

PLANO DE CONTROLE DE **EROSÃO** E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PARA O MUNICÍPIO DE TAUBATÉ-SP

ORGANIZADORES

Prof. Dr. Paulo Fortes Neto, Ms. Heloísa Tavares de Mattos Martins,
Ms. Luiza Fernanda dos Santos Pereira, Ms. Gabriel de Miranda Alcântara e
Douglas Alexandre Costa



SÉRIE **CIDADES SUSTENTÁVEIS**



ed**UNITAU**

Prof. Dr. Paulo Fortes Neto
Ms. Heloísa Tavares de Mattos Martins
Ms. Luiza Fernanda dos Santos Pereira
Ms. Gabriel de Miranda Alcântara
Douglas Alexandre Costa

Organizadores

PLANO DE CONTROLE DE EROSÃO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PARA O MUNICÍPIO DE TAUBATÉ-SP

Série : Cidades Sustentáveis



**Taubaté-SP | SP
2021**

EXPEDIENTE EDITORA

edUNITAU

| **Diretora-Presidente:** Profa. Dra. Nara Lúcia Perondi Fortes

Conselho Editorial

| **Pró-reitora de Extensão:** Profa. Dra. Leticia Maria Pinto da Costa

| **Assessor de Difusão Cultural:** Prof. Me Luzimar Goulart Gouvêa

| **Coordenador do Sistema Integrado de Bibliotecas:** Felipe Augusto Souza dos Santos Rio Branco

| **Representante da Pró-reitoria de Graduação:** Profa. Ma. Silvia Regina Ferreira Pompeo Araújo

| **Representante da Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação:** Profa Dra. Cristiane Aparecida de Assis Claro

| **Área de Biociências:** Profa. Dra. Adriana Leônidas de Oliveira

| **Área de Exatas:** Prof. Me. Alex Thaumaturgo Dias

| **Área de Humanas:** Prof. Dr. Moacir José dos Santos

Projeto Gráfico

| **NDG** – Núcleo de Design Gráfico da Universidade de Taubaté

| **Capa:** Alessandro Squarcini

| **Diagramação:** Alessandro Squarcini

| **Fotos:** Acervo dos autores

| **Impressão:** Eletrônica (e-book)

Ficha Catalográfica

| **Bibliotecária:** Maria Ap. L. Souza- CRB-8/9087

Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBi/ UNITAU Grupo Especial de Tratamento da Informação – GETI

P712	Plano de controle de erosão e conservação do solo e da água para o município de Taubaté-SP [recurso eletrônico] / organizado por Prof. Dr. Paulo Fortes Neto... [et. al.]. Dados eletrônicos. – Taubaté: EdUnitau, 2021. Formato: PDF Requisitos do sistema: Adobe Modo de acesso: world wide web ISBN 978-65-86914-21-4 (on-line) 1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Estradas rurais. 3. Áreas protegidas. 4. Biodiversidade - Conservação. 5. Bacias hidrográficas – Manejo. I. Martins, Heloísa Tavares de Mattos (org.). II. Pereira, Luíza Fernanda dos Santos (org.). III. Alcântara, Gabriel de Miranda (org.). IV. Costa, Douglas Alexandre (org.). V. Título. CDD – 333.91
------	---

Índice para Catálogo sistemático

Desenvolvimento de recursos hídricos - 333.91
Estradas rurais – 625.72
Áreas protegidas – 333.72
Biodiversidade – Conservação – 333.9
Bacias hidrográficas – Manejo – 333.707

Copyright © by Editora da UNITAU, 2021

Nenhuma parte desta publicação pode ser gravada, armazenada em sistema eletrônico, fotocopiada, reproduzida por meios mecânicos ou outros quaisquer sem autorização prévia do editor.

EQUIPE TÉCNICA

Douglas Alexandre Costa

Geógrafo (Universidade de Taubaté – Unitau)

Técnico da Secretária municipal de meio ambiente de Taubaté

Gabriel de Miranda Alcântara

Engenharia ambiental (Universidade Federal de Alfenas – Unifal)

Mestre em Engenharia hidráulica e saneamento (Universidade de São Paulo – USP)

Técnico da Secretária municipal de meio ambiente de Taubaté

Heloísa Tavares de Mattos Martins

Administração (Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc)

Mestre em Ciências Ambientais (Universidade de Taubaté – Unitau)

Diretora da Secretária municipal de meio ambiente de Taubaté (Gestão: 2017/2020)

Luiza Fernanda dos Santos Pereira

Engenharia ambiental e sanitária (Universidade de Taubaté – Unitau)

Mestre em Ciências Ambientais (Universidade de Taubaté – Unitau)

Paulo Fortes Neto

Engenheiro agrônomo (Universidade de Taubaté – Unitau)

Doutor em Agronomia (Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz – (ESALq/USP)

Coordenador adjunto do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (Universidade de Taubaté – Unitau)

Secretário da Secretária municipal de meio ambiente de Taubaté (Gestão: 2017/2020)

APRESENTAÇÃO

Os diversos processos erosivos naturais e de origem antrópica que comprometem a estabilidade da estrutura física do solo de uma determinada área urbana ou rural causam, além de danos ambientais, prejuízos materiais e, muitas vezes, perdas de vidas humanas. Dessa forma, tornam-se importantes não só o levantamento da origem destes processos erosivos, mas também as estratégias para o seu controle numa determinada área, a fim de minimizar ou, ainda, conter por completo tais alterações na estrutura do terreno, evitando, assim, os problemas de assoreamento dos recursos hídricos, inundações, deslizamento de solo e demais transtornos e danos causados ao meio físico natural e social.

O plano foi elaborado tendo como base as informações técnico-científicas sobre o tema e, para contextualizar a realidade do município, foram importantes os dados levantados pelo *Plano municipal de conservação e recuperação de Mata Atlântica de Taubaté* e os estudos gerados no Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais (UNITAU) que estão depositados no Instituto de pesquisas ambientais em bacias hidrográficas (IPABH).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta para a realização do *Plano de controle de erosão e conservação de solo e água para o município de Taubaté*, bem como atender a uma diretiva do *Programa município verde azul – PMVA (US1)* – no que se refere ao uso e à ocupação do solo.

Taubaté, 05 de dezembro de 2021

Paulo Fortes Neto

Prof. Dr. Coordenador adjunto do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais
Universidade de Taubaté - Unitau

SUMÁRIO

LISTAS DE FIGURAS.....	8
LISTAS DE TABELAS.....	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DO SOLO	12
3.1 Fatores de formação do solo.....	12
3.2 Propriedades químicas do solo.....	13
3.3 Propriedades físicas do solo.....	13
4. PROCESSOS EROSIVOS.....	14
4.1 Principais fatores da erosão.....	15
4.2 Formas erosivas.....	15
4.3 Erosão em estradas rurais.....	17
5. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ.....	19
5.1 O município	19
5.2 População	21
5.3 Principais atividades econômicas	21
5.4 Estrutura fundiária e ocupação do uso do solo	21
6. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E BIÓTICO	21
6.1 Climatologia	21
6.2 Pluviosidade	23
6.3 Geologia	24
6.4 Recursos minerais.....	26
6.5 Geomorfologia.....	26
6.6 Pedologia	31
6.7 Hidrografia	34
7. MATERIAL EMÉTTODOS.....	39
7.1 Levantamento e visitas a campo.....	39
7.2 Levantamento da erosão.....	40
7.3 Cracterização do uso do solo.....	40
7.4 Classificação do solo.....	41

7.5 Drenagem e estradas.....	41
7.6 Mapeamento de hipsometria e de classes de declividade.....	42
7.7 Mapa de diagnóstico.....	43
7.8 Mapas de áreas de preservação permanentes associada às redes de drenagem.....	43
7.9 Mapa geológico.....	44
7.10 Mapa se suscetibilidade dos solos à erosão.....	44
7.11 Mapa de enquadramento das terras, classe de capacidade de uso.....	44
7.12 Mapeamento das áreas de risco e Taubaté.....	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escorregamento de taludes de estrada rural e deposição de terra ao lado oposto, próximo a rios e córregos.....	18
Figura 2. Estradas construídas em propriedades na área rural de Taubaté, SP, dando início ao fatiamento e ao processo de erosão.....	19
Figura 3. Localização do município de Taubaté.....	20
Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo de Taubaté	22
Figura 5. Valores mensais de temperatura média, máxima e mínima.....	23
Figura 6. Precipitação média mensal e desvio-padrão em Taubaté-SP	24
Figura 7. Mapa da bacia sedimentar de Taubaté de acordo com o Mapa das águas subterrâneas do Estado de São Paulo	27
Figura 8. Mapa com as poligonais de exploração dos recursos minerais do município de Taubaté.....	28
Figura 9. Mapa de declividade do relevo de Taubaté	29
Figura 10. Área da várzea do Rio Paraíba do Sul, SP.....	30
Figura 11. Mares de morros da região da Serra da Mantiqueira, SP.....	30
Figura 12. Mapa pedológico do Estado de São Paulo. (IAC/Embrapa, 1999).....	31
Figura 13. Latossolos vermelhos de textura argilosa ou muito argilosa (a), latossolos vermelho-amarelo de textura argilosa (b) e latossolos vermelho-amarelo de textura média (c).....	33
Figura 14. Gleissolo melânico Tb distrófico típico textura média /argilosa	34
Figura 15. Argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico abrupto (a) e argissolo vermelho-amarelo distrófico abrupto textura média/argilosa (b).....	34
Figura 16. Mapa da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.....	35
Figura 17. Mapa da rede de drenagem do município de Taubaté com suas APPs	36
Figura 18. Localização da bacia do Rio Una e suas microbacias.....	37
Figura 19. Mapa de aquíferos do Estado de São Paulo. (Cetesb, 2003).....	38

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Fatores que influem na suscetibilidade à erosão dos solos.....	11
Tabela 2. Efeito do comprimento da encosta nas perdas de solo.....	14

1. INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um fenômeno complexo, que envolve a desagregação, o transporte e a deposição das partículas minerais do solo ocasionada basicamente pela ação natural da água da chuva e pelos ventos (BERTOL *et al.*, 2007). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1995), a erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e o comprimento do declive do terreno, a capacidade que o solo tem de absorver água, a resistência que o solo exerce à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal.

Entretanto, a atividade humana poderá acelerar o processo de desgaste e perda do solo e, entre os fatores causadores da erosão pela ação antrópica, estão as práticas agrícolas sem o manejo adequado do solo, as culturas e cultivos não adaptados às características dos solos, as queimadas, o desmatamento, as estradas rurais e a ocupação urbana indevida do solo. Nota-se, assim, que os riscos de erosão dependem tanto das condições naturais quanto dos modelos de uso e de ocupação da terra (ARAUJO, 2010).

O uso impróprio dos recursos naturais, a ocupação irregular de terras com maior suscetibilidade natural à erosão e o desmatamento são, no Brasil, os principais potencializadores da ocorrência de desastres naturais (THOMPSON; FIDALGO, 2013).

Em áreas naturais, a perda de solo por processo erosivo é de 4 kg/ha/ano; em áreas com pastagens, é de 700 kg/ha/ano e, em áreas com culturas perenes e anuais, a quantidade poderá variar entre 1.100 a 38.000 kg/ha/ano. A tolerância à perda é variável de acordo com o tipo de solo, e uma perda de solo de até 12 t/ha/ano está dentro dos limites toleráveis para solos tropicais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1995).

As características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas dos solos lhes proporcionam comportamentos diferentes diante dos agentes erosivos. Esse comportamento é traduzido pela suscetibilidade do solo à erosão, que indica a sua maior ou menor resistência a esse fenômeno. Lal (1990) considera que a suscetibilidade do solo à erosão é influenciada pelas propriedades físicas/hidrológicas, químicas/mineralógicas e biológicas/bioquímicas, como também pelas características do perfil (Tabela 1).

Para a realização do estudo de desenvolvimento da erosão, é necessário compreender que o solo tem propriedades físicas, químicas e biológicas que interagem entre si e que podem proporcionar maior ou menor resistência aos processos erosivos. Sabe-se, ainda, que os solos têm três fases: a sólida, a líquida e a gasosa. A fase sólida é constituída pelo material parental (rocha) local, ou transportado, e material orgânico, originário da decomposição vegetal e animal.

Tabela 1. Fatores que influem na suscetibilidade à erosão dos solos

FATORES QUE INFLUEM NA SUSCETIBILIDADE À EROSIÃO DOS SOLOS		
PROPRIEDADES	FATORES	CARACTERÍSTICAS
Mecânicas	Textura	-Influi no destacamento e no carreamento de partículas do solo. -Determina a facilidade com que o solo é dispersado. -Determina a força-limite necessária para o destacamento.
	Estrutura	-Formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos abrasivos da água de escoamento e ao destacamento. -Grau de agregação e distribuição de agregados estáveis. -Tamanho dos agregados.
	Tamanho dos torrões	-Resistência à desagregação pela chuva e à erosão pelo vento.
	Formação de crosta	-Responsável pela alta taxa de escoamento superficial. -Desenvolve-se em solos com baixa porcentagem de matéria orgânica.
Resistência	Resistência ao cisalhamento	-Importante no destacamento de partículas de solo (impacto e escoamento superficial). -Rolamento e deslizamento de grãos.
Hidrológicas	Retenção de água	-O estado de energia da água do solo ou pressão neutra influencia a resistência ao cisalhamento do solo. -A resistência do solo ao arrastamento pela água é influenciada pela umidade inicial ou antecedente. -Os solos secos são mais susceptíveis à erosão pelo vento e pela água do que os solos úmidos. - A umidade fornece coesão entre as partículas.
	Transmissão de água no solo-infiltração	- A taxa de infiltração determina o maior ou menor volume de escoamento superficial.
	Permeabilidade	-solos com permeabilidade extremamente baixa a moderada geram mais escoamento superficial.
Reológicas	Sistema solo/água	-A umidade do solo influi na suscetibilidade à erosão por afetar a coesão, a resistência ao cisalhamento, consistência e plasticidade.
Químicas e mineralógicas	Matéria orgânica	-Influencia a distribuição granulométrica, propriedades de retenção e transmissão de água. -Fortalece as ligações que estabilizam as unidades estruturais e mantém um balanço favorável entre retenção e transmissão nos poros. -Diminui o efeito de compactação. - A concentração de matéria orgânica nos micro-agregados aumenta a sua resistência à desagregação (<i>slacking</i>) e à dispersão. -Elevadas concentrações de M.O. em alguns solos são responsáveis pelas características hidrofóbicas.
	Argilo-minerais	-A estrutura do solo e a sua resistência são influenciadas pela quantidade e natureza dos argilo-minerais. -A fração fina do solo interage com a matéria orgânica para formar agregados estáveis que resistem ao impacto das gotas da chuva.
Características do perfil	Diretos e indiretos	-Influencia a erosão direta e indiretamente. -Influência sobre o escoamento subsuperficial de água em decorrência de mudanças nas propriedades hidrológicas de diferentes horizontes. -Influência sobre o crescimento vegetal.

Fonte: Lal (1990) (adaptado).

A fase líquida é constituída da água ou da solução do solo (elementos orgânicos e inorgânicos em solução), e a fase gasosa, de composição variável, de acordo com os gases produzidos e consumidos pelas raízes das plantas e dos animais (CO₂ e O₂). As propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos são determinadas pelo processo geológico de sua formação, origem dos minerais e sua evolução, de acordo com o clima e o relevo do local, além dos organismos vivos que o habitam.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Elaborar o *Plano municipal de controle de erosão e conservação de solo e água* por meio de práticas sustentáveis e conservacionistas de uso adequado do solo e água, na área urbana e rural do município de Taubaté.

2.2 Objetivos específicos

-Identificar as origens dos processos erosivos e estabelecer procedimentos para a manutenção, a conservação e o monitoramento das áreas nas zonas urbana e rural;

-Realizar um levantamento das áreas de risco na zona urbana e rural, uma vez que acidentes geológicos em área de maior contingente populacional podem trazer sérios danos e perdas não só para a infraestrutura urbana e rural, mas também de vidas humanas;

-Delimitar as áreas com registros históricos de enchentes, inundações e solapamentos de solo nas áreas urbana e rural;

-Gerar mapas de suporte ao planejamento: o sistema de transporte, hidrografia, hipsometria, pedologia, uso atual do solo, áreas de preservação permanente, microbacias hidrográficas e áreas com processos e erosão identificados e

-Elaborar recomendações gerais no sentido de embasar projetos executivos visando mitigar os impactos negativos do uso inadequado de ocupação do solo e água.

3. CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DO SOLO

3.1 Fatores de formação do solo

O solo tem fatores em sua formação, tais como o material de origem (M), o clima (C), os organismos vivos (O), o relevo (R) e o tempo (T), que também atuam na erodibilidade (GUERRA; BOTELHO, 1996).

O material de origem (M) representa o estado inicial do sistema, que pode ser uma rocha consolidada, um depósito inconsolidado ou, ainda, um solo preexistente, constituindo-se em elemento passivo na formação dos solos, sobre o qual atuarão outros fatores que o transformarão.

O clima (C) participa na formação do solo, na medida em que, por meio da energia solar, da umidade e, principalmente, da precipitação, controla o tipo e a intensidade dos processos formadores. É considerado fator ativo, que age sobre o material de origem

consolidado, ou não, o relevo, a vegetação e os organismos. A formação do solo é resultado da ação combinada de fatores abióticos e bióticos. Os fatores bióticos referem-se aos seres vivos, representados pelos animais, vegetais e microrganismos. Alguns autores afirmam que a formação do verdadeiro solo ocorre somente quando, aos elementos derivados da ação dos fatores intempéricos, juntam-se elementos coloidais, que favorecem a instalação dos organismos vivos (O). O relevo (R) é o fator de formação que controla a redistribuição de massa e energia, tornando possível diferenciar na paisagem superfícies de erosão, de deposição e, ainda, superfícies que resultam da ação combinada de tais processos. A idade de um solo expressa o tempo (T) durante o qual atuaram os processos responsáveis pela formação do solo.

Modelos conceituais ou expressões simbólicas foram estabelecidas a fim de representar a relação do solo (S) com seus fatores de formação, como a seguinte equação:

$$S = f(M, C, O, R, T)$$

Sob esta concepção, os fatores são considerados variáveis independentes, em que solos distintos resultam de mudança em um dos fatores acima, sem que haja variação nos demais. Entretanto, é sabido que a ação conjunta desses fatores é responsável pela direção, velocidade e duração dos processos de formação do solo. Esta interdependência entre os fatores tem sido reconhecida, e a apresentação separada de cada um deles não deve contradizer essa relação, mas, sim, esboçar um teor didático (GUERRA; BOTELHO, 1996).

3.2 Propriedades químicas do solo

As propriedades químicas do solo são determinadas mediante análise laboratorial do carbono orgânico; nitrogênio total; pH; cloreto de potássio; fósforo assimilável; carbonato de sódio; sílica; sesquióxido de ferro; capacidade de troca de cátions e saturação de bases (RAIJ *et al.* 2001).

3.3 Propriedades físicas do solo

As propriedades físicas do solo são determinadas mediante análise laboratorial do teor de areia, silte e argila, densidade real e aparente, porosidade e estabilidade de agregados. Esses itens são importantes para entender a erodibilidade de um determinado solo (GEE; BAUDER, 1986; KEMPER; CHEPIL, 1965).

4. PROCESSOS EROSIVOS

Os processos erosivos podem ocorrer em qualquer parte da superfície terrestre. Para isso, basta que existam solos e agentes transportadores, dentre os quais se destaca a água resultante do escoamento superficial e subsuperficial. Existem ainda outros agentes, como o vento e o gelo, porém esses atuam somente em locais específicos, sendo que, no caso do Brasil, o principal agente modelador dos solos e do relevo é a água, seja ela dos rios ou da chuva (GUERRA; BOTELHO, 1996). Apesar de processos erosivos ocorrerem em diversas partes do mundo, é na zona rural que eles ocorrem com mais frequência e intensidade, quase sempre por conta do desmatamento para uso agrícola, incluindo queimadas que, além de eliminar a matéria orgânica do solo, deixando-o mais pobre, ainda contribui para acelerar o processo de erosão do mesmo. A mecanização intensa de áreas para uso agrícola deve ser feita de forma controlada e eficiente, caso contrário há a intensificação do processo de erosão, pois, além de aumentar a densidade aparente do solo, diminui a porosidade e, conseqüentemente, dificulta a infiltração de águas (GUERRA; BOTELHO, 1996). A combinação desses fatores com as propriedades do solo e as características da encosta, como a declividade, comprimento e forma, contribui muito para o escoamento das águas e, conseqüentemente, para os processos erosivos em maior ou menor escala (LIMA, 2003).

Com resultados de pesquisas conduzidas em condições específicas de vertentes (canteiros experimentais), pode-se verificar, na Tabela 2, que, duplicando-se o comprimento da encosta, as perdas de terra são mais do que o dobro, enquanto a perda por hectare não é duplicada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1993).

Tabela 2. Efeito do comprimento da encosta nas perdas de solo

Comprimento da encosta (m)	1º Trecho 25 m	2º Trecho 25 m	3º Trecho 25 m	4º Trecho 25 m	Média
	------(Tonelada/hectare)-----				
25	13,9	-	-	-	13,9
50	13,9	25,9	-	-	19,9
75	13,9	25,9	38,8	-	26,2
100	13,9	25,9	38,8	51,4	32,5

4.1 Principais fatores da erosão

As propriedades químicas e físicas, analisadas anteriormente, são importantes fatores no processo erosivo, pois podem acelerar ou retardar esses processos. Além delas, as características das encostas, como forma, comprimento e declividade influenciam de maneira variada, pois é da combinação desses três elementos que as águas vão escoar com maior ou menor intensidade (GUERRA; BOTELHO, 1996).

De todos os agentes controladores dos processos erosivos descritos anteriormente, os provenientes da ação humana talvez sejam os que mais aceleram os processos de erosão. Isso ocorre quase sempre em áreas rurais, onde o desmatamento para o uso agrícola da terra abrange extensas áreas, queimadas deixam os solos desprotegidos, monoculturas comerciais descaracterizam ecossistemas e a mecanização intensa compacta os solos, dificultando a infiltração das águas, ou seja, tudo isso rompe o ciclo hidrológico, podendo causar um sério desequilíbrio ecológico.

O escoamento das águas nessas áreas pode propiciar o aparecimento de sulcos no solo, formando ravinas e, conseqüentemente, num grau mais agravante, voçorocas.

Os processos erosivos, como se viu, são extremamente complexos, pois dependem de uma série de variáveis humanas e naturais, que podem influenciar diretamente no processo de erosão de um determinado solo.

4.2 Formas erosivas

As principais formas erosivas ocorrem por meio das águas, ou seja, do escoamento superficial e subsuperficial, desde o momento em que cai uma gota no solo exposto, causando o efeito descrito como *splash*. Segundo Guerra (1999), “a ação do *splash*, também conhecido por erosão por salpicamento (GUERRA; GUERRA, 1997), em português, é o estágio mais inicial do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõem o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial”.

Trabalhos experimentais têm demonstrado o significado da ação morfogenética do pingo da chuva, responsável pela desagregação do material, sobretudo quando a superfície da vertente se encontra desprotegida. Carson & Kirkby (1972) citam deslocamento de partículas desde curtas distâncias, da ordem de alguns milímetros, até maiores distâncias, podendo atingir o raio de 10 centímetros em relação ao ponto de impacto. Da mesma forma, o *splash* move diretamente detritos em torno de 10 mm de diâmetro e, indiretamente, pode deslocar fragmentos de maiores dimensões.

Guerra (1999) chama a atenção ainda para a formação de crostas superficiais que provocam a selagem dos solos: “o papel do *splash* varia não só com a resistência do solo ao impacto das gotas de água, mas também com a própria energia cinética das gotas de chuva. Dependendo da energia impactada sobre o solo, vai ocorrer, com maior ou com menor facilidade, a ruptura dos agregados, formando as crostas que provocam a selagem dos solos”. A compactação resultante do impacto de gotas de chuva cria uma crosta superficial de 0,1 a 3,0 mm de espessura (FARRES, 1978), que pode implicar na redução da capacidade de infiltração superior a 50%, dependendo das características do solo (MORIN *et al.*, 1981). Esse processo gera escoamento superficial das águas da chuva, que ocorre quando o solo perde a sua capacidade de infiltração, levando à erosão laminar, em sulco, em ravinas e em voçorocas:

-Erosão laminar: consiste na remoção de delgadas camadas de solo e, portanto, não se fazendo notar sua ação com facilidade. Origina-se do escoamento superficial disperso pela encosta, não se concentrando em canais. Ocorre, quase sempre, sob condições de chuva prolongada, quando a capacidade de infiltração do solo é excedida. O aumento da turbulência do fluxo de água provoca uma maior capacidade erosiva. Esse tipo de erosão tende a ocorrer com maior facilidade em solos com baixo poder de coesão (GUERRA, 1995). Sua capacidade de transporte aumenta com a energia cinética fornecida pelas gotas de chuva, que dão origem a um fluxo turbulento e se constitui na interação do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial (LIMA 2003);

-Erosão em sulcos: ocorre em pequenas irregularidades do terreno, nas quais a enxurrada se concentra, levando à formação de filetes que se escoam seguindo aproximadamente a linha de maior declividade da encosta (FOURNIER, 1960). À medida que a lâmina se torna mais espessa e aumenta a velocidade, cresce também o poder erosivo e, a uma certa distância do topo da vertente, a tensão de cisalhamento supera a resistência ao cisalhamento, iniciando-se a erosão (HORTON, 1945);

-Erosão em ravinas: esse tipo de erosão, que dá origem a feições mais visíveis e permanentes no solo, ocorre a partir do momento em que a velocidade do fluxo concentrado excede os 30 m/s, quando este adquire um regime turbulento e origina-se uma incisão ao longo da linha de fluxo. O aumento do gradiente hidráulico pode ser devido ao aumento da intensidade da chuva, ao aumento do gradiente de encosta e ainda porque a capacidade de armazenamento foi excedida. O canal formado não é funcional e seu talvegue é intermitentemente aprofundado, atingindo inicialmente os horizontes inferiores do solo e, em seguida, a rocha mãe (FOURNIER, 1960). Excepcionalmente, uma ravina pode evoluir para

um canal de água permanente, desembocando em um rio; quando isso ocorre, em geral, a ravina já evoluiu para uma voçoroca (GUERRA 1995);

-Erosão em voçorocas: segundo Guerra (1995), as voçorocas são características erosivas relativamente permanentes nas encostas, tendo paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos. Em alguns casos, podem atingir o lençol freático. Podem se originar da intensificação do processo de ravinamento, tanto no sentido vertical como no horizontal, concentrando grandes volumes de fluxo das águas do escoamento superficial e do escoamento subsuperficial. A água é transportada em dutos que, com remoção de grandes quantidades de sedimentos, provocada pelo aumento do fluxo subsuperficial, aumenta o diâmetro desses dutos e provoca o colapso do material situado acima. Pode ainda ser a partir de antigos deslizamentos de terra, que deixam cicatrizes nas paredes laterais do mesmo, e, com a ação posterior do escoamento concentrado, se origina o voçorocamento. Embora a origem da formação da voçoroca possa variar, o processo, de forma geral, é uma conjugação da ação do escoamento superficial das águas pluviais e do escoamento subsuperficial.

Nas áreas urbanas o corte dos taludes, a construção de casas, ruas e avenidas e condomínios são as principais causas dos processos erosivos. Por conta da ocupação em maior escala, as voçorocas localizadas em áreas urbanas podem ser mais nocivas do que nas áreas rurais, uma vez que tais erosões podem destruir desde ruas, casas e até prédios inteiros, colocando em risco não só o patrimônio, mas também vidas.

Nas áreas rurais os desmatamentos, o preparo do solo, as estradas rurais, a retirada da mata ciliar e as pastagens degradadas são responsáveis pelos processos erosivos.

4.3 Erosão em estradas rurais

Considera-se, de forma especial, ser a estrada rural (sem pavimentação) uma intervenção humana de reconhecido interesse social e econômico coletivo, que deve levar em conta as inter-relações entre o solo, que constitui o seu assentamento construtivo, e a água das chuvas, que, inevitavelmente, deve circular pela superfície, com o mínimo de interferências no leito da estrada, até porque, em muitas dessas ocorrências, o escoamento das águas das chuvas leva até à inutilização da via como meio de circulação, além de gerar interferências permanentes e indesejáveis ao meio ambiente.

Conforme dados da Secretaria de agricultura de São Paulo (CATI), as estimativas apontam para a perda de mais de 193 milhões de toneladas de solo por erosão, associados às

estradas vicinais paulistas.

Pode-se afirmar que estradas rurais são definidas como faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos para que possam cumprir sua função plenamente, mantendo-se em condições favoráveis do tráfego sob as mais variadas condições climáticas.

Um dos principais problemas que afetam a trafegabilidade das estradas não pavimentadas é a sua degradação devido a processos erosivos, afetando também áreas marginais, impactando o meio ambiente, causando prejuízos aos mais variados setores da economia e da sociedade. No Estado de São Paulo, conforme Anjos Filho, citado por Griebder (2005), essas estradas são responsáveis por aproximadamente metade das perdas de solo em virtude da erosão.

Estudo realizado por Catelani *et al.* (2005) na bacia hidrográfica do Rio uma, em Taubaté, constatou que 80% dos problemas de sedimentação em cursos d'água na bacia se refere à proximidade de estradas e ao fato dessas estradas não apresentarem estrutura de conservação, pois os taludes são verticais e sujeitos a escorregamentos periódicos no período das chuvas. E, para desbloquear a estrada, essa terra proveniente do escorregamento é colocada ao lado oposto, ou seja, mais próximo ainda dos rios e córregos (Figura 1).



Figura 1. Escorregamento de taludes de estrada rural e deposição de terra ao lado oposto, próximo a rios e córregos (Fonte: CATELANI, *et al.*, 2005)

Esses processos erosivos também ocorrem dentro da propriedade. Em geral, ao se construir estradas na propriedade, para favorecer o deslocamento de tratores e animais, ocorre um fatiamento da propriedade e se dá início ao processo de erosão (Figura 2).

A estrada rural constitui-se em um importante componente da infraestrutura rodoviária para prover, especialmente às localidades mais distantes, um fluxo regular de mercadorias e de serviços, permitindo a fixação e o desenvolvimento das comunidades rurais. Assim, as estradas rurais deverão ser mantidas e conservadas de modo a reduzir os impactos negativos sobre os fatores sociais, econômicos e ambientais.



Figura 2. Estradas construídas em propriedades na área rural de Taubaté, SP, dando início ao fatiamento e ao processo de erosão (Fonte: CATELANI, *et al.*, 2005)

5. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ

5.1 O município

As cidades do Vale Paraíba só começaram a ser formadas a partir do século XVII. Taubaté foi a primeira das vilas a ser formada no Vale do Paraíba, fato este que se deu em 5 de dezembro de 1645. A então provedora das terras valeparaibanas, a Condessa de Vimieiro, deu ordem e poderes a Jaques Félix, o desbravador, para que desbravasse as terras do sertão.

Taubaté é a única cidade do Brasil que passou por todas as fases de formação. O povoado, por volta de 1642 já contava com certo número de habitantes, que, preando índios na região ou nela desenvolvendo a agricultura, logo iniciaram suas casas. A vila ficava em torno de uma capela, a qual tinha em seu adro o cemitério. Eram sete ruas ao todo: quatro no sentido de sul a norte e três, de leste a oeste. A pequena igreja, situada no mesmo local onde hoje se encontra a capela Dos Passos (interior da catedral), era de taipa de pilão, coberta de telha de barro e com seus lanços de corredor olhando para o nascente, existindo à sua direita um cruzeiro (MARTINS,1972). O ciclo do ouro foi o importante ponto de partida para o crescimento do que viria a ser o município de Taubaté, que, por sua localização geográfica favorável, era ponto de parada para o abastecimento das tropas de muares que rumavam aos sertões onde ocorriam as atividades minerárias de extração de ouro nas Minas Gerais. Taubaté está localizada na Região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, no interior do Estado de São Paulo, nas seguintes coordenadas geográficas: latitude, $23^{\circ}1'33''S$, e Longitude, $45^{\circ}33'31''W$. (WGS84), segue, portanto, o fuso horário UTC/GMT-3, com área de cerca de 625,003 Km², altitude de 585m acima do nível do mar (Figura 3).

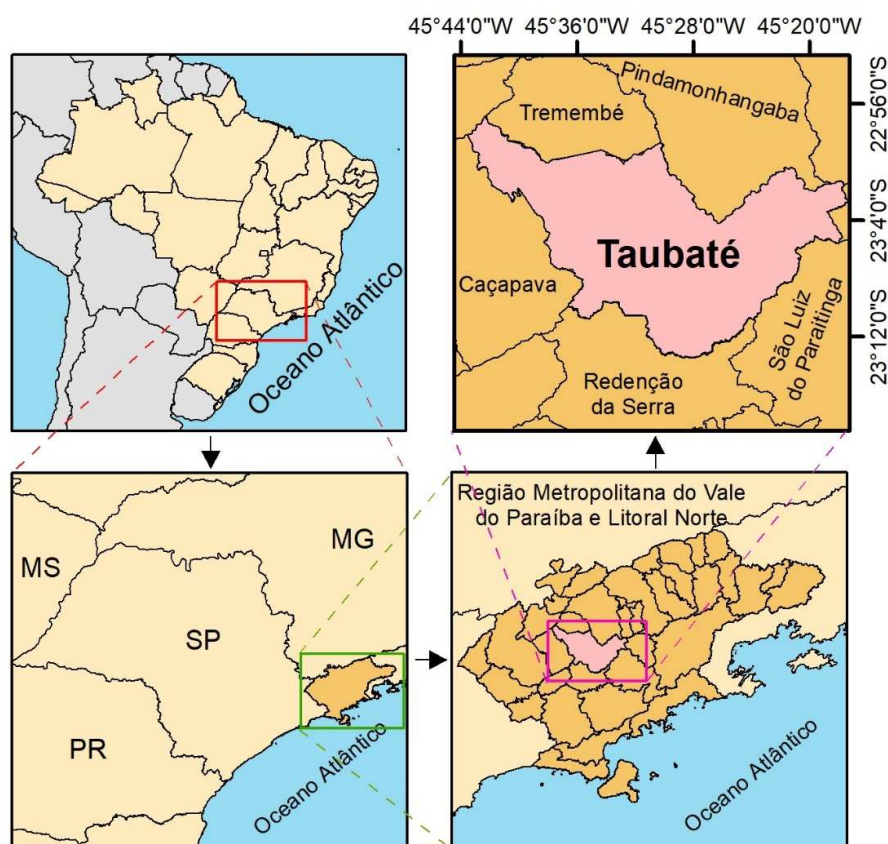


Figura 3. Localização do município de Taubaté-SP

5.2 População

Segundo o Instituto brasileiro de geografia e estatística – IBGE –, a população estimada de Taubaté, em 2017, é de cerca de 307.953 pessoas, com uma densidade demográfica de 445,98 hab/km² e com 98% da população habitando a área urbana.

5.3 Principais atividades econômicas

As principais atividades econômicas do município são os setores de comércio, serviços e indústria. Os setores de comércio e serviços representam cerca de 52,75% da atividade econômica, a indústria, cerca de 46,58%, e a atividade agropecuária soma, neste caso, cerca de 0,67%.

5.4 Estrutura fundiária e ocupação do uso do solo

O mapa de uso do solo indica que a maior parte do território é utilizada para agropecuária, seguido por cobertura vegetal natural e ocupação com área urbana (Figura 4).

6. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E BIÓTICO

6.1 Climatologia

O município de Taubaté situa-se a 23° 01' de latitude sul e 45° 33' de longitude oeste, na mesorregião do Vale do Paraíba, e tem a influência de dois tipos de clima: o clima tropical de altitude e o subtropical úmido. O verão tem muito mais pluviosidade do que o inverno. De acordo com Köppen (1948), a classificação do clima é Cwa. A temperatura média em Taubaté é de 19,7 °C, e a pluviosidade média anual é de 1324 mm. Tem ainda ventos predominantes de sul-leste para o norte-oeste e umidade relativa do ar na média de 60% às doze horas (FISCH, 1999). A série temporal dos valores mensais de temperatura média, máxima e mínima, em Taubaté-SP, são apresentados na Figura 5. Verifica-se que a menor média do ano ocorre no mês de julho (17,8°C), enquanto no mês de fevereiro é registrada a maior média (25,1°C). A média das temperaturas mínimas do ar, no mês de julho, pode atingir até 10,9°C, ao passo que a média das temperaturas máximas chega a valores superiores a 31°C, em fevereiro. O mês do ano com maior coeficiente de variação é outubro, caracterizando maior variabilidade na temperatura do ar (FOLHES; FISCH, 2006).

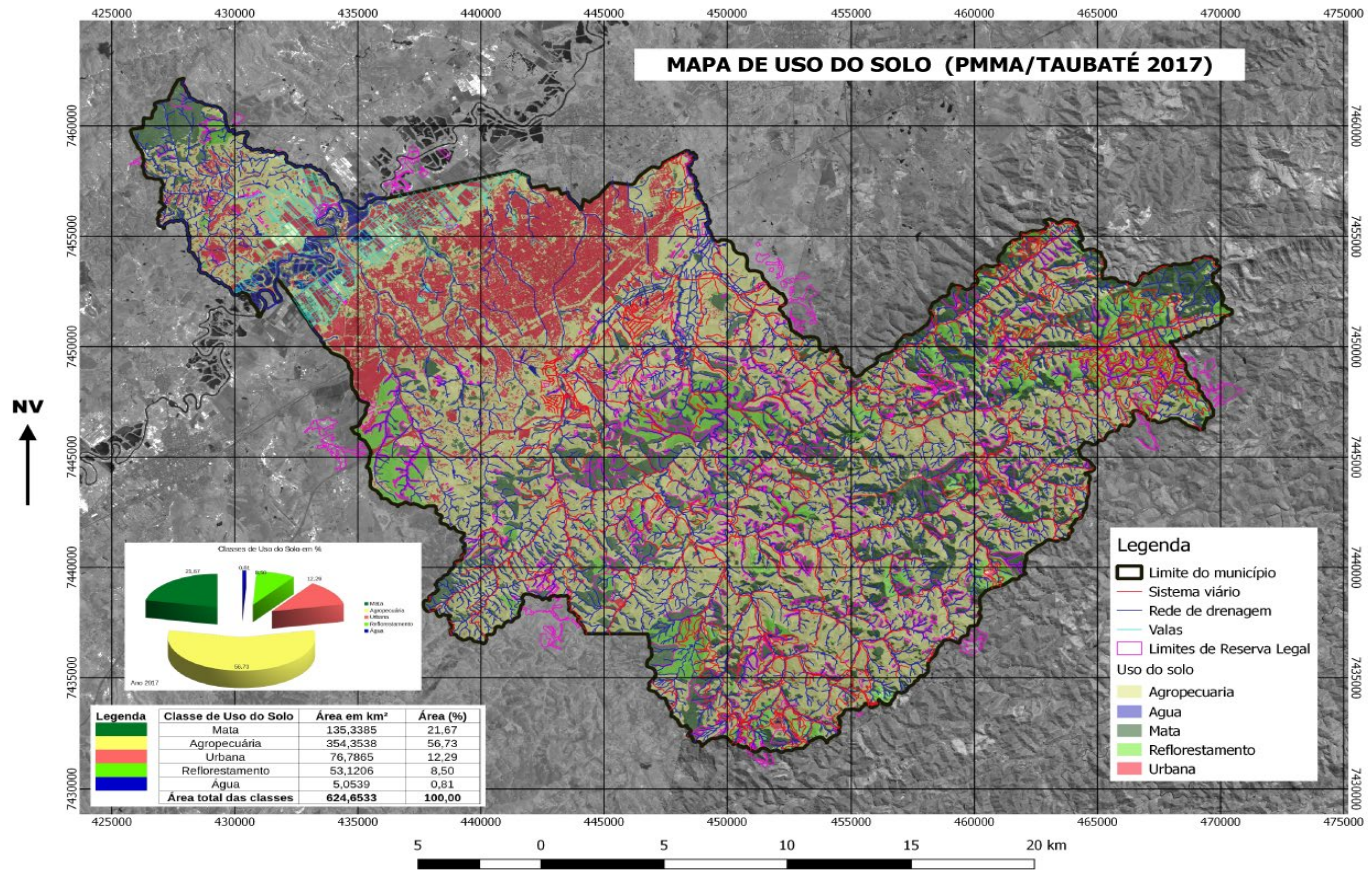


Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo de Taubaté (Plano municipal de Mata Atlântica-PMMA/Taubaté, 2017).

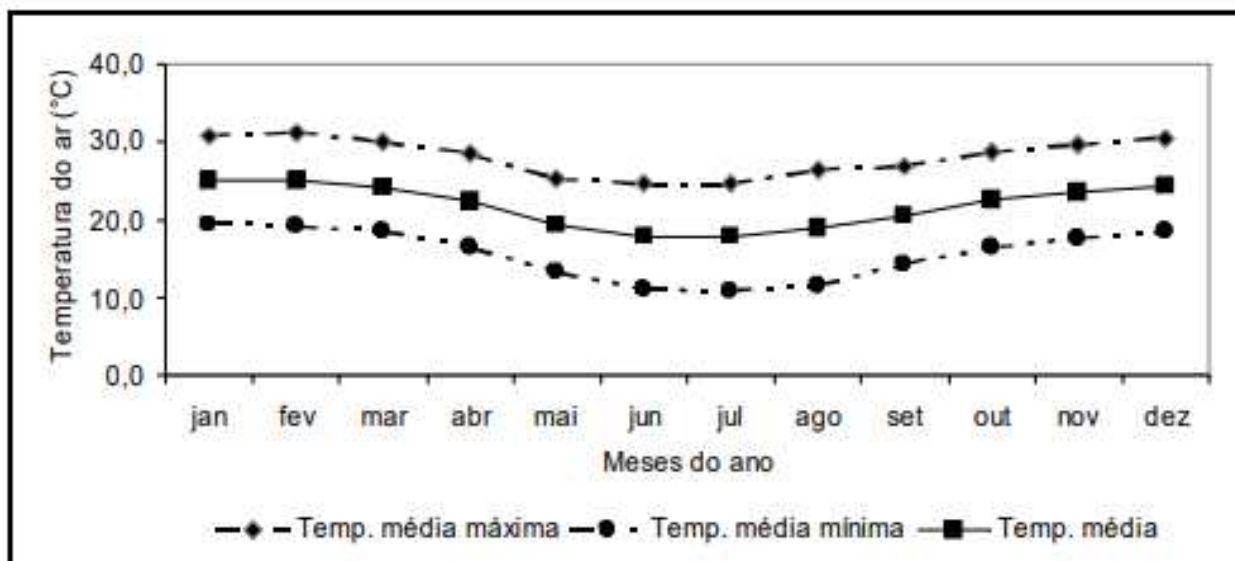


Figura 5. Valores mensais de temperatura média, máxima e mínima (FOLHES; FISCH, 2006)

6.2 Pluviosidade

Em Taubaté, assim como em toda a região do Vale do Rio Paraíba do Sul, as chuvas mais significativas iniciam-se em setembro de cada ano e estendem-se até o início de abril do ano seguinte (Figura 6).

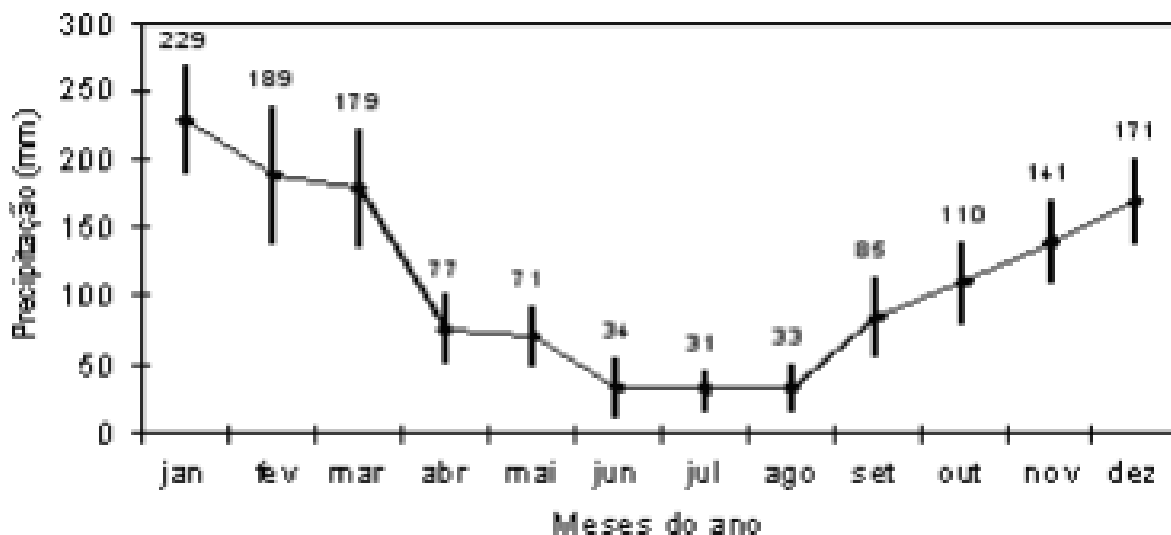


Figura 6. Precipitação média mensal e desvio-padrão em Taubaté-SP (FOLHES; FISCH, 2006)

A análise da distribuição da precipitação pelas estações do ano permite concluir que, aproximadamente, 44% da precipitação anual ocorrem no verão (trimestre dezembro, janeiro e fevereiro), enquanto o inverno (trimestre junho, julho e agosto) é a estação menos chuvosa,

com cerca de 7% do total da precipitação anual. As estações de transição, primavera (trimestre setembro, outubro e novembro) e outono (trimestre março, abril e maio) contribuem com os restantes 50% da precipitação total, repartidos, aproximadamente, de forma equitativa. O mês mais seco é julho, com 21 mm. Em janeiro, há mais precipitação, com uma média de 227 mm.

6.3 Geologia

Cerca de dois terços do território de Taubaté estão em áreas de morros e serras, nas quais predominam rochas cristalinas (granitos e gnaisses) da idade pré-cambriana, ou seja, de mais de 450 milhões de anos. Essa área se estende da Serra da Piloa para o sul e, também, em pequena faixa ao norte, precedendo a Serra da Mantiqueira. O restante do município, incluindo a área urbana, seus arredores e a região por onde passa o Rio Paraíba do Sul, situa-se na bacia sedimentar de Taubaté.

A bacia de Taubaté (Figura 7) é parte de um conjunto de bacias pertencentes ao Rifte continental do sudeste do Brasil (RCSB) (RICCOMINI, 1989), anteriormente denominado Sistema de riftes da Serra do Mar (ALMEIDA, 1976). A bacia está posicionada sobre rochas proterozoicas, ígneas e metamórficas, do Cinturão de dobramentos ribeira (HASUI; POÇANO, 1978), tendo evolução complexa e idades que vão desde o arqueano até o proterozoico superior. São marcadas por zonas de cisalhamento transcorrente dextrais que definem uma estruturação regional marcante de orientação NE-SW, condicionando as formas alongadas e/ou sigmoides das sequências metamórficas e a disposição, predominantemente dos corpos graníticos.

A bacia de Taubaté constitui-se numa bacia do tipo *rift*, apresentando uma sedimentação tipicamente continental. A sedimentação é sintectônica, com depósitos sedimentares de granulometria grossa nas bordas falhadas da bacia, além de depósitos arenosos e argilosos, na parte central da bacia, ligados a ambientes de sedimentação fluvio-lacustres (APPI *et al.*, 1986; CHANG *et al.*, 1989; RICCOMINI, 1989). A estruturação interna da bacia é caracterizada por grabens assimétricos, limitados por falhas e que, ao longo da bacia, mudam de vergência, formando um padrão alternado (FERNANDEZ, 1993).

O preenchimento da bacia pode ser dividido em duas fases: a primeira, sintectônica, com a deposição dos sedimentos do grupo Taubaté, e a segunda, posterior à tectônica diastrófica, com a deposição da formação Pindamonhangaba e depósitos aluviais e coluviais quaternários (RICCOMINI, 1989). Arenitos grossos, arcoseanos são intercalados nos argilitos verdes maciços na porção central da Bacia de Taubaté.

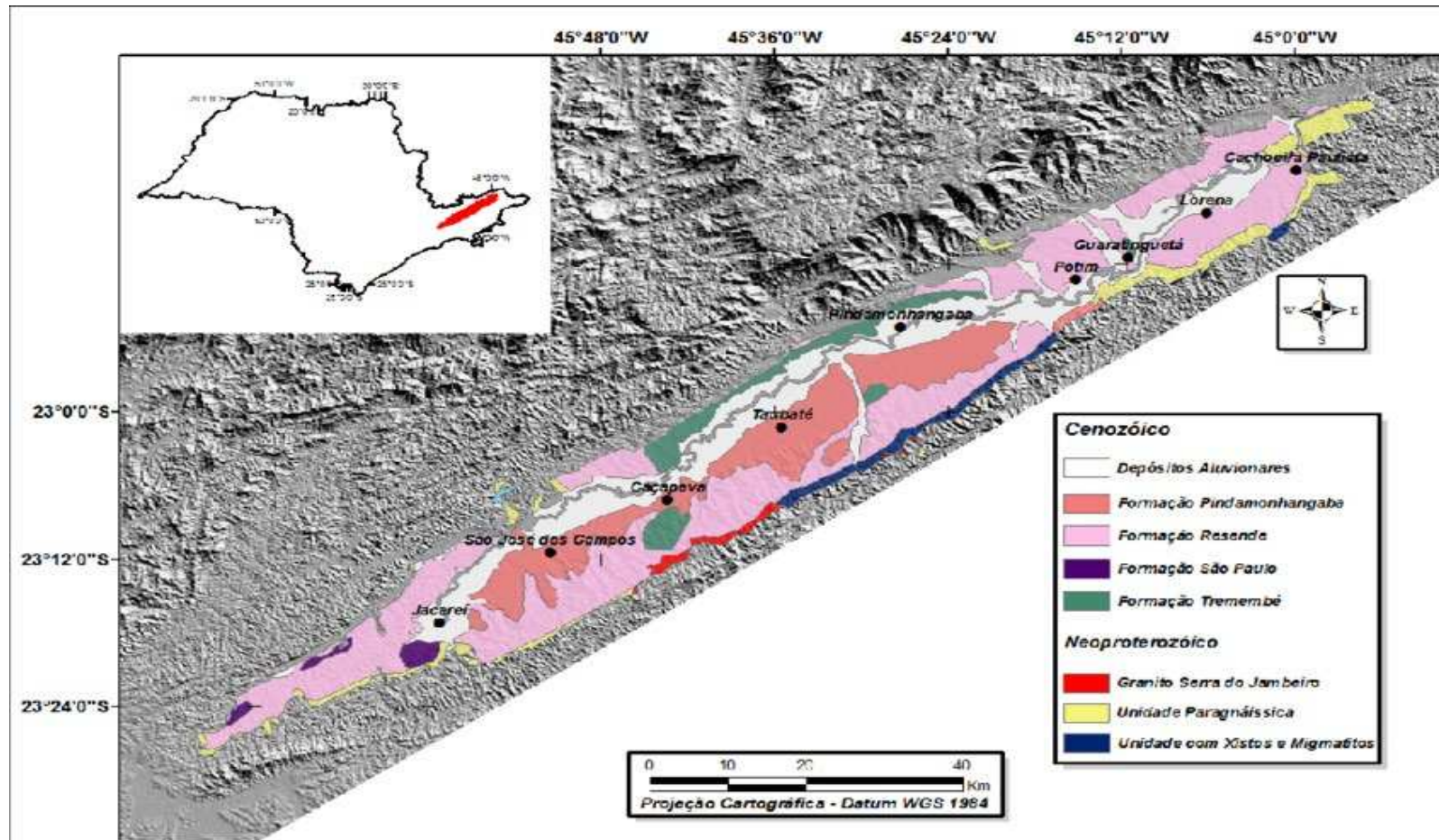


Figura 7. Mapa da bacia sedimentar de Taubaté de acordo com o mapa das águas subterrâneas do Estado de São Paulo (modificado de CPRM, DAEE, IG e IPT, 2005)

6.4 Recursos minerais

O levantamento dos recursos minerais presentes na área do município de Taubaté foi realizado a partir de consulta ao DNPM – Departamento nacional de produção mineral –, órgão vinculado ao Ministério de minas e energia (Figura 8).

Para a caracterização do potencial mineral da área, foram realizados o levantamento e o mapeamento de todas as áreas requeridas, pesquisadas ou exploradas. O principal recurso mineral extraído é a areia, tanto para fins industriais como para fins de construção civil.

No total, foram identificadas 213 áreas requeridas, 144 autorizações de pesquisa e concessão de lavra e 69 áreas não outorgadas (disponibilidade, requerimento de lavra, requerimento de licenciamento e requerimento de pesquisa).

Existe ainda no município extração de argila, exploração de água mineral e calcário dolomítico.

6.5 Geomorfologia

O relevo é o conjunto de saliências e reentrâncias que compõem a superfície terrestre. É um componente da litosfera relacionado com o conjunto rochoso subjacente e com os solos que o recobrem. Sua escultura modelada numa grande variedade de formas resulta da atuação simultânea e desigual, tanto no espaço como no tempo, não só dos fatores climáticos, mas também da estrutura da litosfera. Dessa maneira, o relevo encontra-se em permanente transformação (DEMANGE *et al.*, 1977; ROSS; MOROZ, 1997). De acordo com os fundamentos estabelecidos por PENK (1953) e com os estudos de Gerassimov e Mecerjakov (1968) e Mecerjakov (1968), o relevo é o resultado da atuação de duas forças opostas, a endógena (interna) e a exógena (externa). A primeira é responsável pelas grandes formas estruturais, enquanto a segunda toma parte na modelagem das formas esculturais. Expressa-se na configuração plástica concreta e heterogênea das formas que compõem a superfície da Terra (ROSS, 1985; 1996; 1999).

O relevo de Taubaté é relativamente plano nas direções norte e noroeste na bacia sedimentar de Taubaté, com declividades entre 0 a 5%, onde se encontra o centro urbano, e acidentado, com declividade entre 20 a 40%, nas direções sul e sudeste, ao se aproximar da Serra do Mar, primeiramente em forma de colinas, ainda em sua zona urbana, e, posteriormente, na forma de mares de morros (AB'SÁBER, 2003), e serras em sua zona rural (Figura 9)

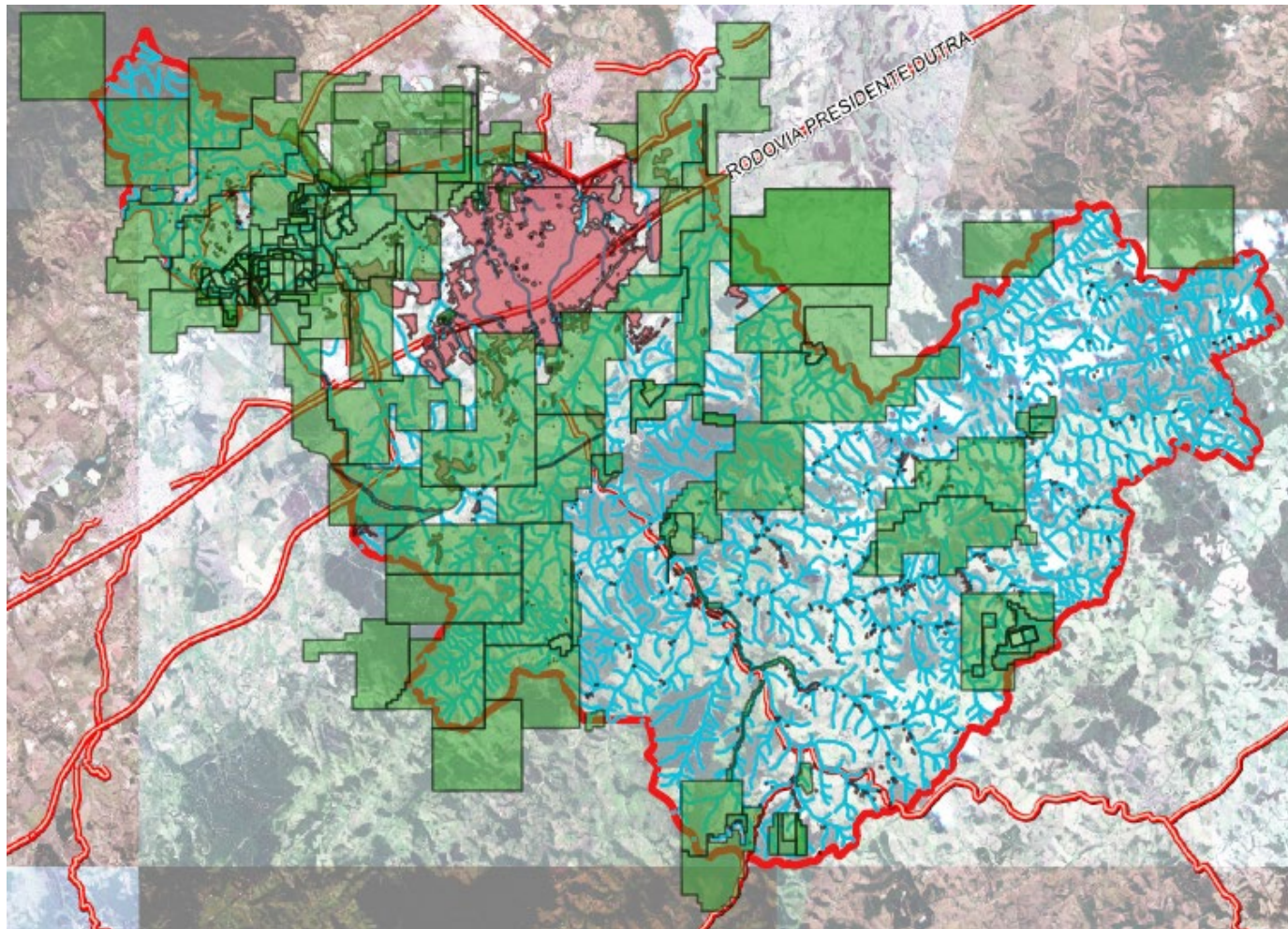


Figura 8. Mapa com as poligonais de exploração dos recursos minerais(hachuradas em verde) do município de Taubaté-SP

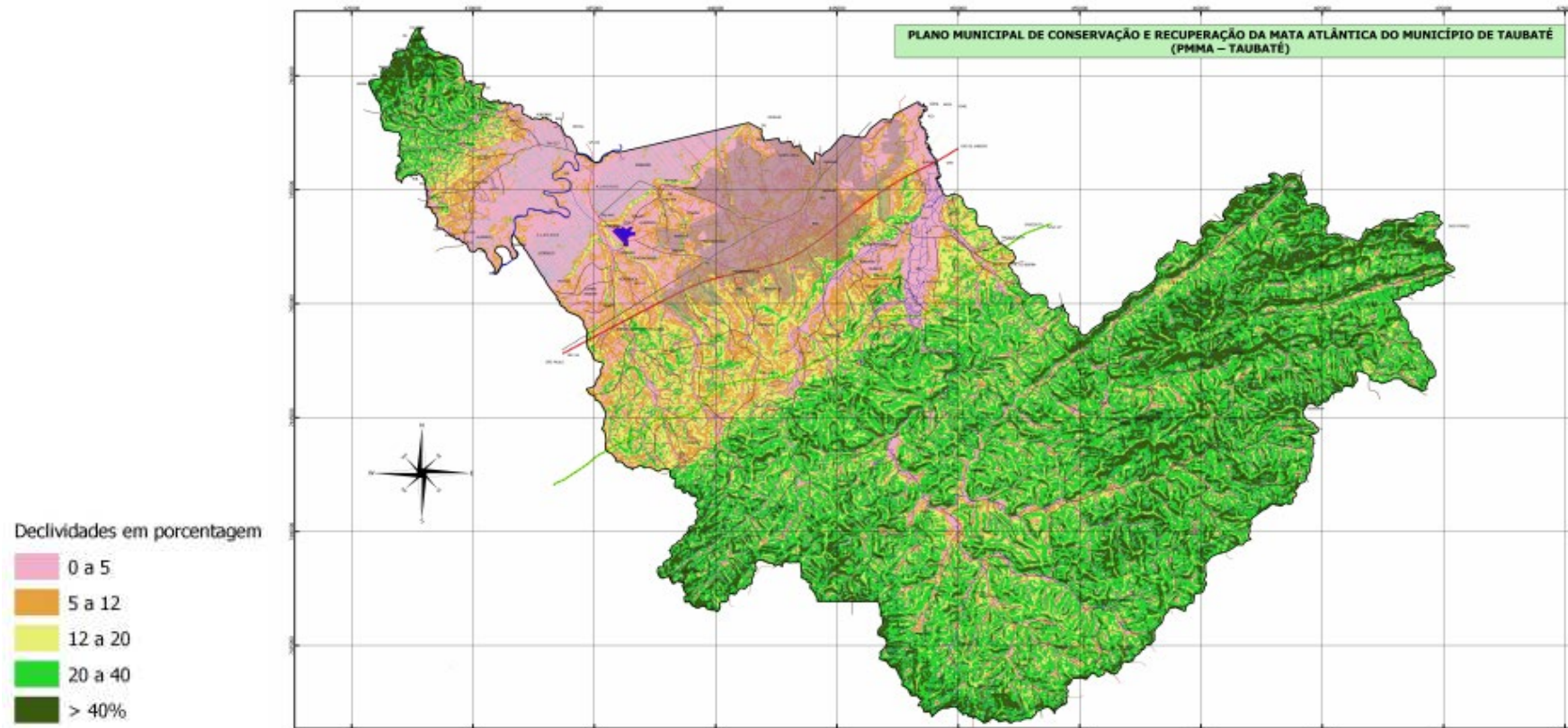


Figura 9. Mapa de declividade do relevo de Taubaté (Plano municipal de Mata Atlântica-PMMA/Taubaté, 2017)

O domínio dos mares de morros é predominantemente constituído por áreas de planalto, notadamente os planaltos e serras do Atlântico leste-sudeste. Cita-se também a presença das planícies e tabuleiros litorâneos, algumas depressões periféricas e os planaltos e chapadas da Bacia do Paraná.

A altitude de Taubaté é de 580 metros acima do nível do mar, tendo como seu marco zero a Catedral de São Francisco das Chagas. Em seu perímetro urbano, atinge 540 metros nas suas partes mais baixas, em direção noroeste, nas proximidades do Rio Paraíba do Sul (Figura 10), e as partes altas chegam a 800 metros na direção sul (Figura 11).

Na zona rural, Taubaté compreende altitudes superiores a 700 metros, podendo ultrapassar, na Serra de Quebra Cangalha, 1200 metros no Morro do Cruzeiro, e 1500 metros no Pico do Macuco, próximo às divisas com Roseira e Lagoinha.



Figura 10. Área da várzea do Rio Paraíba do Sul, Taubaté-SP

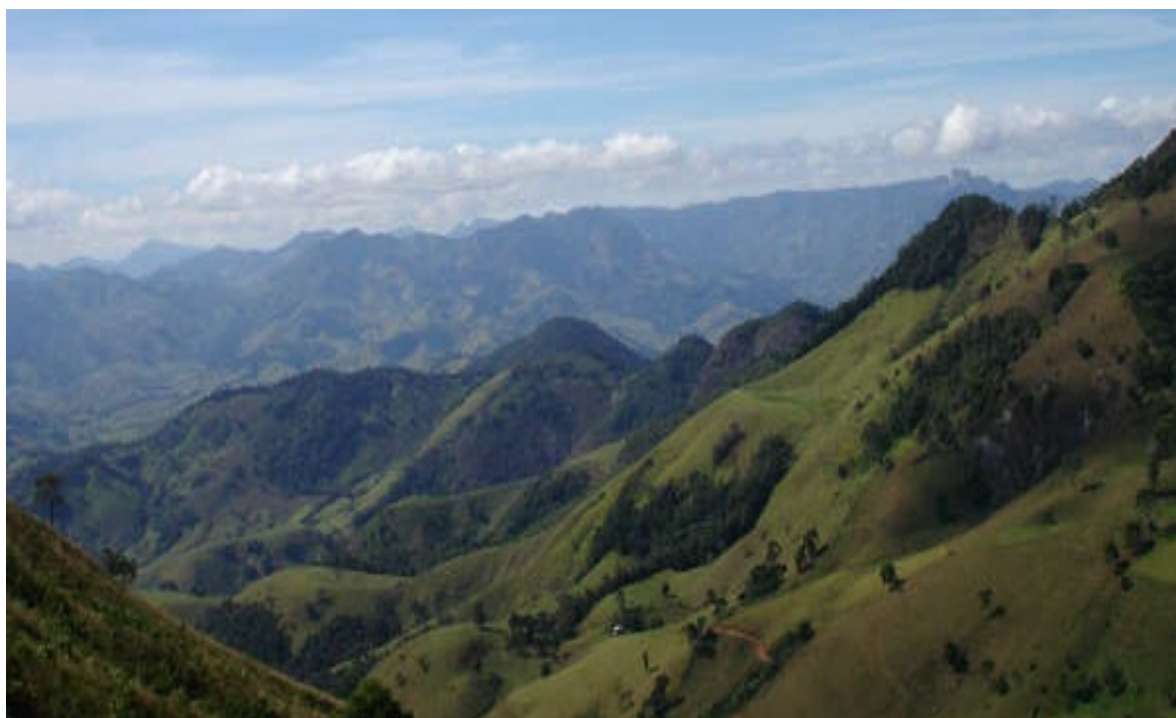


Figura 11. Mares de morros da região da Serra da Mantiqueira, SP

6.6 Pedologia

O levantamento da classificação de solo na área do município de Taubaté foi elaborado com base no mapa pedológico realizado pelo Instituto agrônomo de Campinas (IAC) e pela Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa) (Figura 12). De acordo com o mapa, o solo do tipo latossolo é o predominante no município, mas apresenta ainda, na área de várzeas, solos do tipo gleissolos, e, nas área de encosta, há ocorrência de argissolos.

Os latossolos são solos minerais, homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecido facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade. Os latossolos são profundos, bem drenados e com baixa capacidade de troca de cátions, com textura média ou mais fina (argilosa, muito argilosa) e, com mais frequência, são pouco férteis. Quanto à cor e à textura, os latossolos podem ser classificados em latossolos vermelhos de textura argilosa ou muito argilosa (Figura 13a), latossolos vermelho-amarelo de textura argilosa (Figura 13b) e latossolos vermelho-amarelo de textura média (Figura 13c).

Os gleissolos são solos minerais formados em condições de saturação com água, presentes principalmente em planícies ou várzeas inundáveis, apresentam coloração pouco viva, esmaecida, com tendência às cores acinzentadas (Figura 14). Sua textura, variável de arenosa à argilosa, e sua fertilidade, variável de baixa à elevada, são bastante dependentes dos

solos do seu entorno e de solos de outras posições à montante. As limitações mais comuns dos gleissolos são sua elevada frequência de inundação e o longo período de solo saturado por água, consequência de cheias dos cursos d'água ou da elevação do lençol freático.

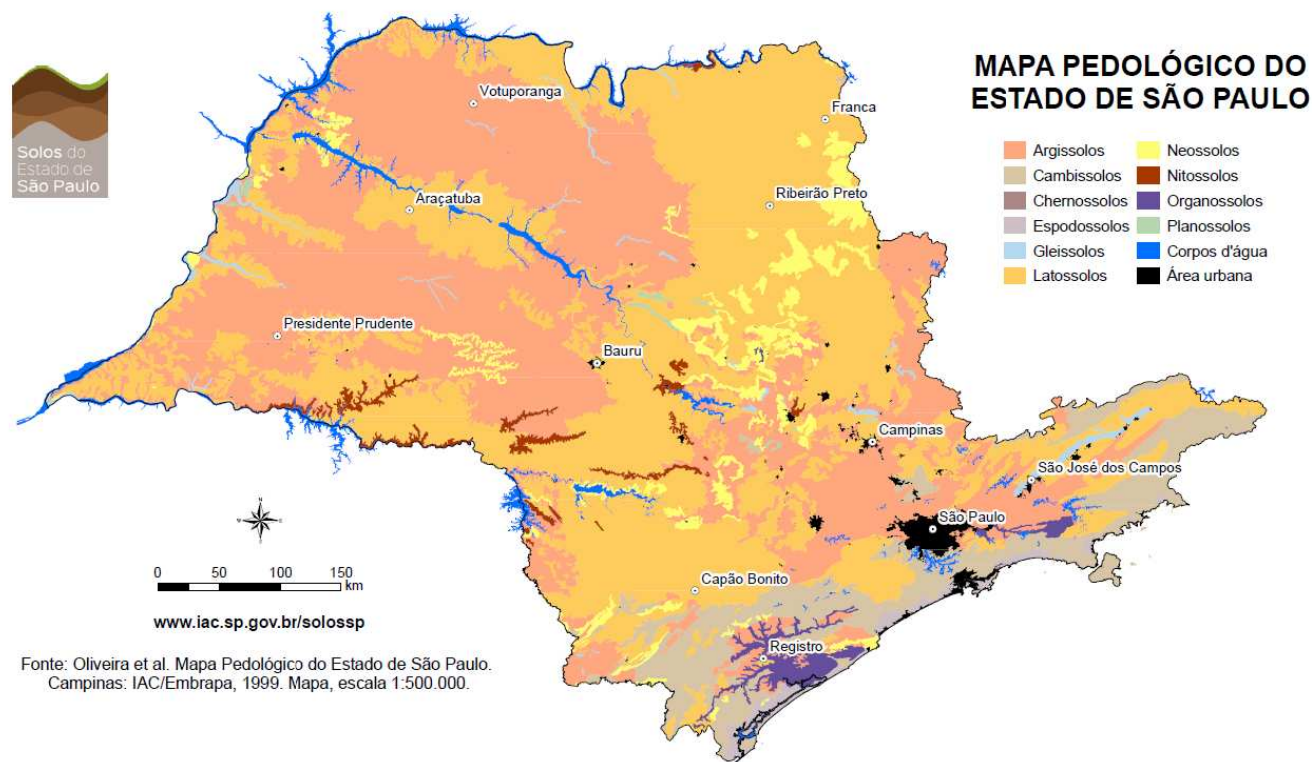


Figura 12. Mapa pedológico do Estado de São Paulo (IAC/Embrapa, 1999)

Os gleissolos estão distribuídos em todo o Estado de São Paulo, principalmente nas planícies com influência de lençol d'água de subsuperfície, tanto em ambientes fluviais e lacustres do interior, como em planícies litorâneas. Extensas áreas de gleissolos melânicos e háplicos ocorrem nas planícies de grandes rios com vales abertos, como as do rio Paraíba do Sul.

Os argissolos são solos minerais com nítida diferenciação entre as camadas ou horizontes, reconhecida em campo especialmente pelo aumento, por vezes abrupto, nos teores de argila em profundidade. Podem ser arenosos, de textura média, ou argilosos no horizonte mais superficial. Apresentam cor mais forte (amarelada, brunada ou avermelhada), maior coesão e maior plasticidade e pegajosidade em profundidade, devido ao maior teor de argila.

A fertilidade dos argissolos é variável, dependente principalmente de seu material de origem. Sua retenção de água é maior nos horizontes abaixo da superfície (subsuperficiais), que podem se constituir em um reservatório de água para as plantas. Entre os argissolos,

destacamos os de textura arenosa/média (Figura 15a) e os de textura média/argilosa e argilosa (Figura 15b).

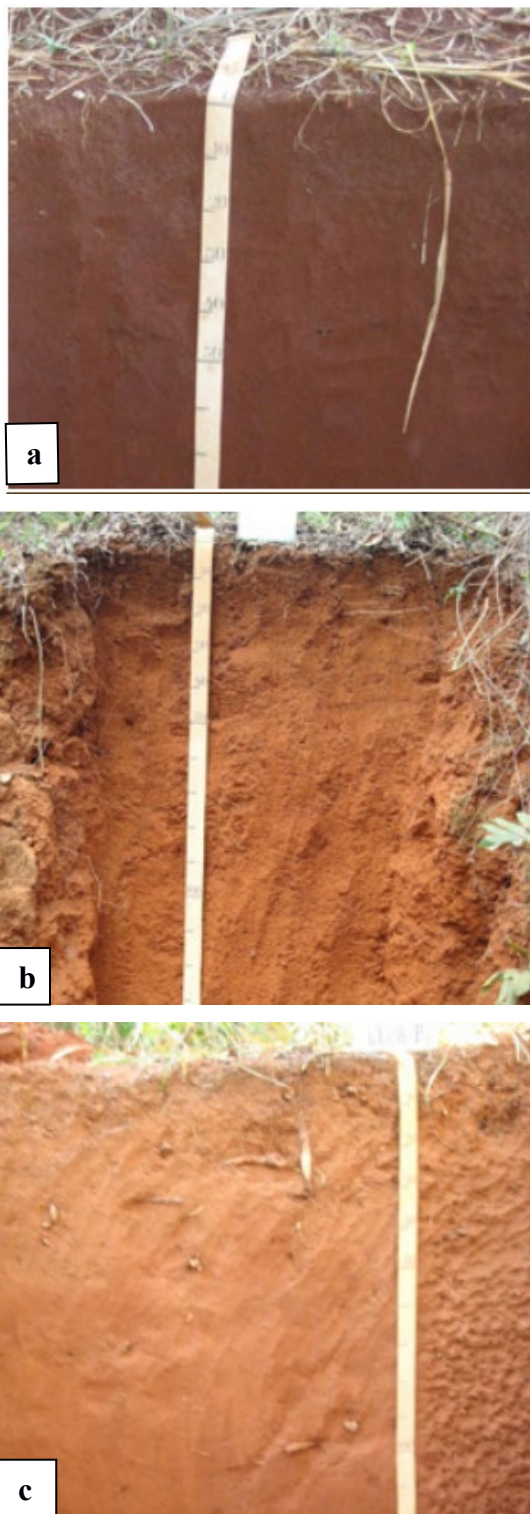


Figura 13. Latossolos vermelhos de textura argilosa ou muito argilosa (a), latossolos vermelho-amarelo de textura argilosa (b) e latossolos vermelho-amarelo de textura média (c) (IAC/Embrapa, 1999)



Figura 14. Gleissolo melânico Tb distrófico típico, textura média/argilosa (IAC/Embrapa, 1999)

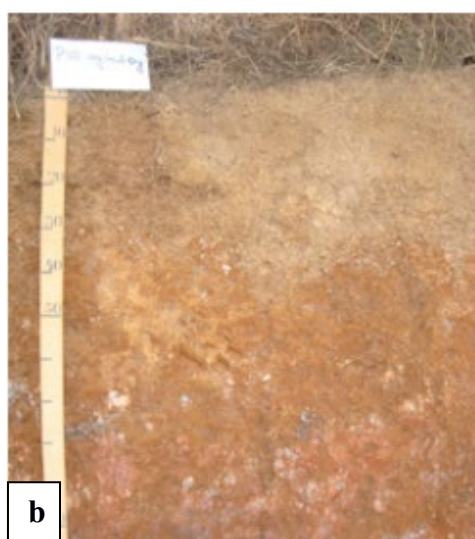


Figura 15. Argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico abrupto (a) e argissolo vermelho-amarelo distrófico abrupto, textura média/argilosa (b)

6.7 Hidrografia

A área do município de Taubaté-SP situa-se na Unidade de gerenciamento de recursos hídricos URGHI-02, criada pela Lei n. 9.034/94, de 27/12/94, que dispõe sobre o *Plano estadual de recursos hídricos para o biênio 1994/95* (Figura 16). O CBH-PS, Comitê de bacias hidrográficas do Rio Paraíba do Sul, foi criado em 1994 e atua desde então nesta Unidade, abrangendo 36 municípios.

Devido à ocorrência de 2.604 nascentes, o município apresenta uma rede de drenagem bem ampla que abrange toda a sua extensão territorial (Figura 17). Os principais cursos de água, tanto na área urbana como na rural, são: Córrego do Convento Velho; Córrego do Voçoroca; Córrego do Judeu I e II; Córrego do Moinho; Córrego do José Raimundo; Córrego do Pinhão; Ribeirão do Piracangaguá; Ribeirão do Quiririm; Ribeirão das Sete Almas; Rio Una; Ribeirão do Itaim.

Dentre os principais recursos hídricos do município, destaca-se a bacia do Rio Una, que é formada pela união do Ribeirão das Almas com o Rio da Rocinha e seus afluentes (Itaim, Ribeirão das Pedras ou Ipiranga, Ribeirão das Sete Voltas, Rio das Antas, Ribeirão do Registro, e demais tributários da bacia), perfazendo uma área de 476 km². (Figura 18).

O Rio Una contribui com parte do abastecimento de água potável para consumo no município, porém, segundo estudos da Universidade de Taubaté, a bacia à qual este rio pertence apresenta vários problemas, tais como:

- Rápida expansão urbana e ocupação irregular do solo;
- Presença dos distritos industriais e de aterro sanitário com risco de poluição de aquíferos;
- Degradação de mata ciliar por atividade de mineração;
- Problemas de parcelamento do solo rural, com fomento a processos erosivos e de assoreamento dos afluentes do Una;
- Desmatamento em áreas localizadas onde existe a presença de lavouras temporárias de subsistência, em loteamentos rurais;
- Lançamentos de esgoto "in natura" no curso do Una e afluentes.

O município conta ainda, como recurso hídrico, com o Aquífero de Taubaté, de idade terciária (Figura 19). Este aquífero é formado pelos sedimentos da bacia de Taubaté, que se encontram entre a Serra da Mantiqueira e o reverso continental da Serra do Mar, numa área com cerca de 2.000 km². A existência de porções de argila na bacia, estão relacionadas a pacotes de sedimentos arenosos que propiciam a existência de “aquíferos suspensos”.

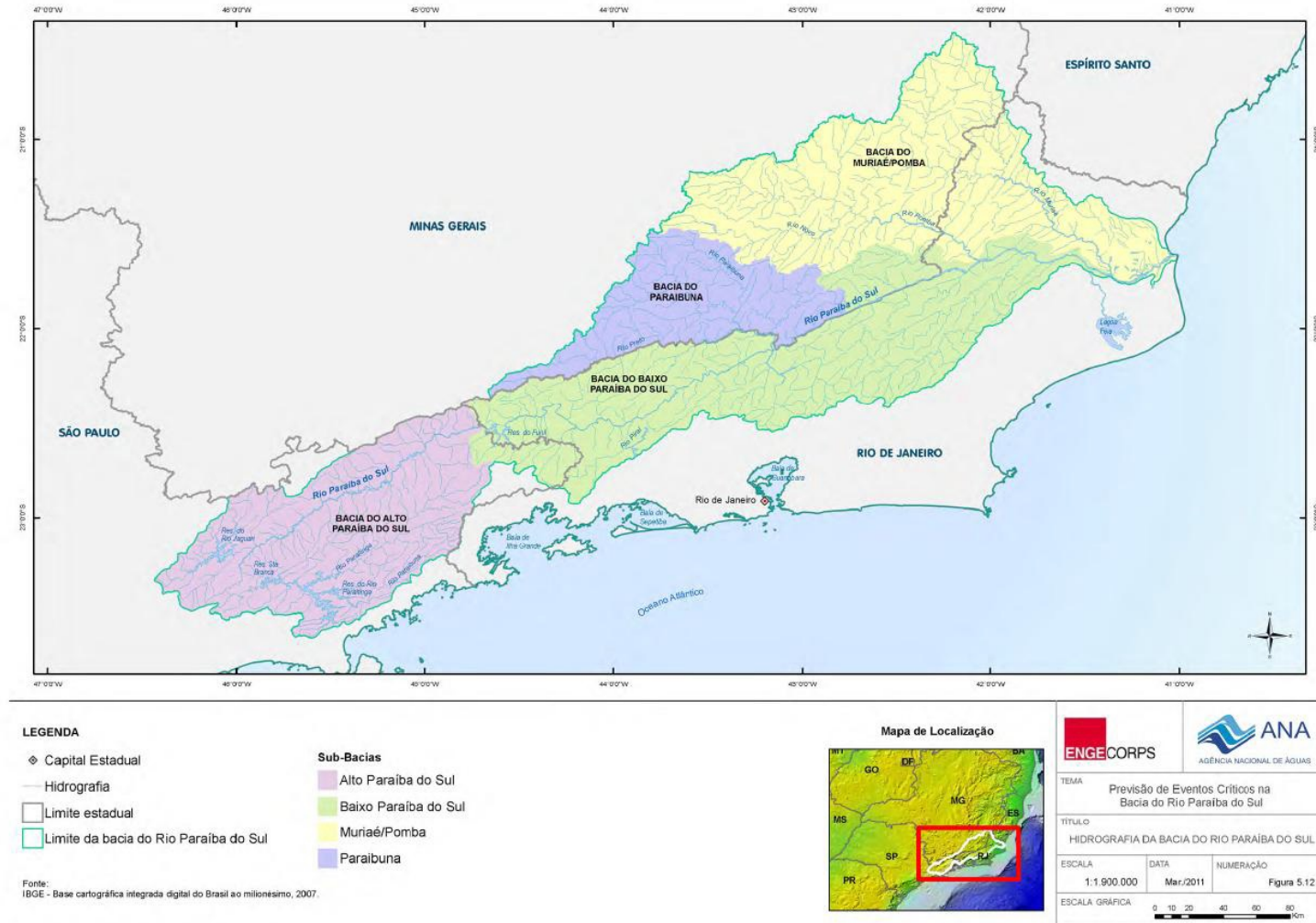


Figura 16. Mapa da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (FONTE ANA/2018)

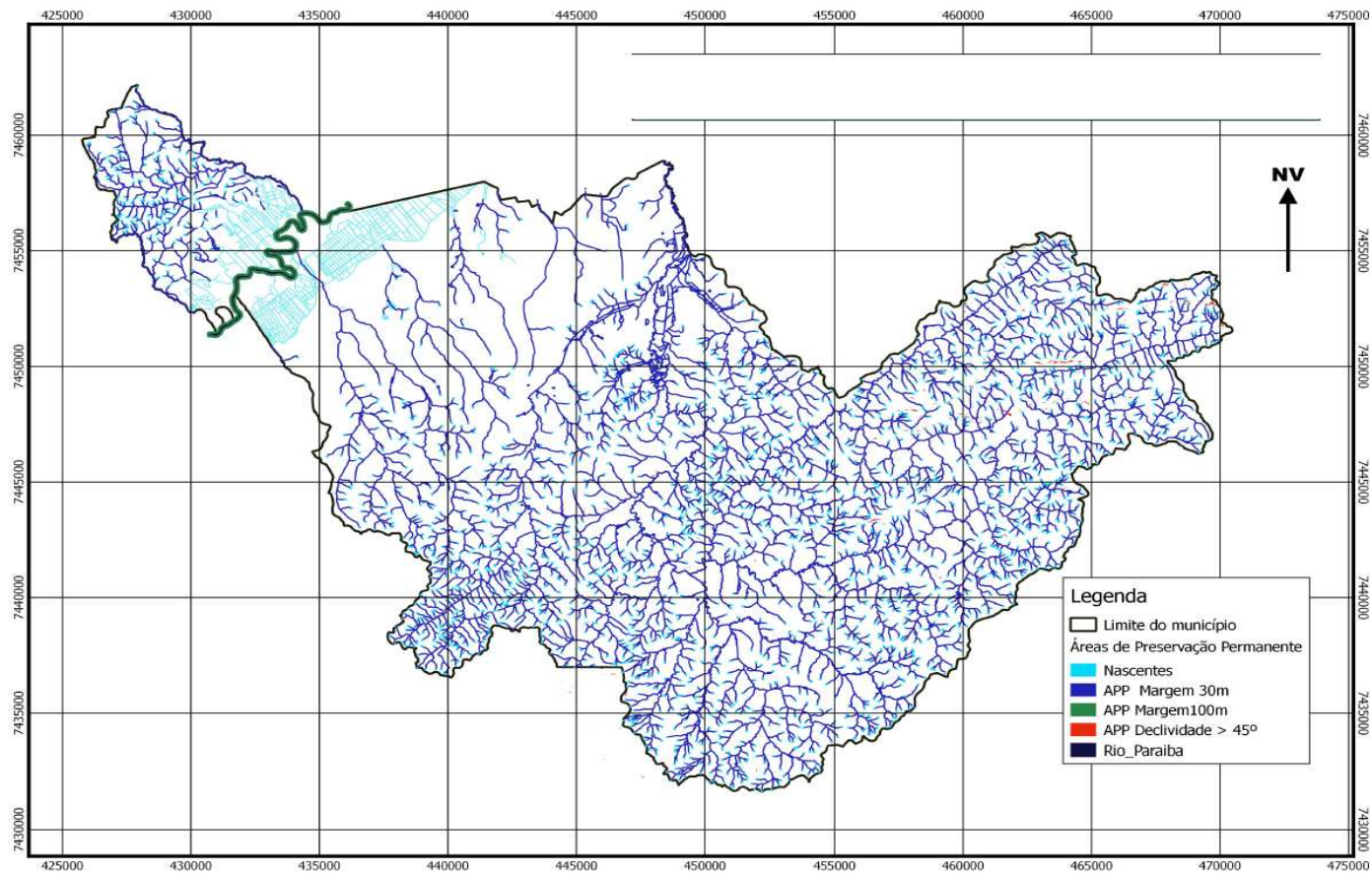


Figura 17. Mapa da rede de drenagem do Município de Taubaté com suas APPs (Plano municipal de Mata Atlântica-PMMA/Taubaté, 2017)

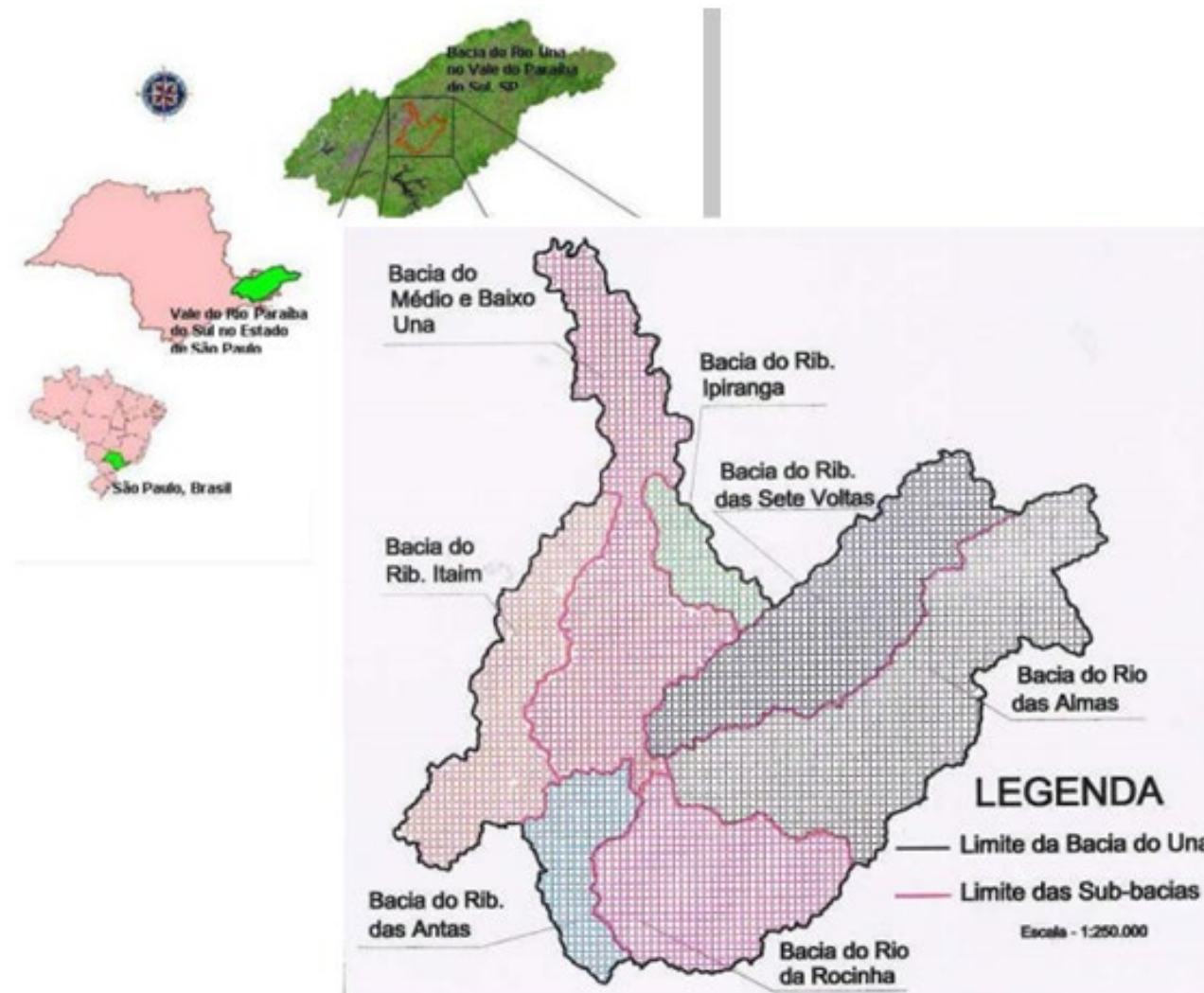


Figura 18. Localização da bacia do Rio Una e suas microbacias (TARGA, 2017)

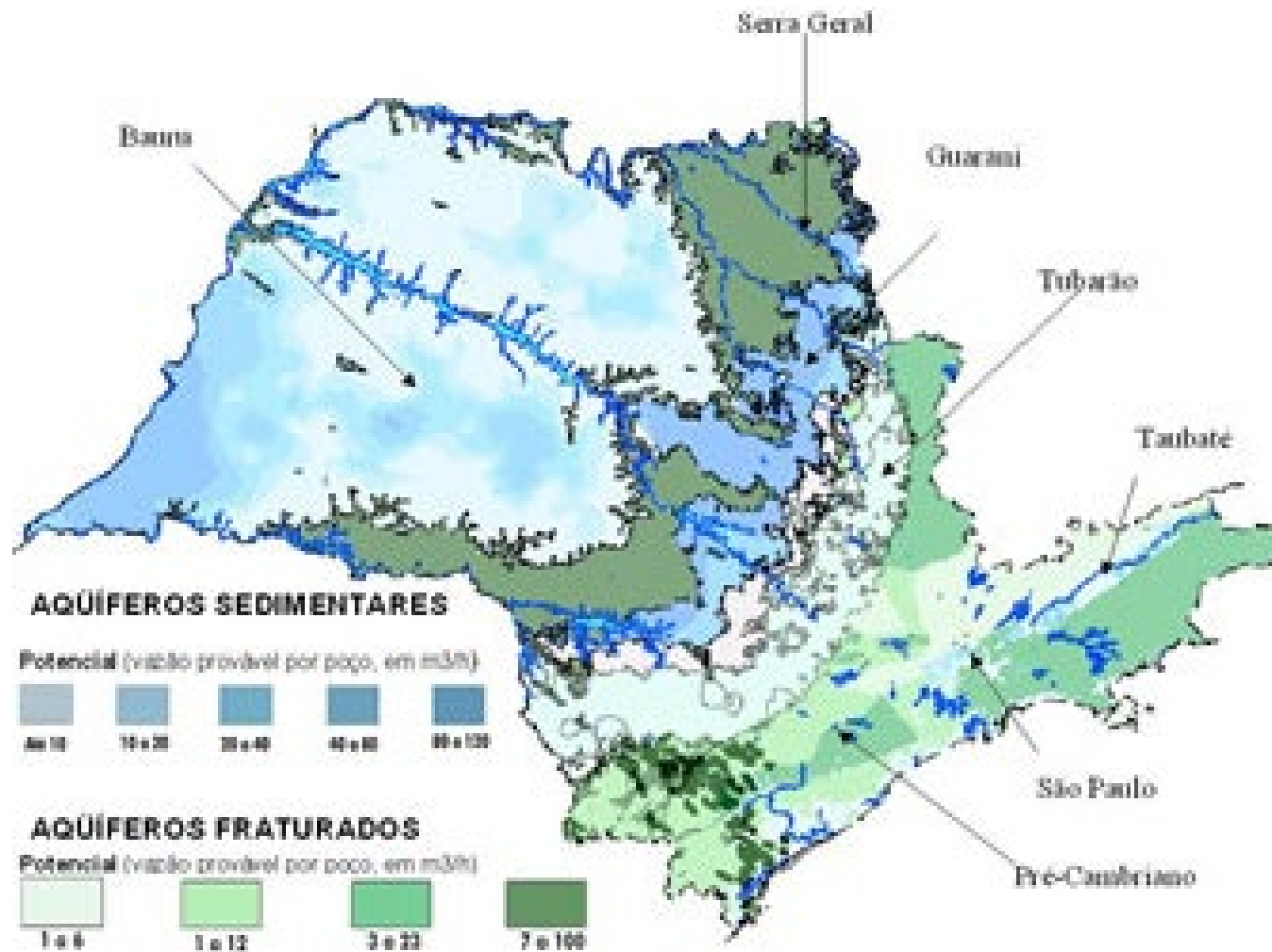


Figura 19. Mapa de aquíferos do Estado de São Paulo (CETESB, 2003)

A produtividade do Aquífero Taubaté é bastante variável, apresentando valores de capacidade específica entre 0,2 e 14 m³/h/m, sendo clara uma menor permeabilidade dos sedimentos na porção central da bacia sedimentar, na região de Tremembé e Pindamonhangaba. Nas porções a oeste e leste dessa região, predominam sedimentos mais arenosos que refletem na produtividade dos poços, cujas vazões podem ser superiores a 100 m³/h.

A recarga desse aquífero se efetua por intermédio da precipitação pluvial direta sobre a bacia e, de forma mais limitada, pela drenagem das águas do aquífero Pré-Cambriano adjacente. A descarga natural é o Rio Paraíba, atuando o aquífero como reservatório regulador de sua vazão de base. Estudos indicam que as águas subterrâneas do Aquífero Taubaté apresentam baixo teor de sais dissolvidos, nitratos, fluoretos, cloretos e sulfatos, e elevada concentração de sílica, assim como de cálcio e sódio em relação ao magnésio. As águas são caracterizadas como bicarbonatadas cálcicas (20%), quando associadas aos sedimentos fluviais, e bicarbonatadas sódicas (42%), quando associadas a sedimentos lacustres (DAEE *et al.*, 2005).

7 MATERIAL E MÉTODOS

A descrição do material e métodos seguem os procedimentos descritos por Drugowich, M.I. (2011).

7.1 Levantamento e visitas a campo

O levantamento e as visitas a campo serão realizados nos limites das zonas urbanas e rural do município com a identificação e o georreferenciamento dos pontos críticos de erosão. Também serão registradas, identificadas e georreferenciadas todas as situações envolvendo degradação ambiental ocasionada pelas atividades urbanas, industriais, agroindustriais e rurais.

Para a realização das vistorias serão utilizados a Carta do Instituto de geografia e estatística (IBGE) na escala 1:50.000, receptores de GPS de navegação, câmera fotográfica, fotos aéreas e mapa municipal do Plano diretor urbano.

Com as informações coletadas, será elaborada uma planilha que irá auxiliar na localização e na descrição dos problemas e as conclusões finais do trabalho e posterior vetorização com o auxílio de um sistema de informação geoespacializadas (SIG).

7.2 Levantamento da erosão

O levantamento da erosão será realizado por meio de pesquisa e de identificações de feições erosivas em imagens disponíveis: aerofotos e imagens do *software* Google-earth. Depois, as imagens serão reproduzidas em mapas planialtimétricos do IBGE, escala 1:50.000.

Será realizada entrevista sobre a existência de feições erosivas com técnicos e produtores rurais nas áreas urbanas e rurais do município.

Serão realizadas visitas de campo para checar erosões pre-identificadas e investigar possíveis erosões nas áreas rurais e urbanas e nas estradas e carreadores, avaliando áreas através de pontos de observação localizados nos espigões das estradas.

As informações nesta etapa serão filtradas para representação em formato vetorial, com confecção do mapa e do relatório do processo erosivo de Taubaté-SP.

7.3 Caracterização do uso do solo

Para a atualização da caracterização do uso do solo serão utilizados os seguintes materiais:

A) Cartas topográficas vetorizadas – as cartas topográficas em formato digital vetorizado (DWG) serão trabalhadas em AutoCadMap 5. Depois, será montado o mosaico com as cartas para a cobertura total do município de Taubaté-SP.

B) Serão inseridas as imagens recortadas de ortofotos digitalizadas, assim como imagens do Google-earth e do satélite CBERS para checagem dos pontos. Serão definidas camadas para os diferentes tipos de uso do solo.

C) No levantamento a campo, serão utilizadas imagens de ortofotos, Google-earth e do satélite CBERS impressas em tamanho A0, nas quais serão marcados pontos previamente determinados para checagem com receptores GPS de navegação.

Para a caracterização dos diferentes usos do solo, serão utilizadas imagens de fotografias aéreas na escala 1:30.000 assim como imagens CBERS proveniente do sensor HRC e imagens do programa Google-earth para o apoio ao uso atual do município.

As cartas digitalizadas serão abertas no *software* AutoCad Map 5 e, posteriormente, as fotografias aéreas e imagens CBERS serão importadas, inseridas e georreferenciadas, utilizando os parâmetros da projeção UTM 23 SAD 69.

Para uma maior precisão dos dados sobre os diferentes usos do solo na região serão determinados pontos de controle por todos os municípios em áreas pré-definidas, distribuídas em cinco grupos para checagem a campo, utilizando-se de receptores GPS de navegação,

tendo como auxílio as cartas planialtimétricas 1:50.000 e ortofotos coloridas impressas em formato A0 para ajudar na identificação dos pontos na área geográfica do estudo.

Para auxiliar na definição do uso em determinadas aéreas sem cobertura pelas imagens do Google-earth e pelas ortofotos, serão usadas, em apoio, imagens de satélite CBERS 2B CCD dispostas em bandas (3,4,2) para se obter composição de falsa cor para facilitar a observação de diferentes tipos de uso do solo.

No AutoCad5, serão inseridas as imagens para proceder a vetorização dos polígonos correspondentes às diferentes ocupações de uso do solo identificadas em camadas próprias a cada tipo de uso para serem classificadas em classes de usos do solo, tais como: vegetação nativa, áreas de mineração, reflorestamento, cultura anual, construções, loteamentos etc.

7.4 Classificação dos solos

O reconhecimento do solo será do tipo levantamento utilitário, conforme metodologia preconizada por Lepsch et al (1983) no *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação das terras no sistema de capacidade de uso*.

No campo, serão realizadas prospeções regulares, com o auxílio de trado holandês, até o limite de um metro e meio de profundidade, tantos nos locais previamente demarcados nas fotografias aéreas ampliadas e plotadas em formato A0, para facilitar a visualização e acompanhamento, como em outros, definidos no ato do deslocamento a campo. Também serão observados perfis em barrancos, quando da ocorrência de alguma limitação para o uso do trado.

A observação desses pontos tem como objetivo verificar a coincidência com o Mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA *et al.*, 1999), em escala 1:50.000. As informações levantadas serão relativas a alguns atributos da camada superficial (0-20 cm) e subsuperficial (20-60 cm), bem como característica gerais relativas à erosão e ao atual uso da terra.

7.5 Drenagem e estradas

O delineamento dos canais de drenagem será realizado a partir da vetorização de ortofotos atualizadas pelas imagens Google-earth-Digital Globe. Nessa vetorização, será utilizada a plataforma da Autodesk, que corresponde aos *softwares* AutoCad Map 5 e Autodesk Raster Design 3. Os dados serão confrontados com o modelo digital do terreno da missão topográfica SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de forma a corrigir quaisquer

discrepâncias. O mapa produzido será apresentado na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum WGS 84.

A delimitação das microbacias hidrográficas será realizada por meio de vetorização, utilizando-se o software AutoCad Map 5, tendo como base as curvas de nível do IBGE escala 1.50.000 e os dados do relevo obtidos do SRTM, transformados em mapa hipsométrico com o software SPRING 5.1.6.

No cálculo da drenagem, será usada a fórmula: $D_d = L_b/A$, sendo:

D_d = densidade de drenagem;

L_b = comprimento dos canais em km e

A = área estudada em km^2 expressas por microbacias hidrográficas.

O levantamento do sistema viário será realizado pelo caminhamento em toda a extensão das estradas, tanto vicinais como principais, com o uso de receptores GPS com posterior descarregamento e arranjos deste levantamento no software AutoCad Map 5.

7.6 Mapa de hipsometria e de classes de declividades

Os dados altimétricos serão trabalhados no *software* Spring 5.1.6 com numa base triangular. A partir dos dados altimétricos do SRTM em formato matricial, será elaborado o fatiamento dos níveis topográficos com equidistância de 50 m, adotando como limite a área territorial municipal. Visando a uma melhor representação gráfica e a uma melhor homogeneização de áreas, será realizado o procedimento de limpeza de *pixels* com o uso de ferramenta de edição vetorial.

Ao fim desse processo, as faixas serão convertidas para o formato *shapefile* no *software* ArcGS 9.3. No mapa gerado, serão delimitadas 5 faixas topográficas com 50 m equidistantes na altitude na faixa mais rebaixada e nas cotas mais altas do município.

Para a geração do mapa de declividades, serão utilizados dados altimétricos (curvas de nível) *software* Spring 5.1.6, com base numa grade triangular, que é uma estrutura do tipo vetorial que representa a superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Essas facetas triangulares permitem os cálculos das declividades a partir de interpolação espacial. Posteriormente, será realizado o fatiamento da grade de declividades gerada em intervalos determinados: 0-2; 2-5; 5-10; 10-15; 15-45% e maior que 45%. Esses intervalos contemplam os intervalos de declives adotados na definição das classes de capacidade de uso das terras (LEPSH *et al.*, 1983) e apresentam as seguintes características:

- 0 a 2% - corresponde a áreas planas ou quase planas onde o escoamento

superficial é lento, não oferecendo dificuldades ao uso de máquinas agrícolas. Relevo plano;

- 2 a 5% - são áreas de declive suave, onde o escoamento superficial é lento ou médio. Em alguns tipos de solos, a erosão hídrica não oferece problemas. Relevo suave ondulado;

- 5 - 10% - são áreas de declive suave, onde o escoamento superficial é lento ou médio. Em alguns tipos de solos, a erosão hídrica não oferece problemas. Solos com textura média em rampas muito longas necessitam de práticas de conservação de alguma complexidade. Relevo suave ondulado;

- 10 - 15% - são áreas com relevo ondulado, e o escoamento superficial é médio ou rápido. São facilmente erodíveis (exceto em solos argilosos e muito argilosos). Relevo ondulado;

- 15 - 45% - constituem vertentes fortemente inclinadas, cujo escoamento é muito rápido, independentemente do tipo de solo. Solos muito suscetíveis à erosão. Relevo forte ondulado;

- > 45% - constituem vertentes íngremes. Escoamento superficial muito rápido e solos extremamente suscetíveis à erosão hídrica.

7.7 Mapa de diagnóstico ambiental

Durante o caminhamento pelas estradas, serão identificadas, ao longo de toda a sua extensão, as áreas e os pontos de maior suscetibilidade e de ocorrência de erosão e de empoçamento, bem como as expressões da pressão antrópica, como lançamento de efluentes, resíduos sólidos e condução das águas pluviais.

As ocorrências dos pontos críticos serão geoespacializadas em mapa próprio, correlacionando-as às estradas e calhas de drenagem do município.

Os demais vetores constantes neste levantamento serão explorados como um todo no decorrer do trabalho, apresentando, nos seus respectivos itens (estradas e hidrografia), os tópicos de maior interesse para a questão ambiental das estradas do município, da hidrografia e dos pontos críticos de maior expressão.

7.8 Mapas de Áreas de preservação permanentes associadas às redes de drenagem

Com os dados da drenagem levantados, será realizada uma operação de *buffer* (área de contorno) de 30 m em relação aos rios com larguras inferiores a 10 m, um *buffer* de 50 m em relação a lagoas, a brejos e a rios (de 10 a 50 m de largura), bem como um *buffer* de 50 m

de raio a partir das nascentes. Os rios de 50 a 200 m de largura, com uma área de preservação de 100 m.

As operações serão realizadas com o uso do ArcGIS 9.3 e de suas respectivas ferramentas correspondentes de sua biblioteca de operações, o ArcToolboxes.

7.9 Mapa geológico

O mapa geológico será elaborado a partir do arquivo disponibilizado pela Companhia de pesquisa e recursos minerais (CPRM) do Serviço geológico do Brasil, Mapa geológico do Estado de São Paulo em escala 1.750.000 (PERROTA *et al.*, 2005).

7.10 Mapa de suscetibilidade dos solos à erosão

Com o uso do *software* ArcGIS 9.3, será realizado o cruzamento entre o mapa de solos e o mapa de declividade e, com isso, obter-se-á o mapa de susceptibilidade dos solos à erosão, conforme a metodologia descrita por Lepsch *et al.* (1983).

7.11 Mapa de enquadramento das terras à classe de capacidade de uso

Para a determinação das classes de capacidade de uso do solo, será utilizado o sistema adaptado por Lepsch *et al.* (1983), no qual serão inseridas as características e as propriedades dos solos, a declividade do terreno, os fatores limitantes ao uso da terra e outras características gerais da área de estudo. E será composto por quatro níveis categóricos: grupo, classe, subclasse e unidade de capacidade de uso. O grupo irá identificar as terras de acordo com a intensidade de uso e será representado por letra maiúscula, tais como: Grupo A - terras aptas para culturas anuais; B - terras aptas para culturas perenes e pastagem e C - terras próprias para reserva da flora e da fauna. As classes, em número de oito, serão representadas por algarismos romanos (I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII), identificadas pelo grau de limitação ao uso agrícola da terra. A classe I não apresenta nenhum grau de limitação. De forma crescente, a classe VIII representa as terras com mais altos graus de restrições. A subclasse irá identificar a natureza do atributo diagnóstico determinante de cada classe, sendo representada por letras. A unidade de capacidade de uso, também chamada unidade de manejo, irá especificar o fator limitante (grau de limitação). A numeração será adotada de acordo com a ocorrência dos fatores limitantes presentes em cada subclasse de capacidade de uso. Para cada classe de solo, a avaliação dos atributos diagnósticos será feita, adotando-se uma escala de julgamento, com cinco graus de limitação: 0 = Nulo; 1 = Ligeiro; 2 = Moderado; 3 = Forte e 4 = Muito Forte,

como sugerem Ramalho Filho e Beek (1995).

7.12 Mapeamento das áreas de risco em Taubaté

O levantamento para realizar o mapeamento das áreas de risco em Taubaté irá seguir as metodologias preconizadas no “Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundações, erosão, solapamento, colapso e subsidência em Taubaté” (BROLLO *et al.*, 2012).

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: USP, 1964.

ANTONANGELO, A.; FENNER, P.T. **Identificação dos riscos de erosão em estradas de uso florestal através do critério do fator topográfico LS**. 2005. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

ARAÚJO, Gustavo Henrique de Souza; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; GUERRA, Antonio José Teixeira. **Gestão Ambiental de áreas degradadas**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 1, p. 133-142, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1995.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BERTOLINI, B. **Controle de erosão em estradas rurais**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 37 p. (Boletim Técnico, 207)

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1993. 352p

BROLLO, M.J.; GUEDES, A.C.; FERREIRA, J.C. Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundações, erosão, solapamento, colapso e subsidência do município de Taubaté, SP. **Instituto Geológico do Estado de São Paulo**, Relatório Técnico, v.I, 318p. 2012.

CATELANI, CS., BATISTA, GT., TARGA, MS. Geoprocessamento na determinação da proximidade de estradas vicinais em relação à rede de drenagem em uma bacia hidrográfica no Município de Taubaté, SP - Proceedings of the XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, GO, Brasil. 16-21 Abril de 2005. INPE. **Anais** p. 3723-3730.

CASARIN, R. D. **Controle de Erosão em Estradas Rurais Não Pavimentadas, Utilizando Sistema de Terraceamento com Gradiente associado a Bacias de Captação**. Botucatu: Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu – para obtenção do título de Mestre em Agronomia:Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, Agosto de 2008.

DANNIELS, R.B.; HAMMER, R.D. **Soil Geomorphology**. John Wiley and sons, Inc. Nova York, 236p. (1992)

DEMARCHI, L. C. et al. **Adequação de Estradas Rurais**. Campinas: CATI, 2003.

DRUGOWICH, M.I. coord. **Plano Diretor de Controle de Erosão Rural para o Município de Tatuí – SP**. Campinas; CIAGRO-CATI-SAA, 2011.

EMBRAPA – **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rio de Janeiro. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.

FISCH, G. Distribuição da precipitação em Taubaté, Vale do Paraíba (SP). **Revista Biociências**, v. 5, n. 2, p. 7-11, 1999.

FOURNIER, F. (1960) **Climat et erosion**. Paris, Press Universitaires de France apud NISHYAMA, L. (1995) **Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento**. Seminários Gerais em Geotecnia (833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambiente Água**, Taubaté, v. 1, n. 1, p. 61-71, 2006.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

GEE, G.W, BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: Klute A, editor. **Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy; 1986. p.383-411. (Agronomy series, 9).

GUERRA, A.J.T. **The effect os organic matter contente on soil erosion in simulated rainfall experiments in W. Sussex, U.K**. Soil Use ans Management, Harpenden, Inglaterra, 10, 60-64. (1994).

GUERRA, A.J.T. **Processos erosivos nas encostas. Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos**. 2ª edição, Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 149-209. (1995)

GUERRA, A.J.T. **Processos erosivos nas encostas. Geomorfologia – exercícios, técnicas e aplicacoes**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 139-155. (1996)

GUERRA, A.J.T. e ALMEIDA, F.G. **Propriedades dos solos e análise dos processos erosivos no município de Sorriso-MT**. Anais do IV Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, Cuiabá, MT, vol. 1, 185-193. 1993.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

IG/CETESB/DAEE.1997. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**.

INMET, **Gráfico de temperatura por meses**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 23 jun. 2017

INPE, **Banco de Imagens da Divisão de Geração de Imagens-Satélite Landsat5**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 22 ago. 2010

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT (1981a) **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, 1:500.000. Nota explicativa. São Paulo, IPT. v.1. (IPT, Monografia 6, Publicação 1984).

LAL, R.(1990) **Soil erosion in the tropics - principles and management**. McGraw-Hill

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1983. 175p.

LIMA, E.R.V. Erosão do Solo: Fatores condicionantes e modelagem matemática. *Revista Cadernos do Logepa*, ano 1, n. 1, p. 1-46, 2003.

KEMPER, WD, CHEPIL, WS. Size distribution of aggregation. In: Black CA, editor. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy; 1965. p.499-510.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de latierra. Cidade do México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479 p.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CLADERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas, Instituto Agrônômico/EMBRAPA Solos. Campinas. 1999. 64p.

PERROTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C. **Mapa geológico de São Paulo, Escala 1:750.000**. SIG São Paulo, 2005 (Convênio CPRM/Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo)

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

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

SANTOS, A.R.; PASTORE, E.L.; JUNIOR, F. A.; CUNHA, M. A. **Estradas vicinais de terra: estradas de terra – características técnicas essenciais**. 2. ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1998, v. 2, 128 p.

TARGA, M.S. Definição de bacia prioritária para restauração florestal. **Repositório Ciências Ambientais**. 1-11p. 2017.

THOMPSON, D.; FIDALGO.; E.C.C. **Vulnerabilidade dos Solos à Erosão: Estimativa da Perda de Solos na Bacia Hidrográfica do Rio Guapi-Macacu – RJ**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 237. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 1-30 p, 2013.



UNITAU

Universidade de Taubaté



ANO INTERNACIONAL DAS
FRUTAS E VEGETAIS

2021

ISBN: 978-65-86914-21-4

CD



9 786586 914214