o planejamento territorial-urbano das áreas de expansão urbana dos municípios, contendo subsídios para revisão e formulação dos planos diretores municipais.

Este quarto Relatório tem por objetivos:

- a. Descrever a metodologia e os critérios utilizados para a delimitação das unidades da Carta Geotécnica, bem como as unidades e subunidades de aptidão com respectivas restrições, recomendações e condicionantes para sua ocupação;
- b. Apresentar as Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização face aos Desastres Naturais, contendo a delimitação das unidades e subunidade de aptidão, bem como as diretrizes e recomendações e condicionantes para o parcelamento do solo; e
- c. Apresentar a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização face aos Desastres Naturais resultante da integração das cartas disponíveis em cinco dos municípios da Região do Grande ABC.

3 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA: ALGUNS ASPECTOS CONCEITUAIS

Cartografia geotécnica envolve, na definição de Prandini *et al* (1995), produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo ou, de acordo com Zuquette (1993) que busquem avaliar e retratar as características dos componentes e os comportamentos do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, indicando suas limitações e seus potenciais. Para Cerri (1990), a cartografia geotécnica é a representação das características do meio físico natural, englobando a distribuição espacial dos diferentes tipos de solos e rochas, com suas propriedades geológico-geotécnicas, formas de relevo, dinâmica dos principais

processos atuantes e as eventuais alterações decorrentes da implantação de obras de engenharia e das diferentes formas de uso e ocupação do solo.

A carta geotécnica sintetiza o conhecimento sobre o meio físico e seus processos atuantes (*geo*) em uma determinada área, de modo a subsidiar o estabelecimento de medidas para a adequada ocupação do solo (*técnica*). É composta geralmente por uma carta síntese, quadro-legenda e texto explicativo (FREITAS, 2000; BITAR, FREITAS e SEPE, 2012 *apud* DINIZ & FREITAS, 2013), Tabela 1. A partir desta formulação, um grupo multiprofissional de especialistas em cartografia geotécnica foi constituído em 2011 pelos Ministérios do Governo Federal responsáveis pela aplicação do Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres, com o objetivo de construir um consenso mínimo em torno de metodologias e escalas para responder às diversas exigências da Lei 12608/2012.

Tabela 1. Síntese de procedimentos gerais para elaboração de cartas geotécnicas de suscetibilidade, de aptidão e de risco

TIPOS DE CARTA GEOTÉCNICA	INFORMAÇÕES BÁSICAS
CARTA GEOTÉCNICA DE PLANEJAMENTO	• Zoneamento de unidades de terreno levando em conta os diferentes tipos e suscetibilidade a processos; • Adequabilidade da ocupação em cada unidade de terrenos (zonas favoráveis, aceitáveis e desfavoráveis); • Propostas de ações relacionadas à ocupação, valores ambientais e subsídios gerais para a legislação municipal; • Indicação de áreas que precisam de detalhamento para avaliação geotécnica voltada à aptidão urbanística, devido a restrições a loteamentos, necessidades de obras de infraestrutura viária, saneamento e drenagem, e riscos potenciais a desastres naturais.
CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO URBANÍSTICA	• Informações detalhadas para expansão urbana; • Normas para loteamentos em áreas de média suscetibilidade a processos, necessitando de estudos de avaliação geotécnica; • Avaliação de perigo em áreas ocupadas com riscos potenciais frente a desastres naturais.
CARTA GEOTÉCNICA DE RISCO	• Avaliação das condições de vulnerabilidade (grau de perda ou dano de um elemento ou conjunto de elementos, associado a uma ameaça ou processo, com uma dada intensidade ou magnitude de ocorrência) das ocupações sob risco; • Elaboração de sistema de gestão de risco com ações estruturais e não estruturais.

(FONTE: DINIZ & FREITAS, 2013)

Como resultado, este grupo de especialistas elaborou um documento que propõe, para os municípios incluídos no Cadastro Nacional de “*municípios com*

áreas propícias à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos” (lei 12608/2012, Art. 3º-A), a elaboração de cartas geotécnicas de suscetibilidade, na escala 1:25.000, destinadas ao planejamento e gestão do território municipal, “ devendo apresentar elementos do meio físico e dos modos de ocupação do solo que participem dos dados de percepção e avaliação do gestor público para o estabelecimento de metas e ações de desenvolvimento do território, e para sua implantação e monitoramento”. (DINIZ & FREITAS, 2013).

Para o planejamento, essa carta geotécnica precisa fundamentar a elaboração de planos e metas do município, portanto tem abordagem regional. Porém, como todo plano, estabelece solicitações posteriores de projetos e ações específicas ou de abrangência local. E cita, como exemplo de diretrizes gerais de planejamento, em áreas com alto e médio grau de suscetibilidade:

- Grau Alto:
 - em área não ocupada: restringir a forma de ocupação
 - em área ocupada: elaborar carta geotécnica de risco detalhada
- Grau Médio:
 - em área não ocupada: exigir estudo detalhado para ocupação
 - em área ocupada: avaliação de risco e eventual cartografia geotécnica de risco

Propõe também a elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão Urbanística frente aos Desastres Naturais para Parcelamento do Solo, tendo meta central “o fornecimento de informações que orientem o parcelamento do solo no processo de uso e ocupação, de forma equilibrada com a condição de suporte do meio físico, evitando-se os riscos e as consequências dos desastres”. Destaca a especial importância destas cartas como referência nos processos de licenciamento de novos projetos de parcelamento dos terrenos, particularmente nos municípios sujeitos a riscos geotécnicos.

“Os estudos do meio físico deverão ser instrumentos básicos para subsidiar a ação municipal de fornecimento de diretrizes aos projetos de parcelamento do solo, e também para a preparação de planos e projetos de recuperação de áreas que já foram parceladas, mas que apresentam urbanização precária e situações de risco”.

Aponta ainda que tais instrumentos cartográficos deverão ser *“instrumentos básicos para subsidiar a ação municipal de fornecimento de diretrizes aos projetos de parcelamento do solo, e também para a preparação de planos e projetos de recuperação de áreas que já foram parceladas, mas que apresentam urbanização precária e situações de risco”.*

“Entende-se que essa carta deve ser elaborada para todos os locais do território municipal onde é permitido o parcelamento do solo. Nos casos em que haja uma definição ou proposta de perímetros urbanos pela legislação municipal, a carta será apresentada para o território contido por esses perímetros. Nos municípios com grande extensão de área de urbanização já consolidada ou com grandes extensões de áreas protegidas, em que não é permitido o parcelamento do solo, a apresentação da carta poderá ser feita para o território incluído no perímetro urbano, descontadas essas áreas, em especial se forem constituídas por terrenos de baixa suscetibilidade a desastres naturais. Para caracterização das áreas de urbanização consolidada sugere-se a utilização do critério definido pela Lei 11.977 (artigo 47), que considera área urbana consolidada a parcela da área urbana com densidade demográfica superior a cinquenta habitantes por hectare e malha viária implantada, e que tenha, no mínimo, dois dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana implantados: a) drenagem de águas pluviais urbanas; b) esgotamento sanitário; c) abastecimento de água potável; d) distribuição de energia elétrica; ou e) limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos” (DINIZ & FREITAS, 2013).

Ainda recomenda que as legendas para as áreas vazias a serem ocupadas futuramente pela expansão do território urbano e para aquelas com urbanização pouco consolidada sejam diferenciadas. Para as áreas vazias, devem ser previstas:

❖ áreas de urbanização favorável (cor azul): locais de baixo perigo frente aos desastres naturais e onde a ocupação demanda apenas os cuidados usuais com relação aos estudos para fundação e obras de contenção;

❖ áreas de urbanização condicionada a controle especial (cor amarela): locais onde são exigidos controles e estudos especiais como condição prévia à ocupação, face ao perigo existente ou que pode ser potencializado pelo processo de urbanização. Dentre essas medidas de controle, estão incluídas a exigência de

implantação de infraestrutura completa; a exigência de implantação das edificações concomitantemente ao processo de parcelamento do solo, ou seja, não se permite a venda de terra nua; a exigência de critérios especiais de uso e ocupação do solo de forma a minimizar os riscos; e a exigência de estudos prévios, detalhados, como por exemplo de estabilidade de encostas;

❖ áreas de urbanização restrita (cor vermelha): locais onde não se permitem edificações de uso permanente, ou edificações de qualquer caráter ou ainda onde não se permitem obras de urbanização de qualquer natureza. **Face aos riscos da ocupação irregular de áreas onde existem sérias limitações à urbanização (portanto, áreas de urbanização restrita), entende-se que os estudos que levam à proposição das cartas de aptidão à urbanização devem se aprofundar no estudo de alternativas de destinação de uso e ocupação do solo para essas áreas de urbanização restrita.**

Para as áreas de urbanização ainda não consolidada, recomenda-se que a legenda da carta de aptidão à urbanização contemple:

- ❖ os locais onde, face ao estudo de risco, não é permitida a edificação (de uso permanente) - cor vermelha;
- ❖ as áreas onde se identifica a prioridade na implantação da infraestrutura, para prevenção de riscos, e o tipo de infraestrutura demandada- cor amarela;
- ❖ locais onde a edificação e/ou a implantação de infraestrutura é condicionada a estudos especiais- cor amarela;
- ❖ os locais onde se demanda a implantação de obras de contenção de encostas ou de prevenção de riscos de acidentes geotécnicos- cor amarela;
- ❖ áreas onde não há limitações ou exigências especiais, em termos de prevenção de riscos de desastres naturais- cor azul.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ELABORAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DE SANTO ANDRÉ

As Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização, aqui apresentadas na escala 1:10.000, foram construídas a partir:

- a) dos procedimentos pactuados pelo Ministério das Cidades junto a especialistas e pesquisadores (DINIZ & FREITAS, 2013), congregando contribuições de diversos especialistas;
- b) do referencial constituído pelas cartas geotécnicas já elaboradas e acessíveis (realizadas por várias instituições em Minas Gerais, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, incluindo também as cartas produzidas pela equipe de pesquisadores da UFABC na região do ABC do estado de São Paulo). As Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização dos municípios de São Bernardo do Campo e Rio Grande da Serra também estão disponíveis na plataforma INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais, disponível em: <http://www.visualizador.inde.gov.br/>;
- c) do debate contínuo sobre aspectos metodológicos e conceituais realizados ao longo deste período, com destaque especial para as discussões promovidas pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental - ABC durante o 9º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, ocorrido em março de 2015 em Cuiabá e o 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, realizado em Bento Gonçalves em outubro de 2015; e
- d) do referencial teórico conceitual mais atualizado e apropriado à discussão do planejamento e gestão de áreas de risco aos desastres naturais (deslizamentos e processos correlatos e inundação).

Com base nessas premissas, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização parte de um modelo inicial orientador (PRANDINI *et al.* 1995), considerando os problemas existentes e/ou esperados na área de intervenção associados às características dos aspectos do meio físico (tipo de substrato e comportamento dos

materiais/aspectos geotécnicos – solo e rocha; aspectos morfológicos e morfométricos do relevo; dentre outros) e as formas de uso e ocupação do solo. Compreender os mecanismos e comportamento dos materiais presentes nos terrenos é fundamental sua avaliação geológica-geotécnica perante os processos geo e hidrodinâmicos. Tais análises serão importantes para definir as potencialidades e limitações dos terrenos quanto à aptidão à urbanização, indicando as respectivas restrições e recomendações para ocupação e parcelamento do solo.

Para definir a área de estudo – ou *de intervenção*, devem-se considerar os limites da área de expansão do município de acordo com a legislação municipal, a definição do perímetro urbano municipal previsto no plano diretor, bem como as áreas estratégicas do ponto de vista socioeconômico. Para essa tarefa, foi essencial o diálogo com as equipes técnicas de diversos órgãos e secretarias de ambos os Municípios. Assim, foram realizadas várias oficinas para definir a área de intervenção em consenso com toda a equipe.

Além dos critérios técnico-científicos empregados, foi de grande importância o envolvimento do corpo técnico das prefeituras, permitindo o diálogo entre pesquisadores e gestores públicos, facilitando a compreensão do processo de elaboração do produto e seus respectivos resultados.

Um dos pressupostos adotado pelo texto de referência (DINIZ & FREITAS, 2013) para orientar os procedimentos é que **o usuário da carta de aptidão é o planejador urbanista**, ou seja, é fundamental a participação da equipe técnica e de gestores da Prefeitura do Município no fornecimento de informações e materiais, no acompanhamento da elaboração integral dos estudos para elaboração da carta, na validação das decisões e dos resultados obtidos.

A Figura 1 apresenta o roteiro metodológico desenvolvido para a elaboração das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização do município de Santo André.

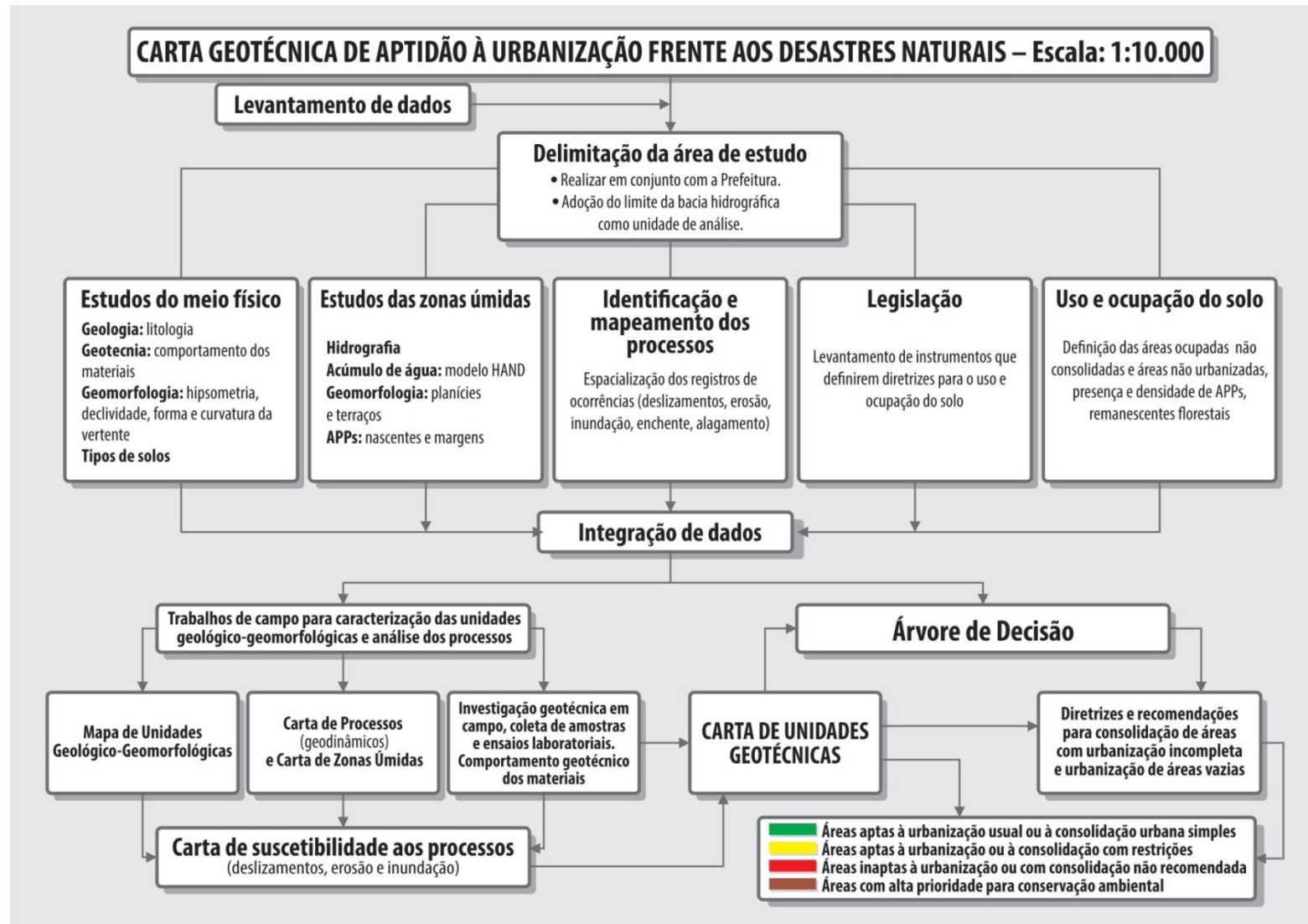


Figura 1. Procedimentos metodológicos para elaboração das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos Desastres Naturais

4.1 ESTUDOS DO MEIO FÍSICO

4.1.1 Unidades geológico-geomorfológicas

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross, 1997), as área do Município de Santo André faz parte da unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Planalto Atlântico, e unidade morfoescultural do Planalto Paulistano/Alto Tietê. Ainda de acordo com IPT (1981), em parte dessa unidade o relevo aumenta progressivamente sua amplitude a partir das escarpas da Serra do Mar, onde os morrotes tornam-se mais extensos, passando para o relevo de morros onde as amplitudes estão acima de 100m. As altitudes que nivelam os topos sofrem um decréscimo no mesmo sentido, indicando que o nível do assoalho dos vales se aprofunda devido a um maior entalhamento da drenagem. De forma geral, predominam morros altos e altimetrias que variam entre 800 e 1000m e declividades predominantes entre 10 e 20%, sustentados por granitos, migmatitos, gnaisses e micaxistos. O processo de intemperismo desses materiais em relevo de maior movimentação leva à formação de solos pouco desenvolvidos que fazem parte dos grupos de litossolos, cambissolos e argissolos. Quanto aos níveis de fragilidade potencial dos terrenos, pode-se dizer que o município de Santo André apresenta formas de dissecação muito intensa, com vales pouco entalhados e alta densidade de drenagem ou vales muito entalhados e menor densidade de drenagem. Por isso, consideram-se áreas de fragilidade muito alta e suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos.

Pode-se observar que, de modo geral, substratos rochosos cristalinos com estruturas com maior foliação (xistos, filitos, micaxistos, migmatitos com paleossomas xistosos) ou mais afetados por processos de milonitização¹ (xistos miloníticos, filonitos² e outras rochas afetadas por zonas de intenso falhamento/cisalhamento) estão associados a relevos com vales e grotas mais fechados, vertentes predominantemente convexas e maior propensão a movimentos de massas (deslizamentos em taludes de corte, deslizamentos em cunha,

¹ Milonitização: feição planar resultante do fluxo plástico (lamelar) produzido por cisalhamento não-coaxial e com metamorfismo mais energético da rocha.

² Filonito : rocha metamórfica de granulação muito fina, resultante da trituração de rochas. Produto de metamorfismo dinâmico, com reconstituição química pronunciada, em zonas de falha.

desplacamentos, quedas de lascas em taludes de corte). Estes processos erosivos, escorregamentos e rupturas estão condicionados principalmente por estruturas reliquias xistosas e miloníticas.

Substratos rochosos cristalinos com estruturas mais maciças ou granulares (granitos, granodioritos³, migmatitos e gnaisses graníticos) tendem a produzir relevos de topos mais amplos e arredondados, menos escavados por grotas ou vales que, em geral, são mais abertos. As vertentes são predominantemente retilíneas ou convexas, apresentando baixa a média predisposição a deslizamentos.

Os mapas de Unidades Geológico-Geomorfológicas das áreas de intervenção do município de Santo André foram elaborados a partir dos seguintes planos de informação:

- Amplitude e declividade do terreno, gerados a partir do Modelo Digital de Superfície (MDS); e
- Mapa geológico, elaborado pela EMPLASA na escala 1:50.000.

A partir de uma combinação entre os dados de amplitude e declividade, foram definidas as unidades geomorfológicas conforme os parâmetros apresentados na Tabela 2. Para a elaboração deste produto intermediário foram utilizados planos de informação no formato *raster*, que viabilizam a utilização de álgebra de mapas.

³ Rocha metamórfica formada em alta pressão e temperatura, em condições anidras, caracterizada por uma textura granoblástica ou de fraca foliação

Tabela 2. Padrões de relevo e parâmetros básicos.

Padrão de relevo	Amplitude predominante (m)	Declividade predominante	
		(%)	(Graus)
Planícies	< 20	0 a 3	0 a 1,7
Terraços	< 20	3 a 6	1,7 a 3,4
Colinas	20 a 70	< 20	< 11,3
Morrotes	20 a 90	20 a 30	11,3 a 16,7
Morros baixos	60 a 90	> 30	> 16,7
Morros altos	> 90	> 30	> 16,7
Escarpas	> 100	> 45	> 24,3

Sobre o produto obtido a partir da álgebra de mapas, foi conduzido um ajuste manual baseado no conhecimento prévio do corpo técnico somado ao conhecimento adquirido nas saídas de campo. Neste processo, foram utilizados produtos auxiliares, tais como ortofotos combinadas ao MDS e ao relevo sombreado e dados da base cartográfica.

O mapa geomorfológico resultante foi integrado ao de geologia para elaboração do mapa de unidades geológico-geomorfológicas, Tabela 3. A partir das unidades geológicas e geomorfológicas apresentadas, foi realizada a revisão manual das informações, considerando que alguns “cruzamentos” não refletiam de fato os compartimentos observados em campo, devido às dificuldades relacionadas à escala do mapa geológico disponível. O processo de ajuste e análise dos dados foi realizado por meio de diversas visitas de campo, seleção de áreas para coleta dos materiais e dos ensaios geotécnicos.

Tabela 3. Cruzamentos preliminares para a elaboração das unidades geotécnicas

Unidade Geotécnica	Geomorfologia	Geologia
1	Planícies e Terraços	Aluviões fluviais
2	Terraços	Materias mobilizados por ação antrópica
3	Colinas	Argilas, areias e cascalhos da formação São Paulo e da formação Caçapava
4	Colinas	Micaxistos e migmatitos
5	Morrotes e Morros Baixos	Rochas graníticas
6	Morrotes e Morros Baixos	Micaxistos e migmatitos
7	Morros Altos	Rochas graníticas
8	Morros Altos	Micaxistos e migmatitos
9	Escarpas	Filitos e/ou metassiltitos

Sintetizando informações sobre atributos geomorfológicos (amplitude e declividade) e litológicos, obtidas por meio de levantamentos bibliográficos, investigação de campo e geoprocessamento, o cruzamento destes resultados permitiu a construção do mapa de unidades geológico-geomorfológicas para as áreas de interesse, cujo quadro-legenda é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Quadro-legenda das unidades geológico-geomorfológicas

Unidades Geológico-Geomorfológicas	
Unidade I	Planícies e terraços com aluviões fluviais: argila, areia e cascalho.
Unidade II	Colinas com argilas, areias e cascalhos da formação São Paulo e da formação Caçapava (grupo Taubaté), inclui depósitos elúvio-coluviais correlatos.
Unidade III	Colinas com micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica.
Unidade IV	Colinas com migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.
Unidade V	Colinas com granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou porfiróides.
Unidade VI	Colinas com filitos e/ou metassiltitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada e anfibolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo).
Unidade VII	Morrotes com micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica.
Unidade VIII	Morrotes com migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.
Unidade IX	Morrotes com granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou porfiróides
Unidade X	Morrotes com filitos e/ou metassiltitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada e anfibolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo).
Unidade XI	Morros baixos com micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica.
Unidade XII	Morros baixos com migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.
Unidade XIII	Morros baixos com granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares.
Unidade XIV	Morros altos com micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica.
Unidade XV	Morros altos com migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.
Unidade XVI	Morros altos com granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares.
Unidade XVII	Morros com filitos e/ou metassiltitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada, anfibolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo) e quartzitos.
Unidade XVIII	Escarpa com migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.
Unidade XIX	Escarpa com filitos e/ou metassiltitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada, anfibolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo) e quartzitos

No município de Santo André, a área que corresponde às **planícies com aluviões fluviais** e presença de argila, areia e cascalho é ampla ao longo do eixo do rio Tamanduateí e estende-se por alguns córregos que deságuam nesse curso d'água principal, tal como o córrego Guarará, que historicamente apresenta registros de ocorrências de inundações. Abrange quase que integralmente a **Macrozona de Reestruturação Urbana**, incluindo o **Centro** da cidade. As vertentes das margens direita (Vila Metalúrgica, Jardim Santo Antonio, Parque das Nações, Parque Oratório e Novo Oratório e Parque Capuava), e esquerda do rio Tamanduateí (Bairro Jardim, Vila Guiomar, Sacadura Cabral, Vila Príncipe de Gales, Jardim Bela Vista) contíguas a esse trecho, também foram classificadas como planícies e terraços, caracterizados por argilas, areias e cascalho da Formação São Paulo e da Formação Caçapava (Grupo Taubaté), incluindo depósitos elúvio-coluviais correlatos. Na área da **Macrozona de Proteção Ambiental**, é muito significativa a presença de planícies ao longo dos rios (Várzea do Rio Grande e Campo Grande) que drenam respectivamente para os braços do reservatório do Rio Pequeno. Episódios de inundação são recorrentes nessas áreas, impedindo muitas vezes o acesso à Vila de Parapiacaba.

Em direção às cabeceiras do córrego Guarará, trecho caracterizado pela **Macrozona de Recuperação Urbana**, o relevo muda gradativamente de colinas a morrotes e morros baixos, sendo sustentado por micaxistos e/ou meta-arenitos de médio grau metamórfico, incluindo xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica. No trecho de colinas destacam-se os bairros Jardim Stela, Vila Gilda e Parque Marajoara, dos morrotes Jardim Las Vegas, Jardim Alvorada, Jardim do Estádio, Jardim Santa Cristina, Vila Suíça e dos morros baixos, os bairros Parque Guaraciaba, Cata Preta, Sítio dos Vianas e Jardim Irene, áreas com intensa ocorrência de deslizamentos em assentamentos urbanos precários.

Entre as áreas de morros baixos sustentados por micaxistos, em uma faixa que abrange predominantemente os afluentes do córrego Guarará, ocorrem morros altos formados por granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou porfiróides, migmatitos e gnaisses graníticos até gnaisses miloníticos evidenciando zona de intensa movimentação tectônica, caracterizando a extensa área do Parque do Pedroso e alguns trechos do Recreio da Borda do

Campo. Novamente, entre o Rodoanel e a Rodovia Índio Tibiriçá, o relevo de morrotes associado aos micaxistos e xistos ocorre de forma proeminente na paisagem do Recreio da Borda do Campo. Registros de processos de escorregamentos também são significativos nessa região do município. No entanto, essa mesma unidade também muito representativa em trecho da **Macrozona de Proteção Ambiental** (Parque Rio Grande e Parque América), é caracterizada por uma superfície de degradação do relevo, com sistema de drenagem dendrítica e de alta densidade, que alimenta o Reservatório do Rio Pequeno. Morros altos (Cabeceiras do Rio Pequeno) e morrotes (Cabeceiras do Rio Mogi) em porção da Reserva Biológica do Alto da Serra, sustentados por granitos, migmatitos e gnaisses graníticos, com formas convexas a retilíneas ocorrem em direção à Vila de Paranapiacaba nos limites entre a unidade da planície de inundação e a Serra do Mar, a sudeste do município.

No extremo leste do município, em direção à divisa com os municípios de Rio Grande da Serra, Suzano e Mogi das Cruzes, ocorrem respectivamente relevos de morros altos com micaxistos e com granitos e migmatitos (Jardim Joaquim Eugênio de Lima e Jardim Araçaiuva). As maiores altitudes e amplitudes correspondem ao trecho de morros altos com filitos e/ou metassiltitos, incluindo filonitos em zonas de movimentação tectônica intensa, anfíbolitos, metabasitos (metadiabásio, metagabro) e quartzitos, e podem ser observados próximo à Vila de Paranapiacaba. No limite com os municípios de Cubatão e Santos (Parque Estadual da Serra do Mar) observa-se uma escarpa de falha, sustentada pelos migmatitos, gnaisses graníticos, filitos e/ou metassiltitos e quartzitos, intensamente dobrados.

4.1.2 Investigações geotécnicas

As investigações sobre os materiais constituintes das unidades mapeadas, realizadas por meio de revisão bibliográfica, levantamentos de campo e de análises laboratoriais sobre o seu comportamento geomecânico, tiveram por objetivo o entendimento dos processos geodinâmicos recorrentes nas áreas estudadas, suas relações com a geologia, morfologia e morfometria dos terrenos e com o uso do solo e as intervenções antrópicas.

As atividades de campo para coleta de amostras e caracterização dos horizontes pedológicos, em conjunto com sondagens de reconhecimento à percussão (SPT - relatórios fornecidos pela prefeitura) permitiram tanto a determinação de uma estratigrafia superficial do subsolo e a observação da influência estrutural reliquiar de cada litologia em seu comportamento, como também, forneceram uma ideia da capacidade de suporte dos terrenos. Possibilitaram o reconhecimento dos perfis e horizontes de alteração característicos da região, por meio de procedimentos de identificação visual e tátil. Permitiram ainda identificar os atributos do meio físico (condições naturais e/ou artificiais) responsáveis, por exemplo, por feições erosivas identificadas ou por cicatrizes de movimentos de massa.

Sequencialmente, fez-se uso também de investigações laboratoriais para a caracterização geotécnica dos materiais das unidades geológico-geomorfológicas delimitadas.

Considerando-se as características dos solos residuais saprolíticos presentes na área de estudo, passíveis de sofrerem processos erosivos hídricos e de instabilização de massa, as investigações em laboratório destinaram-se, em especial, à avaliação da erodibilidade desses materiais tanto em condições estruturais de campo como em condições compactadas (remoldadas), avaliando aí o papel do teor de umidade.

O solo de alteração tem seu comportamento geomecânico diretamente vinculado à rocha matriz, possuindo espessura variável e, no caso da região delimitada, é predominantemente siltoso, areno-siltoso, e muitas vezes, micáceo, sendo de difícil compactação. Portanto, caracterizam-se como horizontes suscetíveis e problemáticos sob o ponto de vista geotécnico. Por outro lado, o solo superficial

apresenta-se mais argiloso e laterizado, porém pouco espesso e, em muitos casos, é ausente.

Em Santo André, observou-se a potencialização da erodibilidade do micaxisto na condição da estrutura remoldada (compactada) ressaltando-se as recomendações para a ocupação ou urbanização das áreas com predominância destas tipologias de solo.

Os aluviões das planícies, no caso da presença de argilas orgânicas e nível freático elevado ou aflorante, são caracterizados por materiais de baixa capacidade de suporte. Já nos terraços, encontram-se as areias siltosas erodíveis com presença de pedregulhos.

Amostras representativas de cada uma das tipologias de materiais foram coletadas em diferentes pontos da área de estudo e cartograficamente georreferenciadas. A coleta de amostras foi orientada considerando-se, dentre outros fatores, a representatividade das unidades geológicas e ocorrência de processos geodinâmicos na região, além das condições de acesso ao local de amostragem.

A caracterização geotécnica das amostras coletadas baseou-se em observações de campo, trabalhos de laboratório e nas análises das sondagens (relatórios de SPT), quando disponíveis.

Todas as amostras coletadas foram submetidas aos ensaios de caracterização preconizados pelas Normas Brasileiras da ABNT e a ensaios específicos para avaliação da erodibilidade, além de serem submetidas à classificação MCT - Miniatura Compactada Tropical, possibilitando uma visão do comportamento geomecânico mais global, adequada a realidade tropical dos horizontes prospectados.

Destaca-se que, os dados obtidos por meio das análises laboratoriais são apenas indicativos do comportamento geotécnico das unidades delimitadas, em virtude não só da significativa heterogeneidade litológica, da estruturação existente nos horizontes jovens - solos saprolíticos - (em especial no caso dos solos de origem gnáissica) e da variabilidade do estado de alteração, como também da escala do mapeamento e da extensão da área, em relação ao número de pontos prospectados. Desta maneira, os ensaios geológico-geotécnicos subsidiaram, além

da caracterização das unidades prospectadas, a determinação das diretrizes técnicas para o adequado uso e ocupação do solo para fins urbanos, conforme segue.

Nas áreas de estudo delimitadas no município foram individualizadas basicamente as unidades geológicas que seguem acompanhadas das respectivas recomendações técnicas para intervenções de engenharia e parcelamento do solo:

4.1.2.1 Sedimentos aluvionares e depósitos elúvio-coluviais correlatos

Os aluviões são constituídos por materiais erodidos, retrabalhados e transportados pelos cursos d'água e depositados nos seus leitos e margens. Os depósitos aluvionares são compostos de areias, seixos de tamanho diversos, siltes e argilas. Camadas com características distintas são formadas de acordo com as variações na natureza/origem dos materiais e na capacidade de transporte dos cursos d'água. Cada camada representa uma fase de deposição e, por conseguinte, apresentam características particulares, como espessura, continuidade lateral, mineralogia e granulometria. Pode-se concluir, desta forma que, o pacote aluvionar é altamente heterogêneo, porém as camadas isoladas podem apresentar-se muito homogêneas (PASTORE E FONTES, 1998).

Os terraços fluviais são antigos aluviões, depositados quando o nível do curso d'água encontrava-se em cota acima da atual. Consequentemente, os terraços são sempre encontrados em cotas mais altas do que os aluviões.

Desta forma, considerando a condição topográfica entre terraços e aluviões, pode-se dizer que os terraços, em geral, não são saturados, isto é, encontram-se *in situ* parcialmente saturados e apresentam-se, quase sempre, constituídos por areia grossa e cascalho.

Em geral, os trabalhos de prospecção e identificação visual e tátil em campo, além das análises dos perfis de sondagem recebidos das prefeituras, evidenciaram que, os sedimentos aluvionares apresentam-se por uma sequência-tipo, cuja parte superior caracteriza-se por sedimentos de cor escura, de consistência mole a muito mole, constituída por argila e/ou silte e, muitas vezes, presença de matéria orgânica, lixo, e restos vegetais. Logo abaixo ocorre uma camada de material mais grosseiro, areia fina a média, em alguns casos podendo ter caráter argiloso. Por último,

encontra-se uma camada constituída de pedregulho, caracterizando, portanto, o pacote aluvionar. Sabe-se ainda que, a espessura do pacote sedimentar é variável, podendo atingir 6 metros nas planícies mais desenvolvidas (Tietê, Tamanduateí, Pinheiros, etc.). Em alguns casos, ocorrem depósitos de aluviões antigos de grandes espessuras que são intensamente explorados como material para construção civil (MASSAD, 2005).

As Fotos 1, 2 e 3 mostram os trabalhos de prospecção em campo para coleta de amostras e investigação do pacote aluvionar próximo ao rio Tamanduateí.



Foto 1. Trabalhos para prospecção a trado às margens do rio Tamanduateí Santo André



Foto 2. Coleta de amostra do em terreno aluvionar - Santo André



Foto 3. Amostra coletada em terreno aluvionar - Santo André

Problemas geotécnicos esperados:

- recalque das fundações em áreas de solos moles e aterros não compactados ou de baixa compactação;
- estabilidade precária das paredes de escavação, vinculada a baixa coesão de algumas camadas ou a saturação delas, além da posição do lençol freático;
- danificação das redes subterrâneas por recalque: baixa capacidade de suporte das camadas além da posição do lençol freático e saturação do solo;
- danificação do subleito das vias devido à saturação do solo e às características geotécnicas das camadas do terreno de fundação.
- aparecimento de trincas e fissuras nas estruturas apoiadas nesses materiais, decorrentes de recalques diferenciais.
- solapamento de talude marginal dos rios e córregos.

Recomendações técnicas para intervenções de engenharia e parcelamento do solo:

- adotar recursos e medidas que acelerem a estabilização dos recalques e melhorem as características geotécnicas, que garantam suporte e resistência às camadas, em especial, nos projetos de aterros.
- adotar medidas e critérios de projeto adequados para evitar a danificação das tubulações de águas servidas e esgotos, em virtude da possibilidade de recalques nesse tipo de material;
- com o objetivo de minimizar recalques excessivos e/ou diferenciais das fundações, adotar soluções tecnicamente compatíveis com a natureza e porte das edificações, com as cargas impostas ao terreno e com as características geomecânicas do subsolo;
- adotar, em especial nessas áreas, eficientes sistemas de drenagem superficial e subterrânea, a fim de garantir a não saturação do subleito viário e, por conseguinte, minimizar ou até mesmo evitar recalques e danificações dos pavimentos, garantindo a sua vida útil;

- sempre que possível, privilegiar a implantação de pavimentos articulados, em especial em áreas saturadas e com terrenos argilosos de baixa capacidade de suporte. Destaca-se que, os pavimentos flexíveis tradicionais enfrentam problemas críticos de capacidade de suporte e drenagem que podem implicar em elevados custos de manutenção e comprometer a sua vida útil;
- assegurar a estabilidade e proteção contra erosão das margens dos cursos d'água, em especial nas camadas menos coesivas e com características texturais de silte e areia fina, quando da implantação de ruas e avenidas marginais.

4.1.2.2 *Granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou porfiróides*

Os granitos são constituídos predominantemente por quartzo (20-30%), feldspato (50-70%) e mica (5-25%), possuindo arranjo textural granular, apresentando granulometria média a grossa. Em geral, apresentam estrutura compacta e possuem baixa alterabilidade.

A abundância e as boas características físico-mecânicas dos granitos, como por exemplo, a homogeneidade, isotropia, elevadas resistências à compressão e alteração e baixa porosidade, quando não alterados e não fraturados, favorecem seu uso em obras civis tanto em fundações, como em material para construção (agregado para concreto, *rip rap* e outras aplicações).

Pode-se dizer que, a alteração intempérica dos granitos propicia a formação de argilominerais (caulinita), a partir dos feldspatos e da desagregação da rocha surgem solos de alteração com granulometria areno-siltosa ou argilo-siltosa. Os horizontes de alteração apresentam espessura variável, podendo atingir algumas dezenas de metros nos relevos mais suaves e até mesmo serem ausentes nos relevos mais acidentados. O solo superficial constitui-se de material argilo-arenoso e apresenta espessura da ordem de 1-2m nos relevos suavizados e de 0,5m nos relevos mais acidentados.

Os trabalhos de campo evidenciaram grande presença de matacões (blocos de rocha, com bordas arredondadas e diâmetro superior a 25 cm) imersos no solo de alteração e em superfície. Também puderam ser observados casos pontuais de instabilização de taludes graníticos por movimentação de placas e lascas rochosas. Quando exposto o solo de alteração, há grande suscetibilidade à erosão linear.

Problemas geotécnicos esperados:

- escorregamentos em talude de corte na transição solo/rocha, principalmente quando o solo encontra-se saturado ou na ocorrência de surgência d'água junto à transição solo/rocha;
- possibilidade de recalques diferenciais em fundações de estruturas que parcialmente apoiam-se sobre matacões;
- dificuldades técnicas e elevação do custo de obra em virtude da cravação de estacas e escavação em terrenos com presença de matacões;
- instabilização e possibilidade de queda/rolamento de matacões por descalçamento em taludes de corte ou superfícies de encostas;
- instabilização e possibilidade de movimentação (queda/tombamento) de blocos, placas e lascas em superfícies de encostas;
- grande suscetibilidade à erosão quando se remove o solo superficial e expõe-se o solo de alteração (horizonte C).

Recomendações técnicas para intervenções de engenharia e parcelamento do solo:

- os taludes de corte e as áreas com solo de alteração exposto devem ser protegidos com solo superficial, além de implantar sistema eficiente de drenagem e cobertura vegetal adequada.
- devido às características geotécnicas dos solos de alteração, utilizar o solo superficial mais desenvolvido e de menor erodibilidade, especialmente no revestimento e acabamento de obras de terra e vias;
- conceber o projeto de parcelamento do solo levando em consideração a localização e a frequência dos matacões, que condicionam a estabilidade de taludes, execução de fundações, escavações e implantação das redes de infraestrutura em geral, fossas sépticas, entre outras intervenções;
- vincular a implantação das redes públicas simultaneamente a abertura do sistema viário, em função da dimensão e quantidade dos matacões;

- cuidar do projeto e execução das estruturas enterradas em virtude da dimensão e quantidade de matacões.
- remoção manual e individual dos blocos instáveis e/ou desmonte e remoção do matacão;
- fixação de blocos instáveis através de chumbadores ou tirantes e proteção da área de apoio do matacão;
- execução de obras para segurança de encostas em material rochoso (cintas, montantes, grelhas, etc.).

4.1.2.3 *Micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, incluindo também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica e filitos*

Os micaxistos são rochas metamórficas com foliação bastante marcada, granulometria fina a média, compostos basicamente por quartzo e micas (muscovita e biotita). Nos trabalhos de campo, notou-se que tais materiais apresentam espesso manto de alteração (solo de alteração e rocha muito alterada), podendo atingir espessuras consideráveis nos relevos mais suaves e alguns metros nos relevos mais acidentados. O solo superficial constitui-se de material argilo-siltoso nos xistos micáceos e areno-siltoso nos xistos quartzosos (ver Anexo 1), com espessuras variando entre 2 a 3 m na maioria dos taludes mapeados.

Filitos são rochas muito foliadas e constituídas predominantemente por micas, caracterizando-se pela xistosidade finamente espaçada e pela granulação muito fina, porém com minerais de difícil individualização. Os filossilicatos (micas) conferem à rocha um brilho sedoso característico nos planos de xistosidade. O solo de alteração em geral é pouco espesso (em torno de 1m); o manto de rocha muito alterado é bastante espesso, variando de dezenas de metros nos relevos mais suaves até alguns poucos metros nos relevos mais acidentados. O solo superficial possui característica siltosa, atingindo espessura da ordem de 1 m (FRASCÁ E SARTORI, 1998).

Entremeados aos xistos e filitos podem ocorrer faixas de metarenitos, que são rochas metamórficas constituídas predominantemente por silte e que, portanto, geram solo de alteração com característica silto- micácea.

Problemas geotécnicos esperados:

- processos de escorregamentos em talude de corte quando a posição da foliação da rocha é desfavorável em relação à superfície de corte.
- problemas de estabilidade decorrentes de escavações e desconfinamento de estruturas xistosas e foliações.
- processos erosivos em sulcos nas áreas expostas e condicionados pela direção da xistosidade nos cortes. Devido à constituição siltosa e micácea do solo de alteração, os processos erosivos tornam-se grave nos aterros, comprometendo os projetos de terraplenagem e, conseqüentemente, a qualidade da compactação e estabilidades desses aterros.

Recomendações técnicas para intervenções de engenharia e parcelamento do solo:

- empregar o solo de alteração apenas como núcleo de aterros, executando o acabamento, isto é, o envelopamento de aterros e cortes com o solo superficial, além de adotar eficiente compactação, drenagem e proteção vegetal.
- nos cortes, levar em consideração a orientação dos planos de fraqueza (fraturas e foliação da rocha) que podem determinar planos de ruptura;
- evitar aterros em encostas e executar, sempre que possível, o leito das vias em corte. No caso de aterros, dispor o solo excedente protegido e disposto em locais adequados evitando processos erosivos;
- adotar lotes com testada paralela às curvas de nível, evitando grandes intervenções (cortes/aterros) nas encostas;
- nos loteamentos, liberar as construções e intervenções nos lotes após toda a infraestrutura urbana instalada (arruamentos, pavimentação e drenagem);
- evitar a retirada da vegetação e o solo superficial na demarcação dos lotes;
- evitar a instalação de fossas de infiltração;
- instalar eficientes sistemas de captação e drenagem de águas pluviais.

- - compactação da superfície final dos aterros (quando o aterro já está construído)

4.1.2.4 *Migmatitos e gnaisses graníticos, podendo achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.*

Os migmatitos são rochas de composição e estruturas heterogêneas denominadas estruturas migmatíticas e de granulação média a grossa que ocorrem associados às áreas metamórficas de alto grau. Destaca-se por ser uma rocha composta por duas porções distintas: uma com comportamento geomecânico similar ao das rochas graníticas, isto é, composta pela predominância de feldspato e quartzo, e outra com comportamento geomecânico similar ao das rochas xistosas, constituída por minerais micáceos. Essas porções aparecem no corpo rochoso dos migmatitos intercaladas na forma de bandas com espessuras variáveis (desde centímetros até mesmo metros). Nas áreas estudadas, observa-se predominância das bandas xistosas, portanto de minerais micáceos. O solo de alteração dessas rochas possui constituição granulométrica muito variada, em geral encontrando-se solos com características texturais silto-arenosas, conforme pode-se confirmar pelos ensaios laboratoriais (ver Anexo Geotécnico). Constituem-se por horizontes com espessura irregular, podendo muitas vezes atingir algumas dezenas de metros. Já o solo superficial é, em geral, de constituição argilo-arenosa e menos espessos (espessuras de até 2-3 m nos relevos mais suaves e de 0,5 m nos relevos acidentados).

Os gnaisses são rochas em geral quartzo-feldspática, de granulação média a grossa e com moderada a forte orientação planar, denominada estrutura ou foliação gnáissica, propiciada pela orientação de minerais placóides ou de hábito prismático. Apresentam características de alterabilidade quase iguais às dos granitos, salvo quando há lentes de biotita, por onde acontece uma maior alteração (FRASCÁ E SARTORI, 1998).

Já os gnaisses graníticos apresentam, na região estudada, micas orientadas e feldspatos mais desenvolvidos dentro de uma matriz mais intemperizada fina a média. O solo de alteração possui constituição mais fina e mais micácea quando comparada ao do granito, além de possuir uma estruturação (macro e

mesoestrutura) orientada (gnáissica). Apresentam horizontes de alteração com espessura bastante variada, como nos granitos.

Os solos superficiais de gnaiss granítico apresentam constituição e espessura similares aos solos de alteração de granito.

Em geral, os gnaisses e os migmatitos são rochas consideradas resistentes e apropriadas para o emprego em engenharia, desde que não alteradas e não apresentando planos de foliação, como os planos de foliação micáceos, que podem, dependendo da quantidade e dimensão, configurarem-se em discontinuidades ou planos propícios a escorregamentos (FRASCÁ E SARTORI, op.cit.), Fotos 4.



Foto 4. Talude em migmatito com matriz xistosa. Sítio dos Vianas - Santo André

Problemas geotécnicos esperados:

Em geral, os migmatitos apresentam problemas geotécnicos apontados para os granitos e xistos, de acordo com o material predominante. São indicados aqui aqueles que devem ser mais frequentes nas áreas estudadas, onde predominam migmatitos com paleossoma xistoso, cujo comportamento mais os assemelha com os micaxistos.

- escorregamentos em talude de corte na transição solo/rocha;
- erosão em sulcos em cortes e, especialmente em aterros;
- processos de escorregamentos em talude de corte condicionados pela posição dos planos de fraqueza (xistosidades, foliações, etc).
- problemas de estabilidade decorrentes de escavações e desconfinamento de estruturas xistosas e foliações.

Recomendações técnicas para intervenções de engenharia e parcelamento do solo:

Em função da constituição mineralógica da porção predominante (micácea ou quartzo-feldspática), as recomendações técnicas são similares às das rochas xistosas ou graníticas. Como há, na área estudada, predominância do paleossoma xistoso, recomenda-se :

- proteção contra erosão;
- evitar expor o solo de alteração e a sua saturação;
- evitar a realização de aterros;
- nos cortes levar em consideração a orientação dos planos de fraqueza (xistosidades).
- Cuidados especiais devem ser dispensados às bandas quartzo-feldspáticas já que são mais erodíveis, exigindo adequada proteção superficial e um eficiente sistema de drenagem.

Cabe destacar que, os problemas geotécnicos apontados para cada compartimento geológico podem ser potencializados, em alguns casos, devido às características geomorfológicas das áreas estudadas, com destaque para inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas, ver Tabela 5, sobre o comportamento e recomendações para cada unidade geológico-geomorfológico mapeada)

Por fim, para melhor avaliar e confirmar o comportamento geomecânico mapeado em campo para as unidades geológicas levantadas, foram realizados ensaios laboratoriais, tanto para caracterização e classificação das amostras coletadas, como alguns ensaios específicos para avaliação, por exemplo, do comportamento erodível dessas amostras, conforme exposto no Anexo 1.

Tabela 5. Comportamento e recomendações para cada unidade geológico-geomorfológica mapeada

Compartimentos	Características gerais	Problemas esperados	Medidas/recomendações para parcelamento e uso do solo	Fotos
Planícies com aluviões e terraços	São terrenos baixos junto aos cursos d'água, com declividade entre 0 a 6%. São constituídas por sedimentos aluvionares, inconsolidados: argilas com ou sem matéria orgânica, siltes, areias e cascalho.	O nível freático encontra-se próximo à superfície. Áreas sujeitas a processos de inundações e alagamentos. Ocorrência de erosão hídrica, com solapamento de talude marginal dos rios e córregos em margens retilíneas e, especialmente, nas margens côncavas. Presença de solos moles, com baixa capacidade de suporte e potencialidade de recalques de fundações e de vias e acessos. Assoreamento dos leitos menores dos cursos d'água. Instabilidade em escavações e possibilidade de danos em redes subterrâneas (estruturas enterradas ou apoiadas). Potencialidade de contaminação química e orgânica.	✓ Não se recomenda urbanização neste compartimento em função da sua dinâmica hidrológica, sua importância ambiental, especialmente nas faixas de Proteção Permanente. ✓ Ainda que ofereçam condições topográficas favoráveis, eventuais obras de engenharia demandam cuidados específicos de escavação, fundação, drenagem e saneamento. ✓ Aumentar a capacidade de retenção de águas de chuva por infiltração e reservação. ✓ Reduzir a produção de materiais de assoreamento (sedimentos, entulho e lixo) controlando movimentos de solo a montante deste compartimento e lançamentos de lixo e detritos. Nas eventuais obras de engenharia: ✓ - adotar recursos e medidas que acelerem a estabilização dos recalques e melhorem as características geotécnicas de suporte e resistência nos solos moles ou alagadiços; ✓ adotar medidas e critérios de projeto para evitar a danificação das tubulações por recalques ou eventuais solos agressivos⁴. ✓ adotar sistemas de drenagem eficientes para garantir a não saturação do subleito viário e evitar recalques e danificações dos pavimentos. ✓ sempre que possível, privilegiar a implantação de pavimentos articulados, em especial em áreas saturadas e com terrenos argilosos de baixa capacidade de suporte. ✓ Assegurar a estabilidade e proteção contra erosão das margens dos cursos d'água quando da implantação de ruas e avenidas marginais. ✓ Evitar escavações sem contenção apropriada e rebaixamento não controlado do lençol freático.	

⁴ Alguns solos podem apresentar características (como resistividade, pH, potencial redox, umidade, tamanho das partículas, presença de íons, atividade microbiológica, grau de aeração) que podem afetar, por corrosão ou outros impactos, estruturas de concreto e outros materiais em contato direto.

Compartimentos	Características gerais	Problemas esperados	Medidas/recomendações para parcelamento e uso do solo	Fotos
Terraços com espessuras variáveis de aterros	Terrenos constituídos por materiais mobilizados por ação antrópica, com predominância de argila e silte e eventual presença de entulhos, em camadas de espessura e consistência variáveis.	Em geral, baixa capacidade de suporte, sendo suscetíveis a recalques. São afetados pelas oscilações do nível d'água, podendo ocorrer afloramento de água subterrânea. Ocorrência de trechos com áreas contaminadas.	✓ Adotar recursos e medidas que acelerem a estabilização dos recalques e melhorem as características geotécnicas que garantem suporte e resistência às camadas, em especial, nos projetos de aterros. ✓ Identificar o tipo de atividades que geram contaminação e adotar medidas de mitigação e recuperação.	
Colinas terciárias	Terrenos caracterizados por baixas amplitudes e em geral, por declividade inferior ou igual a 20%. São constituídos por rochas sedimentares, que possuem variação textural de solos argilosos até arenosos, com espessuras variáveis. O relevo é suavizado e possui topos amplos e arredondados. Presença de solo laterítico. Presença de material argilo-arenoso. As vertentes são levemente sulcadas pela rede de drenagem, que possui média a baixa densidade.	Eventuais processos erosivos nas áreas em que o solo de alteração encontra-se exposto.	✓ São áreas favoráveis à urbanização em função das condições topográficas, das boas condições de drenagem e da espessura do solo superficial. As recomendações limitam-se àquelas mais simples da engenharia.	

Compartimentos	Características gerais	Problemas esperados	Medidas/recomendações para parcelamento e uso do solo	Fotos
Colinas com micaxistos e migmatitos	Terrenos caracterizados por baixas amplitudes e em geral, por declividade inferior ou igual a 20%. Nos migmatitos, os solos de alteração são predominantemente silto-arenosos. O solo superficial é de constituição argilo-arenosa e, pode atingir espessura de até 3m. Os xistos apresentam granulometria fina a média. Apresentam manto de alteração espesso, podendo atingir dezenas de metros. Tanto o maciço rochoso como o solo de alteração apresentam características estruturais foliares, com bandas xistosas bastante destacadas.	Podem ocorrer processos erosivos nas áreas expostas por cortes ou remoção de solo superficial, com evolução condicionada pela direção da xistosidade. Em geral, na estrutura de campo, possuem boa capacidade de suporte, porém são pouco adequados para utilização como material de aterro	✓ Proteger o solo superficial jovem nos taludes de corte e nas áreas de aterro com o solo de alteração; ✓ Evitar a execução de aterros e, no caso de cortes, dispor adequadamente o material excedente; ✓ Evitar o emprego do material de alteração micáceo na realização de aterros e compactação de valas. ✓ Recomenda-se que grandes áreas aterradas sejam realizadas mediante a técnica de confinamento. ✓ Implantar, imediatamente após a qualquer intervenção realizada no solo de alteração, sistema de drenagem e de proteção superficial.	

Compartimentos	Características gerais	Problemas esperados	Medidas/recomendações para parcelamento e uso do solo	Fotos
Morrotes e morros baixos com rochas graníticas.	Terrenos ondulados com amplitudes entre 20 e 90 m e declividades entre 20 a 30%. As vertentes são convexas a retilíneas. Observam-se topos alongados, porém nos morrotes são mais amplos e nos morros baixos mais estreitos. O solo de alteração é de constituição areno-siltosa ou argilo-siltosa, com espessura variável, porém mais espesso nos topos de morros. Possibilidade de presença de blocos rochosos e matacões imersos no solo saprolítico ou em superfície.	Os solos de alteração são, em geral, suscetíveis à erosão em sulcos e ravinas ao longo das vertentes, em especial nos taludes de corte. Podem ocorrer problemas na execução dos trabalhos de terraplenagem, abertura de valas, fundações e estruturas enterradas, condicionados pela presença de matacões. Possibilidade de queda de blocos em taludes de corte e em encostas ocasionada pelo descalçamento e pela erosão do material terroso envolvente.	✓ Proteger o solo superficial jovem nos taludes de corte e nas áreas com o solo de alteração exposto contra processos erosivos. ✓ Implantar imediatamente após qualquer intervenção no solo de alteração, sistema de drenagem e de proteção superficial. ✓ Evitar lançamento concentrado e não dissipado de águas servidas e de chuva e obras que provoquem a saturação do solo. ✓ Conceber e planejar intervenções e projetos de parcelamento considerando a frequência e a localização dos matacões.	

Compartimentos	Características gerais	Problemas esperados	Medidas/recomendações para parcelamento e uso do solo	Fotos
Morrotes e morros baixos com micaxistos	Terrenos ondulados com amplitudes que variam entre 20 e 90 m e declividades que variam de 20 a 30%. As vertentes são predominantemente convexas a retilíneas. A alteração dos micaxistos caracteriza-se por material fino silteoso, com características estruturais foliares. As descontinuidades (planos de acamamento, foliações e xistosidades) conferem à unidade um comportamento peculiar, condicionado pela presença e frequência de tais estruturas no maciço.	Alta suscetibilidade a processos erosivos nas áreas expostas condicionada pelo sentido das foliações; Possibilidade de ocorrência de deslizamentos em taludes/encostas quando a posição da foliação da rocha é desfavorável em relação à superfície de corte, podendo ser em cunha ou translacionais (planares). Problemas de instabilidade, condicionados pelo desconfinamento das estruturas do maciço. Material pouco adequado para aterro, materiais silteosos micáceos e de difícil compactação. Processos erosivos hídricos em corte e, especialmente em aterros. Escorregamentos em taludes/encostas, em especial, na condição saturada ou na presença de surgência d'água.	✓ Proteger o solo superficial jovem nos taludes de corte e nas áreas com o solo de alteração exposto. ✓ Evitar a execução de aterros e no caso de cortes dispor adequadamente o material excedente. ✓ Conceber e planejar intervenções e projetos de parcelamento, para efeito de estabilidade, condicionados a orientação dos planos de fraqueza (fraturas, foliações, etc.). ✓ Evitar o emprego do material de alteração micáceo na realização de aterros e compactação de valas. ✓ Nos casos em que for possível a utilização do solo de alteração, adotar critérios rígidos de compactação, drenagem e proteção superficial; ✓ Implantar, imediatamente após a qualquer intervenção realizada no solo de alteração, sistema de drenagem e de proteção superficial. ✓ Evitar lançamento concentrado e não dissipado de águas servidas e de chuva e obras que provoquem a saturação do solo.	

Compartimentos	Características gerais	Problemas esperados	Medidas/recomendações para parcelamento e uso do solo	Fotos
Morros altos com granito	Terrenos fortemente ondulados com amplitudes acima de 90 m e declividade superior a 30%. Material com predominância de fração média a grossa. O perfil de alteração é caracterizado por um material silto arenoso, podendo apresentar fragmentos de rocha.	São áreas com setores desfavoráveis à ocupação. As cabeceiras de drenagem, as vertentes dos vales e as vertentes com alta declividade são potencialmente instáveis, podendo ocorrer deslizamentos, queda de blocos e forte erosão hídrica. Possibilidade de problemas relacionados à escavação e cravação de estacas.	✓ As porções que eventualmente sofrerem intervenções devem ser cercadas de critérios técnicos rigorosos, a fim de evitar processos de instabilização de massa. ✓ Implantar, imediatamente após qualquer intervenção, no solo de alteração, sistema de drenagem e de proteção superficial. ✓ Conceber e planejar intervenções e projetos de parcelamento considerando a frequência e localização dos matacões. ✓ Adotar lotes com a maior dimensão (testada) paralela às curvas de nível.	
Morro alto com migmatitos e micaxistos	Terrenos fortemente ondulados caracterizados por amplitudes acima de 90 m e declividade acima de 30%. Topos estreitos e alongados e vales fechados. Nos xistos, a granulometria é predominantemente fina a média, com foliação bem desenvolvida e a composição varia de xistosa, micácea a quartzosa. Nos migmatitos é mais comum solos de alteração silto-arenosos e solos superficiais argilo-arenosos. Podem ocorrer matacões imersos em ambos os solos oriundos do migmatito. Tanto o maciço rochoso como o solo de alteração, possuem características estruturais foliares.	Em geral, são áreas de alta declividade desfavoráveis à ocupação. Problemas graves de erosão e instabilidade em aterros. Devido à constituição siltosa micácea do solo de alteração, não são recomendáveis para compactação de aterros. Desconfinamento das estruturas do maciço e a presença de descontinuidades condicionam processos de instabilização. Escorregamentos em taludes, em especial, na condição saturada ou na presença de surgência d'água.	✓ As porções que eventualmente podem ser ocupadas são os topos de morros, no entanto as amplitudes e declividades das encostas dificultam o acesso a essas áreas. O parcelamento do solo nessas áreas apenas deve ocorrer em situações particulares com adequado controle técnico de projeto e implantação. ✓ Proteger o solo superficial jovem nos taludes de corte e nas áreas com o solo de alteração exposto; ✓ Evitar a execução de aterros e no caso de cortes dispor adequadamente o material excedente; ✓ Conceber e planejar intervenções e projetos de parcelamento, para efeito de estabilidade, condicionados à orientação dos planos de fraqueza, considerando a frequência e localização de matacões, no caso de solos de migmatitos; ✓ Evitar o emprego do material de alteração micáceo na realização de aterros e compactação de valas. ✓ Nos casos em que for possível a utilização do solo de alteração, adotar critérios rígidos de compactação, drenagem e proteção superficial; ✓ Implantar, imediatamente após a qualquer intervenção realizada no solo de alteração, sistema de drenagem e de proteção superficial.	

Compartimentos	Características gerais	Problemas esperados	Medidas/recomendações para parcelamento e uso do solo	Fotos
Escarpas	Nas escarpas, as amplitudes são superiores a 100m com declividade em torno de 60%. Presentes em Santo André, essas unidades são caracterizadas por filitos e/ou metassiltitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada de composição variável. O solo de alteração caracteriza-se por uma matriz argilo silto arenosa.	Principais processos geodinâmicos envolvidos relacionam-se com a pluviosidade e a declividade da região, somente nas áreas sem cobertura vegetal. Forte entalhe erosivo das vertentes. Alta suscetibilidade a deslizamentos e quedas de blocos com possibilidade, localmente, de corridas.	✓ Não se recomenda o parcelamento do solo nessas áreas. No caso de algum tipo de intervenção, necessariamente condicionada a rigoroso controle técnico, deve ser considerada a suscetibilidade aos processos geodinâmicos, a fragilidade ambiental e os serviços ecossistêmicos.	

4.1.3 Formas de relevo

Apresentam-se aqui os métodos simplificados e os resultados obtidos na geração de mapas de declividade e de vertentes côncavas em ambiente SIG, na escala 1:10.000, que compuseram os produtos de representação das variáveis geomorfológicas empregadas para a construção das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização do município.

4.1.3.1 Mapa de declividade - Procedimentos metodológicos

O mapa temático de declividade predominante representa o grau de inclinação da vertente tendo como base a relação a variação horizontal a superfície. O resultado na manipulação numérica do Modelo Digital de Terreno (MDT) ou de base vetorial planialtimétrica.

O levantamento realizado para a área de estudo do Município de Santo André, teve como principal base de dado espacial curvas de nível e ponto cotados obtidos por sondagem a laser, com intervalos de 1 metro.

Para a modelagem e geração dos produtos de declividade foi utilizado o software em sistema de informação geográfica (SIG) ArcGis. O programa disponibiliza um conjunto de ferramentas para modelagem e representação digital da superfície. Para as áreas de estudo produzimos um mapa tematizados, considerando a compartimentação do dado em quatro classes de declividade predominante, conforme Tabela 6:

Tabela 6. Intervalos de declividade.

Declividade Predominante (%)	
I	< 15
II	15 - 30
III	30 - 48
IV	> 48

Esse intervalo de declividade foi definido com base em testes e validações em campo, tendo como referência a Lei Federal 6766/79, que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Em seu Art. 3º, estabelece que:

“Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definida pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal (...) em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes”.

Para a construção do produto final, foram consideradas áreas de representação mínima de 2.500m², Figura 2. Os resultados foram checados em campo, com o auxílio de mapa de relevo sombreado e do software Google Earth, com avaliação de trechos específicos do relevo para validação do produto de Santo André (Figuras 3 e Foto 5).

Figura 2. Mapa de declividade



Figura 3. Trecho do mapa de declividade para validação em campo - Rua dos Missionários, Jardim Santo André



Foto 5. Área com alta declividade - Rua dos Missionários, Jardim Santo André

4.1.3.2 Mapa de vertentes côncavas - Procedimentos metodológicos

A modelagem de geometria das encostas é um instrumento que auxilia na interpretação e compreensão dos processos erosivos, de movimentos de massas e hidrológicos (naturais ou antrópicos) atuantes nas orientações das vertentes. As geometrias de encostas indicam os direcionamentos de fluxos em caminhos preferenciais de acordo com a sua orientação e são sintetizadas em três categorias: côncavos, convexos e retilíneos.

As encostas de morfologia côncava são objetos de estudos desse trabalho, pois são zonas de convergência dos fluxos d'águas que fluem em direção aos eixos de drenagem da bacia (GUERRA, 2001).

O mapa de relevo côncavo foi elaborado com a utilização do software de plataforma livre QGIS e o módulo GRASS, utilizando o arquivo de pontos gerados a partir das curvas de níveis disponibilizadas pelo município. O processamento consiste na interpolação dos pontos e na definição de parâmetros de tensão e análise de pontos que irão definir a escala de análise do processamento para a criação de modelos topográficos e de curvatura.

Ao final do processamento, os arquivos foram convertidos em vetores para que fossem utilizados no processamento final da Carta de Aptidão à Urbanização.

As concavidades estão representadas em dois intervalos: o intervalo I, indicando as concavidades mais acentuadas, está representado pela cor vermelha; o intervalo II, de cor laranja, representa as menos acentuadas. Esta diferenciação foi utilizada para analisar os resultados com maior precisão durante as validações em campo, facilitando possíveis correções. Foram admitidos os valores inferiores a -0,004 como representativo das formas de vertente côncavas, os resultados podem ser observados na Figura 4.

Figura 4. Mapa de vertente Côncava

Os produtos gerados foram validados em campo, assim como os produtos de declividade do Município de Santo André (Figura 5 e Foto 6).



Figura 5. Trecho selecionado para validação da concavidade - Rua dos Missionários, Jd. Santo André



Foto 6. Área selecionada para validação da concavidade - Rua dos Missionários, Jd. Santo André

4.1.4 Recomendações gerais

Do ponto de vista do comportamento geotécnico dos materiais analisados, é possível indicar algumas recomendações gerais que devem contribuir para as intervenções de engenharia quanto para o parcelamento do solo de futuros loteamentos. Recomenda-se:

- garantir a desocupação das cabeceiras e linhas de drenagem natural, preferencialmente utilizá-las como áreas verdes;
- evitar movimentos de terra próximos às drenagens naturais;
- implantar os novos loteamentos por sub-bacias de drenagem e sempre de jusante para montante;
- os trabalhos de terraplenagem devem ser realizados simultaneamente com as obras de drenagem e de proteção superficial;
- instalar um adequado e eficiente sistema de captação e drenagem de águas pluviais;
- projetar estruturas de dissipação nos locais de lançamento de águas pluviais;
- evitar a execução das obras de terra e de implantação do sistema de drenagem nos períodos chuvosos, além de garantir que as redes de drenagem estejam desobstruídas/desassoreadas;
- no traçado viário, privilegiar o traçado das vias principais paralelamente às curvas de nível e evitar ruas longas situadas perpendicularmente às curvas de nível;
- adotar lotes com a maior dimensão paralela às curvas de nível;
- os lotes vazios devem ser mantidos com cobertura vegetal.
- liberar as construções nos loteamentos, após toda infraestrutura urbana instalada (arruamento, pavimentação e drenagem) é importante ressaltar que, a demarcação dos lotes deverá ser realizada sem a remoção da vegetação ou solo superficial e todas as ruas e calçadas deverão ser pavimentadas;
- preferencialmente adaptar o projeto à topografia;

- não ocupar área de 30 metros de largura mínima na base nem na crista de encostas de alta declividade;
- áreas com declividade superior a 25° (46,6%) são áreas não edificantes e deverão ser protegidas ambientalmente;
- áreas com declividade inferior a 25° (46,6%) deverão ser liberadas para intervenções urbanas pontuais ou regulares (loteamentos) mediante estudos geotécnicos prévios e criteriosos (compatíveis, portanto, com os empreendimentos e/ou as intervenções previstas);
- evitar corte e, em especial, aterros com os materiais inconsolidados jovens (solos residuais jovens, em especial solos siltosos). No caso de aterros em terrenos de solos siltosos, preferencialmente, optar pela troca de material e, quando não for possível, adotar aterros confinados;
- evitar cortes que eliminem camadas superficiais protetoras ou que desconfinem o material, além de cortes que permitem a ação das intempéries;
- em áreas de planícies ou baixadas, atentar para projetos adequados de fundações, evitar escavações sem contenção apropriada e rebaixamento não controlado do lençol freático;
- evitar: eliminação da cobertura vegetal, cortes instabilizadores, lançamento de lixo/entulho ou material de bota-fora, aterro construído sem controle e com material local (solo siltoso jovem), lançamento concentrado e não dissipado de águas servidas e de chuva e obras que provoquem a saturação do solo;
- não instalar fossas de infiltração;
- recomenda-se que grandes áreas aterradas sejam realizadas mediante a técnica de confinamento. Por exemplo: “terra armada”.

Por fim, vale salientar que, as modificações hidrológicas, hidrogeológicas e morfológicas, em particular as provenientes do uso e ocupação do solo, retratadas, por exemplo, por cortes e, em especial, aterros (no caso de materiais micáceos) para implantação de moradias, são na maioria das vezes, as principais causas dos processos de instabilização.

4.2 ASPECTOS HIDRÁULICOS E DE INUNDAÇÕES

A análise da aptidão à urbanização, no que tange à propensão das áreas à ocorrência de inundações, é parte importante do planejamento e gerenciamento da expansão urbana. A experiência mostra que a urbanização das bacias hidrográficas, geralmente associada à retificação e canalização dos cursos d'água e à ocupação dos fundos de vale, tem consequências significativas no ciclo hidrológico local e na formação de cheias. Não apenas a ocupação dos leitos e várzeas dos rios contribui para a exposição humana às enchentes, mas também a frequência e a severidade das cheias são alteradas pelo processo de ocupação urbana das bacias hidrográficas. Isso ocorre, em especial, nas regiões de alta densidade de cursos d'água perenes, como é o caso da Região Metropolitana de São Paulo.

Nas áreas ainda livres de ocupação urbana, onde se prevê um cenário futuro de urbanização, é fundamental que o risco de inundações seja considerado. Além da restrição de ocupação nas áreas de inundação natural, é igualmente necessário o controle do incremento das cheias em decorrência da supressão das parcelas de infiltração e retenção do ciclo hidrológico, devido à impermeabilização das áreas. Políticas de compensação adequadas podem ser planejadas quando se tem o conhecimento dos processos, tais como as medidas de impacto hidrológico zero, onde a regulamentação dos loteamentos preveja a compensação do incremento de vazão por meio de medidas compensatórias de infiltração e retenção.

Para a implementação de políticas públicas de urbanização planejada das bacias hidrográficas, é necessário um estudo prévio que relacione o risco de transbordamento dos canais com o tempo de recorrência da cheia correspondente, considerando o cenário futuro de ocupação urbana da bacia.

Para IPT, CPRM (2013), o mapeamento de processos hidrodinâmicos possui duas abordagens básicas. A primeira, comumente utilizada pela engenharia, consiste em modelagem hidráulico-hidrológica para simular vazões e o nível das cheias. Os modelos hidrológicos, denominados de chuva-vazão, possibilitam estudar o processo de formação do escoamento superficial e das vazões nos canais dos corpos hídricos para determinada chuva, buscando representar os processos hidrológicos da bacia hidrográfica. Os modelos hidráulicos utilizam as vazões

estimadas por meio da modelagem hidrológica, para simular os processos de formação de cheias e extravasamento dos rios. Buscam avaliar o desenvolvimento das cotas de elevação do nível d'água em diferentes pontos da rede de drenagem e, assim, identificar áreas com potencial de inundação (GRACIOSA, 2010). A segunda abordagem é de caráter descritivo-qualitativo e baseia-se na interação de múltiplas características de um determinado ambiente, como a conformação do relevo (altimetria e declividade), a proximidade horizontal e vertical ao curso d'água, e a influência da vegetação para, assim, determinar sua interação com os processos hidrodinâmicos.

As duas abordagens foram utilizadas no mapeamento das zonas úmidas para áreas distintas de Santo André. As manchas resultantes da modelagem hidráulico-hidrológico, produzidas no Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê (PDMAT), foram associadas às manchas do modelo *HAND* e aplicadas à Zona de Reestruturação Urbana (eixo Tamanduateí) do município. A abordagem descritivo-qualitativa foi aplicada para o restante da área de estudo, que compreende a Macrozona de Proteção Ambiental e Zona de Recuperação Urbana⁵.

Nas áreas de urbanização consolidada, é necessário realizar estudos de retro análise que possibilitem identificar as áreas de risco de inundações e avaliar o impacto da urbanização na ocorrência das cheias, de modo a proporcionar dados concretos aos tomadores de decisão que possibilitem a adoção de políticas públicas de proteção ou remanejamento das áreas.

No escopo do presente projeto, o estudo da aptidão à urbanização, no que tange aos processos hidráulicos e de inundações nas cidade de Santo André, foi feito à luz de metodologias consolidadas de análise hidráulico-hidrológica, com o uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas que possibilitaram a integração dessa análise com as demais áreas de abrangência do projeto. Foram consideradas, para o município de Santo André, as metas e diretrizes estabelecidas pelo Plano Municipal de Macrodrenagem, bem como pelo Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê – PDMAT (DAEE, 2009), que contempla as bacias de maneira integrada e faz projeções para o cenário futuro, uma vez que a cidade de

⁵ O zoneamento referido tem origem no plano diretor estratégico do município de Santo André.

Santo André tem o seu regime de cheias afetado pelo manejo das águas pluviais que se faz nos municípios a montante.

4.2.1 Áreas de estudo, metodologias utilizadas e produtos gerados

A avaliação da aptidão à urbanização das áreas de interesse frente às inundações deve considerar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, ou seja, as áreas de estudo tiveram suas bacias estudadas como um todo nos casos das bacias integralmente inseridas no limite do município de estudo – Santo André. A bacia do rio Tamanduateí, por se estender para além da área do município de Santo André e apresentar urbanização consolidada ao longo de seu eixo, demandou metodologia própria para estudo de aptidão.

Análises de campo foram realizadas para subsidiar os estudos e validar os produtos de cada porção do território analisado. As áreas de interesse definidas para elaboração da carta de aptidão à urbanização neste município constituem três zonas distintas. Foram aplicadas diferentes metodologias, de acordo com as características e dados disponíveis de cada uma.

4.2.1.1 Zona de Reestruturação Urbana – ZRSU

A Zona de Reestruturação Urbana abrange áreas que estão hoje urbanizadas e que sofrerão algum tipo de mudança no uso e ocupação do solo no cenário futuro. Esta área compreende, basicamente, o Eixo do Rio Tamanduateí, que deverá passar por uma reformulação do atual uso.

Assim, foram definidas as unidades de aptidão considerando a integração das manchas de inundação produzidas pelo Plano Diretor de Macrodrenagem do Alto Tietê – PDMAT e do modelo HAND para a produção do mapa de zonas úmidas.

4.2.1.2 Zona de Recuperação Urbana – ZRCU

A Zona de Recuperação Urbana engloba terrenos atualmente desocupados ou que possuem ocupação incipiente ou precária e que deverão ser utilizados de acordo com os critérios de uso e ocupação do solo determinados pelo município. Incluem-se, nesta área, as cabeceiras dos córregos afluentes à margem esquerda

do Rio Tamanduateí, notadamente as bacias dos córregos Guarará, Cassaquera e Itrapoã.

Para a produção do mapa de zonas úmidas nessa área, foi utilizado o modelo HAND.

Complementarmente, foi realizada modelagem hidrológica-hidráulica das bacias a fim de avaliar o transbordamento dos córregos frente a eventos de chuva projetados. Para tanto, foram utilizados os dados de cadastro disponíveis no Plano Diretor de Drenagem do município de Santo André (SEMASA, 1998). Como resultado, também foram produzidas manchas de inundação mas, devido à escala de trabalho, estas manchas não serão utilizadas na análise da aptidão à urbanização, tendo sido considerado essencialmente as manchas de zonas úmidas produzidas pelo modelo HAND.

4.2.1.3 *Macrozona de Proteção Ambiental - MPA*

A Macrozona de Proteção Ambiental abrange toda a porção sul do município, que está localizada na bacia hidrográfica da represa Billings e contempla as bacias dos Rios Grande e Pequeno, além de outros pequenos córregos afluentes diretos da represa. Também está incluída nessa área a bacia do Rio Mogi, que flui para a Baixada Santista, em direção a Cubatão. Essa Macrozona inclui importantes áreas do município, como o Parque Andreense, Paranapiacaba e a área industrial da Solvay.

Da mesma forma que na ZRCU, para a produção do mapa de zonas úmidas foi utilizado o modelo HAND.

De forma adicional, foi feita a modelagem hidrológica para a determinação das vazões de projeto. Uma vez que não se dispõe do cadastro dos cursos d'água - o que inviabiliza a simulação hidráulica das linhas de inundação- a modelagem foi utilizada para definição de seções mínimas para referência em caso de urbanização.

4.2.2 *Mapeamento de zonas úmidas*

O termo “zona úmida” aqui utilizado indica a disponibilidade, a saturação e o acúmulo de água no solo (oriundas da mancha HAND e que se relaciona com a

profundidade do nível freático), associada com suscetibilidade aos processos de inundação (áreas de planície e manchas do PDMAT), incorporando as zonas ripárias (oriundas das faixas de APP), que, ocupadas ou não, afetam a dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, inclusive em períodos de estiagem. Considerando a hidrodinâmica e hidroecologia dessas zonas, para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (considerando os períodos de estiagem e inundação), em especial na Área de Proteção e Recuperação Mananciais - Billings, esses setores possuem função importante para a manutenção da quantidade e qualidade da água, pois funcionam como filtros para as águas pluviais e para o escoamento superficial e subsuperficial (TUNDISI & TUNDISI, 2010; LIU et al, 2013; WAAGE et al, 2011).

4.2.2.1 *Aplicação do PDMAT II*

O Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê foi desenvolvido em 1999, com vistas a diagnosticar os problemas existentes e os possíveis problemas futuros, e fazer recomendações técnico-econômicas e ambientais das soluções mais adequadas e convenientes, considerando as obras existentes, em construção e em fase de projeto. Para tanto, adotou-se o ano de 2020 como cenário para a realização das simulações hidrológicas e propor futuras intervenções, levando em consideração o uso do solo e as indicações estabelecidas nos planos diretores municipais. O PDMAT apresentou recomendações de intervenções, porém, não apontou um cronograma para sua implantação (DAEE, 2009).

Por mais que algumas propostas tenham sido realizadas, dez anos depois ainda havia consideráveis pontos de inundação na Região Metropolitana de São Paulo. Assim, fez-se necessária a permanência da política de contenção de cheias nas bacias contribuintes do rio Tietê e para isto, a atualização dos dados e revisão dos planos para as bacias de drenagem existentes. Foram revistos os planos de drenagem para as bacias do córrego Pirajuçara, do Médio Jaqueí, do rio Baquirivu Guaçu, do Ribeirão Vermelho e do Rio Tamanduateí, no âmbito do PDMAT II (DAEE, 2009).

Para o presente estudo, o PDMAT II identifica diferentes manchas de inundação que podem ser correlacionadas com a aptidão à urbanização. Foram utilizadas para a Zona de Reestruturação Urbana – Eixo Tamanduatei as duas

manchas existentes, que correspondem a chuvas observadas, com períodos de retorno próximos de 10 e 25 anos.

4.2.2.2 *Abordagem descritivo-qualitativa com uso do modelo HAND*

O modelo denominado HAND (*Height Above the Nearest Drainage* - Altura Acima da Drenagem Mais Próxima) consiste em processamentos de um Modelo Digital de Elevação, MDE, que é normalizado com referência à rede de drenagem relativa. Atribui-se a todos os cursos d'água o nível zero, recalculando a altura das demais células da topografia a partir do corpo hídrico mais próximo (RENNÓ et al, 2008) (NOBRE et al, 2011). Dessa forma, definem-se alturas que correspondem, não aos seus valores altimétricos absolutos, mas aos desníveis do terreno em relação ao rio mais próximo, possibilitando predizer a profundidade do lençol freático a partir da topografia digital. (SILVA et al. 2011). O modelo foi desenvolvido pela parceria de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e é indicado pelo Ministério das Cidades como ferramenta para identificação dos processos hidrodinâmicos nas Cartas Geotécnica de Aptidão à Urbanização (SOUZA & SOBREIRA, 2014).

A abrangência da mancha no modelo *HAND* depende da altura de elevação da água a partir do corpo hídrico que deverá ser arbitrada. Essa altura é responsável por definir a mancha que representará o processo de acúmulo de água na topografia normalizada. Assim, foi realizada uma validação por meio de fotointerpretação seguida de visitas de campo para observar evidências que possibilitaram estimar a altura de elevação adequada ao mapeamento dos processos. Podem-se citar como exemplos de tais evidências: marcas de inundações pretéritas, excesso de umidade nas paredes, muros e infraestruturas; leito maior e várzeas dos cursos d'água para identificar áreas suscetíveis ao acúmulo de água, pela conformidade da vegetação e do relevo, bem como pelas marcas de erosão e tipologia de mata ciliar. Nos locais com existência de ocupação, foram realizadas entrevistas não estruturadas com moradores para contribuir na definição da altura de elevação do nível da água. Os locais escolhidos para visita de campo levaram em conta os seguintes aspectos:

- Concentração de ocorrências de enchente, inundação, alagamento e registrados na defesa civil do município e localizados dentro da área de estudo⁶;
- Áreas de planícies/terraços delimitadas no mapa geológico-geomorfológico;
- As manchas obtidas pela modelagem *HAND*;
- Locais que, em conversa com técnicos das Prefeituras, foram indicados como áreas sensíveis aos processos de acúmulo de água.

Com os estudos de campo, definiu-se 3 m como a altura da elevação d'água que melhor representa a realidade topográfica e hidrológica da região. A Figura 6 a seguir apresenta as etapas simplificadas para a obtenção das manchas por meio do modelo *HAND*.

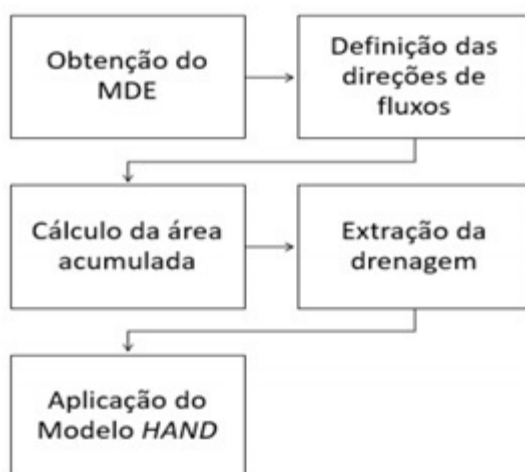


Figura 6. Fluxograma de obtenção HAND

Fonte: Adaptado de IPT, CPRM, 2013

É importante considerar as limitações envolvidas no emprego do método escolhido para a escala de mapeamento definida no escopo do projeto. O modelo de elevação utilizado foi um modelo digital de superfície e, por isso, apresentou distorções quanto à representação do terreno. Dessa forma, somou-se ao resultado do processamento a realização de atividades de validação em campo e assim obter a consolidação do produto final. Os resultados finais podem ser observados na Figuras 7.

⁶ As ocorrências da defesa civil se restringem a lugares com ocupação, o que corresponde a uma pequena parte da área de estudo. Os dados da Defesa Civil, portanto, serviram para validar as manchas apenas das áreas ocupadas e contribuir para o entendimento dos processos associados a ocupação.

Figura 7. Mapa de zonas úmidas

4.2.3 Modelagem hidrológica e hidráulica

A modelagem hidrológica, e quando possível a hidráulica, tem papéis importantes na identificação de problemas relacionados a processos hidrodinâmicos. Mesmo não tendo sido consideradas diretamente na análise de aptidão à urbanização, as modelagens podem trazer contribuições importantes para regulamentações e projetos futuros, como identificar uma taxa de permeabilidade mínima para novas urbanizações e seções mínimas para o caso de canalização de córregos.

A modelagem hidrológica tem como foco principal o cálculo de vazões produzidas por chuvas observadas ou por chuvas de projeto. A modelagem hidráulica tem como sua principal finalidade representar as alturas de água no caso de transbordamento de córregos, possibilitando assim a geração de manchas de inundação.

O cálculo das vazões foi feito por meio de simulação do processo de transformação chuva-vazão, para as chuvas de projeto referentes aos tempos de recorrência estudados: 10, 25 e 100 anos.

A literatura específica disponibiliza diversos modelos para a simulação do processo de transformação chuva-vazão. A escolha do modelo mais adequado a cada caso depende de fatores como o tamanho da bacia, a variabilidade espacial dos processos hidrológicos e os dados disponíveis. Deve-se priorizar o uso de modelos cujos parâmetros de entrada sejam condizentes com as informações disponíveis para a bacia hidrográfica de estudo, e cujos dados de saída sejam adequados às finalidades do projeto.

Dentre os modelos disponíveis para simulação hidrológica destaca-se o SCS, desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (1986), e amplamente aplicado para a simulação hidrológica em sub-bacias urbanas. O uso do modelo SCS justifica-se em virtude de:

- Simplicidade de parâmetros e de equacionamento;
- Possibilidade de aplicação em bacias com escassez de dados hidrológicos;
- Bom ajuste entre dados observados e simulados;

- Resultados adequados à escala de projeto e planejamento em drenagem urbana;
- Boa consolidação e ampla aceitabilidade no Brasil e no mundo; e
- Disponibilidade de aplicação na maioria dos softwares hidrológicos.

A aplicação do modelo SCS consiste de duas etapas: obtenção da precipitação efetiva e transformação chuva-vazão. A precipitação efetiva é resultado da precipitação total menos a parcela da chuva que fica retida nas depressões do solo ou que é infiltrada. A transformação chuva-vazão é o processo de simulação hidrológica que possibilita obter os hidrogramas resultantes da chuva de projeto. Neste estudo, a transformação chuva-vazão foi realizada por meio do método do hidrograma unitário do SCS.

O processamento da base cartográfica para simulação foi feito por meio de geoprocessamento, com o uso do software ArcMap 9.3, utilizando as bases cartográficas de curvas de nível, ortofoto, mapa de uso e ocupação do solo, hidrografia e limite das bacias (fornecidas pelo SEMASA).

Para a delimitação das sub-bacias, foram considerados pontos relevantes à modelagem hidrológica, como: confluência de rios, registro de ocorrência, existência de reservatórios de retenção. Para auxiliar a delimitação das sub-bacias compatíveis com a topografia, utilizaram-se as curvas de nível, o eixo viário e a ortofoto.

4.2.3.1 *Cenários Simulados*

Foram pensados dois cenários principais para as modelagens: um atual, identificando como se encontram as bacias estudadas, e um futuro, pensando na característica da carta de aptidão à urbanização, considerando o processo de urbanização que poderá ocorrer. Para os cenários futuros, o que essencialmente muda é a taxa de impermeabilização de cada sub-bacia, sendo refletida diretamente no parâmetro CN, descrito na próxima seção. Dessa forma, os cenários futuros tentam identificar essa mudança. Na ZRCU, em Santo André, por se tratar de áreas já relativamente ocupadas e pela pressão existente, o cenário futuro é uma situação em que toda a bacia se encontra urbanizada. Já para a MPA, o cenário futuro será baseado na própria aptidão à urbanização indicada pela carta: áreas aptas serão

consideradas como urbanizadas, áreas aptas com restrições como parcialmente urbanizadas ou com uma urbanização menos densa, e áreas inaptas com espaços abertos em médias condições.

4.2.3.2 Critérios de projeto

Determinação da precipitação efetiva e do Curve Number (CN)

A chuva excedente ou precipitação efetiva é a parcela da precipitação que se converte em escoamento superficial. Sua estimativa, no método SCS, é feita por meio do parâmetro “curve number” – CN, que varia de 0 a 100 e é tanto maior quanto menor a capacidade de infiltração do solo.

O parâmetro CN é expresso em função da permeabilidade do solo, da sua umidade anterior e do tipo de superfície. A permeabilidade é representada pelo tipo hidrológico do solo (FCTH, 1999; PORTO, 1995; TUCCI, 1993). A condição de umidade anterior do solo é expressa em três grupos: I, II e III, indo de solo seco a solo úmido, próximo da saturação (PORTO, 1995).

O grupo hidrológico do solo foi determinado segundo os critérios apresentados na publicação DAEE (1998): *“Análise geológica e caracterização dos solos na bacia do Alto Tietê para a avaliação do coeficiente de escoamento superficial”*. Para a bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí, foi adotado o solo de tipo hidrológico B. A condição anterior de umidade adotada para efeito de cálculo das vazões de projeto foi a Condição II – solo medianamente úmido.

A determinação do parâmetro *curve number* é usualmente feita por meio de tabelas que levam em conta o tipo de uso e ocupação do solo, a condição anterior de umidade e tipo de cobertura da superfície. Autores, como Porto (1995), Tucci (1993) e FCTH (1999) compilaram tabelas de CN adaptadas às condições brasileiras, para bacias urbanas e rurais, como mostra a Tabela 13 (FCTH, 1999).

Para a determinação dos CNs na ZRCU, em Santo André, no cenário atual, foi analisada a ortofoto e com base na cobertura observada e na Tabela 13, foi determinado um CN para cada sub-bacia. Já no cenário futuro para a mesma região, foi suposto a urbanização da bacia por completo. Para a MPA, no cenário atual, foi realizada uma análise do uso do solo e recobrimento, obtendo-se a média

ponderada dos CNs correspondentes às coberturas dentro da bacia. O procedimento para a obtenção dos CNs consistiu em compatibilizar as classes de uso (Tabela 7) para Santo André àquelas previstas pelo SCS e, assim, estimar os CNs adequados à realidade de uso do solo.

Tabela 7. Valores de CN em função da cobertura e tipo de solo, para a condição anterior de umidade média (tipo II).

Tipo de uso do solo/Tratamento		Grupo Hidrológico			
Condições hidrológicas		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho médio do lote	% impermeável				
até 500m ²	65	77	85	90	92
1000m ²	38	61	75	83	87
1500 ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		96	96	96	96
Ruas e estradas					
Pavimentadas, com guias e drenagem		96	96	96	96
Com cascalho		76	85	89	91
De terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos Industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques e jardins:					
Boas condições, cobertura de grama>75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama>50%		49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto: plantio em linha reta		77	86	91	94
Culturas em fileira					
linha reta	condições ruins	72	81	88	91
	boas	67	78	85	89
Curva de nível	condições ruins	70	79	84	88
	boas	65	75	82	86
Cultura de grãos					
linha reta	condições ruins	65	76	84	88
	boas	63	75	83	87
Curva de nível	condições ruins	63	74	82	85
	boas	61	73	81	84
Pasto:					
s/ curva de nível	condições ruins	68	79	86	89
	condições médias	49	69	79	84
	condições boas	39	61	74	80
curva de nível	condições ruins	47	67	81	88
	condições médias	25	59	75	83
	condições boas	6	35	70	79
Campos: Condições Boas		30	58	71	78
Florestas					
Condições ruins		45	66	77	83
Condições Boas		36	60	73	79
Condições médias		25	55	70	77

Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (1999).

A Tabela 8 apresenta as classes de uso do solo de Santo André compatibilizadas com as classes de Tucci (1993) para definição do CN. A análise de ortofoto fundamentou o enquadramento ao verificar por meio de imagem as características da cobertura dos terrenos.

Tabela 8. Classes de uso e ocupação do solo.

Classes de Uso e ocupação do solo (Tucci, 1993)
Área Urbanizada
Aterro Sanitário
Campo
Mata
Capoeira
Chácara
Equipamento Urbano
Espelho d'água
Favela
Hortifrutigranjeiro
Indústria
Loteamento Desocupado
Mineração
Movimento de Terra/Solo Exposto
Outro Uso
Reflorestamento
Reservatório de Retenção
Rodovia
Vegetação de Várzea

Fonte: Tucci (1993)

De forma parecida, para o cenário futuro na MPA foi feita a média ponderada dos CNs imaginados para as áreas aptas, aptas com restrições e inaptas, com base na porcentagem dessas em cada sub-bacia. Foi atribuído um CN de 90 para as favelas por serem áreas altamente impermeabilizadas e por não possuírem área verde (verificado por meio de ortofoto). As moradias são construídas em alvenaria em lotes pequenos e completamente ocupados (Tabela 9).

Tabela 9. Compatibilização das classes de uso de solo de Santo André com as classes de Tucci (1993).

Classes de uso e ocupação do solo	Utilização ou cobertura do solo segundo Tucci (1993)	Superfície	Grupo de Solos			
			A	B	C	D
Área Urbanizada	Zonas residenciais, lotes < 500 m ²	65% área impermeável	77	85	90	92
Aterro Sanitário	Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições	com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Campo	Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições	com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Mata	Florestas	Densas	26	52	62	69
Capoeira	Florestas	Normal	36	60	70	76
Chácara	Chácaras	Normais	56	75	86	91
Equipamento Urbano	Zonas residenciais, lotes < 500 m ²	65% área impermeável	77	85	90	92
Espelho d'água						
Favela	Zonas residenciais, lotes < 100 m ²	90% área impermeável		90		
Hortifrutigranjeiro	Chácaras	Normais	56	75	86	91
Industria	Zonas industriais	-	81	88	91	93
Loteamento Desocupado	Zonas residenciais, lotes < 500 m ²	65% área impermeável	77	85	90	92
Mineração	Terra	-	72	82	87	89
Mov_terra_solo_exposto	Terra	-	72	82	87	89
Outro uso	Chácaras	Normais	56	75	86	91
Reflorestamento	Florestas	Normal	36	60	70	76
Reservatório de retenção	x	x	x	x	x	x
Rodovia	Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	-	98	98	98	98
Vegetação de várzea	Densas, de alta transpiração	x	25	55	70	77

Chuvas de Projeto

Chuvas de projeto são chuvas críticas de referência utilizadas para obter as vazões de projeto no sistema de macrodrenagem, por meio de simulação hidrológica. Neste estudo, as chuvas de projeto foram obtidas com base nas curvas IDF, funções que relacionam a intensidade de chuva com a sua duração e frequência estatística de ocorrência, ou período de retorno (TR). O período de retorno é o tempo médio, em anos, em que um evento de precipitação é igualado ou superado.

As curvas IDF são obtidas estatisticamente, a partir de registros históricos de precipitação. A publicação *Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo* (Martinez e Magni, 2013) apresenta uma revisão das curvas idf existentes até a data de sua elaboração. Para este trabalho foram utilizadas duas equações IDF, a da cidade de São Paulo e a da cidade de Cubatão.

A equação IDF desenvolvida por Martinez e Magni (2013) para São Paulo está descrita na Equação (1) e a de Cubatão na Equação (2):

$$i_{t,T} = 39,3015(t + 20)^{-0,9228} + 10,1767(t + 20)^{-0,8764} \cdot \left[-0,4653 - 0,8407 \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (1)$$

$$i_{t,T} = 25,1025(t + 20)^{-0,7522} + 6,4266(t + 20)^{-0,7050} \cdot \left[-0,4772 - 0,9010 \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (2)$$

Em que:

i = intensidade de precipitação (mm/min)

t = duração da chuva, (min)

TR = período de retorno da chuva (anos)

Foi adotado o tempo de duração da chuva crítica $t = 2$ horas e períodos de retorno $TR = 10, 25$ e 100 anos.

Distribuição temporal da chuva de projeto

Para a obtenção do ietograma de projeto (gráfico de totais precipitados em intervalos parciais dentro da duração considerada) deve-se adotar uma distribuição temporal da precipitação ao longo da duração da chuva. A distribuição temporal da precipitação é um fator importante na elaboração da chuva de projeto, que afeta o tempo de pico. Neste estudo, a discretização temporal da chuva foi feita pelo método

de Huff, segundo distribuição de intensidade de 1º Quartil, utilizado para chuvas de curta duração e maior intensidade.

O letograma de projeto obtido aplicando a idf de São Paulo, o fator de correção k e a discretização de Huff – 1º Quartil está apresentado na Tabela 10 e Figura 8 a seguir.

Tabela 10. Hietograma de projeto para São Paulo

Chuvas de projeto								
Dist. Temp.	tempo					Correção espacial: fator k = 1		
HUFF	t	t	P TR10	P TR25	P TR100	P TR10	P TR25	P TR100
[% chuva]	[min]	[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0,13	10	0,17	9,55	11,24	13,74	9,55	11,24	13,74
0,27	20	0,33	19,79	23,30	28,49	19,79	23,30	28,49
0,21	30	0,50	15,02	17,68	21,61	15,02	17,68	21,61
0,12	40	0,67	8,39	9,87	12,07	8,39	9,87	12,07
0,07	50	0,83	5,13	6,04	7,38	5,13	6,04	7,38
0,05	60	1,00	3,83	4,51	5,51	3,83	4,51	5,51
0,05	70	1,17	3,32	3,91	4,78	3,32	3,91	4,78
0,03	80	1,33	2,02	2,38	2,90	2,02	2,38	2,90
0,02	90	1,50	1,74	2,04	2,50	1,74	2,04	2,50
0,02	100	1,67	1,73	2,04	2,50	1,73	2,04	2,50
0,02	110	1,83	1,17	1,38	1,68	1,17	1,38	1,68
0,01	120	2,00	0,57	0,67	0,82	0,57	0,67	0,82
1,00		Total	72,3	85,1	104,0	72,3	85,1	104,0

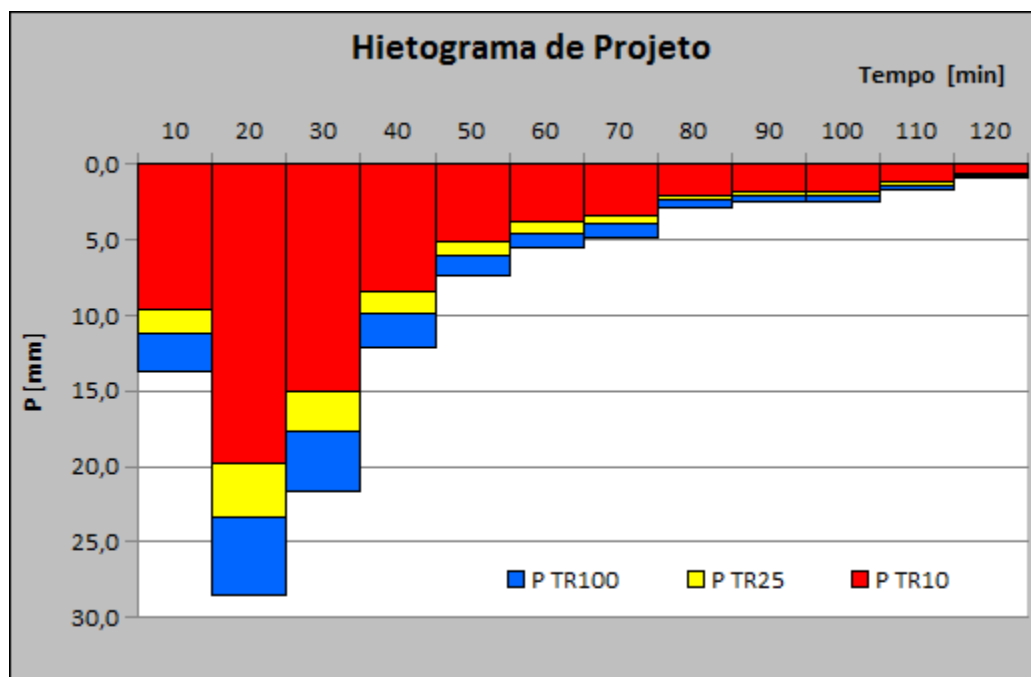


Figura 8. Hietograma de projeto para São Paulo

O hietograma de projeto obtido aplicando a idf de Cubatão, o fator de correção k e a discretização de Huff – 1º Quartil está apresentado na Tabela 11 e Figura 9 a seguir.

Tabela 11. Hietograma de projeto para Cubatão

Chuvas de projeto								
Dist. Temp.	tempo					Correção espacial: fator $k = 0,96$		
HUFF	t	t	P TR10	P TR25	P TR100	P TR10	P TR25	P TR100
[% chuva]	[min]	[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0,13	10	0,17	14,53	17,20	21,15	13,94	16,50	20,29
0,27	20	0,33	30,11	35,65	43,83	28,89	34,20	42,06
0,21	30	0,50	22,84	27,04	33,26	21,92	25,95	31,91
0,12	40	0,67	12,75	15,10	18,57	12,24	14,49	17,82
0,07	50	0,83	7,80	9,24	11,36	7,49	8,87	10,90
0,05	60	1,00	5,83	6,90	8,48	5,59	6,62	8,14
0,05	70	1,17	5,05	5,98	7,35	4,84	5,74	7,05
0,03	80	1,33	3,07	3,63	4,47	2,95	3,49	4,29
0,02	90	1,50	2,64	3,13	3,84	2,53	3,00	3,69
0,02	100	1,67	2,64	3,12	3,84	2,53	3,00	3,69
0,02	110	1,83	1,78	2,10	2,59	1,71	2,02	2,48
0,01	120	2,00	0,87	1,03	1,26	0,83	0,99	1,21
1,00		Total	14,53	130,1	160,0	105,5	124,9	153,5

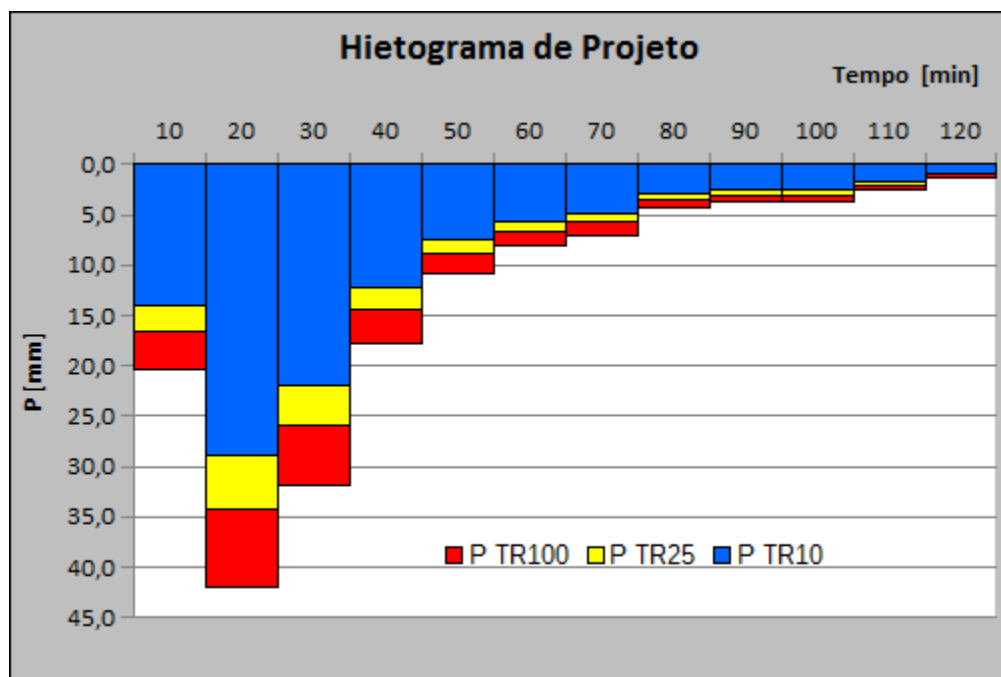


Figura 9. Hietograma de projeto para Cubatão

Hidrogramas de projeto

Uma vez determinada a chuva de projeto, procedeu-se à transformação chuva-vazão, para obtenção dos hidrogramas de projeto. Esta etapa foi desenvolvida por meio do método do hidrograma triangular unitário do SCS, que se baseia em dois princípios:

- Proporcionalidade entre o hidrograma gerado por uma chuva unitária e o hidrograma gerado pela chuva de projeto, e
- Superposição dos hidrogramas parciais de cada intervalo de tempo do ietograma para compor o hidrograma completo resultante da chuva de projeto.

4.2.4 Simulações hidrológicas e hidráulicas

4.2.4.1 Modelagem hidrológica - software e configuração

Para as simulações hidrológicas do presente estudo, foi utilizado o software HEC-HMS, da plataforma HEC (Hydrologic Engineering Center), que se constitui de um conjunto de softwares de gerenciamento de recursos hídricos, desenvolvida pelo

Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers - USACE).

O módulo HEC-HMS calcula a precipitação excedente e simula o processo chuva-vazão em sistemas de bacias e sub-bacias hidrográficas, dados a chuva de projeto, os parâmetros físicos da bacia e os parâmetros do modelo de simulação hidrológica selecionado.

Para a simulação hidrológica, a bacia hidrográfica é configurada em elementos característicos como: sub-bacias, trechos de canal, reservatórios e nós. Devem ser fornecidos ao modelo:

- Chuva de projeto;
- Chuvas observadas (se houver, para fins de calibração ou retro-análise);
- Vazões observadas (se houver, para fins de calibração);
- Parâmetros físicos das sub-bacias: área de drenagem, ponto de deságue;
- Parâmetros do modelo chuva-vazão SCS: curve number CN e *LAG time*;
- Parâmetros físicos dos trechos de canal;
- Parâmetros do modelo de propagação de cheia no canal; e
- Parâmetros dos reservatórios (se houver): curvas cota-área-volume ou estruturas de saída.

Para a simulação hidrológica, a bacia hidrográfica é configurada em elementos característicos, como sub-bacias, trechos de canal, reservatórios e nós. São fornecidos os parâmetros físicos de cada sub-bacia, como a área de drenagem e o exutório, além dos parâmetros do modelo escolhido para a transformação chuva-vazão. No caso do modelo SCS, devem ser informados a área de cada sub-bacia, o *curve number (CN)* e o *LAG time*, um parâmetro relacionado ao tempo de concentração.

Para os trechos de canal devem ser fornecidos os parâmetros físicos, como comprimento do trecho, declividade de fundo e geometria da seção transversal, bem como os parâmetros do modelo utilizado para a propagação da onda de cheia. Neste estudo, a propagação no canal foi feita pelo método de Muskingum, que

requer como parâmetros a constante de tempo de trânsito K (em horas) e o fator de ponderação X (adimensional) da influência relativa das vazões de entrada e saída do trecho no armazenamento promovido por este.

Resultados das modelagens

Os resultados das modelagens para o Município de Santo André podem ser observados nas Figuras 10 a 17. Serão apresentados: mapas com os nós das modelagens e as manchas de inundação produzidas.

As manchas de inundação não foram utilizadas na árvore de decisão devido à sua baixa representatividade dentro da área de estudo definida, mas podem apontar pontos críticos no sistema de drenagem, como locais que demandem prioridade nos planos preventivos e emergenciais.

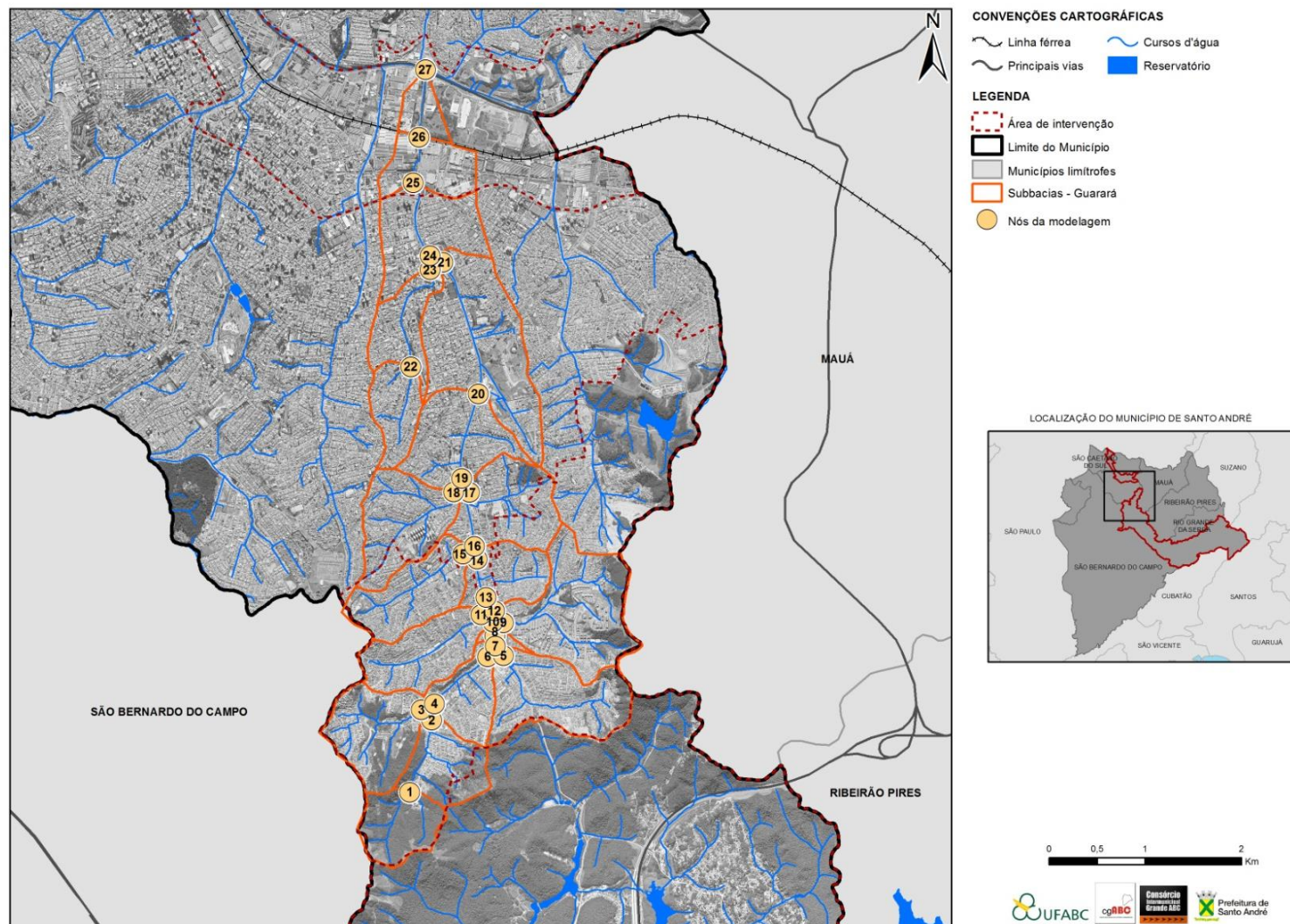


Figura 10. Modelagem hidrológica da Bacia do Córrego Guararã

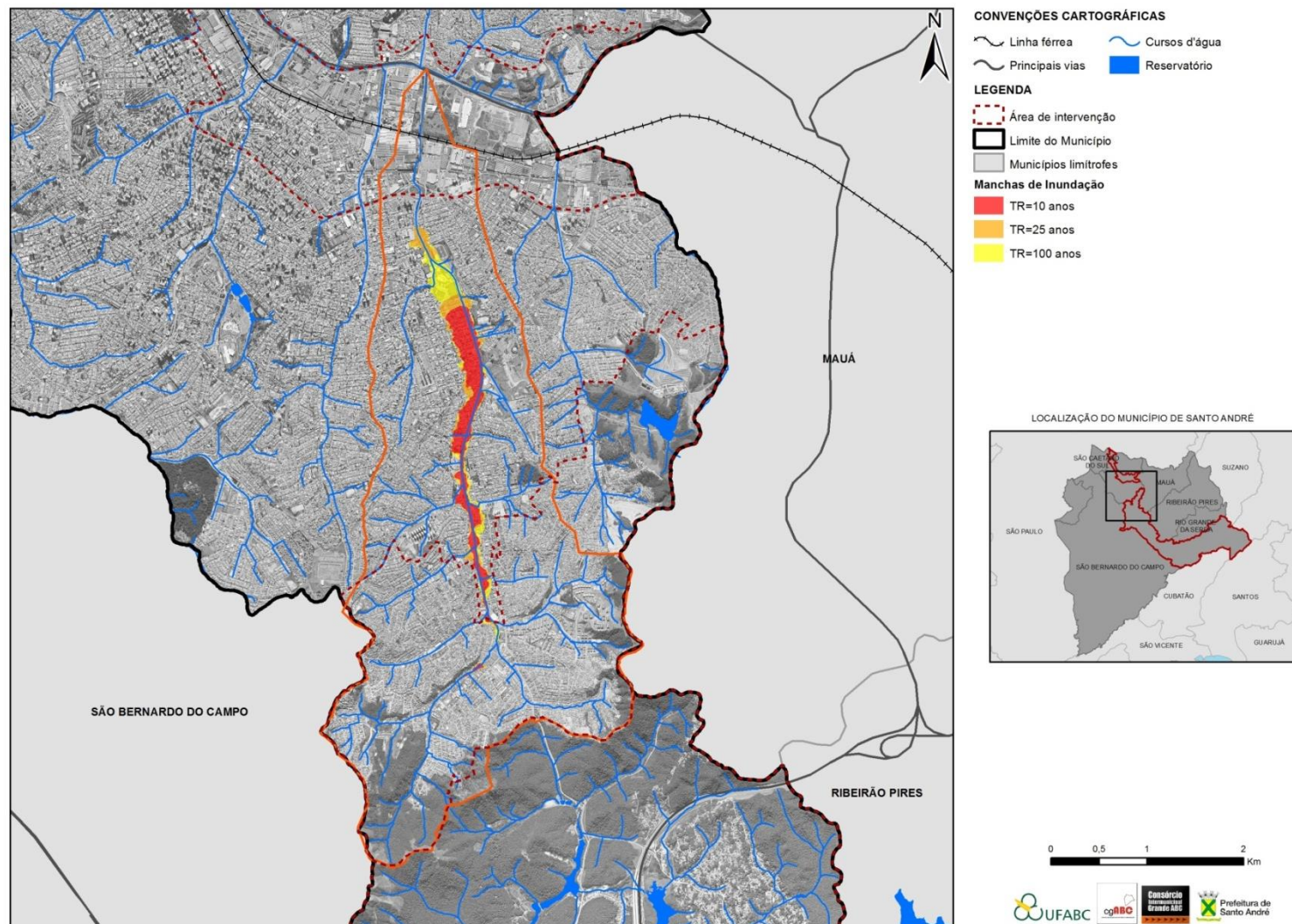


Figura 11. Manchas de inundação da Bacia do Córrego Guararã

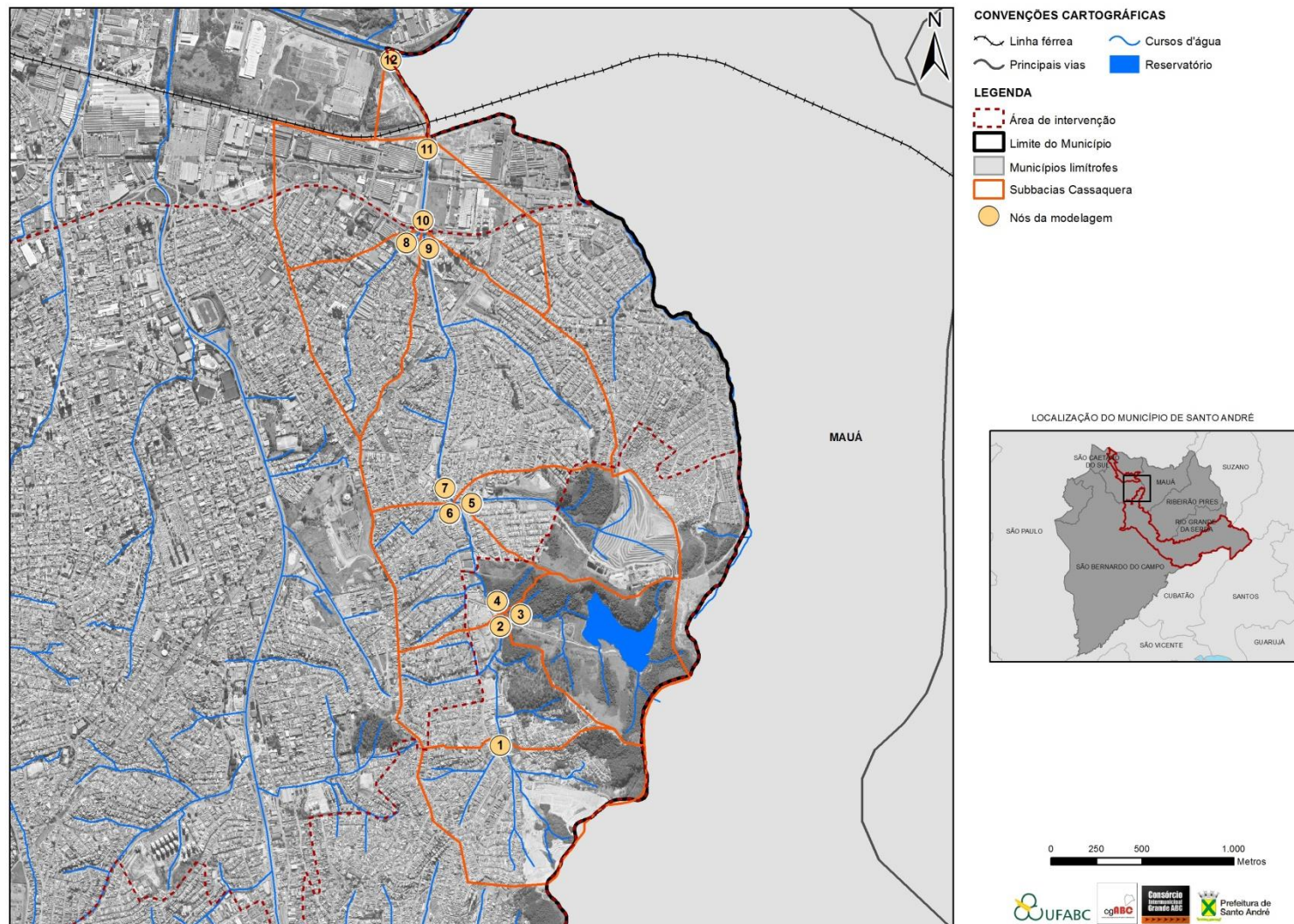


Figura 12. Modelagem hidrológica da Bacia do Córrego Cassaquera

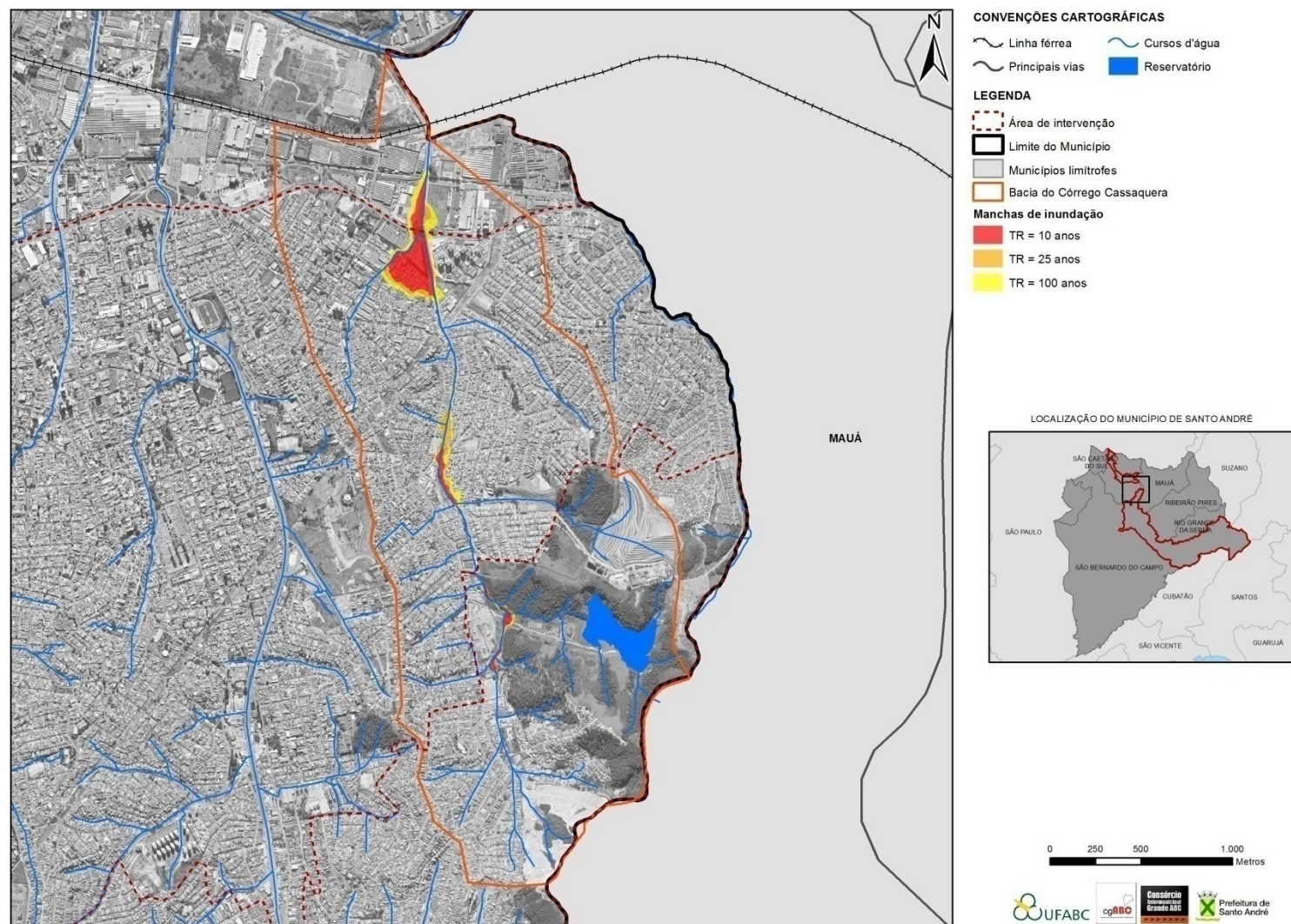


Figura 13. Manchas de inundação da Bacia do Córrego Cassaquera

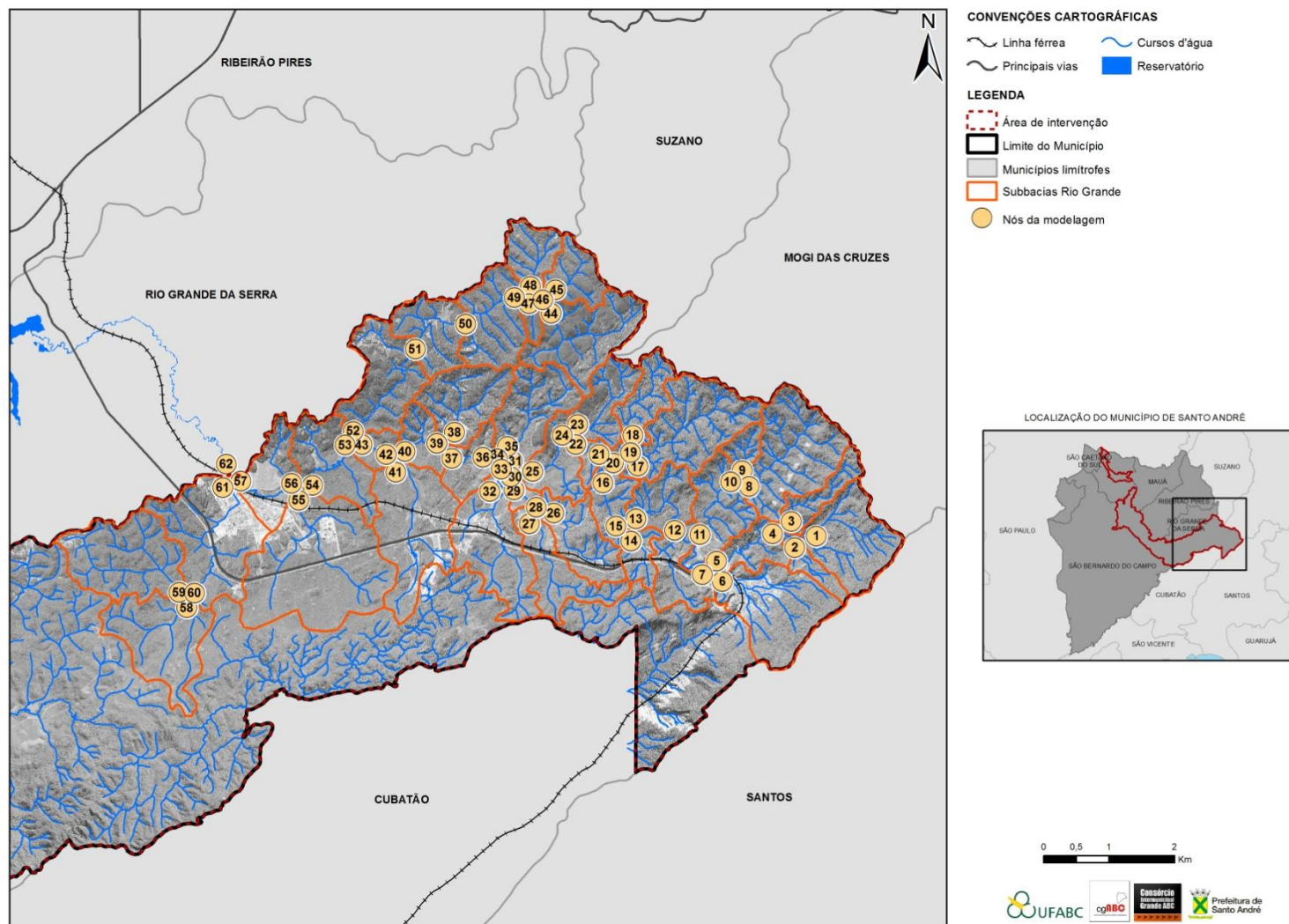


Figura 14. Modelagem hidrológica da Bacia do Rio Grande

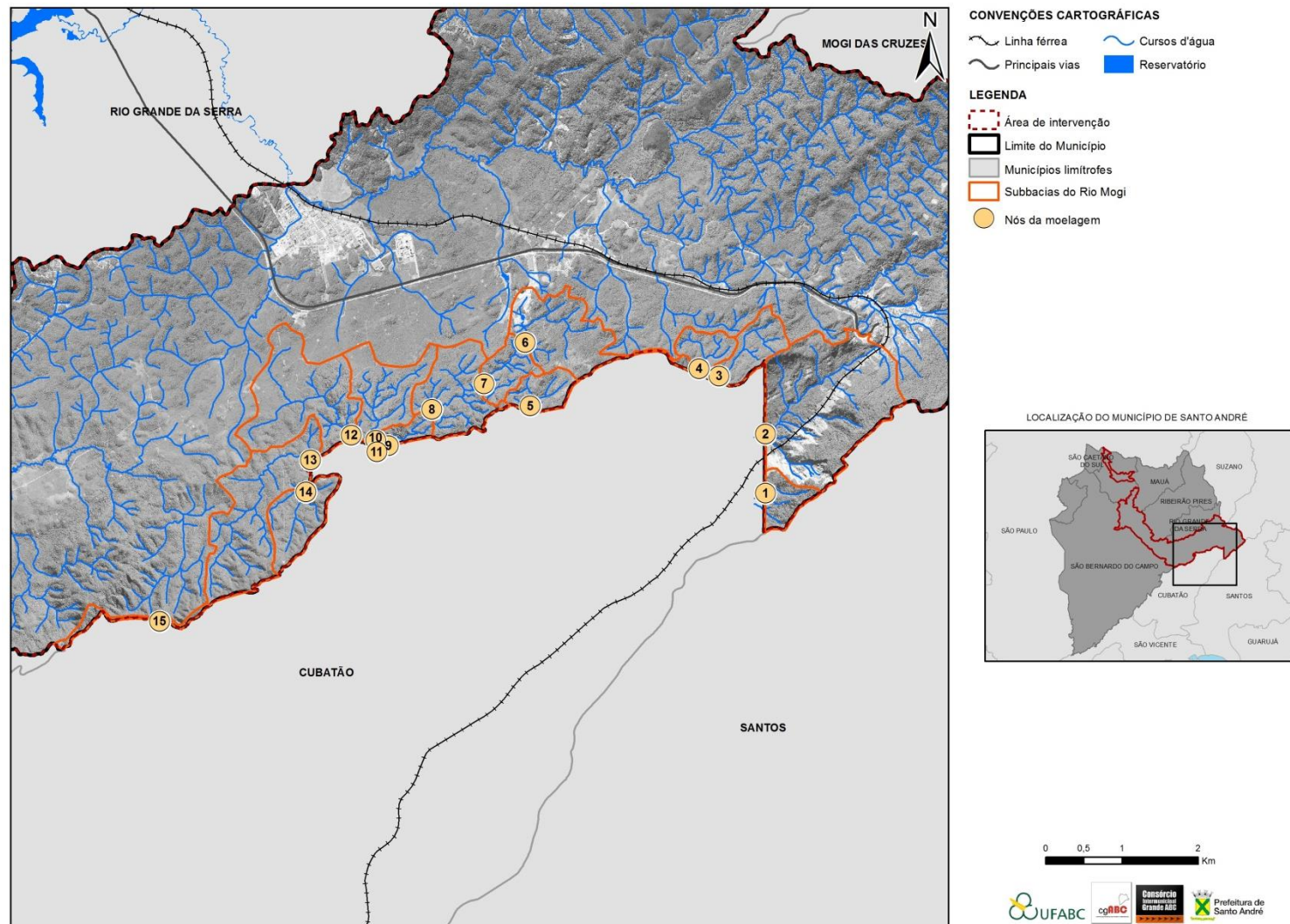


Figura 15. Modelagem hidrológica da Bacia do Rio Mogi

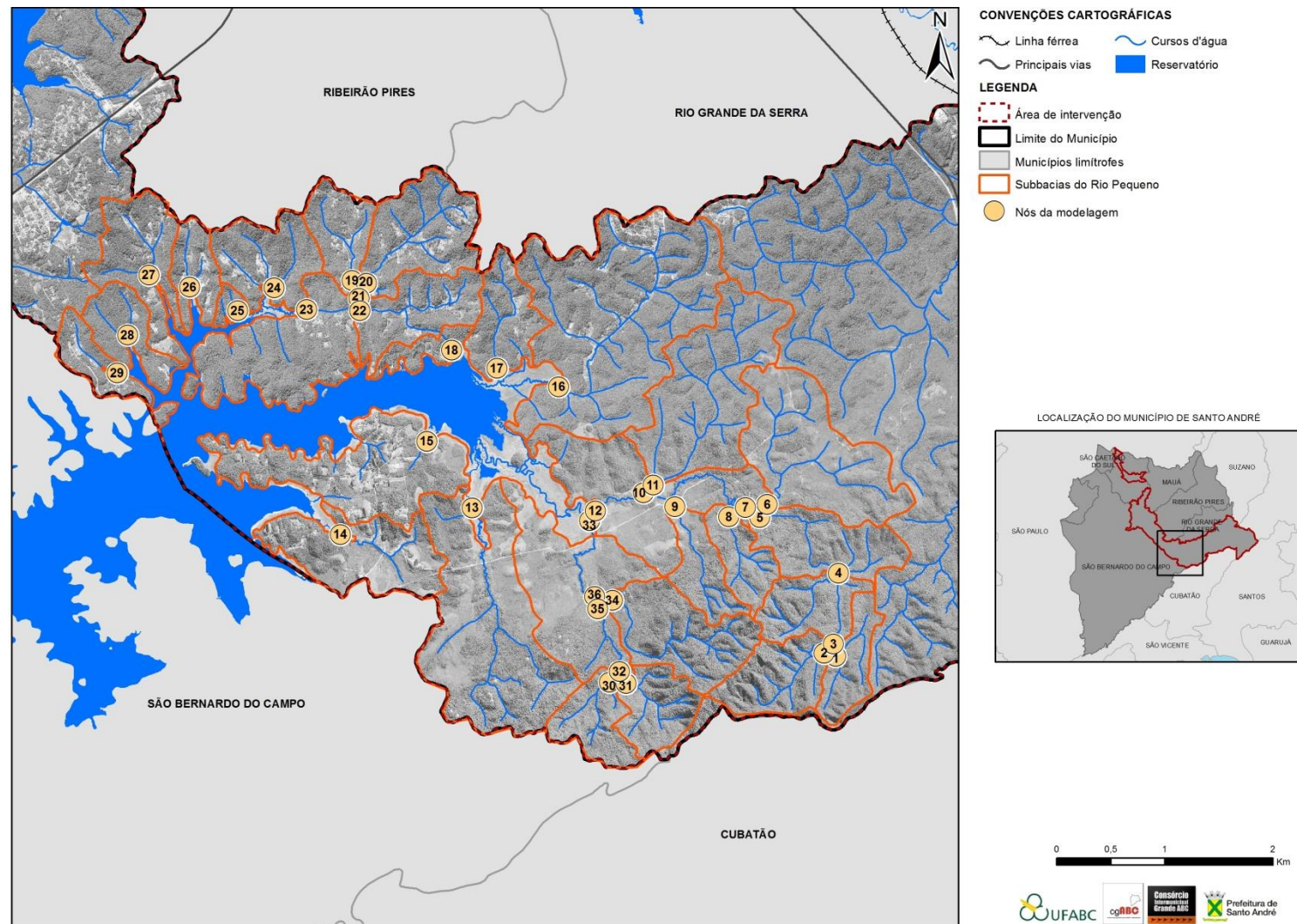


Figura 16. Modelagem hidrológica da Bacia do Rio Pequeno

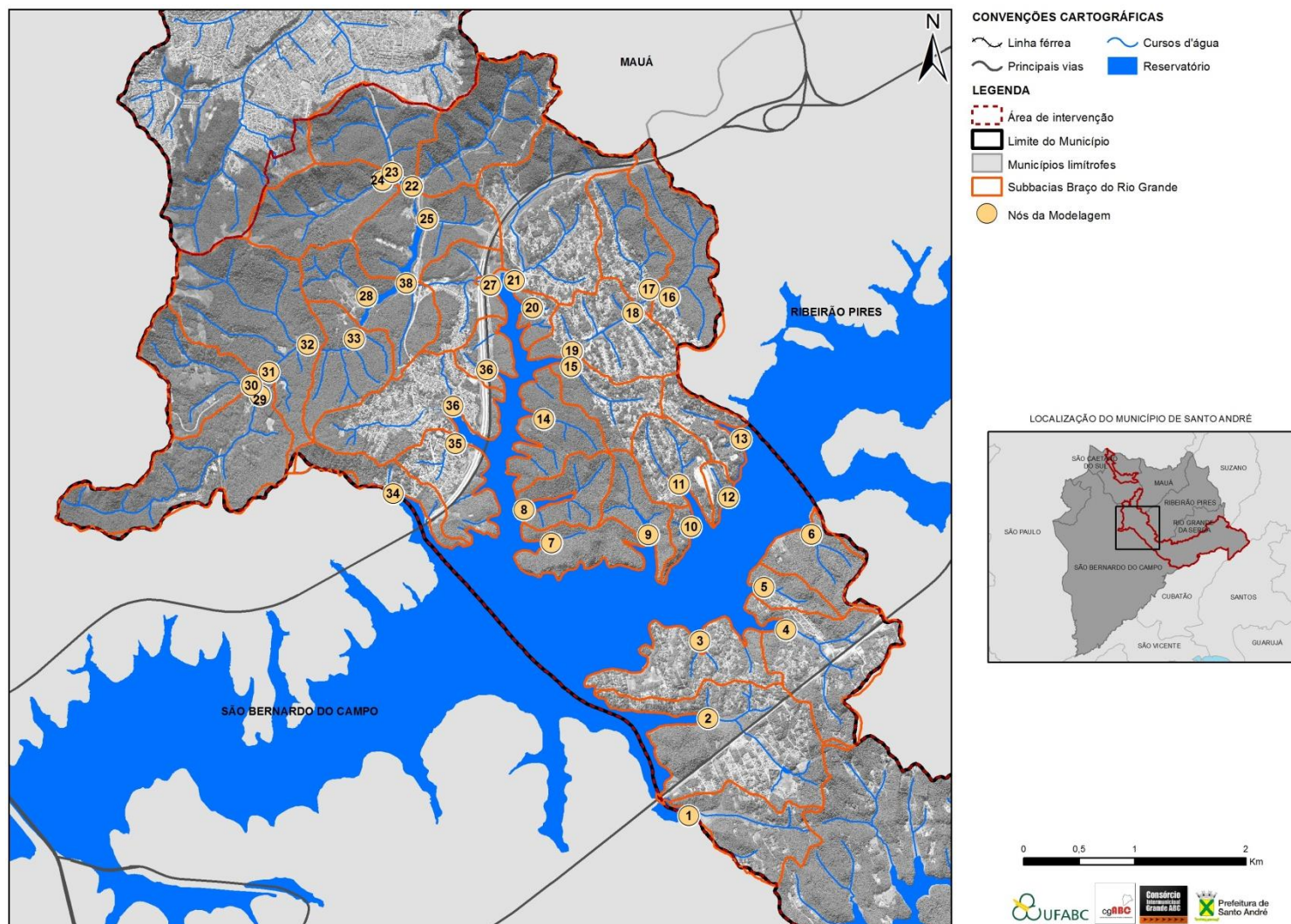


Figura 17. Modelagem hidrológica da Bacia do Braço do Rio Grande

4.2.4.2 *Modelagem hidráulica - software e configuração*

A modelagem hidráulica foi aplicada apenas na ZRCU, no município de Santo André, devido à falta de dados de cadastro dos cursos d'água nas demais áreas de estudo.

Existem basicamente dois tipos de modelos hidráulicos utilizados em drenagem urbana, que são os modelos de remanso e os hidrodinâmicos. Os modelos de remanso possibilitam obter a altura da lâmina d'água uma vez conhecidas a vazão de projeto nas seções de interesse, a geometria do canal (transversal e longitudinal), a rugosidade do canal e das várzeas (expressa em termos de coeficientes hidráulicos estimados de acordo com o modelo utilizado) e o nível d'água na seção inicial (para o escoamento subcrítico) e final (para o escoamento supercrítico) do trecho considerado. O estudo do escoamento em canais onde ocorrem variações bruscas das características hidráulicas, causadas por obstáculos diversos como mudança brusca de seção transversal, é feito com base nas equações de conservação da quantidade de movimento e equilíbrio de forças, como é o caso do ressalto hidráulico. Os modelos hidrodinâmicos são aplicados quando o regime de escoamento não é permanente, ou seja, as características do escoamento variam no tempo em cada seção. Eles possibilitam o estudo da passagem de uma onda de cheia pelo canal. Estes modelos diferem dos modelos hidrológicos de propagação de cheias em canais por incorporarem ao balanço de massa a equação de quantidade de movimento.

No presente estudo, foram utilizados modelos de remanso para a determinação das linhas d'água de inundação e projeção das áreas inundáveis. Para a simulação hidráulica, foi utilizado o software HEC-RAS, também do USACE, da plataforma HEC. O módulo RAS (River Analysis System) possibilita a simulação uni e bidimensional do escoamento em canais abertos, sob o regime permanente e não-permanente e também na condição de fundo móvel (transporte de sedimentos).

A interface gráfica permite a construção de projetos com um único trecho ou com uma rede de canais. São utilizadas informações topográficas das seções para descrever a geometria do canal.



O modelo utiliza, para as simulações, a geometria das seções do canal, a distância entre seções, a declividade e o tipo de revestimento, dados extraídos do cadastro dos cursos d'água. Para os córregos Guarará, Cassaquera, esses dados foram fornecidos pelo SEMASA no Plano Municipal de Drenagem de Santo André. Além disso, são necessárias as vazões de projetos obtidas na simulação hidrológica.

Para as simulações hidráulicas são consideradas as seções do cadastro, a distância entre as seções, o seu revestimento e respectivo coeficiente de Manning, e as vazões em cada seção. Como condição de contorno é indicada a declividade a jusante da última seção. O regime de escoamento utilizado foi o subcrítico. Os resultados estão disponíveis para consulta no Apêndice 1.

4.2.5 Cruzamento de informações para mapeamento das zonas úmidas

As zonas úmidas embasaram indicações de medidas e de estudos técnicos para consolidação dos terrenos já ocupados e para a urbanização de terrenos ainda não ocupados. Serviram como fundamento para definição das classes de aptidão à urbanização.

4.2.5.1 Zona de Reestruturação Urbana - Eixo Tamanduateí

Devido a existência de informações detalhadas quanto à inundação, as manchas do PDMAT II foram utilizadas no cruzamento para definição das aptidões na zona de reestruturação urbana. Para tal, foram consideradas:

- Manchas de inundação oriundas do PDMAT II para tempos de retorno (TR) de 10 anos e 25 anos;
- Manchas obtidas na modelagem *HAND* com elevação do corpo hídrico em três metros de altura; e
- Unidade Geomorfológica de planície e terraço.

4.2.5.2 Macrozona de Proteção Ambiental (MPA) e Zona de Recuperação Urbana (ZRU)

Para mapeamento das zonas úmidas da MPA e ZRU, considerou-se a associação entre a forma do relevo (geomorfologia planície/terraço), a proximidade

horizontal ao curso d'água (terrenos lindeiros) e a proximidade vertical ao nível de água com ocorrência de nível freático aflorante (*HAND*).

Tendo em vista a variedade de plataformas em que foi testado o modelo *HAND*, pode-se definir a metodologia e o software mais adequados para o mapeamento das áreas úmidas de ambos os municípios. Por apresentar um resultado mais satisfatório, após a validação com os dados de ocorrência fornecidos pela Defesa Civil, a ortofoto, o mapa de geomorfologia e as visitas de campo, constatou-se que o modelo desenvolvido dentro do ArcGis/ArcHidro, que foi cedido pela ANA (Agência Nacional de Águas), é o mais adequado para realizar a o processamento dos dados.

Com base nos estudos de IPT, CPRM (2014), UFRGS, CEPED-RS (2014), MOMO (2014) e Rennó et al. (2008), NOBRE et al (2011), SILVA et al (2011), e nas visitas de campo, as variáveis que compuseram o zoneamento foram:

- Manchas obtidas na modelagem *HAND* com elevação do corpo hídrico em 3 metros de altura;
- Unidade Geomorfológica de planície e terraço;
- Áreas de Proteção Permanente (APPs), representando as zonas ripárias - distância horizontal - ao longo dos corpos hídricos e no entorno de olhos d'água; e
- Tipologia de ocupação do solo (áreas ocupadas ou não ocupadas).

As planícies e terraços caracterizam-se por apresentarem baixas declividades e pequenas amplitudes. Há nessas unidades de relevo predisposição natural à ocorrência de processos de acúmulo de água. Portanto, foram consideradas no zoneamento como uma das variáveis do meio físico. Sua geologia é composta por sedimentos aluvionares e complexos colúvio-aluvionares.

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) por sua vez, devem conservar a vegetação ripária, que apresenta importância na dinâmica hidrológica e hidroecológica. Tal importância é discutida por autores, como BOHN et al (2014); MELLO (2014); TUNDISI (2003); TUCCI (2013). Para incorporar a variável na metodologia, definiu-se a faixa lateral de cada lado dos corpos d'água (30 ou 50 metros), em torno da represa Billings (50 metros) e das nascentes (50 metros), que

correspondem às APPs. Para isso foram gerados buffers dos corpos d'água, cujas larguras basearam-se na Lei 12.651/12 - Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012a).

A Figura 18 apresenta o esquema do cruzamento de informações para definição do zoneamento para as zonas úmidas.

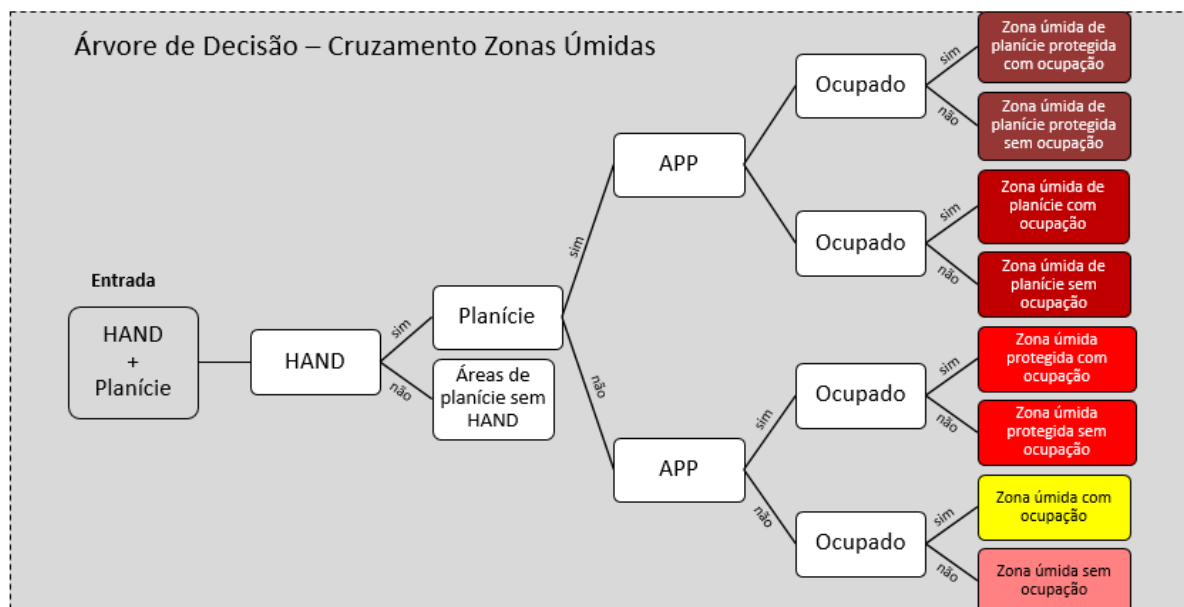


Figura 18. Árvore de decisão para definição do zoneamento das zonas úmidas

4.2.6 Recomendações gerais

A Figura 19 sintetiza a metodologia desenvolvida para definir as diretrizes de ocupação das zonas úmidas. As diretrizes foram elaboradas com base em detalhamento de nível de ocupação do território, considerando-se atributos qualitativos e quantitativos das ocupações e estão expressas a seguir (Tabelas 12 a 15).

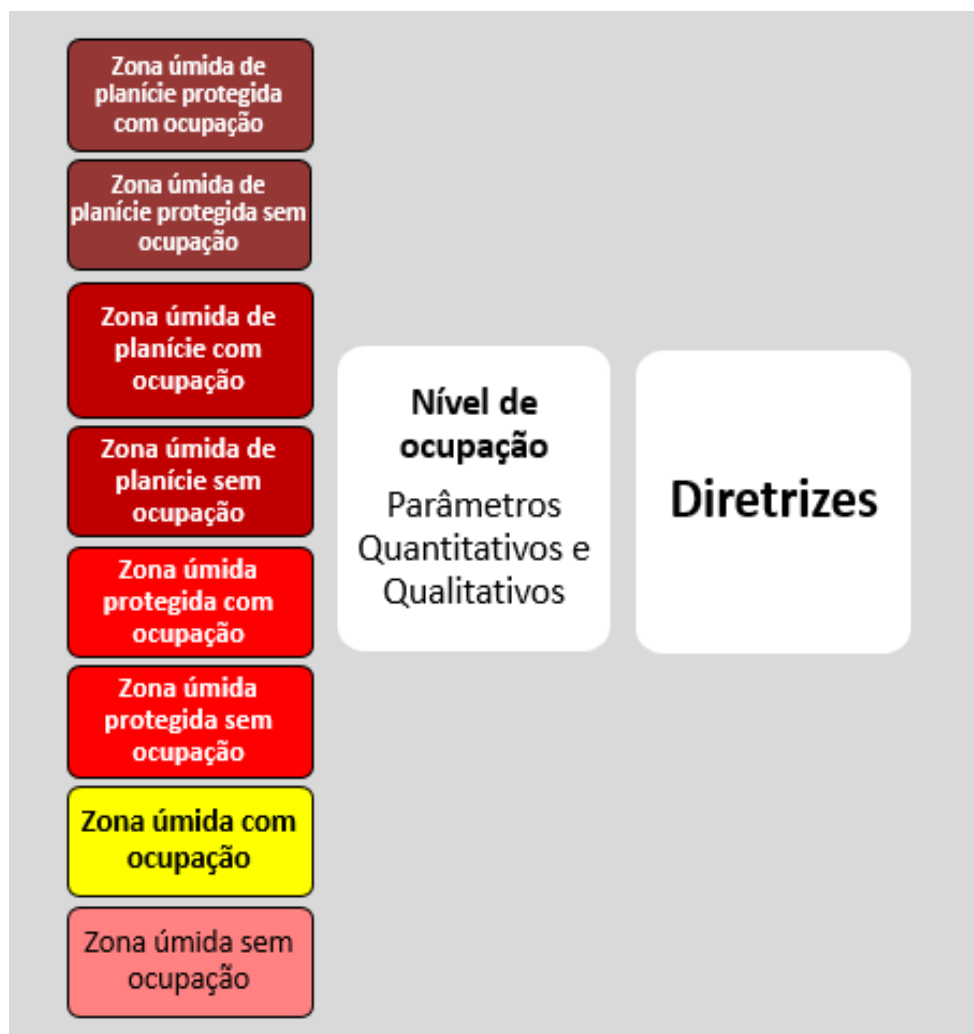


Figura 19. Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas

Tabela 12. Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas de planície protegidas

Legenda	Nível de ocupação	Parâmetros Quantitativos	Parâmetros Qualitativos	Diretrizes
Zonas úmidas de planície protegidas com ocupação	Baixa	✓ < 30% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Inexistente ou baixo investimentos público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	✓ Realizar estudos na bacia de contribuição* ✓ Congelar uso e ocupação do solo dos lotes ocupados; ✓ Relocação dos usos e ocupação atuais sempre que possível; ✓ Impedir novas ocupações até a realização de estudos na bacia de contribuição; ✓ Implantar medidas mitigadoras, corretivas e preventivas para a redução do risco na bacia de contribuição**
	Média	✓ Entre 30% e 70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Médio a baixo investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
	Alta	✓ >70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Alto investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado; ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
Zonas úmidas de planície protegidas sem ocupação	-	✓ Áreas que possuem cobertura vegetal ou florestal (ou condições de recuperação) que a impermeabilização ou supressão impactará na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, inclusive em períodos de estiagem. ✓ Esses setores possuem função para a manutenção da qualidade da água para o reservatório, pois funcionam como filtros para as águas pluviais que chegam aos rios por escoamento superficial e sub-superficial.		✓ Considerando a função hidroecológica dessas zonas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (considerando os períodos de estiagem e inundação) e a legislação ambiental, deve-se evitar sua ocupação, mantendo-as como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função.

*ver sugestões de estudos

**ver sugestões de medidas estruturais e não estruturais

Tabela 13. Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas de planície

Legenda	Nível de ocupação	Parâmetros Quantitativos	Parâmetros Qualitativos	Diretrizes
Zonas úmidas de planície com ocupação	Baixa	✓ < 30% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Inexistente ou baixo investimentos público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	✓ realizar estudos na bacia de contribuição* ✓ congelar uso e ocupação do solo dos lotes ocupados; ✓ relocação dos usos e ocupação atuais sempre que possível; ✓ Impedir novas ocupações até a realização de estudos na bacia de contribuição; ✓ Implantar medidas mitigadoras, corretivas e preventivas para a redução do risco na bacia de contribuição**
	Média	✓ entre 30% e 70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Médio a baixo investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
	Alta	✓ >70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Alto investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado; ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
Zonas úmidas de planície sem ocupação	-	✓ Áreas que possuem cobertura vegetal ou florestal (ou condições de recuperação) que a impermeabilização ou supressão impactará na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, inclusive em períodos de estiagem. ✓ Esses setores possuem função para a manutenção da qualidade da água para o reservatório, pois funcionam como filtros para as águas pluviais que chegam aos rios por escoamento superficial e sub-superficial.		✓ Considerando a função hidroecológica dessas zonas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (considerando os períodos de estiagem e inundação) e a legislação ambiental, deve-se evitar sua ocupação, criando mecanismos para a definição dessas áreas como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função.

*ver sugestões de estudos

**ver sugestões de medidas estruturais e não-estruturais

Tabela 14. Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas protegidas

Legenda	Nível de ocupação	Parâmetros Quantitativos	Parâmetros Qualitativos	Diretrizes
Zonas úmidas protegidas com ocupação	Baixa	✓ < 30% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Inexistente ou baixo investimentos público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	✓ realizar estudos na bacia de contribuição* ✓ congelar uso e ocupação do solo dos lotes ocupados; ✓ relocação dos usos e ocupação atuais sempre que possível; ✓ Impedir novas ocupações até a realização de estudos na bacia de contribuição; ✓ Implantar medidas mitigadoras, corretivas e preventivas para a redução do risco na bacia de contribuição**
	Média	✓ entre 30% e 70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Médio a baixo investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
	Alta	✓ >70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Alto investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado; ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
Zonas úmidas protegidas sem ocupação	-	✓ Áreas que possuem cobertura vegetal ou florestal (ou condições de recuperação) que a impermeabilização ou supressão impactará na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, inclusive em períodos de estiagem. ✓ Esses setores possuem função para a manutenção da qualidade da água para o reservatório, pois funcionam como filtros para as águas pluviais que chegam aos rios por escoamento superficial e sub-superficial.		✓ Considerando a função hidroecológica dessas zonas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (considerando os períodos de estiagem e inundação) e a legislação ambiental, deve-se evitar sua ocupação, criando mecanismos para a definição dessas áreas como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função.

*ver sugestões de estudos

**ver sugestões de medidas estruturais e não-estruturais

Tabela 15. Parâmetros de ocupação e diretrizes para zonas úmidas com ocupação

Legenda	Nível de ocupação	Parâmetros Quantitativos	Parâmetros Qualitativos	Diretrizes
Zonas úmidas com ocupação	Baixa	✓ < 30% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Inexistente ou baixo investimentos público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	✓ realizar estudos na bacia de contribuição considerando que o modelo digital do terreno foi elaborado com curvas de nível de 5 em 5 metros o que representa limites na precisão das manchas produzidas pelo HAND, especialmente para os eventos de inundação*
	Média	✓ entre 30% e 70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Médio a baixo investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
	Alta	✓ >70% dos lotes/área ocupados ✓ Data da ocupação ✓ Registro de ocorrências	✓ Alto investimento público (infraestrutura e equipamentos) e privado; ✓ Valor social, histórico, cultural, comunitário da ocupação	
Zonas úmidas sem ocupação	-	✓ Áreas que possuem cobertura vegetal ou florestal (ou condições de recuperação) que a impermeabilização ou supressão impactará na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, inclusive em períodos de estiagem. ✓ Esses setores possuem função para a manutenção da qualidade da água para o reservatório, pois funcionam como filtros para as águas pluviais que chegam aos rios por escoamento superficial e sub-superficial.		✓ Considerando a função hidroecológica dessas zonas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (considerando os períodos de estiagem e inundação) e a legislação ambiental, deve-se evitar sua ocupação, criando mecanismos para a definição dessas áreas como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função

*ver sugestões de estudos

Os estudos e medidas sugeridas nas diretrizes das zonas apresentadas nos quadros anteriores estão descritas a seguir (Tabelas 16 e 17). É importante destacar que se tratam apenas de sugestões e que devem ser complementadas ou alteradas conforme a capacidade técnica e condições de execução de tais medidas e estudos.

Tabela 16. Medidas estruturais e não estruturais sugeridas para zonas úmidas

ZONAS OCUPADAS	A. Medidas não estruturais	B. Medidas estruturais
Zonas úmidas de planície protegidas com ocupação	✓ Incentivar a “venda de potencial construtivo” para terrenos em áreas com aptidão à urbanização, por meio do instrumento <i>Transferência do Direito de Construir</i> (Lei Federal N.10.257/2001) ou outros correlatos	✓ Construções sob pilotis e de segundo pavimento ✓ Construção de reservatórios de detenção e retenção de água na bacia de contribuição. ✓ Aumento da taxa permeabilidade na bacia de construção, por meio da criação de áreas verdes e implantação de infraestrutura verde. ✓ Aumento de vegetação e arborização na bacia de contribuição ✓ Infraestruturas verdes: valas de infiltração, ✓ Implantação de atividades de permanência transitória, tais como, áreas de lazer, parques, campo de futebol, agricultura urbana e afins ✓ Implantação de sistemas de gradeamento e manutenção em bocas de lobo, bocas de leão e outras infraestruturas de drenagem urbana para evitar o entupimento.
Zonas úmidas de planície com ocupação	✓ Redução da Taxa de Ocupação (TO) e Índice de Aproveitamento (IA) para os terrenos localizados nas Zonas Úmidas. ✓ Não permitir ocupações com subsolo ✓ Estabelecer, na lei de zoneamento, taxas mais elevadas de áreas permeáveis nos lotes. ✓ Alterar os parâmetros de construção de <i>piscininhas</i> em lotes para taxas de impermeabilização menos restritivas. ✓ Programas de conscientização sobre os riscos e o papel ecossistêmico das zonas úmidas ✓ Programas de incentivo ou de pagamento de serviços ambientais para áreas que conservam ou recuperam zonas úmidas.	
Zonas úmidas protegidas com ocupação		
ZONAS NÃO OCUPADAS	A. Medidas não estruturais	B. Medidas estruturais
Zonas úmidas de planície protegidas sem ocupação	✓ Programas de conscientização sobre os riscos e o papel ecossistêmico das zonas úmidas ✓ Programas de incentivo ou de pagamento de serviços ambientais para áreas que conservam ou recuperam zonas úmidas. ✓ Criação de mecanismos de proteção: criação de unidades de conservação (APAs, parques lineares RPPN, etc) ✓ Criação de um programa municipal e regional de áreas – corredores verdes - com Implantação de conselho gestor com participação da sociedade civil e organizações privadas e comunitárias. ✓ Permitir e incentivar usos e ocupação que são compatíveis com a proteção dessas áreas e suas funções ecossistêmicas. ✓ Implantar telemetria associada ao sistema de gerenciamento de recursos hídricos.	✓ Implantação de infraestrutura verde e estruturas capazes de mitigar os efeitos relacionados com inundações (em especial as bruscas) e para conservação de umidade e da qualidade de recursos hídricos, especialmente em períodos de escassez
Zonas úmidas de planície sem ocupação		
Zonas úmidas protegidas sem ocupação		
Zonas úmidas sem ocupação		

Referências: UFRGS, CEPED-RS (2014)

Tabela 17. Estudos complementares sugeridos para zonas úmidas

ZONAS OCUPADAS	Estudos complementares
Zonas úmidas de planície protegidas com ocupação	• Desenvolver análise por bacia hidrográfica de parâmetros morfométricos e do padrão e grau de urbanização e de áreas verdes permeáveis; • Identificar todos os corpos de água com codificação utilizada pelo SINGREH e o sistema de informações de recursos hídricos estadual/regional • Realizar modelagem hidrológica -hidráulica de canal e das bacias de contribuição; • Realizar visitas a campo para determinação dos níveis de inundação e sujeitas à memória dos moradores entrevistados e às marcas existentes em edificações e estruturas. • Identificar as áreas críticas de maior potencial para inundação na bacia e realizar nessas áreas levantamentos mais detalhados que possibilitem a elaboração de cartas e mapeamentos mais precisas • Trabalhar com cenários futuros, onde a planície de inundação sofrerá alterações em virtude da urbanização da bacia; • Estabelecer critérios de urbanização baseados em impacto hidrológico zero, utilizando medidas compensatórias em escala de lote e de bacia hidrográfica. • Aplicar ferramentas para identificação, quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos das bacias hidrográficas.
Zonas úmidas de planície com ocupação	
Zonas úmidas protegidas com ocupação	
Zonas úmidas com ocupação	

4.3 CARTA DE SUSCETIBILIDADE AOS PROCESSOS GEODINÂMICOS E HIDRODINÂMICOS

Entende-se por processos geodinâmicos, os movimentos gravitacionais de massas: (deslizamentos e rastejos de solo, deslocamentos e rolamentos de blocos rochosos), e hidrodinâmicos (zonas úmidas) as inundações, enchentes e alagamentos. Para elaboração da carta de suscetibilidade a estes processos no município de Santo André, foi necessário entender a relação entre as formas, comportamento dos materiais e a dinâmica dos processos.

Após levantamento da bibliografia relacionada, especialmente a carta de suscetibilidade na escala 1:25.000 produzida pelo IPT/CPRM (BITAR, 2014), procedeu-se ao levantamento, triagem e espacialização das ocorrências atendidas pelos órgãos de Defesa Civil de ambos os municípios, assim como a análise dos resultados com a utilização de mapas de *Kernel*, descritos no Relatório 3. A ferramenta para elaboração deste mapa faz uma análise do comportamento dos pontos, demonstrando a intensidade com que eles ocorrem.

Estes resultados foram cotejados com mapas geológicos, geomorfológicos, de declividade e do modelo HAND, e checados com diversas vistorias de campo, que serviram para o entendimento das características geológico-geotécnicas e geomorfológicas associadas aos processos de movimentos de massas e para a validação das áreas suscetíveis à inundação.

O mapa das unidades foi elaborado a partir do cruzamento do mapa geológico (EMPLASA, 1980) com o mapa geomorfológico produzido de forma automatizada.

Após a confecção do mapa de unidade geológico-geomorfológicas, o próximo passo consistiu em cruzar este produto com o mapa de declividade produzido. A declividade foi um fator preponderante para definição da suscetibilidade, pois está ligada diretamente com o desencadeamento dos processos geodinâmicos. O modelo HAND foi utilizado para delimitar as áreas suscetíveis a processos hidrológicos, cruzando-o com as planícies delimitadas no mapa geológico-geomorfológico.

A Tabela 18 mostra o resultado da interpretação desses dados e aponta os níveis de suscetibilidade considerando os compartimentos geológico-geomorfológicos e os processos geológicos e hidrológicos associados.

Tabela 18. Suscetibilidade a inundação (unidades I a II) e a movimentos gravitacionais de massa (unidades III a XII)

Declividade (inclinação)		0 – 6 (3°)	6 - 15 (3 – 8°)	15 – 30 (8 – 17°)	30 – 48 (17 – 28°)	> 48 (28°)
Unidade Geológico-Geomorfológica						
Unidade I	Planície com HAND	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
Unidade II	Planície sem HAND	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
Unidade III	Colinas com Argilas, areias e cascalho da formação São Paulo e da formação Caçapava (grupo Taubaté), inclui depósitos elúvio-coluviais correlatados.	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
Unidade IV	Colinas com Granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou porfíroides.	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
Unidade V	Colinas com Micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica. Migmatitos e gnaisses graníticos podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
Unidade VI	Colinas com Filitos e/ou metassilitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada e anfíbolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo).	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
Unidade VII	Morrotos e Morros Baixos com Granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou porfíroides.	BAIXA	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA
Unidade VIII	Morrotos e Morros Baixos com Micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica. migmatitos e gnaisses graníticos, podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
Unidade IX	Morrotos com Filitos e/ou metassilitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada e anfíbolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo).	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
Unidade X	Morros Altos e Escarpas com Granitos a granodioritos normais ou em parte gnáissicos, equigranulares ou porfíroides.	BAIXA	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
Unidade XI	Morros Altos e Escarpas com Micaxisto e/ou meta-arenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos miloníticos em zonas de movimentação tectônica. Migmatitos e gnaisses graníticos podem achar-se cisalhados até gnaisses miloníticos em movimentação tectônica intensificada.	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	ALTA
Unidade XII	Morros Altos e Escarpas com Filitos e/ou metassilitos, inclui também filonitos em zonas de movimentação tectônica intensificada, anfíbolitos, metabasitos (metadiabásio, metagrabo) e quartzitos.	BAIXA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	ALTA

A carta de suscetibilidade aos processos de inundação e movimentos gravitacionais de massa abrange todo o território municipal, cerca de 175 km², Figura 20. O município possui 42,95% do território em baixa, 11,02% em média e 26,16% na faixa da alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Cerca de 19,87% da área territorial são propensas ao acúmulo de água, correspondendo a 36,06 km²: 5,81% do território apresenta média suscetibilidade e 14,05%, alta suscetibilidade a processos hidrológicos.

A baixa suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa concentra-se, em maiores áreas, ao norte do município, nos bairros limítrofes à margem direita do rio Tamanduateí até o limite com São Paulo e Mauá e, também, à sua margem esquerda, incluindo a região central de urbanização consolidada até a divisa com São Caetano do Sul e São Bernardo do Campo, seguindo no sentido sul até o limite da Zona de Recuperação Urbana. A Macrozona de Proteção Ambiental, na parte sul do município, também possui uma área significativa com baixa suscetibilidade a deslizamentos.

Praticamente todas as áreas de média e alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa situam-se na Zona de Recuperação Urbana até seu limite com a represa Billings e na Macrozona de Proteção Ambiental, ao sul do município, seguindo no sentido Paranapiacaba até a Serra do Mar. Quando analisada a porção norte do município, percebe-se que as áreas de média suscetibilidade servem como perímetros de transição entre os bairros com maior concentração de baixa suscetibilidade para aqueles com maior concentração de áreas com alta suscetibilidade, sendo que as áreas com maior incidência de alta suscetibilidade estão concentradas na Zona de Recuperação Urbana e na escarpa da Serra do Mar.

As áreas de alta suscetibilidade a inundação encontram-se, em sua maioria, dentro da Macrozona de Proteção Ambiental ao sul do município. Outras manchas de alta suscetibilidade podem ser visualizadas na área de urbanização consolidada do centro da cidade e bairros limítrofes ao rio Tamanduateí. Áreas de média suscetibilidade, inversamente, concentram-se ao norte do município, ao longo do eixo do rio Tamanduateí e em alguns de seus afluentes, sendo que, na Macrozona de Proteção Ambiental, praticamente não foram identificadas manchas de suscetibilidade média a inundação.

Figura 20. Carta de suscetibilidade aos processos geodinâmicos e hidrodinâmicos

4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO

4.4.1 *Uso e ocupação do solo*

A base de dados sobre o uso do solo mais recente e adequada à escala de análise adotada neste projeto foi elaborada, entre os anos de 1998 e 2002, pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA - EMPLASA e, portanto, se encontra muito desatualizada. Entre o ano do levantamento e a data atual, ocorreram mudanças significativas no uso do solo da região, podendo-se citar como de grande relevância a construção dos trechos sul e leste do Rodoanel Mário Covas. Numerosos relatos indicam que, além da obra propriamente dita, em suas proximidades houve diversas mudanças relevantes, dada a dinâmica criada por esse novo eixo rodoviário. Além desse empreendimento, a grande expansão propiciada pelo investimento do Governo Federal em habitação e a melhoria nas condições de crédito para vários setores da economia nos últimos anos catalisou uma considerável alteração no uso do solo nas cidades brasileiras, em especial nas regiões metropolitanas, na última década.

Por conta disso, foi necessária a atualização da base de dados do uso do solo no sentido de representar o mais fielmente possível a situação existente, para auxiliar a elaboração dos produtos finais deste estudo da melhor forma, evitando assim um grande descompasso entre planejamento e realidade.

Na atualização, foram utilizados os mesmos critérios para a determinação das classes de uso do solo que os constantes na documentação emitida pela EMPLASA na ocasião desse levantamento, ver Anexo 2.

A mudança mais evidente no uso do solo foi notada nas cercanias do Rodoanel Mário Covas. Enquanto algumas áreas, por conta da implantação do empreendimento, foram recuperadas ambientalmente, outras sofreram degradação.

Quanto às áreas nos arredores da represa Billings, foi possível notar que, com a diminuição de seu nível por conta dos eventos de seca ocorridos nos últimos anos, parte da vegetação de várzea existente em suas bordas se tornou capoeira ou até mesmo mata. Em outros casos, a várzea se tornou campo, podendo-se notar a

diferença na coloração de sua vegetação. Cabe apontar aqui que, apesar de estar inserido dentro da limitação da cota máxima da represa Billings, o uso do solo observado em diversas ocasiões contrastava com o determinado em lei. As análises subsequentes no âmbito da pesquisa não consideraram tais ocupações na determinação da aptidão, dada a imposição legal existente. Porém, isso não exime o poder público de atuar no estudo de tais ocupações irregulares e prevenir novas ocupações, dado o caráter específico da dinâmica de variação sazonal dos níveis de reservatórios artificiais.

Um fato interessante notado foi o de que, onde ocorriam mudanças no uso do solo para a implantação de chácaras e, principalmente, indústrias, apesar da supressão ocorrida no local, a vegetação existente nas suas imediações frequentemente apresentava um crescimento relevante, muitas vezes até mudando sua classe: se antes campo, agora capoeira, se antes capoeira, agora mata. Sugere-se que tal fato pode ser um provável efeito da aplicação do instrumento de compensação ambiental.

Na região de Paranapiacaba, próximo à indústria Solvay, notou-se a recuperação de um antigo sítio de mineração, transformado em campo, sendo também observada a estrutura construída para o tratamento dos efluentes do seu aterro. Ainda na região da Zona de Preservação Ambiental de Santo André, notou-se a recuperação de parte da vegetação existente próxima à estrada do gasoduto, onde a capoeira existente evoluiu para mata.

Na região do Parque Miami, Jardim Riviera e Cidade Recreio da Borda do Campo, a urbanização existente, principalmente nesse último assentamento, evoluiu de forma considerável, sendo que diversos fragmentos de mata existentes foram substituídos por áreas urbanizadas. O mesmo se verificou na zona urbana de Santo André, onde várias áreas florestadas foram substituídas por conjuntos habitacionais e indústrias de pequeno porte.

4.4.1.1 Propostas de determinação de consolidação de urbanização

Santo André se divide, conforme indicado no Plano Diretor do município, em duas macrozonas que apresentam um forte contraste entre si: enquanto a zona urbana é densamente povoada em toda sua extensão, a zona de preservação

apresenta uma urbanização dispersa e de baixa densidade, contando com alguns núcleos mais adensados em locais com maior conectividade ao sistema de mobilidade urbano metropolitano.

Conforme já explicitado, sendo o objetivo da carta de aptidão à urbanização apontar diretrizes para o desenvolvimento urbano, não faz sentido que se mapeiem as áreas já urbanizadas e consolidadas do município. Dentre as áreas a serem analisadas, existe uma diferenciação marcante sob o viés do planejamento urbano e da gestão de riscos: algumas áreas, apesar de não consolidadas, já se encontram ocupadas e, portanto, têm uma maior complexidade na determinação de sua aptidão e diretrizes de ocupação. Tendo isso em vista, foi necessário também determinar esse fator para compor a análise final deste estudo.

Como critério estruturante da análise, convencionou-se que as classes utilizadas pela EMPLASA em seu mapa de uso e ocupação do solo (e na atualização elaborada pela equipe executiva do presente estudo) representariam, de forma suficientemente adequada, as áreas que necessitam de um maior cuidado na elaboração de diretrizes.

Dessa forma, foram adotadas duas classes para a construção das diretrizes de ocupação do solo, dividindo-se a área de análise entre '*áreas ocupadas*' e '*áreas não ocupadas*'. A divisão obedeceu às classes de uso do solo existentes, a saber:

- Classes que representam "*áreas ocupadas*": área urbanizada, favela, indústria, equipamento urbano, reservatório de retenção, chácara, rodovia, aterro sanitário, mineração, hortifrutigranjeiro, outro uso.
- Classes que representam "*áreas não ocupadas*": vegetação de várzea, campo, capoeira, mata, movimento de terra/solo exposto, reflorestamento, loteamento desocupado.

Para a definição para área urbana consolidada, considerou-se a expressada no artigo 47 da lei federal 11.977/09:

“Área urbana consolidada: parcela da área urbana com densidade demográfica superior a cinquenta habitantes por hectare e malha viária implantada e que tenha, no mínimo, dois dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana implantados:

- a) drenagem de águas pluviais urbanas;*
- b) esgotamento sanitário;*
- c) abastecimento de água potável;*
- d) distribuição de energia elétrica; ou*
- e) limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos.*

Dessa forma, considerou-se como áreas ocupadas consolidadas aquelas cuja densidade líquida do setor censitário fosse superior a 50 hab/ha. Além disso, as áreas ocupadas existentes no contínuo da mancha urbana onde existem áreas consolidadas e com o mesmo padrão de ocupação, também foram consideradas áreas urbanas consolidadas e, portanto, excluídas da análise final, ver Figura 21.

Figura 21. Mapa de áreas ocupadas

4.4.1.2 Estruturas de interferência

Alguns fatores que influem diretamente na aptidão à urbanização são externos à metodologia da cartografia geotécnica utilizada neste trabalho. Dentre estes fatores, podem-se destacar as estruturas construídas pelo ser humano que podem interferir ou causar efeitos deletérios à saúde humana, direta ou indiretamente, ou representar relevantes riscos à vida, aqui denominadas *estruturas de interferência*.

As estruturas de interferência aqui estudadas abrangem as linhas de transmissão de energia elétrica, as adutoras de água, as dutovias de derivados de petróleo, as rodovias estaduais e federais, ferrovias, aterros sanitários, áreas de mineração e áreas contaminadas identificadas pela CETESB.

Compreendendo a necessidade de diretrizes específicas para essas áreas, foi elaborado um mapeamento dessas estruturas.

No caso do município de Santo André, a prefeitura municipal e o SEMASA forneceram as bases primárias das estruturas de interferência, onde constavam o traçado das redes adutoras de água e de transporte de derivados de petróleo, das linhas férreas e das linhas de transmissão de energia elétrica. Já em foram obtidas com a prefeitura municipal as bases existentes de linhas de transmissão, de adutoras e das ferrovias.

Como a informação repassada estava desatualizada e em certos casos incompleta, foi imprescindível a complementação desses dados, efetuada por meio da observação das ortofotos recentes e delimitação de sua extensão através de software de geoprocessamento, com o suporte de visitas de campo.

Além dessa complementação, acrescentaram-se ainda outras estruturas que não estavam presentes nas bases iniciais, mas que eram visualizáveis através de sensoriamento remoto ou passíveis de identificação através do mapa de uso e ocupação do solo, para ambos os municípios. Essa adição incluiu aterros sanitários, dutovias de derivados de petróleo e áreas de mineração, além das rodovias estaduais Rodovia Índio Tibiriçá (SP-31), Rodovia Deputado Antônio Adib Chammas (SP-122), Rodoanel Mário Covas (SP-21) e Estrada de Sapopemba (SPA-052/031).

Através das informações obtidas com as concessionárias responsáveis pelas estruturas identificadas, foi possível realizar uma delimitação aproximada das áreas não edificantes atribuídas legalmente às estruturas de interferência, quando aplicável, sendo esse produto denominado "**Mapa de Estruturas de Interferência**", Figura 22. O intuito dessa delimitação foi evidenciar a abrangência dessa restrição e apontar para cuidados específicos na utilização dos terrenos situados nas imediações.

Cabe ressaltar que o mapeamento pode não ter identificado todas as estruturas existentes, mas representou os dados obtidos junto às Prefeituras ou observáveis através de técnicas de sensoriamento remoto. Outra ressalva deve ser feita em relação à existência de contaminação antrópica em áreas delimitadas como aptas à urbanização. Tal mapeamento é realizado pela CETESB e publicado anualmente em seu sítio eletrônico, na seção de 'Áreas Contaminadas', constituindo importante instrumento complementar para planejamento urbano e licenciamento de empreendimentos.

Figura 22. Mapa de estruturas de interferência

4.4.1.3 Áreas de preservação permanente (APP)

Para compreender a distribuição dos rios, córregos, represas e lagos foi realizado um levantamento da rede hidrográfica de ambos os municípios. Foram adotados critérios para estipular as áreas de preservação permanente – APPs nos dois municípios (Tabela 19).

Tabela 19. Feições identificadas para os cursos d'água e suas respectivas metragens para as áreas de preservação permanente de acordo com legislação vigente, Lei 12.651/2012.

Feição Hidrográfica	Área de Preservação Permanente associada (metros)
Rio de margem dupla(> 10m)	50
Represa Billings (a partir da cota 747)	50
Reservatório artificial sem barramento	0
Reservatório com barramento	500
Córrego aberto ou fechado	30
Rio (< 10m)	30
Nascente	50

Fonte: Lei da Billings e Código Florestal

4.4.2 Áreas prioritárias para conservação do município de Santo André

O mapa de áreas prioritárias para a conservação no município de Santo André foi elaborado com base nos seguintes planos de informação:

1) Mapeamentos que abrangem toda a área de estudo sendo possível qualificar diferentes graus de prioridade para conservação:

- Mapa atualizado do uso do solo obtido através do cruzamento de: a) Atlas de Uso e Ocupação do Solo do município de Santo André, realizado pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA (EMPLASA) no ano de 2002 e b) ortofotos fornecidas pela Prefeitura Municipal datadas de 2014.

- Zoneamento da Lei específica da Billings, que define a Área de Proteção e Recuperação de Mananciais da Bacia Hidrográfica do Reservatório Billings – APRM-B, indicando diretrizes para a ocupação das áreas contempladas pela legislação.
- Zoneamento do Plano diretor Municipal de Santo André 2012. Mapeamento que visa fixar as regras fundamentais de ordenamento do território.
- Diagnóstico da cobertura vegetal e definição de estratégias para o reflorestamento de áreas degradadas na região de Paranapiacaba e Parque Andreense, 2012. Mapeamento conduzido pela Prefeitura de Santo André, que classifica em nível de detalhe a vegetação da área de estudo com base em dados coletados em campo e interpretação visual de imagens em alta resolução em escala 1:2.000.

2) Mapeamentos de parcelas do território que apontam áreas relevantes do ponto de vista da conservação ambiental:

- Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica 2011/2012 (INPE/SOSMA), que abrange toda a área classificada como Mata Atlântica de acordo com a Lei 11.428 de 2006, a Lei do Bioma Mata Atlântica. Representa os recortes de Mata Atlântica, excluindo pequenas áreas como parques e chácaras, e indica as áreas de maior grau de conservação e potencial de conectividade. O mapeamento dos remanescentes é realizado desde o ano de 2005 com revisões periódicas a cada dois anos, na escala de 1:50.000 (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2014).
- Estudo BIOTA FAPESP 2008. Delimitação das áreas prioritárias para criação e/ou ampliação de Unidades de Conservação de Proteção Integral. Elaborado pelo BIOTA/FAPESP, utilizando nas análises métricas o mapa do Inventário Florestal do Estado de São Paulo obtido por interpretação de imagens Landsat/TM, com resolução espacial de 30 metros, na escala 1:50.000.

Com o objetivo de identificar as áreas prioritárias à conservação ambiental, trabalhou-se com todos estes planos de informação de maneira integrada. Para tanto, buscou-se qualificar as classificações dos mapeamentos que contemplam toda a área de estudo atribuindo valores de prioridade para a conservação: **alta** prioridade à conservação, **média** prioridade à conservação, **baixa** prioridade à conservação e **muito baixa** prioridade à conservação, como indicam as tabelas 20 a 23.

Tabela 20. Classificação do uso do solo e grau de prioridade para conservação.

Classificação do Uso do Solo	Grau de Prioridade para Conservação
Área urbanizada	Muito baixa prioridade
Favela	Muito baixa prioridade
Indústria	Muito baixa prioridade
Equipamento urbano	Muito baixa prioridade
Aterro sanitário	Muito baixa prioridade
Reservatório de retenção	Muito baixa prioridade
Rodovia	Muito baixa prioridade
Mineração	Muito baixa prioridade
Movimento de terra	Muito baixa prioridade
Solo exposto	Muito baixa prioridade
Outro uso	Muito baixa prioridade
Chácara	Baixa Prioridade
Loteamento desocupado	Baixa Prioridade
Hortifrutigranjeiro	Baixa Prioridade
Campo	Baixa Prioridade
Reflorestamento	Média Prioridade
Capoeira	Média Prioridade
Mata	Alta Prioridade
Vegetação de várzea	Alta Prioridade

Fonte: Adaptado de Atlas de uso e ocupação do solo, EMPLASA, 2003.

Tabela 21. Classificação do Zoneamento das Áreas de Preservação e Recuperação de Mananciais das bacias Billings, Guaió e Alto Tietê Cabeceira, e grau de prioridade para conservação.

Zoneamento das Áreas de Preservação e Recuperação de Mananciais - APRMs	Classificação do Uso do Solo	Grau de Prioridade
	Subárea de Ocupação Especial - SOE	Muito baixa Prioridade
	Subárea de Ocupação Urbana Consolidada - SUC	Muito baixa prioridade
	Subárea de Ocupação Urbana Controlada - SUCt	Muito baixa Prioridade
	Área de Estruturação Ambiental -Rodoanel - AER	Muito baixa Prioridade
	Subárea de Ocupação de Baixa Densidade - SBD	Baixa Prioridade
	Subárea de Conservação Ambiental - SCA	Alta Prioridade
	Área de Restrição à Ocupação - ARO	Alta Prioridade
	Área de Preservação Permanente - APPB	Alta Prioridade

Fonte: Lei Específica da Billings, 2009. Lei Específica do Alto Tietê Cabeceiras, 2015. Prévia do zoneamento da bacia do Guaió, 2015.

Tabela 22. Classificação do Zoneamento da Plano Diretor Municipal de Santo André e grau de prioridade para conservação.

Zoneamento do Plano Diretor Municipal do município de Santo André	
Classificação	Grau de Prioridade para Conservação
Zona de Recuperação Ambiental – ZRA	Baixa Prioridade
Zona de Desenvolvimento Econômico Compatível – ZDEC	Baixa Prioridade
Zonas de Ocupação Dirigida I e II – ZOD I, ZOD II	Baixa Prioridade
Zona Turística de Paranapiacaba – ZTP	Média Prioridade
Zona de Conservação Ambiental - ZCA	Alta Prioridade

Fonte: Prefeitura Municipal de Santo André, 2014.

Tabela 23. Classificação do diagnóstico da cobertura vegetal e grau de prioridade para conservação.

Classificação do Diagnóstico da Cobertura Vegetal	
Classificação	Grau de Prioridade para Conservação
Maciço Florestal Secundário Avançado	Alta Prioridade
Maciço Florestal Secundário Médio	Alta Prioridade
Maciço Florestal Secundário Inicial	Alta Prioridade
Maciço Florestal Pioneiro	Média Prioridade
Não Maciço Florestal	Baixa Prioridade

Fonte: Prefeitura Municipal de Santo André, 2012.

Dadas as características de algumas bases utilizadas, que mapeiam apenas fragmentos do território onde existe o interesse de mapeamento, não foi possível adotar uma gradação de prioridade à conservação. Esse foi o caso das bases que contemplam fragmentos florestais do INPE/SOSMA, e as áreas prioritárias para criação ou ampliação de UCs, identificadas pela pesquisa Biota Fapesp. Essas áreas foram então compreendidas como de **alta prioridade à conservação**, valendo-se de peso para a composição do "**Mapa de Áreas Prioritárias à Conservação Ambiental**", conforme indicado na Tabela 24.

Tabela 24. Classificação do mapeamento de remanescentes florestais INPE/SOSMA e do mapeamento Estudo BIOTA FAPESP, e grau de prioridade para conservação.

Classificação		Grau de Prioridade para Conservação
Remanescentes Florestais (INPE/SOSMA)	Remanescentes Florestais - Mata	Alta Prioridade
Estudo BIOTA FAPESP	Áreas prioritárias para criação e/ou ampliação de Unidades de Conservação de Proteção Integral	Alta Prioridade

Fonte: Adaptado de Remanescentes Florestais INPE/SOSMA, 2014. Estudo BIOTA FAPESP, 2008.

O cruzamento dos diferentes planos de informação de acordo com o grau de prioridade permitiu a identificação de áreas prioritárias para conservação por indicação de pesquisas ou por razões determinadas na legislação.

Em parceria com a equipe técnica da Prefeitura, discutiu-se a melhor forma de representação das áreas prioritárias para conservação no município de Santo André, ver Figura 23.

Figura 23. Mapa de áreas prioritárias para conservação ambiental

4.5 CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS DESASTRES NATURAIS

O conceito de aptidão à urbanização, considerando os processos do meio físico que desencadeiam situações de desastres, está baseado na caracterização dos terrenos a partir da suscetibilidade aos processos geológicos (movimentos gravitacionais de massa) ou hidrológicos (inundações) com a indicação de diretrizes para a ocupação, recomendações específicas, e áreas restritivas (PRANDINI, 1980, SOBREIRA E SOUZA, 2012). Sua aplicação está voltada para as áreas de expansão urbana dos municípios, incluindo áreas em consolidação e não ocupadas. Além dos parâmetros do meio físico, são levados em conta, na sua elaboração, outros condicionantes, tais como o estágio da cobertura vegetal e aspectos da legislação ambiental que definem restrições de uso e ocupação do solo.

Assim, a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização frente aos desastres naturais, de acordo com esta Lei Federal 12.608/12, é um dos instrumentos cujo objetivo é *“o fornecimento de informações que orientem o parcelamento do solo no processo de uso e ocupação, de forma equilibrada com a condição de suporte do meio físico, evitando-se os riscos e as consequências dos desastres”* (DINIZ & FREITAS, 2013). Estes autores destacam a especial importância destas cartas como referência nos processos de licenciamento de novos projetos de parcelamento dos terrenos, e também *“para a preparação de planos e projetos de recuperação de áreas que já foram parceladas, mas que apresentam urbanização precária e situações de risco”*.

O processo de elaboração da carta geotécnica de aptidão à urbanização contou com o estabelecimento de uma matriz de cruzamento dos aspectos do meio físico que respondem aos processos geodinâmicos (deslizamentos e processos correlatos) que foi aplicada às Macrozonas de Recuperação Urbana e de Proteção Ambiental. Para a área da Macrozona de Reestruturação Urbana – Eixo do rio Tamanduateí - do município de Santo André foi definida uma matriz de cruzamento para análise dos processos hidrodinâmicos (zonas úmidas/inundação), relacionando aos resultados do PDMAT.

4.5.1 Cruzamento de informações para mapeamento das unidades geotécnicas

A matriz de cruzamento para elaboração da carta geotécnica considerou as seguintes variáveis distintas considerando os processos que ocorrem nas planícies de inundação (zonas úmidas) e nas áreas de vertentes/encostas (áreas de ocorrências de processos geodinâmicos – deslizamentos e correlatos), conforme pode ser observado na Figura 24.

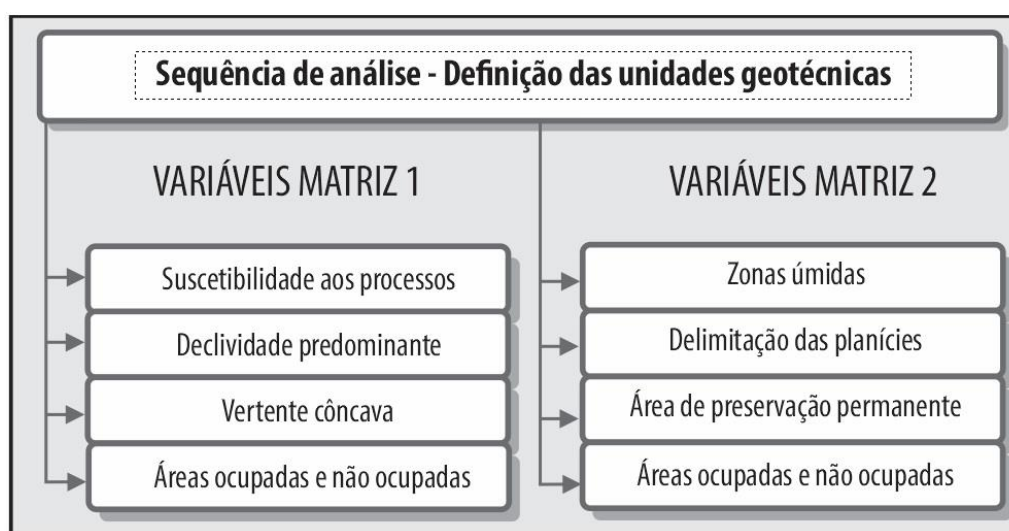


Figura 24. Cruzamento primário das informações

O cruzamento das variáveis foi realizado a partir da aplicação de uma modelagem analítica de múltiplas variáveis denominada Árvore de Decisão (*Decision Tree*). Para execução da função *árvore de decisão*, ou *árvore de classificação*, foi utilizado o software ENVI. A ferramenta funciona a partir da definição de regras que segmentam pixel a pixel acordo com os critérios definidos em cada um dos nós da função. Cada pixel pode individualmente ser analisado por indeterminados número critérios para definição de uma categoria. A árvore se inicia com um nodo único, chamado "*nodo raiz*", sendo que, a partir dele, os demais nodos são chamados de "*nodos filhos*". Os nodos terminais de uma árvore, ou seja, os nodos que não abrigam outros "*nodos filhos*", são chamados de "*folhas*", e representam as diversas saídas da árvore de decisão. Segundo Halmenschlager (op. cit.), um objeto é

classificado seguindo o percurso raiz até a folha, enquanto suas características satisfazem os nodos e suas ligações. As classes que surgem ao final da árvore seriam as “folhas”, pois representariam a classificação final depois de todo o processamento.

Em acordo com o autor Halmenschlager (2004) a “Árvore de Decisão” apresenta:

"estruturas simples e de grande legibilidade, expressando seus resultados de uma forma muito clara, que podem ser facilmente compreendidas e usadas diretamente pelo usuário. Elas (as árvores de decisão) podem muito bem ser aplicadas a grandes conjuntos de dados e são adequadas para quaisquer tipos de dados capazes de manipular atributos contínuos e discretos"

O algoritmo de classificação realiza uma análise binária em 'perguntas' com 'respostas' de *SIM* ou *NÃO* em acordo com as variáveis definidas pelo gerenciador do processo. No caso da área do município de Santo André os dados espaciais foram normalizados em formato raster, qualificados em valores numéricos inteiros e associados em um *stacking* de imagens.

A Tabela 25 apresenta a proposta de classes de aptidão a partir do cruzamento que resultou em um agrupamento de 56 classes; estas foram analisadas e reagrupadas em 14 classes (com descrição detalhada); e também para a carta síntese - que prevê a generalização dessas classes em apenas três (apta, apta com restrição e inapta). A matriz de cruzamento e os agrupamentos resultantes relacionando os aspectos relacionados aos processos geodinâmicos (deslizamentos e correlatos) estão descritos na Tabela 26, e Figura 25 para áreas de baixa suscetibilidade, Figura 26 para áreas de média suscetibilidade, e Figura 27 para áreas de alta suscetibilidade. A matriz de cruzamento dos aspectos hidrodinâmicos (zonas úmidas e inundação) pode ser observada na Tabela 27, e Figura 28.

Tabela 25. Classes de aptidão

Classe	Classe de aptidão	Síntese
Áreas urbanas não consolidadas (Áreas ocupadas)		
1	I. Consolidação simples	Apta
2	II A. Consolidação com restrição	Apta com restrição
3	II B. Consolidação com restrição	Apta com restrição
4	III A. Consolidação complexa	Apta com restrição
5	III B. Consolidação complexa	Apta com restrição
6	IV A. Consolidação muito complexa	Inapta
7	IV B. Consolidação muito complexa	Inapta
Áreas não urbanizadas (Áreas não ocupadas)		
8	V. Apta a urbanização usual	Apta
9	VI A. Apta com restrição	Apta com restrição
10	VI B. Apta com restrição	Apta com restrição
11	VI C. Apta com restrição	Apta com restrição
12	VI D. Apta com restrição	Apta com restrição
13	VII A. Inapta	Inapta
14	VII B. Inapta	Inapta

Tabela 26. Matriz de cruzamento dos aspectos relacionados aos processos geodinâmicos

Matriz de Cruzamento - Aspectos do meio físico						
Suscetibilidade	Declividade	Forma vertente	Classe	Áreas urbanas não consolidadas	Classe	Áreas não urbanizadas
Baixa	< 30%	Outra	1	I. Consolidação simples	2	V. Apta a urbanização usual
		Côncava	3	II A. Consolidação com restrição	4	VI A. Apta com restrição
	30 a 48%	Outra	5	II A. Consolidação com restrição	6	VI C. Apta com restrições
		Côncava	7	II A. Consolidação com restrição	8	VII A. Inapta
	> 48%	Outra	9	IV A. Consolidação muito complexa	10	VII A. Inapta
		Côncava	11	IV A. Consolidação muito complexa	12	VII A. Inapta
Média	< 15%	Outra	13	I. Consolidação simples	14	V. Apta a urbanização usual
		Côncava	15	II A. Consolidação com restrição	16	VI B. Apta com restrição
	15 - 30%	Outra	17	II A. Consolidação com restrição	18	VI B. Apta com restrição
		Côncava	19	II A. Consolidação com restrição	20	VI C. Apta com restrições
	30 a 48%	Outra	21	III A. Consolidação complexa	22	VI C. Apta com restrições
		Côncava	23	III A. Consolidação complexa	24	VII A. Inapta
	> 48%	Outra	25	IV A. Consolidação muito complexa	26	VII A. Inapta
		Côncava	27	IV A. Consolidação muito complexa	28	VII A. Inapta
	< 15%	Outra	29	II A. Consolidação com restrição	30	VI C. Apta com restrições
		Côncava	31	IV A. Consolidação muito complexa	32	VII A. Inapta
Alta	15 - 30%	Outra	33	II A. Consolidação com restrição	34	VI C. Apta com restrições
		Côncava	35	IV A. Consolidação muito complexa	36	VII A. Inapta
	30 a 48%	Outra	37	III A. Consolidação complexa	38	VII A. Inapta
		Côncava	39	IV A. Consolidação muito complexa	40	VII A. Inapta
	> 48%	Outra	41	IV A. Consolidação muito complexa	42	VII A. Inapta
		Côncava	43	IV A. Consolidação muito complexa	44	VII A. Inapta

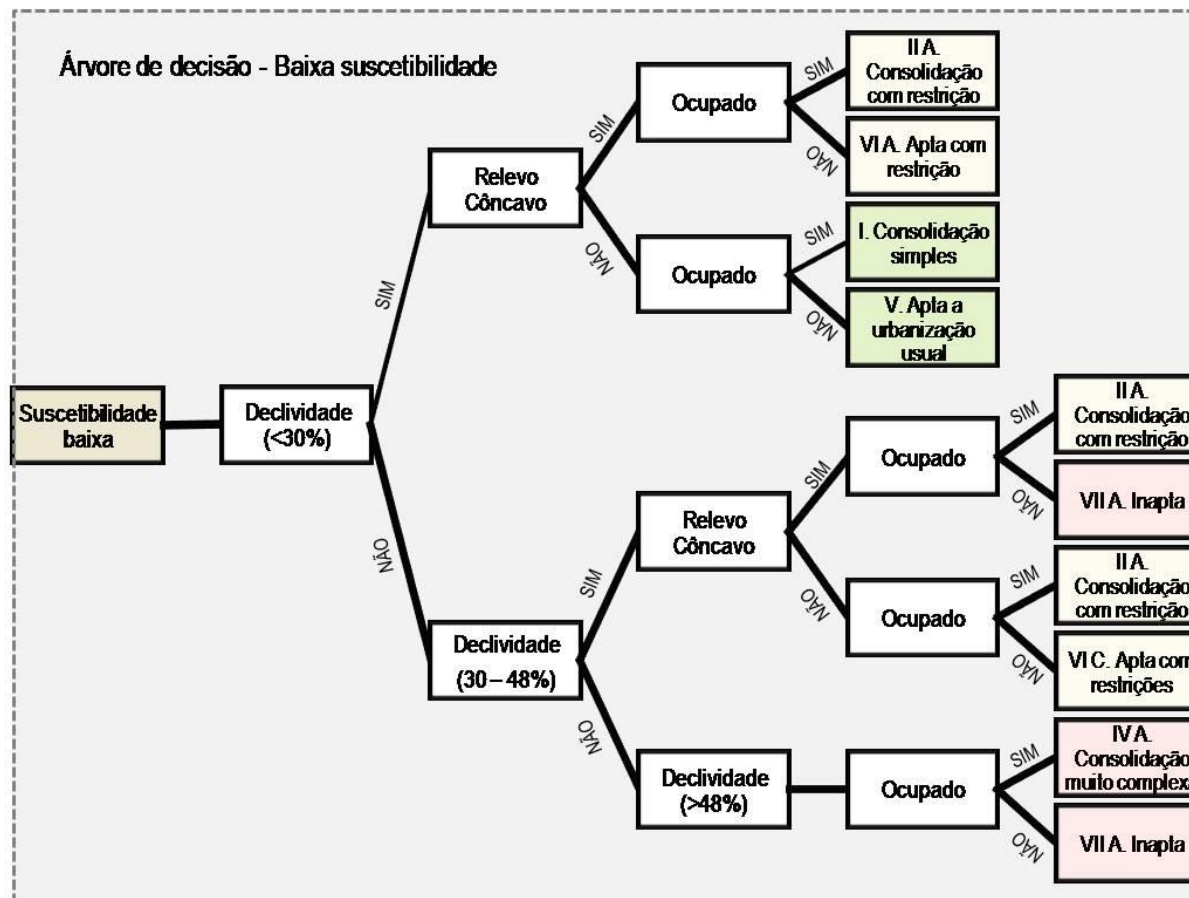


Figura 25. Matriz de cruzamento para áreas com baixa suscetibilidade aos processos geodinâmicos

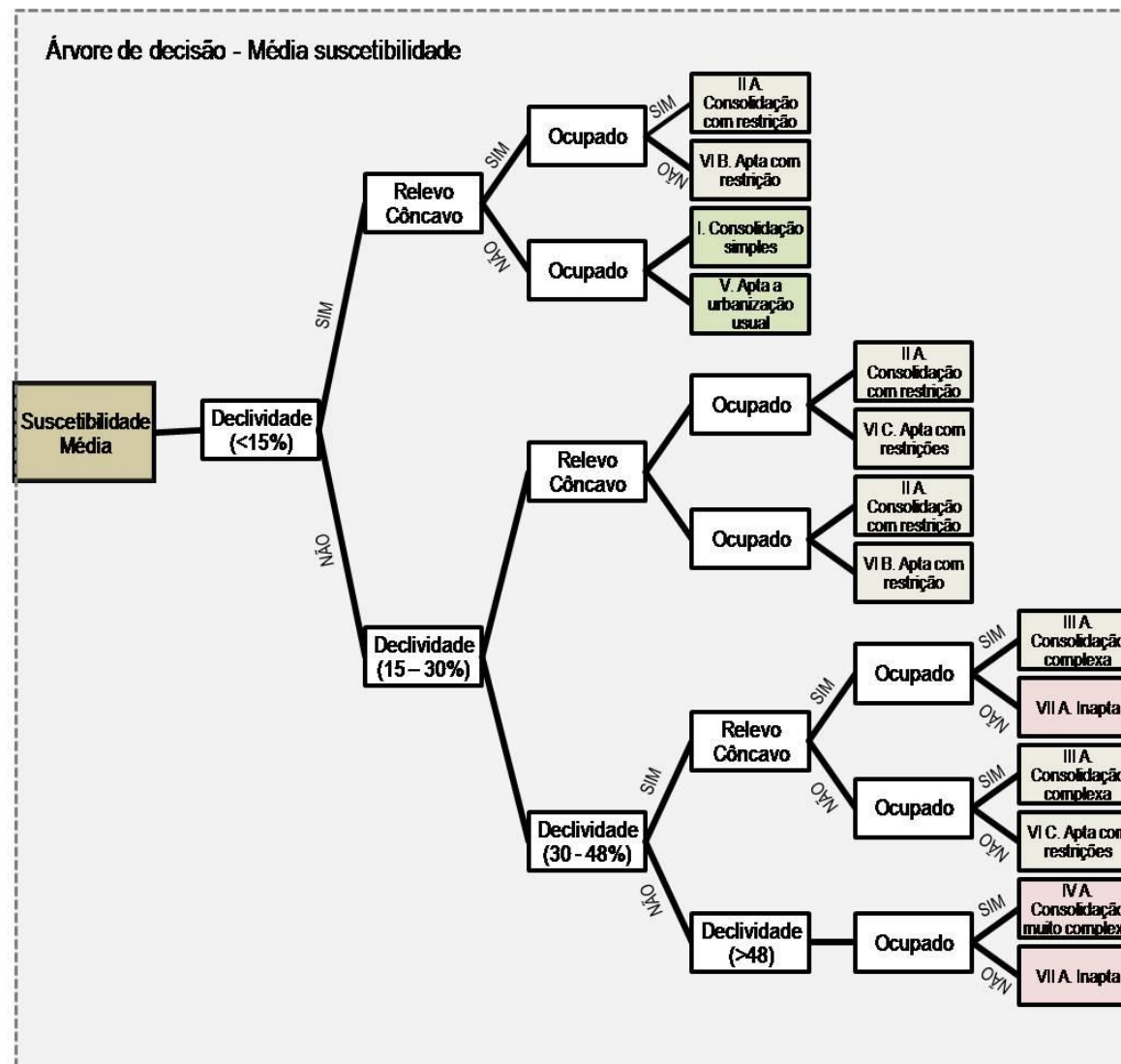


Figura 26. Matriz de cruzamento para áreas com média suscetibilidade aos processos geodinâmicos

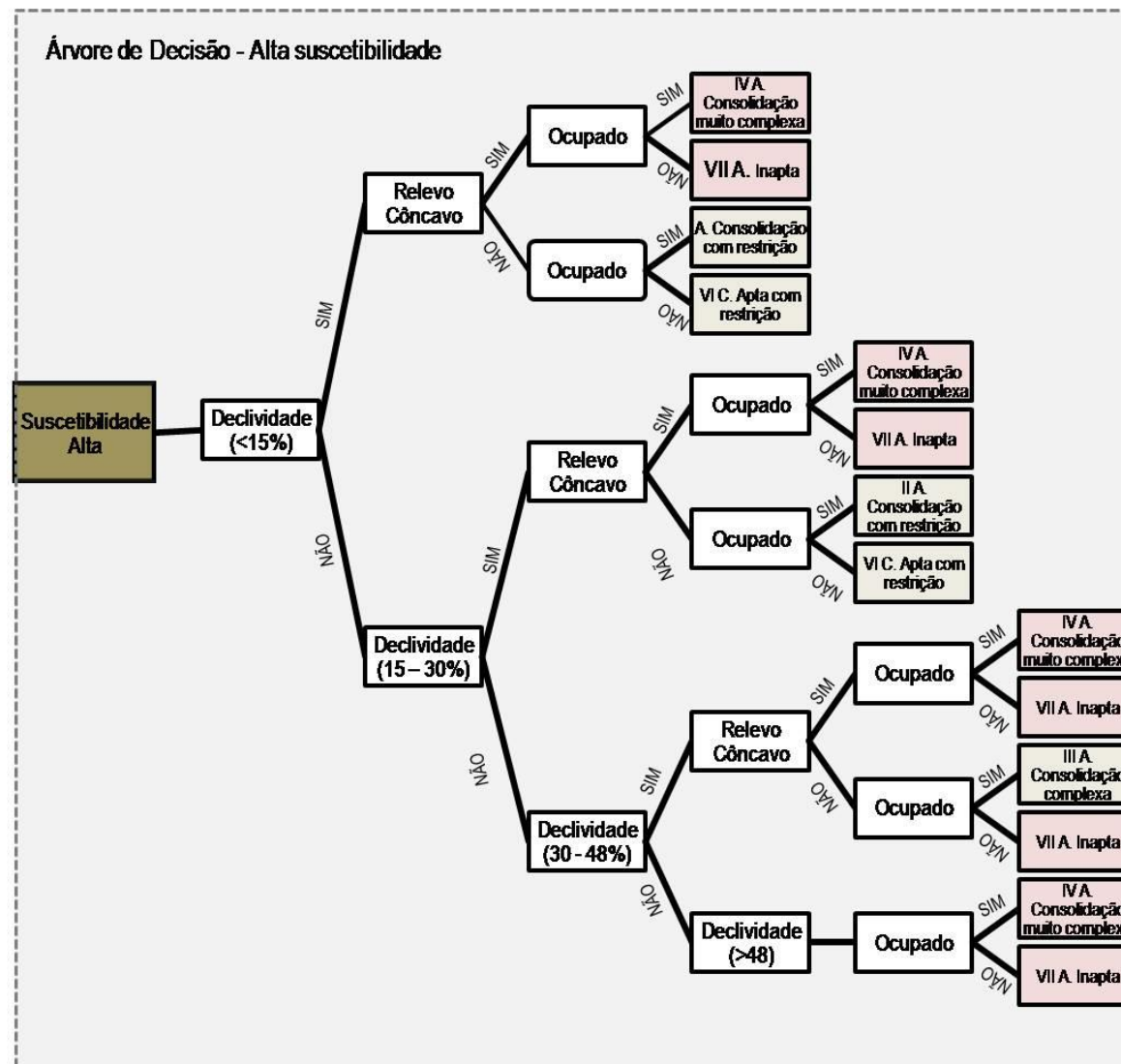


Figura 27. Matriz de cruzamento para áreas com alta suscetibilidade aos processos geodinâmicos

Tabela 27. Matriz de cruzamento dos aspectos hidrodinâmicos (zonas úmidas/inundação)

Matriz de Cruzamento - Aspectos hidráulicos e de inundação							
Zona úmida	Modelagem	Área de preservação permanente		Classe	Áreas urbanas não consolidadas	Classe	Áreas não urbanizadas
Manchas do HAND, PDMAT e delimitação das planícies e terraços	HAND e PDMAT	Em planície	Em APP	45	IV B. Consolidação muito complexa	46	VII B. Inapta
			Fora de APP	47	III B. Consolidação complexa	48	VII B. Inapta
		Cabeceiras de drenagem	Em APP	49	III B. Consolidação complexa	50	VII B. Inapta
			Fora APP	51	II B. Consolidação com restrição	52	VII B. Inapta
	Demais áreas em planície e terraços	APP		53	III B. Consolidação complexa	54	VII B. Inapta
		Fora de APP		55	II B. Consolidação com restrição	56	VI D. Apta com restrições

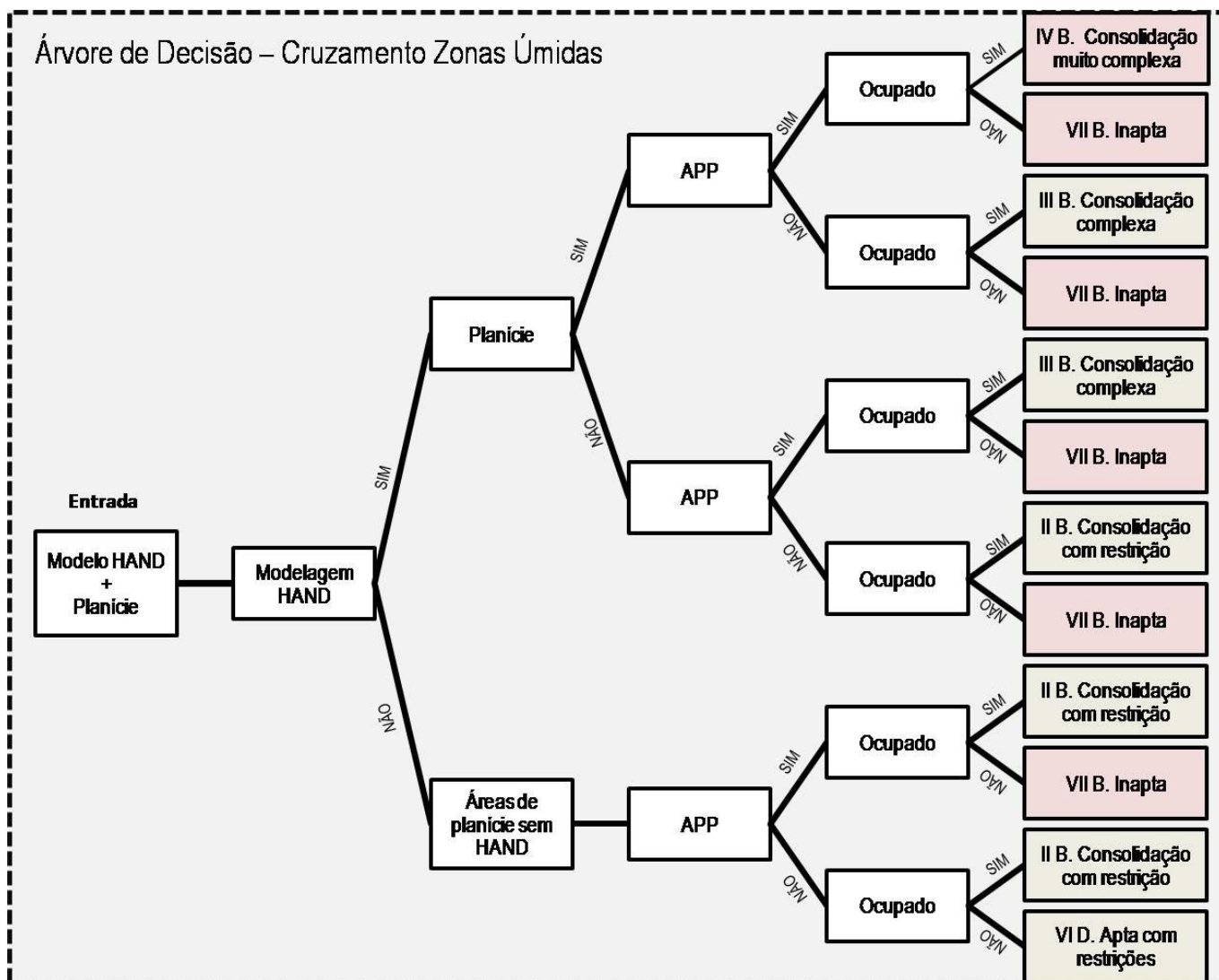


Figura 28. Matriz de cruzamento zonas úmidas

4.5.2 Zona de Reestruturação Urbana - Santo André

Dada a caracterização distante quanto ao seu histórico de ocupação, a existência de estudos e diretrizes consolidadas para a área e definida pelo Plano Direto de Santo André como **Zona de Reestruturação Urbana**, foram utilizadas no cruzamento para definição das aptidões na zona de reestruturação urbana. Para tal, foram consideradas, Figura 29:

- Manchas de inundação oriundas do PDMAT II para tempos de retorno (TR) de 10 anos e 25 anos;
- Manchas obtidas na modelagem *HAND* com elevação do corpo hídrico em três metros de altura; e
- Unidade Geomorfológica de planície e terraço.

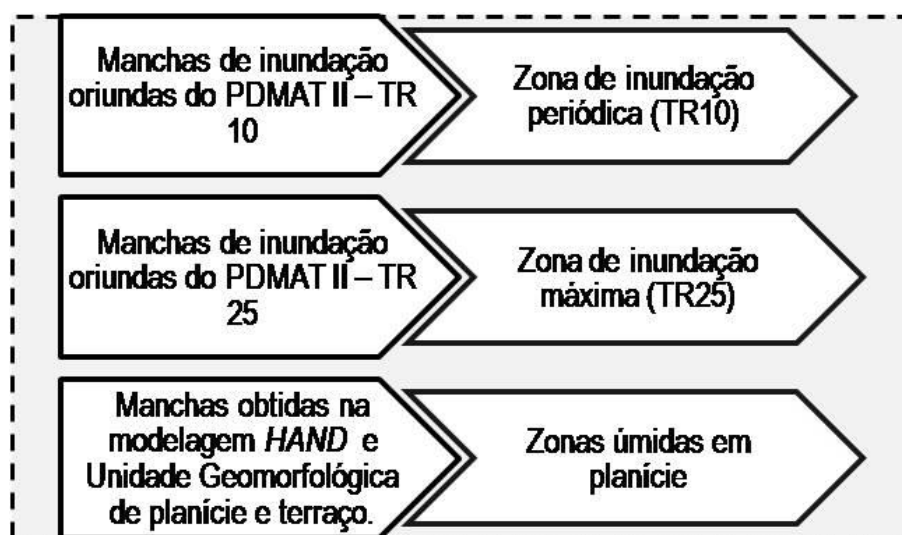


Figura 29. Matriz de cruzamento - Zona de Reestruturação Urbana, Santo André

4.5.3 Normalização das unidades

Os arquivos resultantes passaram por um processamento para normalização e conversão das informações em formato raster. Como representação mínima foram definidas áreas de 1000 m², resultantes do processo de generalização matricial - similar à metodologia aplicada para definição de classes de declividade predominante. Os dados foram convertidos para formato shapefile, associados à base de dados para consulta e validados junto às prefeituras.

Para cada uma das classes de aptidão foram correlacionados os aspectos do uso do solo e ocupação do solo, os condicionantes legais, diretrizes de ocupação pré-estabelecidas e as recomendações de estudos técnicos para consolidação dos terrenos já ocupados e para a urbanização de terrenos ainda não ocupados. As recomendações e diretrizes estão disponíveis no **item 5**.

4.6 VALIDAÇÃO DAS CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO

Para a verificação e validação das classes de aptidão das Cartas Geotécnicas, foram realizados trabalhos de campo, registrados e apresentados no item 5. Além disso, as equipes gestoras da prefeitura de Santo André e do Consórcio Intermunicipal receberam cópias desse produto cartográfico em via digital e impressa para avaliação prévia. Na sequência, foram agendadas reuniões com equipes gestoras de cada município, com participação de técnicos do Consórcio Intermunicipal Grande ABC para discutir os resultados apresentados.

No dia 29 de setembro de 2016 foi realizada reunião na sede do Consórcio com a participação das equipes técnicas da UFABC e da Prefeitura Municipal de Santo André, Foto 7. Na ocasião, os técnicos fizeram questionamentos a respeito das unidades geotécnicas, sobretudo na Macrozona de Proteção Ambiental, escalas e cores de representação das unidades. Ao final, foi agendada uma reunião com a equipe da UFABC e técnicos da Prefeitura de Santo André para fazer os ajustes necessários. Essa reunião ocorreu no Laboratório de Geoprocessamento da UFABC, Campus São Bernardo, no dia 5 de outubro.



Foto 7. Reunião com equipe gestora de Santo André, no dia 29 de setembro, na sede do Consórcio do ABC.

5 CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO, DIRETRIZES E RECOMENDAÇÕES PARA O PARCELAMENTO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

As Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos desastres naturais dos municípios de Santo André (Zona de Recuperação Urbana e Macrozona de Proteção Ambiental), elaboradas na escala 1:10.000 apresentam a distribuição das unidades de terreno da área de intervenção ou de interesse selecionada para os estudos. As indicações incluídas no quadro-legenda (Tabela 28, áreas ocupadas e Tabela 29, áreas não ocupadas) dizem respeito à prevenção de processos geo e hidrodinâmicos, destacando os problemas geotécnicos e hidrológicos que ocorrem respectivamente em encostas e planícies, indicando assim, as potencialidades e limitações para ocupação dos terrenos. Há que se destacar, porém, que a área objeto da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização é geotécnica e ambientalmente sensível, com uma grande importância para a proteção dos mananciais e com a presença usual de vegetação de porte significativo. Frente a essas características tornam-se recomendáveis alguns procedimentos gerais com relação às novas obras de urbanização. Entre eles destacam-se:

- a) necessidade de obras completas de infraestrutura, incluindo-se a pavimentação e calçamento de passeios para prevenir problemas erosivos. Tem especial importância a correta destinação e tratamento dos efluentes líquidos, incluindo-se os esgotos, mas também buscando soluções para redução do impacto da poluição difusa que pode ser conduzida pelas águas pluviais. É recomendável que as estações de tratamento de esgotos sejam projetadas e executadas para tratar também as águas das primeiras chuvas;
- b) sempre que possível, privilegiar empreendimentos com baixa taxa de ocupação e altas taxas de permeabilidade e de vegetação, mesmo que para isso seja necessário flexibilizar a altura das edificações. Deve-se evitar a urbanização com terraplenagem extensiva, buscando-se reduzir e controlar os locais que serão afetados pelos movimentos de terra. Devem ser privilegiados os aterros confinados e para toda área terraplenada deve ser prevista a proteção superficial, manejo das águas pluviais e medidas de drenagem e proteção provisória na fase de execução das obras de movimentação de terra; e

c) evitar a urbanização e a terraplenagem de áreas que não serão efetivamente utilizadas para produção das edificações, ou seja, deve-se procurar reduzir ao máximo as áreas afetadas pelos processos de urbanização. Neste sentido, devem ser existir critérios que privilegiem e estimulem os empreendimentos em que a urbanização será acompanhada pelas obras de produção das edificações e devem ser previstos critérios que induzam a rápida utilização dos lotes, evitando-se que sejam parceladas áreas que não serão efetivamente utilizadas a curto prazo.

Considerando as características específicas para área de estudo da Zona de Reestruturação Urbana - Eixo Tamanduateí, no município de Santo André, foram definidas classes distintas de aptidão, relacionadas no **item 5.1.2**.

Tabela 28. Quadro legenda das Cartas de Aptidão à Urbanização frente Desastres das áreas ocupadas

ÁREAS OCUPADAS			
Classes de Aptidão	Características	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
I Consolidação Simples 	Áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade entre 3% e 30% e baixa suscetibilidade a processos associados a erosão e deslizamentos ou com declividade entre 3% e 15% com média suscetibilidade a estes processos.	Problemas geotécnicos eventuais podem surgir apenas em decorrência de intervenções executadas de forma inadequada.	As obras de consolidação devem seguir os procedimentos técnicos usuais. No entanto, deve sempre ser executado diagnóstico detalhado para identificação de eventuais problemas geotécnicos ou hidrológicos resultantes de intervenção inadequada. Proteger o solo contra processos erosivos e garantir a estabilidade dos taludes de corte.
II A Consolidação com Restrição 	Áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade entre 30% e 48% e baixa suscetibilidade a processos associados a erosão e deslizamentos ou com declividade entre 15% e 30% com média suscetibilidade e até 30% com alta suscetibilidade a estes processos. Localmente Áreas em encostas côncavas com declividade até 48% e baixa suscetibilidade a processos associados a erosão e deslizamentos ou com declividade até 30% com média e alta suscetibilidade a estes processos.	Podem-se esperar situações pontuais de risco associadas à inadequação de intervenções para movimentações de terra (cortes e aterros) e a não execução de obras de contenção ou de drenagem superficial. Conforme as características da área, promover a consolidação geotécnica pode ser considerado relativamente custoso. Para as áreas de encostas côncavas, as obras de consolidação devem considerar os problemas específicos das áreas côncavas, onde ocorrem escoamento concentrado de água superficial assim como produção e mobilização de sedimentos, caracterizando áreas potencialmente favoráveis a processos erosivos e deslizamentos.	Realizar levantamento detalhado dos depósitos de cobertura naturais e antrópicos (solos, aterros, entulhos) e das situações de risco pontuais. A declividade e a amplitude da encosta condicionam obras de terraplenagem de médio a grande porte para implantação das vias e edificações. Implantação adequada de sistema de drenagem de águas pluviais e servidas assume grande importância na consolidação geotécnica do assentamento. Nos setores de áreas côncavas, a manutenção de edificações para uso permanente pressupõe estudo detalhado das condições de estabilidade frente a processos de erosão e escorregamentos das áreas de montante, avaliando a possibilidade de execução de obras de consolidação geotécnica que garantam condições de segurança. A infraestrutura, em especial de manejo de águas pluviais, deve ser projetada e implantada de forma a evitar impactos nas áreas a jusante.

ÁREAS OCUPADAS			
Classes de Aptidão	Características	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
II B Consolidação com Restrição 	Áreas de fundos de vales sem fluxos fluviais com declividade superior a 6% (não coincidem com áreas de planícies e com os limites das APPs - Áreas de Preservação Permanente). Nas áreas de planícies e/ou terraços, terrenos potencialmente úmidos com baixa declividade natural e média suscetibilidade a inundação.	A consolidação de assentamentos neste setor deve considerar problemas relacionados à profundidade do nível freático e a seu afloramento, solos subjacentes saturados ou alagados em períodos chuvosos e impactos resultantes nas edificações (umedecimento de pisos e paredes, condições inadequadas de salubridade, etc.).	Recomenda-se realizar estudos hidrológicos na bacia de contribuição para verificar a profundidade do nível freático e também o comportamento de fluxos superficiais de escoamento pluvial e sua contribuição para inundações em áreas situadas a jusante. Nas áreas de planícies e terraços realizar estudos geotécnicos e hidrodinâmicos prévios para avaliar o potencial de consolidação da área e os cuidados a serem adotados, incluindo análise da bacia hidrográfica a montante, considerando alterações futuras nas suas características em função da impermeabilização.
III A Consolidação Complexa 	Áreas em encostas côncavas, retilíneas ou convexas com declividade entre 30% e 48% e média suscetibilidade a processos associados à erosão e deslizamentos ou áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade entre 30% e 48% com alta suscetibilidade a estes processos.	As obras de consolidação podem implicar em remoção de porcentagem significativa das moradias existentes e em obras de alto custo para consolidação geotécnica.	Recomenda-se realizar estudos geotécnicos específicos para estabilização das encostas em toda a microbacia hidrográfica, que permitam diagnosticar adequadamente os depósitos de cobertura naturais e antrópicos (solos, aterros, entulhos), os fluxos de drenagem superficial e subsuperficial e os riscos instalados para um adequado projeto de consolidação geotécnica.

ÁREAS OCUPADAS			
Classes de Aptidão	Características	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
III B Consolidação Complexa 	Áreas de fundo de vale e adjacentes que correspondem a: i) áreas de planícies (apresentam declividade na faixa de 0% a 3 %) e estão distantes do leito principal do rio em, no mínimo 30 m da faixa de APP. ii) coincidem com as APPs, e têm declividades mais acentuadas (>3%) por se tratarem de trechos dos rios localizados em fundos de vales encaixados.	A consolidação de assentamentos neste setor deve considerar problemas relacionados à profundidade do nível freático e a seu afloramento, solos subjacentes saturados ou alagados em períodos chuvosos e impactos resultantes nas edificações (umedecimento de pisos e paredes, condições inadequadas de salubridade, etc.). Na situação (i) de planície com suscetibilidade média a alta à inundação, caracteriza situação de risco médio a alto associado a inundação. Nas situações (i) e (ii), que coincide com a APP, esses setores possuem função para a manutenção da quantidade e qualidade da água para o reservatório, considerando também os períodos de estiagem.	Recomenda-se o reassentamento ou remoção das edificações sempre que possível, de acordo com análise da bacia de contribuição. Para a consolidação, recomenda-se realizar estudos na bacia de contribuição para verificar o risco de inundações, avaliar o grau de consolidação e a densidade das áreas ocupadas. Recomenda-se congelar uso e ocupação do solo dos lotes ocupados, relocação dos tipos de usos atuais sempre que possível; impedir novas ocupações até a realização de estudos na bacia de contribuição; implantar medidas mitigadoras, corretivas e preventivas para a redução do risco.
IV A Consolidação Muito Complexa 	Áreas em encostas côncavas, retilíneas ou convexas, com média a alta suscetibilidade a processos associados a erosão e deslizamentos e declividade superior a 48%; e Áreas em encostas côncavas com alta suscetibilidade a estes processos e declividade superior a 48%.	Há potencialidade muito grande de ocorrência de processos associados a deslizamentos e erosão, assim como outros problemas geotécnicos relacionados à declividade ou à curvatura côncava do terreno. Podem ainda ocorrer fluxos hídricos e de solo com possível impacto sobre as moradias situadas a jusante.	É desaconselhável a consolidação de moradias neste setor. Recomendam-se estudos em escala de detalhe para subsidiar decisão sobre remoção de moradias. No caso de remoção e reassentamento das edificações em alto risco, evitar que esses terrenos voltem a ser ocupados. Caso existam ou sejam realizados estudos em maior detalhe sobre os riscos e obras para controle e prevenção, estes devem prevalecer sobre as diretrizes gerais da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização e devem orientar a tomada de decisão para intervenções nas áreas que se fizerem necessárias.

ÁREAS OCUPADAS			
Classes de Aptidão	Características	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
IV B Consolidação Muito Complexa 	Correspondem às áreas de fundos de vales que coincidem com áreas de planícies, incluindo as Áreas de Preservação Permanente.	Os setores apresentam problemas relacionados à profundidade do nível freático, ao afloramento de nível freático, solos subjacentes saturados ou alagados em períodos chuvosos e impactos resultantes nas edificações (umedecimento de pisos e paredes, condições inadequadas de salubridade, etc.), com suscetibilidade alta à inundação, que caracteriza situação de risco. Esses setores possuem função para a manutenção da quantidade e qualidade da água para o reservatório, especialmente em períodos de estiagem.	Recomenda-se o reassentamento das edificações localizadas nesses setores e a implementação de parques e parques lineares para evitar que a área seja ocupada novamente por usos não-consuntivos, mantendo-as como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função. Caso existam ou sejam realizados estudos em maior detalhe sobre os riscos e obras para controle e prevenção, estes devem prevalecer sobre as diretrizes gerais da Carta de Geotécnica de Aptidão à Urbanização e devem orientar a tomada de decisão para intervenções nas áreas.

Tabela 29. Quadro legenda das Cartas de Aptidão à Urbanização frente Desastres das áreas não ocupadas

ÁREAS NÃO OCUPADAS			
Unidade	Características da Unidade	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
V Apta à urbanização usual 	Áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade entre 3% e 30% e baixa suscetibilidade a processos associados a erosão e deslizamentos ou com declividade entre 3% e 15% e média suscetibilidade a estes processos.	São os setores mais favoráveis aos processos usuais de urbanização do ponto de vista geotécnico e considerando os processos geológicos (deslizamento e erosão) a que estão sujeitas essas áreas.	São necessários cuidados usuais de urbanização, inclusive quanto à estabilidade de taludes, estudos para fundações e para movimentações de terra. Recomenda-se a proteção superficial das áreas terraplenadas, em especial quando o solo de alteração de rochas é exposto, quer em taludes de corte ou de aterro.

ÁREAS NÃO OCUPADAS			
Unidade	Características da Unidade	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
VI A Apta com Restrição 	Áreas em encostas côncavas com declividade até 30% e baixa suscetibilidade a processos associados à erosão e deslizamentos.	São áreas em que os cuidados na produção da edificação são determinantes para garantir a estabilidade geotécnica. São setores que podem ter parcelamento do solo, porém onde não se deve permitir a venda da terra nua, sem edificação. A urbanização dessas áreas pode levar a problemas geotécnicos (erosão e deslizamentos) em decorrência de obras de terraplenagem, executadas sem os devidos cuidados técnicos. A produção da edificação, se adequadamente executada, é segura e pode melhorar as condições gerais de estabilidade.	Tais áreas devem passar por um processo integrado de licenciamento em que se aprova, conjuntamente ao parcelamento do solo, a execução da edificação. Devem ser implantadas obras completas de infraestrutura, incluindo pavimentação e sistema de manejo das águas pluviais e servidas.
VI B Apta com Restrição 	Áreas em encostas côncavas com declividade até 15% e média suscetibilidade a processos associados à erosão e deslizamentos; e encostas retilíneas e convexas , com declividade de 15 a 30% e média suscetibilidade a estes processos.	São áreas em que os cuidados na produção da edificação são determinantes para garantir a estabilidade geotécnica. São setores que podem ter parcelamento do solo, porém onde não se deve permitir a venda da terra nua, sem edificação. A urbanização dessas áreas pode levar a problemas geotécnicos (processos geodinâmicos erosão e deslizamentos de terra) em decorrência de obras de terraplenagem, executadas sem os devidos cuidados técnicos. A produção da edificação, se adequadamente executada, é segura e pode melhorar as condições gerais de estabilidade.	Tais áreas devem passar por um processo integrado de licenciamento em que se aprova conjuntamente ao parcelamento do solo a execução da edificação. Devem ser implantadas obras completas de infraestrutura, incluindo pavimentação e sistema de manejo das águas pluviais e servidas.

ÁREAS NÃO OCUPADAS			
Unidade	Características da Unidade	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
VI C Apta com Restrição 	Áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade menor que 30%, quando for baixa suscetibilidade a processos associados à erosão e deslizamentos, com declividade entre 30 e 48% quando houver média suscetibilidade; e ainda, menor que 15%, em áreas de alta suscetibilidade; e Áreas em encostas côncavas, com média suscetibilidade a estes processos e declividade entre 15% e 30%.	Embora sejam áreas com potencial para ocorrência de processos geodinâmicos, podem ser urbanizadas, desde que o processo de urbanização seja feito de modo a ampliar as condições naturais de segurança, o que pressupõe que se façam estudos prévios e que o parcelamento do solo seja acompanhado pela produção das edificações. Quando apresentam baixa declividade, são usualmente topos de setores em que predominam encostas de alta declividade e suscetibilidade a escorregamentos.	Constituem áreas cuja ocupação pressupõe, simultaneamente, a realização de estudos para a prevenção de riscos e a implantação integrada da edificação ao parcelamento, para evitar os riscos de problemas geotécnicos que podem advir das obras de terraplenagem concebidas e implantadas individualmente pelos proprietários dos lotes, de forma desarticulada. Em áreas de topos de morros são necessários estudos de estabilidade que permitam indicar os cuidados a serem adotados pela urbanização nas bordas (ruptura de relevo), para que essa seja estabilizadora da encosta e não potencializadora de processos de escorregamentos. Quando situadas em áreas de alta declividade, pressupõe-se a realização de estudos detalhados de estabilidade em toda a encosta. Devem ser implantadas obras completas de infraestrutura, incluindo pavimentação e sistema de manejo das águas pluviais e servidas.
VI D Apta com Restrição 	Áreas de planícies e/ou terraços, terrenos potencialmente úmidos com baixa declividade e média suscetibilidade a processos de inundação.	São áreas cuja ocupação depende de estudos prévios de detalhe para avaliação dos riscos de inundação e de comportamento dos solos, face a particularidades nelas existentes.	Ocupação condicionada a estudos prévios, sobre as características dos solos e sobre os riscos de inundação, incluindo análise da bacia hidrográfica a montante, considerando alterações futuras nas suas características de impermeabilização.

ÁREAS NÃO OCUPADAS			
Unidade	Características da Unidade	Potencialidades e limitações para o uso e ocupação do solo	Cuidados e Recomendações para a urbanização
VII A Inapta 	Áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade acima de 48% e suscetibilidade baixa a média a processos associados à erosão e deslizamentos; e maior que 30% em condições de alta suscetibilidade a estes processos; Áreas em encostas côncavas, com baixa ou média suscetibilidade a estes processos e declividade acima de 30% e acima de 6% com alta suscetibilidade.	O contexto problemático do ponto de vista geotécnico leva à necessidade de medidas especiais para garantir a manutenção das características naturais de área, em especial de preservação ou recuperação da vegetação existente.	Recomendam-se cuidados com as obras de infraestrutura na área do entorno, em especial de manejo das águas pluviais e servidas, para que as mesmas não agravem as condições de risco naturalmente existentes nesses setores Necessário prever medidas que garantam a manutenção da vegetação nessas áreas e evitem sua ocupação irregular. Parte dessas áreas poderá ser incorporada a lotes particulares de grandes dimensões, desde que fique assegurada a proteção da vegetação e a inexistência de edificações de uso permanente no trecho inapto. Atender as recomendações e exigências da legislação ambiental e mais restritiva aplicada à área.
VII B Inapta 	Correspondem às seguintes situações: i) Áreas de fundos de vales que coincidem com áreas de planícies e com os limites das APPs. ii) Áreas que se sobrepõem às planícies (apresentam declividade na faixa de 0% à 3 %) e estão distantes do leito principal do rio em, no mínimo 30 m da faixa de APP. iii) Áreas adjacentes aos fundos de vales com declividade superior a 3% que não coincidem com áreas de planície e não coincidem com os limites das Áreas de Preservação Permanente (APP); iv) Áreas que coincidem com as APPs, e têm declividades mais acentuadas (>3%) por se tratarem de trechos de fundos de vales encaixados e sujeitos a enxurradas.	Não é apta a urbanização neste setor, considerando os riscos associados à inundação e relacionados à profundidade do nível freático, ao afloramento de nível freático, solos subjacentes saturados ou alagados em períodos chuvosos. Nas áreas que possuem cobertura vegetal ou florestal a impermeabilização ou supressão impactará na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, especialmente em períodos chuvosos. Além disso, esses setores possuem função para a manutenção da quantidade e qualidade da água para o reservatório, especialmente em períodos de estiagem, garantindo a qualidade dos serviços ecossistêmicos.	Considerando a função hidroecológica dessas zonas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (em períodos de estiagem e de inundação) e a legislação ambiental, deve-se evitar sua ocupação, mantendo-as como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função.

5.1 ZONA DE RECUPERAÇÃO URBANA E MACROZONA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

A análise das classes de aptidão à Urbanização do município de Santo André foi realizada associando a área de interesse definida para este estudo ao macrozoneamento do município: analisam-se as classes de aptidão das Zonas Recuperação Urbana e a Macrozona de Proteção Ambiental.

Para a **Zona de Recuperação Urbana** (ver Anexo 3 – folha 01), a Carta Geotécnica apresenta a distribuição das classes de aptidão para as áreas ocupadas e não ocupadas exposta nas Tabelas 30 e 31.

Tabela 30. Total de área ocupada e não ocupada na Zona de Recuperação Urbana.

Zona de Recuperação Urbana	Área (km ²)	%
Área Ocupada	6,60	71,12
Área Não Ocupada	2,60	28,02
Massa d'água	0,08	0,86
Total	9,28	100,00

Tabela 31. Classes de Aptidão à Urbanização para áreas da Zona de Recuperação Urbana.

Zona de Recuperação Urbana		
Classes de Aptidão Área ocupada	Área (km ²)	%
I. Consolidação simples	2,52	38,18
II A. Consolidação com restrição	1,37	20,76
II B. Consolidação com restrição	0,12	1,82
III A. Consolidação complexa	0,48	7,27
III B. Consolidação complexa	0,65	9,85
IV A. Consolidação muito complexa (Áreas de encostas)	1,35	20,45
IV B. Consolidação muito complexa (Zonas úmidas)	0,11	1,67
Total área ocupada	6,60	100
Área não ocupada	Área (km ²)	%
V. Apta a urbanização usual		
VI A. Apta com restrição	0,03	1,15
VI B. Apta com restrição	0,35	13,46
VI C. Apta com restrição	0,02	0,77
VI D. Apta com restrição	0,02	0,77
VII A. Inapta	1,76	67,69
VII B. Inapta	0,24	9,23
Total área não ocupada	2,6	100
Total área ocupada + área não ocupada	9,20	
Massa d'água	0,08	
Total	9,28	

As áreas para as quais é sugerida **Consolidação simples** (38,18%) correspondem a terrenos de baixa a média suscetibilidade a processos de deslizamentos e erosão, onde problemas de ordem geotécnica podem aparecer em decorrência de intervenções inadequadas. As obras de consolidação dessas áreas devem seguir as orientações e procedimentos técnicos usuais, sempre levando em conta a possibilidade de desenvolvimento desses processos e garantindo a proteção do solo para evitar erosão e a estabilidade dos taludes de corte. Ocorrem em trechos da Cidade São Jorge, Parque João Ramalho (Foto 8), entre a Vila Suíça e Jardim Santo André, Parque dos Pássaros, Jardim Santa Cristina, Vila Luzita e parte do Jardim Irene.



Foto 8. Área de consolidação simples (Av. Sorocaba - Parque João Ramalho - Santo André)

As áreas indicadas como **IIA - Consolidação com restrição** representam 20,76% do total da área da Macrozona e caracterizam-se por terrenos com declividades entre 15 e 48% e baixa a alta suscetibilidade aos processos de erosão e deslizamentos, destacando as áreas mais críticas em vertentes (encostas) côncavas. Intervenções antrópicas mal planejadas e inadequadas, tais como ausência ou deficiências do sistema de drenagem superficial, remoção de cobertura vegetal e exposição do solo nos taludes, podem criar situações de instabilidade nos terrenos e a ocorrência de processos de erosão e deslizamentos (Foto.9). Recomendam-se estudos geotécnicos detalhados, de acordo com as características locais, para a consolidação desses espaços, destacando especialmente o manejo das águas superficiais. Merecem cuidados os bairros Cidade São Jorge, trechos do Condomínio Maracanã, Vila João Ramalho, setores do afluente da margem esquerda do córrego Guarará e a montante da área do Jardim Santo André.



Foto 9. Área de consolidação com restrição IIA. Rua Toledana - Jardim Santo André - Santo André

A classe de aptidão **IIIA - Consolidação complexa** corresponde a 7,27% da Macrozona. Ocorrem em trechos de relevo com vertentes côncavas, convexas e retilíneas, com declividades entre 30 e 48%. São áreas com alto potencial para ocorrência de deslizamentos e erosão e processos correlatos. As obras de intervenção para consolidação do espaço urbano são mais complexas, de maior custo, exigindo manutenção constante das obras efetuadas. Estão distribuídas em pequenas porções localizadas na macrozona (Fotos 10 e 11), mas sempre associadas às **áreas IVA. Consolidação Muito Complexa** (Vila Suíça, Jardim Irene, área a montante do Sítio dos Vianas, cabeceiras de drenagem dos afluentes da margem esquerda do córrego Guarará), que abrangem no total 20,45% (Fotos 12 e 13). Essas áreas caracterizam-se por terrenos com de média a alta suscetibilidade aos processos de erosão e deslizamentos, mas com declividades acima de 48%. Cuidados especiais e projetos específicos devem ser elaborados em qualquer nível de tomada de decisão para eventual remoção de moradias e ou reurbanização da área.



Foto 10. Classe IIIA – Consolidação Complexa na Av. Valentim Magalhães - Vila Guarani - Santo André



Foto 11. Classe IIIA – Consolidação Complexa na Rua Toledana - Jardim Santo André - Santo André



Foto 12. Classe IVA – Consolidação Muito Complexa : Rua Arara Azul - Recreio da Borda do Campo - Santo André



Foto 13. Classe IVA – Consolidação Muito Complexa : Rua Tijuca - Sítio Cassaquera - Santo André

As áreas **IIB- Consolidação com Restrição**, que correspondem aos trechos de fundos de vales com declividades acima de 3%, caracterizam-se por terrenos úmidos e média suscetibilidade a processos hidrodinâmicos, representando apenas 1,82%. São observadas ao longo do córrego Guarará e seus afluentes a montante do Jardim Irene e Jardim Santo André. Para a consolidação de assentamentos neste setor, deve-se considerar a possibilidade de elevação do nível d'água, principalmente em períodos chuvosos, provocando a saturação dos solos. A variação do nível d'água, bem como outras intervenções na bacia de contribuição, devem ser considerados em projetos de consolidação da área afim de minimizar impactos tanto em danos na infraestrutura quanto na insalubridade dos moradores.

As áreas mapeadas como **IIIB - Consolidação Complexa** correspondem a 9,85% da Macrozona e constituem planícies com declividades inferiores a 3% e porções com declividades superiores que coincidem com as Áreas de Proteção Permanente - APPs. São representativas nos trechos de cabeceiras de drenagem dos afluentes e do próprio córrego Guarará. Problemas relacionados à variação do nível d'água e afloramento do lençol freático são mais frequentes, além do médio a alto risco para inundação. Para essas áreas, recomenda-se o reassentamento ou remoção das edificações sempre que possível, de acordo com análise da bacia de contribuição. Para a consolidação, recomenda-se realizar estudos na bacia de contribuição para verificar o risco de inundações, avaliar o grau de consolidação e a densidade das áreas ocupadas, congelar uso e ocupação do solo dos lotes ocupados, relocação dos tipos de usos ou das moradias sempre que possível; impedir novas ocupações até a realização de estudos na bacia de contribuição; implantar medidas mitigadoras, corretivas e preventivas para a redução do risco na bacia de contribuição.

A área **IV B - Consolidação Muito Complexa** acompanha todo o eixo principal da calha do córrego Guarará (em trecho de planícies, declividade inferior a 3% e área de APPs) e seus afluentes abrangendo apenas 1,67% da área (Foto 14), com os mesmos problemas que as áreas IIB e IIIB, porém quando os processos se manifestam as inundações são mais graves, gerando alto risco. Recomenda-se, além das medidas propostas para a IIIB, o reassentamento das edificações localizadas nesses setores, sempre que possível, e a implementação de parques

lineares para evitar que a área seja ocupada novamente por usos não-consuntivos, mantendo-as como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função. Caso existam ou sejam realizados estudos em maior detalhe sobre os riscos e obras para controle e prevenção, estes devem prevalecer sobre as diretrizes gerais da Carta de Geotécnica de Aptidão à Urbanização e devem orientar a tomada de decisão para intervenções nas áreas.



Foto 14. Trecho de área em Classe IVB – Consolidação Muito Complexa na Av. Maurício de Medeiros – Jardim Irene - Santo André

A área não ocupada da Macrozona de Recuperação Urbana é de apenas 2,60 km² ou 28,02% em relação ao total. A porção indicada como **Apta à urbanização usual** corresponde a apenas 6,92% da área, enquanto as áreas **Aptas com restrição (VI A, VI B, e VI C)**, que somam 0,4 km² (15,38%), são caracterizadas por terrenos em encostas e suscetíveis a processos erosivos e deslizamentos. Estas áreas demandam orientações e diretrizes específicas para o parcelamento do solo, com vistas a minimizar os impactos ambientais e evitar a deflagração dos processos geodinâmicos.

A porção indicada como **VII A - Inapta** abrange 1,76 km² (67,69%). Ocorre predominantemente nas cabeceiras do Guarará e seus afluentes, trecho do Cata Preta, e nos limites entre a Macrozona de Recuperação Urbana e de Proteção Ambiental, e nas proximidades do Parque Guaraciaba. Esta classe inclui áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade acima de 48% e suscetibilidade de qualquer grau a processos de erosão e deslizamentos; também, áreas em encostas côncavas com declividade acima de 30% e baixa a média suscetibilidade aos processos.

A probabilidade de ocorrência de problemas geotécnicos gerados pela falta de infraestrutura e ausência e ou ineficiência dos sistemas de drenagem agravam as condições de risco. Assim, é necessário prever medidas que garantam a manutenção da vegetação nessas áreas e evitem sua ocupação irregular. Parte dessas áreas poderá ser incorporada a lotes particulares de grandes dimensões, desde que fique assegurada a proteção da vegetação e a inexistência de edificações de uso permanente no trecho inapto. Atender as recomendações e exigências da legislação ambiental mais restritiva aplicada à área.

A porção mapeada como **VIIB - Inapta** corresponde às áreas de planícies e terraços associados que envolvem as APPs definidas por lei e fundos de vales encaixados, correspondentes a 0,24 km² (9,23% da Macrozona). São representativas ao longo dos afluentes da margem esquerda do córrego Guarará (Cata Preta). São áreas que apresentam riscos associados à inundação e relacionados ao afloramento de nível freático, com solos subjacentes saturados ou alagados em períodos chuvosos. Nas áreas que possuem cobertura vegetal ou florestal, a impermeabilização ou supressão impactará na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, especialmente em períodos chuvosos. Além disso, esses setores possuem função para a manutenção da quantidade e qualidade da água para o reservatório, especialmente em períodos de estiagem, garantindo a qualidade dos serviços ecossistêmicos. Considerando a função hidroecológica dessas zonas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (em períodos de estiagem e de inundação) e a legislação ambiental, deve-se evitar sua ocupação, mantendo-as como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função.

Para a **Macrozona de Proteção Ambiental** (Anexo 3 – Folhas 01 a 05), a distribuição das classes de aptidão pode ser analisadas pelas Tabelas 32 e 33. Nesta Macrozona, as áreas ocupadas correspondem a 9,05 km² (8,37%) e as áreas não ocupadas, a 93,06 km² (86,06%).

Tabela 32. Total de área ocupada e não ocupada na Macrozona de Recuperação Urbana.

Macrozona de Proteção Ambiental	Área (km ²)	%
Área Ocupada	9,05	8,37
Área Não Ocupada	93,06	86,06
Massa d'água	6,03	5,58
Total	108,14	

Tabela 33. Classes de Aptidão à Urbanização para áreas da Macrozona de Proteção Ambiental

Macrozona de Proteção Ambiental		
Classes de aptidão	Área (km ²)	%
Área ocupada		
I. Consolidação simples	3,30	36,46
II A. Consolidação com restrição (Áreas de encostas)	0,95	10,50
II B. Consolidação com restrição (Zonas úmidas)	0,19	2,10
III A. Consolidação complexa (Áreas de encostas)	0,98	10,83
III B. Consolidação complexa (Zonas úmidas)	1,71	18,90
IV A. Consolidação muito complexa (Áreas de encostas)	1,60	17,68
IV B. Consolidação muito complexa (Zonas úmidas)	0,32	3,54
Total área ocupada	9,05	100,00
Classes de aptidão	Área (km ²)	%
Área não ocupada		
V. Apta a urbanização usual	18,86	20,27
VI A. Apta com restrição	2,05	2,20
VI B. Apta com restrição	3,53	3,79
VI C. Apta com restrição	8,97	9,64
VI D. Apta com restrição	0,00	0,00
VII A. Inapta	38,83	41,73
VII B. Inapta	20,82	22,37
Total área não ocupada	93,06	100,00
Total área ocupada + área não ocupada	102,11	
Massa d'água	6,03	
TOTAL	108,14	

As áreas ocupadas apontadas como de **Consolidação simples** representam 36,46% do total da área ocupada e ocorrem em trechos do entorno da Vila de Paranapiacaba, ao longo da estrada próximo ao Campo Grande, no entorno da represa próximo ao Parque das Garças (Foto 15), Jardim Clube de Campo, Parque Represa Billings II, Recreio da Borda do Campo e Jardim Riviera. Correspondem a terrenos de baixa a média suscetibilidade a processos de deslizamentos e erosão, onde problemas de ordem geotécnica podem aparecer em decorrência de intervenções inadequadas. As obras de consolidação dessas áreas devem seguir as orientações e procedimentos técnicos usuais, sempre levando em conta a possibilidade de desenvolvimento desses processos e garantindo a proteção do solo para evitar erosão e a estabilidade dos taludes de corte.



Foto 15. Trecho de Classe I – Consolidação Simples na Estrada do Gasoduto (S/N) - Parque das Garças - Santo André

As áreas caracterizadas como sendo de **Consolidação Complexa** (IIIA) e **Consolidação Muito Complexa** (IVA) ocorrem de forma associada e são expressivas ao sul do Rodoanel, área do Recreio da Borda do Campo.

A área de **Consolidação Complexa** em zonas úmidas (III B) é expressiva na região do Campo Grande e também na área de entorno e no acesso à Vila de

Paranapiacaba. Corresponde a 18,90% da área ocupada total. Caracteriza-se por planícies com qualquer declividade que coincidem com as APPs. Problemas relacionados à variação do nível d'água e afloramento do lençol freático são mais frequentes, além do médio a alto risco para inundação. Para essas áreas recomenda-se o reassentamento ou remoção das edificações sempre que possível, de acordo com análise da bacia de contribuição. Para a consolidação, recomenda-se realizar estudos na bacia de contribuição para verificar o risco de inundações, avaliar o grau de consolidação e a densidade das áreas ocupadas, congelar uso e ocupação do solo dos lotes ocupados, relocação dos tipos de usos ou das moradias atuais sempre que possível; impedir novas ocupações até a realização de estudos na bacia de contribuição; implantar medidas mitigadoras, corretivas e preventivas para a redução do risco na bacia de contribuição.

Nas áreas **não ocupadas**, destacam-se as classes **V- Apta à urbanização usual**, representando 20,97%, **VI C - Apta com restrição** (área de encostas), 9,64%, **VII A - Inapta** (áreas de encostas), com 41,73% e **VII B - Inapta** (zonas úmidas), com 22,37%.

As áreas apontadas como **Aptas à urbanização usual** caracterizam-se por encostas retilíneas ou convexas com declividade entre 3% e 30% e baixa suscetibilidade a processos associados a erosão e deslizamentos ou com declividade entre 3% e 15% e média suscetibilidade a estes processos, sendo favoráveis à ocupação urbana. De qualquer forma, são necessários cuidados usuais de urbanização, inclusive quanto à estabilidade de taludes, estudos para fundações e para movimentações de terra. Recomenda-se a proteção superficial das áreas terraplenadas, em especial quando o solo de alteração de rochas é exposto, quer em taludes de corte ou de aterro. Aparecem na Fazenda dos Tecos, Sítio Taquaral, cabeceiras dos córregos que drenam para o Parque Represa Billings III, Parque América, trechos da bacia do Rio Grande e cabeceiras do Rio Mogi, Várzea do Rio Grande, e Reserva Biológica do Alto Serra.

As porções indicadas como **VI C – Apta com restrição**, identificadas em 9,64% do total da área não ocupada (principalmente ao longo da várzea do Rio Grande), correspondem às áreas em encostas retilíneas ou convexas com declividade entre 30% e 48% e baixa ou média suscetibilidade a processos

associados à erosão e deslizamentos ou áreas com declividade entre 3% e 30% e alta suscetibilidade a estes processos; ainda incluem as áreas em encostas côncavas, com média suscetibilidade a estes processos e declividade entre 15% e 30%. Embora sejam áreas com potencial para ocorrência de processos geodinâmicos, podem ser urbanizadas desde que o processo de urbanização seja feito de modo a ampliar as condições naturais de segurança, o que pressupõe que se façam estudos prévios e que o parcelamento do solo seja acompanhado pela produção das edificações. Quando apresentam baixa declividade, são usualmente topos de setores em que predominam encostas de alta declividade e suscetibilidade a escorregamentos (Foto 16). Sua ocupação pressupõe, simultaneamente, a realização de estudos para a prevenção de riscos e a implantação integrada da edificação ao parcelamento, para evitar os riscos de problemas geotécnicos que podem advir das obras de terraplenagem concebidas e implantadas individualmente pelos proprietários dos lotes, de forma desarticulada. Em áreas de topos de morros são necessários estudos de estabilidade que permitam indicar os cuidados a serem adotados pela urbanização nas bordas (ruptura de relevo), para que essa seja estabilizadora da encosta e não potencializadora de processos de escorregamentos. Quando situadas em áreas de alta declividade, pressupõe-se a realização de estudos detalhados de estabilidade em toda a encosta. Devem ser implantadas obras completas de infraestrutura, incluindo pavimentação e sistema de manejo das águas pluviais e servidas.



Foto 16. Trecho de área em Classe VI C – Apta com restrição, situada na Rua Paranapiacaba - Várzea do Rio Grande - Santo André

As porções da Macrozona indicadas como **VII A – Inapta**, correspondem a 41,73% do total da área, envolvendo grande parte das áreas das bacias de contribuição dos cursos d'água que drenam para a Várzea do Rio Grande, principalmente da margem direita, e ao sul do município nos limites com o município de Cubatão. São caracterizadas por encostas retilíneas ou convexas, com declividade acima de 48% e qualquer classe de suscetibilidade a processos de erosão e deslizamentos; também por áreas em encostas côncavas, com declividade acima de 30% e baixa e média suscetibilidade aos processos. A probabilidade de ocorrência de problemas geotécnicos gerados pela falta de infraestrutura e ausência e ou ineficiência dos sistemas de drenagem podem agravar as condições de risco. Assim, é necessário prever medidas que garantam a manutenção da vegetação nessas áreas e evitem sua ocupação irregular. Parte dessas áreas poderá ser incorporada a lotes particulares de grandes dimensões, desde que fique assegurada a proteção da vegetação e a inexistência de edificações de uso permanente no trecho inapto. Atender as recomendações e exigências da legislação ambiental mais restritiva aplicada à área (Foto 26).



Foto 17. Classe VII A – Inapta. Ao fundo, vista geral da Serra de Paranapiacaba.

As áreas **VII B - Inapta** constituem as planícies e terraços associados que envolvem as APPS definidas por lei e fundos de vales encaixados; correspondem a 22,37% do total da área não ocupada. São áreas extensas que abrangem a ampla planície dos rios que drenam para o reservatório do Rio Grande e setores de cabeceiras de drenagem com vales entalhados. Esses setores apresentam riscos associados a inundação e relacionados à profundidade do nível freático, ao afloramento de nível freático, solos subjacentes saturados ou alagados em períodos chuvosos. Nas áreas que possuem cobertura vegetal ou florestal a impermeabilização ou supressão impactará na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica, especialmente em períodos chuvosos. Além disso, esses setores possuem função para a manutenção da quantidade e qualidade da água para o reservatório, especialmente em períodos de estiagem, garantindo a qualidade dos serviços ecossistêmicos. Considerando a função hidroecológica dessas zonas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (em períodos de estiagem e de inundação) e a legislação ambiental, deve-se evitar sua ocupação, mantendo-as como zonas protegidas e com usos compatíveis com essa função.

5.2 ZONA DE REESTRUTURAÇÃO URBANA

Na porção estudada do Eixo do Tamanduateí (Anexo 4), inserida na **Zona de Reestruturação Urbana** de Santo André, foram definidas 4 classes de aptidão (Tabela 34). Nestas áreas é possível observar (ver Tabela 35) que 6,67% está sujeita à inundação periódica com TR 10, abrangendo todo eixo principal do curso d'água, tornando-se um pouco mais ampla no trecho do setor Tamanduateí 5. Essas áreas são prioritárias para recuperação e estudos específicos e detalhados, levando em conta as significativas alterações que os usos e ocupação do solo podem provocar na dinâmica hidrológica, potencializando episódios de inundação e gerando situações de muito alto risco (Foto 18).

Tabela 34. Quadro-legenda classes de aptidão Zona de Reestruturação Urbana

MACROZONA URBANA - ZONA DE REESTRUTURAÇÃO URBANA (EIXO TAMANDUATEÍ)			
Unidade	Características das áreas	Processos	Orientações para urbanização
Inundação periódica (TR 10) 	Área sujeita a inundações de baixo período de retorno (10 anos) de acordo com o PDMAT	Inundações, alagamentos, afloramento da água subterrânea, solapamento de taludes marginais, contaminação por água das inundações e riscos associados ao fluxo de água em velocidade.	Áreas prioritárias para gradativa recuperação do ambiente natural, onde deve ser evitado qualquer tipo de edificação. Quando já urbanizada, devem ser evitados usos de natureza permanente, devem ser realizados estudos detalhados de risco e deve ser analisado o potencial impacto que o uso pode provocar na dinâmica hidrológica.
Inundação máxima (TR 25) 	Área sujeita a inundações de médio período de retorno (25 anos) de acordo com o PDMAT	Inundações, alagamentos, afloramento da água subterrânea, contaminação por água das inundações e riscos associados ao fluxo de água	Áreas prioritárias para gradativa recuperação do ambiente natural. Quando já urbanizada, devem ser evitados usos de natureza permanente. As edificações eventualmente nela situadas devem ser objeto de estudos que avaliem e mitiguem as consequências da inundação, que poderá ocorrer sistematicamente na área.
Zona úmida em planície 	Zonas úmidas, de baixa declividade natural, mal drenadas, sujeitas a afloramento das águas subterrâneas, acúmulo de água e à ocorrências de alagamentos.	Alagamentos, acúmulo de água, afloramento da água subterrânea, problemas associados à contaminação trazida pelas águas.	Áreas que devem ser objeto de estudos especiais quanto à micro-drenagem, condições de salubridade, cotas das edificações e demais medidas de prevenção do atingimento pelas águas.
Demais áreas da planície 	Terrenos com características e problemas típicos de planície, porém em cotas um pouco mais elevadas com relação aos leitos maior e menor dos corpos d'água, que levam a menores frequências de problemas de atingimento pelas águas.	Eventuais problemas de afloramento de água subterrânea e alagamentos, estes em especial associados a problemas na micro drenagem	Áreas que devem ser objeto de estudos relacionados à presença de solos moles, baixa capacidade de suporte e nível elevado da água subterrânea.

Tabela 35. Classes de Aptidão à Urbanização para áreas da Zona de Reestruturação Urbana suscetíveis aos processos hidrológicos (inundações).

Zona de Reestruturação Urbana		
Classes de Aptidão	Área (km ²)	(%)
Demais Áreas de planície	4,65	47,96
Zonas Úmidas de planície	3,54	36,46
Inundação máxima (TR 25)	0,75	7,76
Inundação periódica (TR10)	0,65	6,67
Massa d'água	0,11	1,15
Total	9,70	100,00



Foto 18. Trecho do Rio Tamanduateí correspondente à área de muito alto risco de inundação (Inundação periódica TR 10).

As áreas suscetíveis à inundação com TR 25 correspondem a 7,76% e acompanham parte das manchas de TR10 no setor de jusante do rio Tamanduateí, um pouco mais ampla entre o setor Tamanduateí 5 e o Centro da Cidade. Consistem em áreas que, quando já ocupadas, devem ser objeto de estudos que avaliem intervenções que mitiguem as consequências das inundações de grande extensão para minimizar os impactos.

As Zonas Úmidas de planície correspondem a 36,46% da área da macrozona e são caracterizadas por terrenos mal drenados, sujeitos a afloramento do nível d'água, acúmulo de água e ocorrência de alagamentos, além de maior potencialidade de contaminação das águas. São áreas que necessitam de projetos específicos em função destas características, sejam para aquelas ocupadas quanto para as não ocupadas. As demais áreas de planície, em condições de terrenos mais elevados em relação às adjacências da calha fluvial, correspondem a 47,96% e os principais problemas estão associados às deficiências de micro drenagem, presença de solos moles e baixa capacidade de suporte que devem ser alvo de estudos e projetos voltados à solução dos problemas.

5.3 CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO - SÍNTESE

A Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização – Síntese fornece uma indicação simplificada para as áreas ocupadas ou não ocupadas quanto à sua aptidão geotécnica para urbanização ou consolidação da urbanização existente e destaca áreas não recomendadas à urbanização. Tem como objetivo principal permitir ao usuário uma leitura direta e fácil da aptidão à urbanização frente aos processos geotécnicos e hidrológicos. O Anexo 5 apresenta as Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização – Síntese. Importante destacar que não se tratam necessariamente das áreas mais favoráveis à urbanização posto que, para definição das áreas mais favoráveis, é necessário considerar um conjunto de outros fatores, que transcendem aos aspectos geotécnicos analisados. Nesta carta são também destacados os trechos que foram avaliados como de alta prioridade para conservação e os trechos considerados inaptos ou de consolidação não recomendada. Permite a visualização dos trechos que, por motivos ambientais ou geotécnicos, têm sérias limitações ao processo de urbanização ou de consolidação da urbanização existente.

Os resultados obtidos nas Cartas Geotécnica de Aptidão à Urbanização – Síntese estão expressos em 4 grupos (Tabela 36):

- a) Áreas Aptas à Urbanização Usual ou à Consolidação Urbana Simples
- b) Áreas Aptas à Urbanização ou à Consolidação com Restrições
- c) Áreas Inaptas à Urbanização ou com Consolidação Muito Complexa
- d) Áreas com alta prioridade para conservação ambiental

Tabela 36. Síntese das unidades de terreno em relação às potencialidades e limitações para a ocupação.

	Áreas Aptas à Urbanização Usual ou à Consolidação Urbana Simples	Áreas mais favoráveis, do ponto de vista geotécnico, aos processos de urbanização ou consolidação da urbanização existente. Seguir as recomendações estabelecidas na tabela de unidades geológico-geomorfológicas e quadro-legenda da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização
	Áreas Aptas à Urbanização ou à Consolidação com Restrições	Áreas cuja urbanização ou consolidação deve atender a critérios especiais, e/ou estudos prévios considerando os processos geodinâmicos, geotécnicos e hidrológicos. Apresentam potencialidade de uso heterogênea, do ponto de vista geotécnico, incluindo desde áreas em que estudos pontuais são necessários até trechos de urbanização complexa que só devem ser ocupados em condições muito especiais. Seguir as recomendações estabelecidas na tabela de unidades geológico-geomorfológicas e quadro-legenda da Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização
	Áreas Inaptas à Urbanização ou com Consolidação Muito Complexa	Áreas onde é desaconselhável a urbanização e implantação de edificações para uso permanente. Apresentam alta suscetibilidade e/ou histórico de ocorrências de processos geodinâmicos, geotécnicos e hidrológicos. As edificações existentes devem ser, quando possível, objeto de reassentamento. Devem ser priorizadas alternativas de uso que levem à conservação ou recomposição da vegetação arbórea.
	Áreas com alta prioridade para conservação ambiental	Áreas que, em função da densidade de áreas de preservação permanente, da presença de remanescentes florestais ou por condicionantes da legislação de proteção aos mananciais são consideradas de alta prioridade para conservação ambiental. Não se recomenda urbanização, devendo ser priorizados usos que conduzam a essa conservação.

As Tabelas 37, 38 e 40 apresentam, respectivamente, a síntese das classes de aptidão para as áreas da Zona de Reestruturação Urbana, Zona de Recuperação Urbana e a Macrozona de Proteção Ambiental.

Tabela 37. Síntese das classes de aptidão à urbanização da Zona de Reestruturação Urbana

Zona de Reestruturação Urbana		
Classes aptidão	Área (KM²)	%
Áreas Aptas à Urbanização Usual ou à Consolidação Urbana Simples	1,59	16,41
Áreas Aptas à Urbanização ou à Consolidação com Restrições	5,56	57,29
Áreas Inaptas à Urbanização ou com Consolidação Muito Complexa	2,44	25,15
Áreas com alta prioridade para conservação ambiental	0,00	0,00
Massa d'água	0,11	1,16
TOTAL	9,7	100

Tabela 38. Síntese das classes de aptidão à urbanização da Zona de Recuperação Urbana

Zona de Recuperação Urbana		
Classes aptidão	Área (KM²)	%
Áreas Aptas à Urbanização Usual ou à Consolidação Urbana Simples	2,70	29,17
Áreas Aptas à Urbanização ou à Consolidação com Restrições	3,02	32,60
Áreas Inaptas à Urbanização ou com Consolidação Muito Complexa	3,42	36,90
Áreas com alta prioridade para conservação ambiental	0,04	0,45
Massa d'água	0,08	0,87
TOTAL	9,28	100

Tabela 39. Síntese das classes de aptidão a urbanização da Macrozona de Proteção Ambiental

Macrozona de Proteção Ambiental		
Classes aptidão	Área (KM ²)	%
Áreas Aptas à Urbanização Usual ou à Consolidação Urbana Simples	12,18	11,80
Áreas Aptas à Urbanização ou à Consolidação com Restrições	4,80	4,65
Áreas Inaptas à Urbanização ou com Consolidação Muito Complexa	19,66	19,04
Áreas com alta prioridade para conservação ambiental	60,55	58,65
Massa d'água	6,05	5,86
TOTAL	103,23	100,00

Na Zona de Reestruturação Urbana, observa-se que o Centro de Santo André faz parte das Áreas Aptas à Urbanização ou à Consolidação com Restrições e portanto, alguns cuidados devem ser considerados na gestão do uso e ocupação do solo. Na Zona de Recuperação Urbana as Áreas Inaptas à Urbanização ou com Consolidação Muito Complexa são mais representativas nas porções de cabeceiras de drenagem e fundos de vale, destacando os bairros Cata Preta e Sítio dos Vianas.

Parque do Pedroso, Waisberg II, Três Divisas, Cabeceiras do Rio Pequeno, Cabeceiras do Rio Mogi, Reserva Biológica Alto da Serra, Várzea do Rio Grande e Cabeceiras do Rio Grande são consideradas Áreas com alta prioridade para conservação ambiental e representam 58,65% da área total da Macrozona de Proteção Ambiental. Parque das Garças, trechos de cabeceiras do Rio Pequeno, trechos do Campo Grande e Jardim Eugênio de Lima são consideradas Áreas Inaptas à Urbanização ou com Consolidação Muito Complexa e representam 19,04% da área.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização frente aos desastres naturais está fundamentada nos métodos estabelecidos para elaboração de cartas geotécnicas que foram adaptados e modificados com a inclusão do aspecto ambiental na definição das unidades de terreno, tendo em vista a finalidade da Carta de Aptidão, que deve atender ao planejamento urbano municipal e ser incluída ao Plano Diretor, de acordo com a Lei 12.608/12. Além disso, deverá contribuir para o Planejamento Urbano Regional.

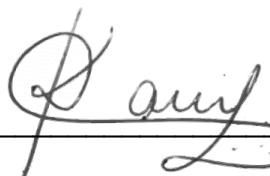
Ressalta-se que a Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização é um instrumento de planejamento urbano que fornece orientações e diretrizes para a ocupação do uso e ocupação do solo. De qualquer forma, as intervenções nas áreas devem prescindir da realização de estudos técnicos específicos, bem como atender à legislação que afeta o território.

Todo material produzido para a elaboração das Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização encontra-se em DVD ao final do Relatório.

Santo André, 23 de Novembro de 2016.



Fernando Rocha Nogueira
Professor Adjunto
Siape: 019346190
Crea: 260561193-0



Kátia Canil
Professor Adjunto I
Siape: 2065483
Crea: 068259947-6

REFERÊNCIAS

BOHN, N.; MARASTONI, E. P.; MATTEDI, M. A. Áreas de preservação permanente e a prevenção aos riscos de desastres: o papel do sistema de justiça. In: **As múltiplas dimensões das áreas de preservação permanente**. Blumenau: Edifurb, 2014. p. 69-102.

BRASIL. Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm

BRASIL. Lei Nº 11.977, de 07 de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei nº 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nºs 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho de 2001, e a Medida Provisória nº2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm

BRASIL. Lei Nº12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm

BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012b. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> Acessado em 25 fev. 2016

CERRI, L. E. S. Carta Geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., Salvador, 1990. **Anais ...** Salvador, ABGE, v.1, p. 309-317.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE, Consórcio Enger / Promon / CKC. Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê – Análise Geológica e caracterização dos solos da Bacia do Alto Tietê para avaliação do coeficiente de escoamento superficial. São Paulo, 2001.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Revisão do Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Revisão 2009. 98 p.

DINIZ, N.C., 1998 **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental**. Tese de Doutorado. Departamento de Transportes. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2v.

DINIZ, N.C, FREITAS, C.G.L. (coord.) **Cartografia geotécnica**. In: COUTINHO, R.Q. (coord.geral e org.) *Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais*. Brasília, Ministério das Cidades/ GEGEP/UFPE. 2013.Cap.7, 39p.

EMPLASA - EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO. **Carta geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo**. Escala 1:50.000. São Paulo : EMLASA, 1980

EMPLASA - EMPRESA METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO DA GRANDE SÃO PAULO. **Atlas de Uso e Ocupação do Solo do Município de Santo André**. São Paulo: 2002.

FRASCÁ, M. H. B. de O. e SARTORI, P. L. P. Minerais e Rochas. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. (editores). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 2.

FREITAS, C. G. L. de. **Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica**. 2000. 230 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – FCTH. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Prefeitura do Município de São Paulo, reedição eletrônica, abril de 1999. São Paulo – SP, 289p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. 2014. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período 2012-2013**. São Paulo, SOS Mata Atlântica/INPE/ISA

GRACIOSA, M. C. P. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulica-hidrológica como ferramenta de gestão de risco de inundação**. 2010. 163 folhas. Tese de doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.

GUERRA, ANTÔNIO J. T.. **GEOMORFOLOGIA UMA ATUALIZAÇÃO DE BASES E CONCEITOS**. Bertrand Brasil, 4ª Ed. 2001.

HALMENSCHLAGER, C. **Um algoritmo para indução de árvores e regras de decisão**. Dissertação (Mestrado em computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

IPT; CPRM. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000** (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. – São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. – (Publicação IPT; 3016) 5 Mb; PDF

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000 1981 (Monografia).

LIU, Shuang; CROSSMAN, Neville; NOLAN, Martin; GHIRMAY, Hiyoba. Bringing ecosystem services into integrated water resources management. **Journal of Environmental Management** 129, p. 93 - 102 (2013)

MARKUS NETELER & HELENA MITASOVA. **OPEN SOURCE GIS, A GRASS GIS APPROACH**. CEA - Centre for Alpine Ecology, New York, USA, 2008.

MARTINEZ, F.J., MAGNI, N.L.G. **Precipitações intensas no Estado de São Paulo**. Convênio Departamento de Águas e Energia Elétrica e Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2013. 125p.

MASSAD, F. 2005 Escavações a céu aberto em solos tropicais. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MELLO, S. S. Espaços urbanos em beira d'água: princípios de planejamento e intervenção. In: SCHULT, S. I. M. **As múltiplas dimensões das áreas de preservação permanente**. Blumenau: Edifurb, 2014. p. 69-102.

MOMO, M. Avaliação da aplicação do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação no Município de Blumenau. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2014.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, CONSERVATION ENGINEERING DIVISION. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Technical Release 55. 1986.

NOBRE, P. et al. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**. (404). p.13-29. Elsevier. 2011.

PASTORE, E. L. e FONTES, R. M. Caracterização e Classificação de Solos. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. (editores). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 12.

PORTO, R.L.L. Escoamento superficial direto. In: Tucci, Porto e Barros. **Drenagem Urbana**. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 1995, 428p.

PRANDINI, F. L., et. all. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O. Y. **Curso de Geologia de Engenharia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: ABGE, 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO ANDRÉ. **Diagnóstico da cobertura vegetal e definição de estratégias para o reflorestamento de áreas degradadas na região de Paranapiacaba e Parque Andreense**. Santo André - SP. Prefeitura Municipal de Santo André - São Paulo; 2012.p.100.

PRANDINI, F. L. et al. **Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana**. São Paulo: IPT, 1980. 31 p. 1 mapa. (Publicação IPT, 1.135).

RENNÓ, C. D., et al., **HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM**: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia, Remote Sensing of Environment 2008.

SERVIÇO MUNICIPAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SANTO ANDRÉ - SEMASA. **Plano Diretor de Drenagem do Município de Santo André**. Santo André, 1998.

SILVA, J.A.A.; NOBRE, A.D.; MANZATTO, C.V.; JOLY, C.A.; RODRIGUES, R.R.; SKORUPA, L.A.; NOBRE, C.A.; AHRENS, S.; MAY, P.H.; SÁ, T.D.A.; CUNHA, M.C.; RECH FILHO, E.L.. O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo. ISBN 978-85-86597-16-1, São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência SBPC; Academia Brasileira.

SOBREIRA, Frederico G.; SOUZA, Leonardo A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.2, n.1, 2012. p. 79-97

SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G. Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais. Brasília, 2014. 68 p.

SPINOLA, DIOGO N. **GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM SIG APLICADA A UM MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO EM FORMATO VETORIAL E MATRICIAL**. Universidade Federal de Viçosa, MG - Brasil, Junho 2010.

SULSOFT - Serviços de Processamento de Dados Ltda. Guia do ENVI em português.

TUCCI, c.e.m. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 1993, 943p.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, Instituto Internacional de Ecologia, 2003a. 247 f.

TUNDISI, J.G. & TUNDISI, T.M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotrop.** 10(4): <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/abstract?article+bn01110042010>

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Hydrologic Modelling System – applications guide**. Institute of Water Resources, Hydrologic Engineering Center. Davis, CA, 2002, 106p.

UFRGS; CEPED-RS. **Elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais no município de Igrejinha, RS** : relatório final / Centro de Pesquisas e Estudos sobre Desastres no Rio Grande do Sul ; coordenação geral Luiz A. Bressani. – Porto Alegre : UFRGS, CEPED-RS, 2014.

WAAGE, Sissel; ARMSTRONG, Kit; HWANG, Linda & BAGSTAD, Ken. **New Business Decision-Making Aids in an Era of Complexity, Scrutiny, and Uncertainty**. Tools for Identifying, Assessing, and Valuing Ecosystem Services BSR's Ecosystem Services, Tools & Markets Working Group May 2011

WARD, J. V. **The four-dimensional nature of lotic ecosystems**. Journal of the North American Benthological Society, v. 8, n. 1, p. 2-8, março 1989

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio-físico: fundamentos e guia para elaboração**. 1993. 388 p. 3 v. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

APÊNDICE

APÊNDICE 1

RESULTADOS DA MODELAGEM HIDRÁULICA

ANEXOS

ANEXO 1

INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E

ENSAIOS LABORATORIAIS

ANEXO 2

CRITÉRIOS PARA A DETERMINAÇÃO DAS

CLASSES DE USO DO SOLO

ANEXO 3

CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A
URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SANTO
ANDRÉ (FOLHAS DE 1 A 5) - 1:10.000

ANEXO 4

**CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A
URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SANTO
ANDRÉ (ZONA DE REESTRUTURAÇÃO
URBANA) - 1:10.000**



ANEXO 5

CARTA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO A

URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SANTO

ANDRÉ - SÍNTESE

ANEXO 7

MÍDIA DIGITAL