

4 MÓDULO SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 INTRODUÇÃO

Este relatório contém os dados levantados sobre as características naturais dos solos e águas subterrâneas, uso industrial de águas subterrâneas na região, o mapeamento das fontes potenciais de poluição, o mapeamento das áreas de recarga dos sistemas aquíferos e a classificação das áreas quanto à adequação à instalação de empreendimentos potencialmente poluidores.

A região em questão é considerada crítica do ponto de vista de recurso hídrico. A disputa pelo uso da água superficial agravada pela questão de sua qualidade coloca o recurso hídrico subterrâneo em posição estratégica na região.

Em termos de proteção das águas subterrâneas, a ampliação do parque industrial deve considerar as áreas com características físicas que assegurem, quando do funcionamento de novos empreendimentos industriais, a minimização dos impactos de poluentes às águas subterrâneas.

A questão da proteção do solo é considerada fundamental como primeira ação de proteção às águas subterrâneas. Conhecer suas características físicas e químicas, suas limitações e aptidões torna-se ferramenta para proteção.

4.2 INFORMAÇÕES FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

4.2.1 Delimitação da área de estudo

A região que engloba este projeto está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, Capivari e Jundiá. Esta UGRHI é considerada crítica do ponto de vista de recurso hídrico superficial. A disputa pelo uso da água (quantidade) e a questão da qualidade (deterioração crescente e acelerada em função de seu intenso processo de desenvolvimento urbano e industrial), coloca o recurso hídrico subterrâneo em posição estratégica dentro do quadro de problemas apresentado pela região.

Conforme já descrito, a área abrange totalmente ou parcela dos municípios de Americana, Artur Nogueira, Campinas, Cosmópolis, Holambra, Hortolândia, Jaguariúna, Limeira, Nova Odessa, Paulínia e Sumaré, destacando-se que as principais vias de acesso são as Rodovias Bandeirantes (SP – 348), Anhangüera (SP-330), Dom Pedro I (SP – 065) e Marechal Rondon (SP-300).

4.2.2 Geomorfologia

Na região de estudo são reconhecidas duas províncias geomorfológicas: Planalto Atlântico e Depressão Periférica (IG,1993, 1995).

No Planalto Atlântico (porção oriental), ocorrem morros e morrotes (altitudes entre 683 e 732 m) com densa rede de drenagem. As planícies de deposição são raras e pouco desenvolvidas. É freqüente a ocorrência de grandes matacões e blocos de granito

afiorante ao longo das vertentes. Essa característica morfológica evidencia a suscetibilidade natural do relevo aos processos morfodinâmicos e a restrição ao adensamento da ocupação. Sobre os topos destes morros e morretes a topografia é menos dissecada, formando colinas suavemente onduladas.

Nas áreas com altitudes intermediárias (600 a 650 m) ocorrem formas colinosas com topos amplos, perfis de vertente suaves e amplitudes que raramente ultrapassam 100m, correspondentes às seguintes formas de relevo: colinas e morrotes, colinas médias e amplas, colinas amplas, colinas amplas e sub-horizontais. Estas formas de relevo ocorrem geralmente na zona de transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica. Esses relevos de transição apresentam-se dissecados pela forte intensidade dos processos erosivos, principalmente onde afloram os sedimentos da Formação Itararé.

No nível inferior (515 a 665 m) ocorrem tipos de relevo associados à dissecção da superfície correspondentes a: colinas amplas e médias, colinas médias e pequenas, colinas pequenas e rampas sedimentares. Estes tipos de relevo caracterizam-se pela menor dimensão das suas formas. Ocorrem de forma isolada, feições escarpadas de origem estrutural. Em geral essas formas de relevo são susceptíveis a processos erosivos dos tipos: erosão laminar, sulcos rasos e profundos, reentalhe de cabeceira de drenagem, ravinas, boçorocas, terracetes e rastejos de solo. Esses processos intensificam-se junto às áreas de maior ocupação urbana.

4.2.3 Geologia

Na porção oriental da área de estudo ocorrem rochas pré-cambrianas de alto e médio graus de metamorfismo, intrudidas por granitos e na porção ocidental ocorrem rochas sedimentares da Formação Itararé, intrudidas por diabásios associados à Formação Serra Geral.

A geologia da região é formada por 5 unidades litoestratigráficas: Embasamento Cristalino, Formação Itararé, Formação Serra Geral, Cobertura Cenozóica e depósito aluvionar .

O Embasamento Cristalino é representado por rochas de idade pré-cambriana. As rochas sedimentares da Formação Itararé, de idade paleozóica, correspondem aos depósitos glaciais continentais, glácio marinhos, deltáicos, lacustres e marinhos. Segundo IG (1995), a espessura do pacote sedimentar Itararé pode variar de 0 a 400 m, sendo mais espesso na região ocidental.

A Formação Serra Geral é constituída por basaltos toleíticos de idade mesozóica, sendo que na região ocorrem como Diabásio, na forma de diques irregulares e/ou soleiras. No município de Campinas foram verificadas espessuras da ordem de 300m (IG, 1993).

Os sedimentos da Cobertura Cenozóica, de idade terciária a pleistocênica, correlacionáveis à Formação Rio Claro, possuem na área estudada, espessura máxima de aproximadamente 40m.

Nos depósitos aluvionares, ocorrem areias de granulação variada, argilas e cascalhos inconsolidados, de idade holocênica, e correspondem aos depósitos de calha e/ou terraços associados aos rios principais da área estudada. Sua espessura máxima é da ordem de 10 m.

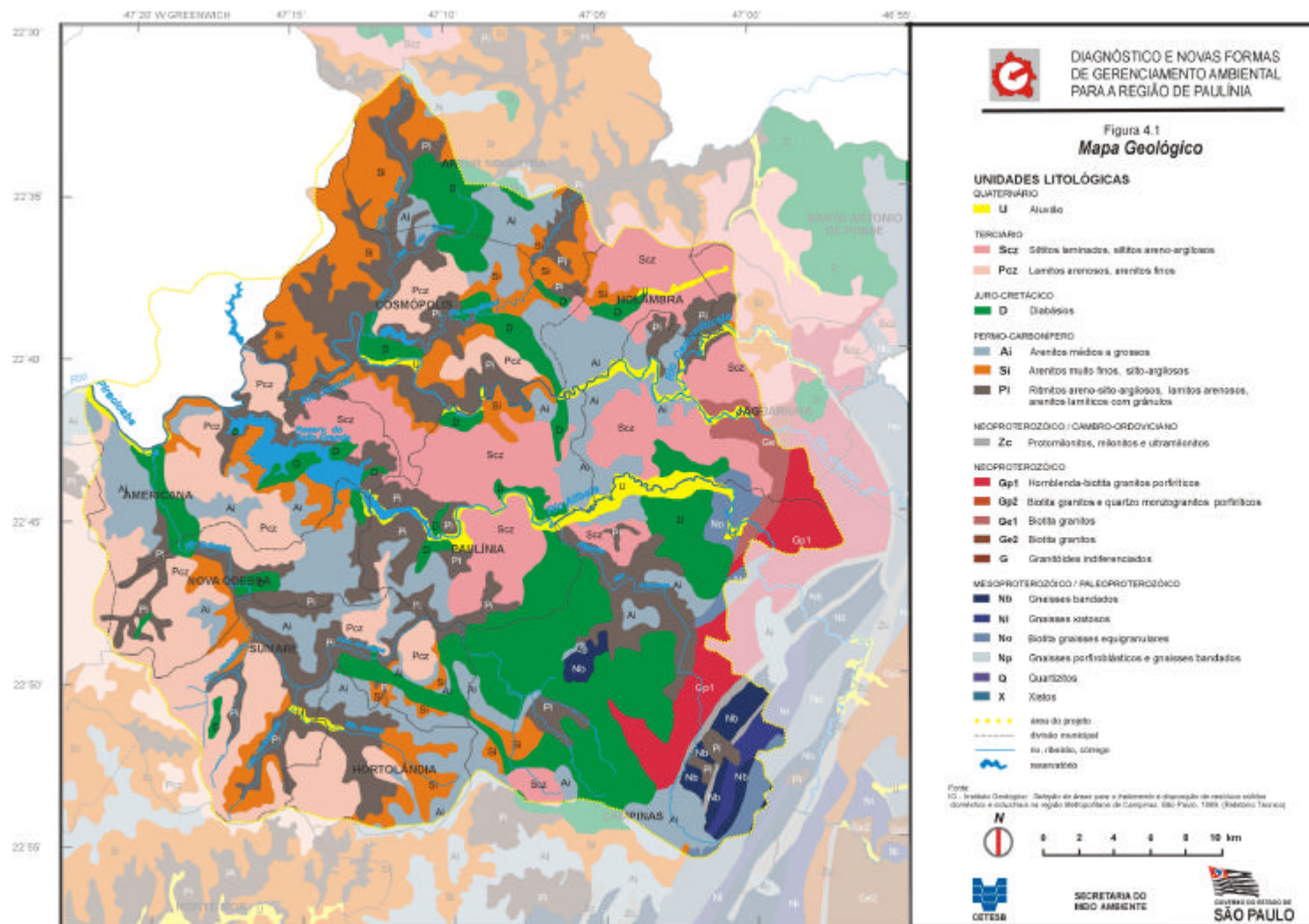


Figura 4.1 – Mapa Geológico da Área de Estudo

4.2.4 Hidrogeologia

A Figura 4.2 apresenta os principais aquíferos da área de estudo. Os dois principais sistemas aquíferos para abastecimento são o Sistema Aquífero Cristalino, na parte leste da área de estudo e o Sistema Aquífero Tubarão, especificamente o Aquífero Itararé aflorante nas porções central e oeste da área de estudo. Secundariamente ocorrem os corpos de diabásio, correlacionados à Formação Serra Geral.

O Sistema Aquífero Cristalino é do tipo fissural, de caráter eventual, com extensão regional, livre a semi-confinado, heterogêneo, descontínuo e anisotrópico. Em geral, o Sistema Aquífero Cristalino apresenta-se bastante fraturado, sendo que grande parte do sistema de drenagem encontra-se condicionado por essas estruturas presentes no terreno.

O Sistema Tubarão é granular, livre a semi-confinado, de extensão regional, sendo localmente contínuo e isotrópico. O Sistema Aquífero Tubarão está representado na área de estudo pelo Aquífero Itararé.

As rochas intrusivas básicas da região correlacionam-se cronologicamente aos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Sua ocorrência é bastante irregular, descontínua e disseminada por toda a área de estudo, com corpos de diabásio de tamanhos e formas variadas (diques e soleiras), aflorantes ou não. A ocorrência da água subterrânea neste aquífero está relacionada às discontinuidades da rocha e nos contatos desta rocha com os sedimentos da Formação Itararé ou com as rochas ígneas do Embasamento Cristalino (IG, 1995).

O Sistema Aquífero Cenozóico é granular, livre, de extensão limitada a semi-regional, sendo localmente contínuo, heterogêneo e anisotrópico, com vulnerabilidade regionalmente variada.

Os Depósitos Cenozóicos e aluviões, comportam aquíferos freáticos dada a sua posição estratigráfica (ocorrem em áreas elevadas correspondendo as áreas de recarga locais) e espessura pouco expressiva. Constitui um importante reservatório de água subterrânea, além de atuar como fonte de recarga dos aquíferos mais significativos e também para captações de menor porte, como as cacimbas e as fontes.

Os aluviões ocorrem predominantemente associados aos rios Jaguari, Atibaia, Capivari e Jundiá, apresentando pouca espessura e o nível de água aflorante e subaflorante, tratando-se de zonas de descargas locais altamente vulneráveis.

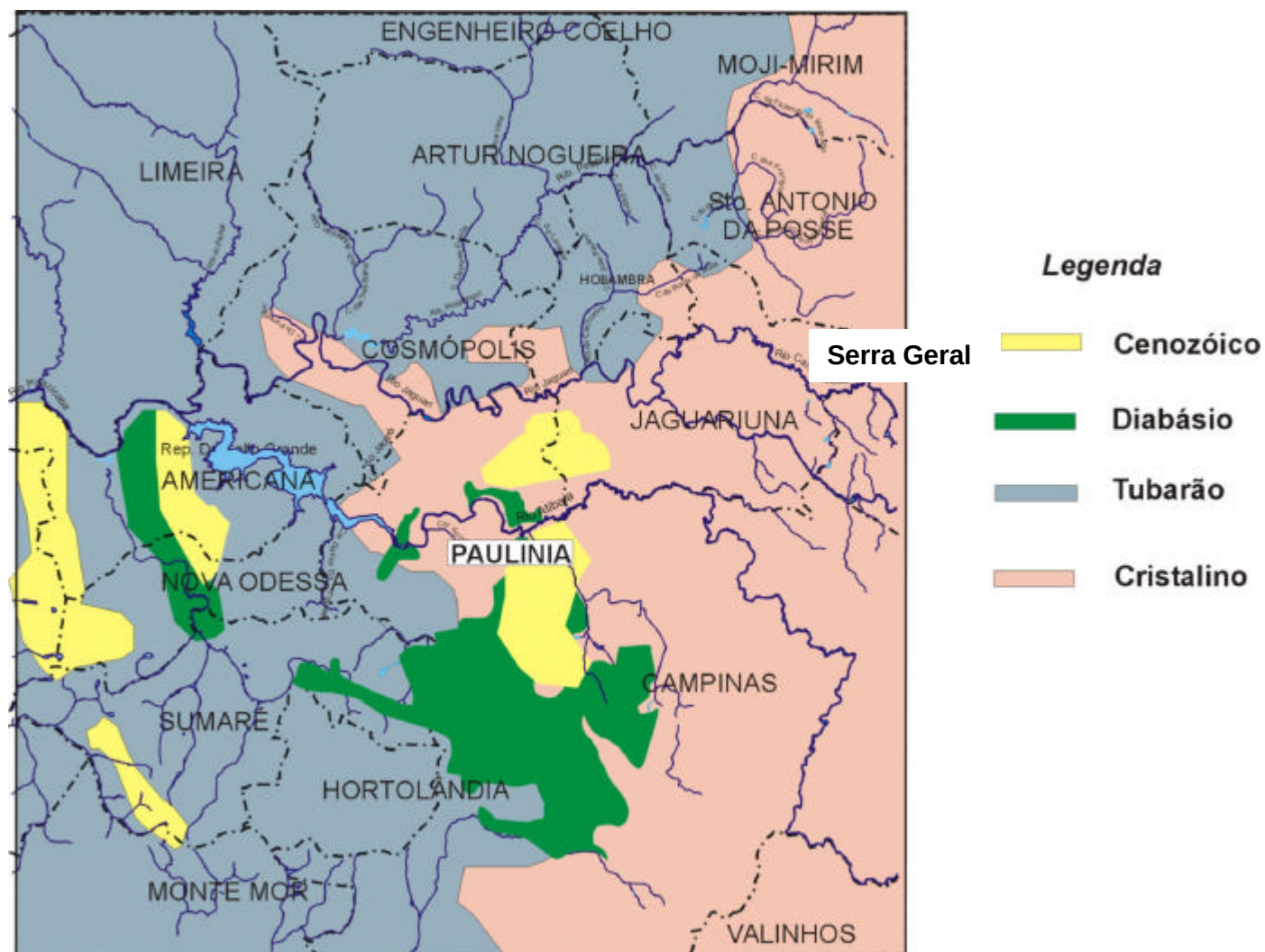


Figura 4.2- Principais Aquíferos da Área de Estudo

4.2.5 Pedologia

A Figura 4.3 apresenta o mapa pedológico focando a área de estudo, escala 1:500.000, compilado de Oliveira *et. al.* (1999).

Observa-se que os principais solos da região são:

LEGENDA	NOMENCLATURA	DESCRIÇÃO
LVA4	Latossolos Vermelho amarelo	Distrófico, horizonte A moderado, textura média, relevo suave ondulado
LVA9	Latossolos Vermelho amarelo	Distrófico, horizonte A proeminente, textura média, relevo suave ondulado
LV4	Latossolo Vermelho	Eutroféricos e distroféricos, horizonte A moderado, textura argilosa. Relevo suave ondulado.
LV17	Latossolo Vermelho	Distoféricos e distróficos, horizonte A moderado, textura argilosa. Relevo suave ondulado.
LV53	Latossolo Vermelho	Distróficos, horizonte A moderado, textura argilosa. Relevo suave ondulado.
PVA20	Argissolo Vermelho Amarelo	Distrófico, horizonte A moderado, textura média argilosa e argilosa. Relevo forte ondulado
PVA53	Argissolo Vermelho Amarelo	Distrófico, horizonte A moderado, textura arenosa/média. Relevo suave ondulado
PVA58	Argissolo Vermelho Amarelo	Distrófico, horizonte A moderado, abruptico, textura média a arenosa e argilosa. Relevo ondulado
GX7	Gleissolos háplicos	Distrófico, horizonte A moderado, textura média argilosa. Relevo de várzea.

Segundo Prado (1997), os solos da área de estudo são originados de alteração de soleiras diabásicas, rochas intrusivas básicas e arenitos (formação Itararé e Rio Claro). O relevo é plano, suavemente ondulado.

Ainda segundo Prado (1996), ocorrem também os seguintes tipos de solos:

LEGENDA	NOMENCLATURA	NOMENCLATURA ANTIGA	LOCALIZAÇÃO
TRe 1 eutrófico textura argilosa	Nitossolos Vermelhos	Terra Roxa estruturada	Dispersa na área de estudo
AQ	Neossolos quartzarênicos	Areia Quartzosa	Principalmente em Campinas

Os Latossolos são solos minerais, não hidromórficos, contendo minerais primários pouco resistentes ao intemperismo, com predominância de minerais do tipo 1:1 (caulinita) na fração argila, em mistura com óxidos de alumínio e/ou ferro. O gradiente textural entre os horizontes A e B é baixo.

O latossolo vermelho amarelo possui teor de óxido de ferro total variando entre 7 a 11%. Já o latossolo vermelho escuro possui teor de óxido de ferro total entre 8 a 18%.

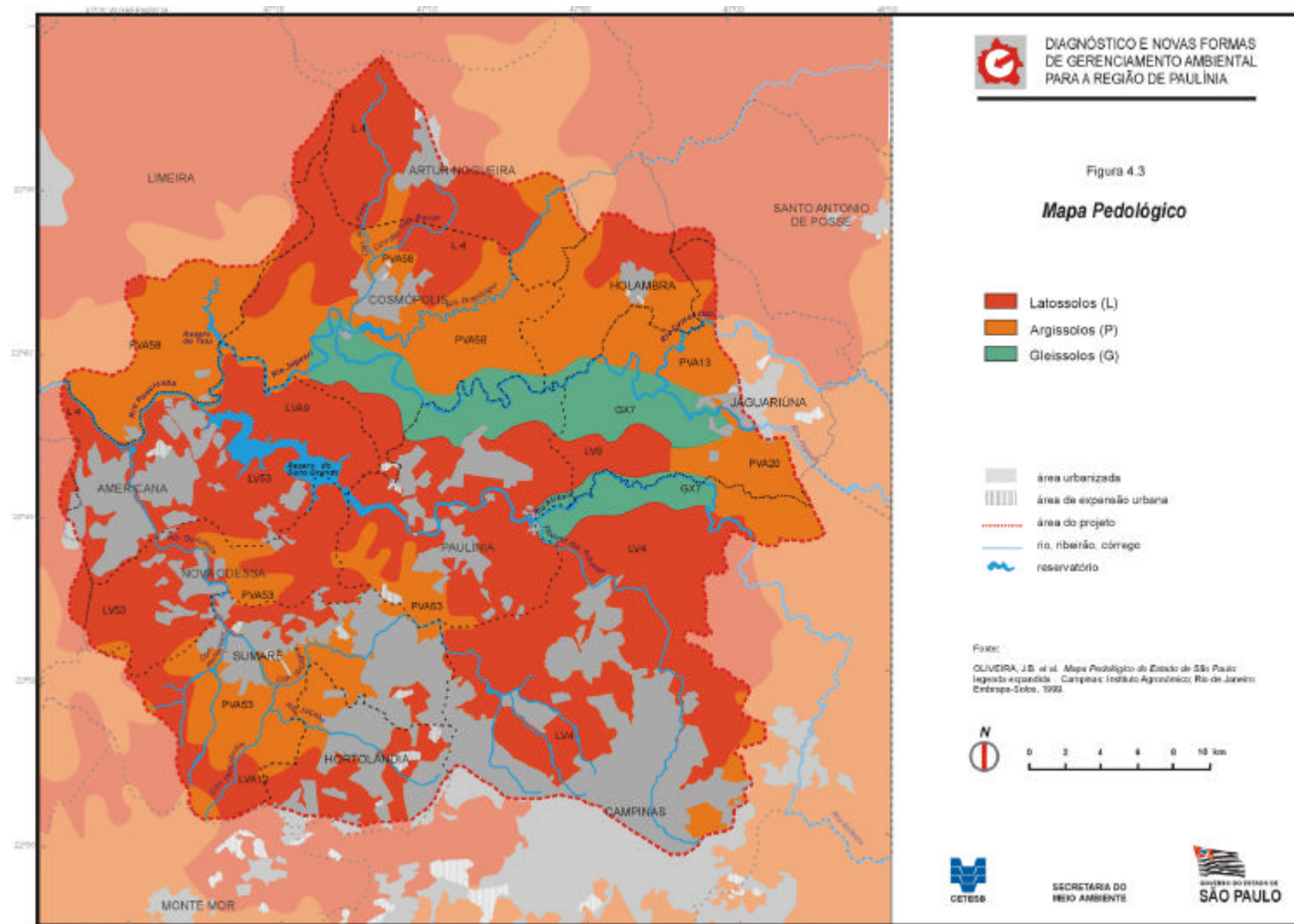


Figura 4.3 – Mapa Pedológico da Área de Estudo

Os Argissolos Vermelho-Amarelos, são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural, com grande incremento de argila do horizonte A para o B. A transição para o B é abrupta. Assim, a infiltração é mais rápida no horizonte A e mais lenta no horizonte B. Pode ocorrer fluxo de água paralelo ao horizonte B, tornando esse solo susceptível à erosão, pois o movimento da água pode arrastar a camada mais superficial.

Os Gleissolos háplicos, são solos minerais hidromórficos que apresentam horizonte A moderado seguido de horizonte B glei, cuja coloração reflete condições de restrição de drenagem.

Os Nitossolos Vermelhos (terra roxa), são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural não plíntico (presença de plintita em quantidade superior a 15%, numa espessura de pelo menos 15 cm), precedido de qualquer horizonte A diagnóstico, exceto horizonte turfoso (orgânico). Possui argila de atividade baixa e com apenas fraco incremento de argila do horizonte A para o horizonte B. O teor de óxido de ferro é superior a 15%.

Os neossolos quartzarênicos (areias quartzosas), são solos hidromórficos ou não, que apresentam perfil tipo A-C, formado por areias onde o teor de silte + argila é inferior a 15%. A textura é arenosa e a estrutura é em grão simples, consistência solta, não plástica e não pegajosa. A infiltração de fluidos no perfil é rápida, o que sugere maiores cuidados de prevenção à poluição.

Pode-se observar que a maior parte dos solos da área de estudo possui textura argilosa, o que confere menor risco de contaminação das águas subterrâneas, uma vez que a velocidade de infiltração de fluidos é menor nesses solos. Contudo, deve ser dada atenção especial para empreendimentos localizados sobre solos de textura média a arenosa, pela razão inversa. Portanto, o parâmetro granulometria do solo, que define a textura, é importante em programas de monitoramento tanto de solos como de águas subterrâneas.

4.3 DEFINIÇÃO DE VALORES ORIENTADORES DE SOLOS E ÁGUA SUBTERRÂNEAS

A CETESB publicou recentemente o Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, 2001), que pode ser obtido no site www.cetesb.sp.gov.br. Os valores Orientadores foram também publicados no Diário Oficial do Estado em 26.10.2001.

O valor de referência de qualidade, indica o nível de qualidade para um solo considerado limpo ou a qualidade natural das águas subterrâneas a ser utilizado em ações de prevenção da poluição do solo e das águas subterrâneas e no controle de áreas contaminadas. Para metais, foi estabelecido com base em análises químicas dos diversos tipos de solos e sistemas aquíferos do Estado de São Paulo. Para substâncias orgânicas, o valor de referência foi estabelecido como sendo o limite de detecção analítica obtido nos laboratórios da CETESB.

O valor de alerta, indica uma possível alteração da qualidade natural dos solos, será utilizado em caráter preventivo e quando excedido, deverá ser exigido o monitoramento das águas subterrâneas, identificando-se e controlando-se as fontes de poluição. Foi derivado para metais, com base em revisão bibliográfica sobre fitotoxicidade.

O valor de intervenção, indica o limite de contaminação do solo e das águas subterrâneas, acima do qual, existe risco potencial à saúde humana, e será utilizado em caráter corretivo no gerenciamento de áreas contaminadas e quando excedido requer alguma forma de intervenção na área avaliada, de forma a interceptar as vias de exposição, devendo ser efetuada uma avaliação de risco caso a caso, como resolvido no Relatório de Diretoria RD n.º 023/00/C/E de 15.06.2000 “Implantação de procedimentos para o gerenciamento de áreas contaminadas”.

Esse valor foi derivado com base em modelo matemático de avaliação de risco, considerando diversas vias de exposição em três cenários de exposição do solo agrícola, residencial e industrial. Para as águas subterrâneas, considerou-se como valor de intervenção, os padrões de potabilidade da Portaria 36 de 1990, atualizados pela Portaria 1.469 de 29.12.2000, ambas do Ministério da Saúde.

A Tabela 4.1 apresenta os valores orientadores publicados para solos e águas subterrâneas do Estado. A Tabela 4.2 apresenta os valores do 3º quartil, obtidos na rede de monitoramento para os principais aquíferos da área, no período de 1998 e 2000 (CETESB, 2001).

Tabela 4.1 - Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.

Substância	Solos (mg.kg ⁻¹)					Águas Subterrâneas (µg.L ⁻¹)			
	Referência	Alerta	Intervenção			Referência			Intervenção
			Agrícola APM _{ax}	Residencial	Industrial	Aquífero Livre a Semi- Confinado Taubaté	Outros ⁽⁷⁾	Aquífero Confinado	
Alumínio	--	--	--	--	--	<10	50	30	200 ⁽²⁾
Antimônio	<0,5	2,0	5,0	10,0	25	--	--	--	5 ⁽¹⁾
Arsênio	3,50	15	25	50	100	3	<2	<2	10 ⁽¹⁾
Bário	75	150	300	400	700	<400	<400	<400	700 ⁽¹⁾
Cádmio	<0,5	3	10	15	40	0,35	0,4	<0,1	5 ⁽¹⁾
Chumbo	17	100	200	350	1200	<2	<2	<2	10 ⁽¹⁾
Cobalto	13	25	40	80	100	--	--	--	30 ⁽⁵⁾
Cobre	35	60	100	500	700	--	--	--	2000 ⁽¹⁾
Cromo	40	75	300	700	1000	10	3 ⁶	<3	50 ⁽¹⁾
Ferro	--	--	---	--	--	290	<120	120	300 ⁽²⁾
Manganês	--	--	---	--	--	75	<9	<9	100 ⁽²⁾
Mercúrio	0,05	0,5	2,5	5	25	<0,3	<0,3	<0,3	1 ⁽¹⁾
Molibdênio	<25	30	50	100	120	--	--	--	250 ⁽⁵⁾
Níquel	13	30	50	200	300	--	--	--	50 ⁽⁴⁾
Prata	0,25	2	25	50	100	--	--	--	50 ⁽³⁾
Selênio	0,25	5	--	--	--	--	--	--	10 ⁽¹⁾
Vanádio	275	--	--	--	--	--	--	--	--
Zinco	60	300	500	1000	1500	--	--	--	5000 ⁽²⁾
Benzeno	0,25	--	0,6	1,5	3,0	2,5			5 ⁽¹⁾
Tolueno	0,25	--	30	40	140	2,5			170 ⁽²⁾
Xilenos	0,25	--	3,0	6,0	15	2,5			300 ⁽¹⁾
Estireno	0,05	--	15	35	80	2,5			20 ⁽¹⁾
Naftaleno	0,20	--	15	60	90	--			100 ⁽⁵⁾
Diclorobenzeno	0,02	--	2,0	7,0	10,0	--			40 ⁽⁵⁾
Hexaclorobenzeno	0,0005	--	0,1	1,0	1,5	0,002			1 ⁽¹⁾
Tetracloroetileno	0,10	--	1,0	1,0	10	2,5			40 ⁽¹⁾
Tricloroetileno	0,10	--	5,0	10	30	2,5			70 ⁽¹⁾
1,1,1 Tricloroetano	0,01	--	8,0	20	50	--			600 ⁽⁵⁾
1,2 Dicloroetano	2,00	--	0,5	1,0	2,0	2,5			10 ⁽¹⁾
Cloreto de Vinila	0,05	--	0,1	0,2	0,7	--			5 ⁽¹⁾
Pentaclorofenol	0,01	--	2,0	5,0	15,0	0,1			9 ⁽¹⁾
Triclorofenol	0,2	--	1,0	5,0	6,0	0,2			200 ⁽¹⁾
Fenol	0,3	--	5,0	10,0	15,0	--			0,1 ⁽³⁾
Aldrin e Dieldrin	0,00125	--	0,5	1,0	5,0	0,005			0,03 ⁽¹⁾
DDT	0,0025	--	0,5	1,0	5,0	0,01			2 ⁽¹⁾
Endrin	0,00375	--	0,5	1,0	5,0	0,015			0,6 ⁽¹⁾
Lindano (δ-BHC)	0,00125	--	0,5	1,0	5,0	0,005			2 ⁽¹⁾

1 - Padrão de Potabilidade - Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para Substâncias que apresentam risco à saúde

2 - Padrão de Potabilidade - Portaria 1.469 do Ministério da Saúde para aceitação de consumo (critério organoléptico).

3 - Padrão de Potabilidade - Portaria 36 do Ministério da Saúde

4 - Comunidade Econômica Européia

5 - Com base no valor de intervenção para solos no Cenário Agrícola/Área de Proteção Máxima(APMax)

6 - Com exceção do Sistema Aquífero Bauru onde o VRQ para cromo é 40 µg/L

7 - Sistemas Aquíferos: Bauru, Itararé, Serra Geral e Embasamento Cristalino.

-- não estabelecido

Tabela 4.2 - Síntese dos resultados obtidos na rede de monitoramento, 3º quartil(75%), das águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos monitorados no Estado de São Paulo 1998 – 2000.

Parâmetro	Padrão Portaria 1469/00-MS e unidade	RESULTADOS DO 3º Quartil em cada sistema aquífero		
		TUBARÃO (ITARARÉ)	SERRA GERAL	EMBASAMENTO CRISTALINO
Alcalinidade Bicarbonato	mg/l CaCO ₃	156	85	98
Alcalinidade Carbonato	mg/l CaCO ₃	17	0	0
Alcalinidade Hidróxido	mg/l CaCO ₃	0	0	0
Alumínio Total	0,2 mg/l Al	0,035	0,04	0,0225
Arsênio Total	0,01 mg/l As	<0,002	<0,002	<0,002
Bário Total	0,7 mg/l Ba	<0,4	<0,4	<0,4
Carbono Org. Dissolvido	mg/l C	22,6	12,6	19,05
Cálcio total	mg/l Ca	18,73	17,2	30
Cádmio Total	0,005 mg/l Cd	0,0004	<0,0001	0,0002
Cloreto	250 mg/l Cl	16,2	1,5	3,64
Chumbo Total	0,01 mg/l Pb	<0,002	<0,002	<0,002
Cromo Total	0,05 mg/l Cr	<0,0005	0,0030	0,0006
Dureza Cálcio	mg/l CaCO ₃	69,9	31,5	71
Dureza Magnésio	mg/l CaCO ₃	33	20,5	27,15
Dureza Total	500 mg/l CaCO ₃	59,6	56,0	82,1
Ferro Total	0,3 mg/l Fe	<0,12	<0,12	<0,12
Fluoreto	1,5 mg/l F	0,80	0,18	0,7
Magnésio Total	mg/l Mg	3,35	4,6	5,36
Manganês Total	0,1 mg/l Mn	<0,009	<0,009	0,009
Mercúrio Total	0,001 mg/l Hg	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Nitrogênio Nitrato	10 mg/l N	<0,2	0,300	0,21
Nitrogênio Nitrito	mg/l N	0,005	<0,005	<0,005
Nitrogênio Total Kjeldhal	mg/l N	0,39	0,08	0,30
Potássio	mg/l K	2,53	2,5	3,17
Resíduo Seco 180°C	mg/l	331	134,8	180
Sódio Total	mg/l Na	103	17,53	16
Sólidos Dissolvidos Totais	1000 mg/l	372	139	195
Sulfato	250 mg/l SO ₄	24	<10	14
Condutividade Elétrica	µS/cm	452	159,3	251
pH	6,0-9,5	9,0	7,99	7,9
Temperatura	°C	26	26	24
Contagem Bactérias	UFC/ml	13	25	20
Coliformes Total	0 NMP/100 ml	0	0	0
Coliformes Fecal	0 NMP/100 ml	0	0	0

4.4 INVENTÁRIO DAS FONTES DE POLUIÇÃO

O inventário das fontes de poluição utilizado nesta atividade é o produto do projeto “Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição da região metropolitana de Campinas”, elaborado pela CETESB, Instituto Geológico e EMBRAPA (2001).

As fontes foram classificadas segundo as suas cargas potenciais poluidoras, considerando fontes pontuais (indústrias, aterros, lixões e lagoas de tratamento) e fontes difusas (saneamento “in situ” e agricultura).

O Anexo 7 apresenta a classificação das fontes pontuais consideradas prioritárias para solos e águas subterrâneas, com observações sobre a situação de geração e armazenamento de matérias primas e resíduos. A localização dessas fontes em mapa é apresentada em conjunto com a carta de Uso e Ocupação do Solo (Anexo 1).

4.5 INFORMAÇÕES DE QUALIDADE

4.5.1 Qualidade de solos

Os valores naturais de metais em solos do município de Paulínia, em diferentes cenários de uso e ocupação, foram determinados por Quinaglia (2001) e são apresentados na Tabela 4.3.

Comparando-se os resultados analíticos obtidos com os valores orientadores para metais em solos, propostos pela CETESB, verifica-se que, de modo geral, as concentrações nos cenários: Área de Proteção Máxima e Agrícola estão abaixo ou próximo dos valores de referência de qualidade. Alguns resultados no cenário residencial e a maioria das amostras coletadas no cenário industrial apresentam concentrações acima dos valores de referência de qualidade, porém abaixo do valor de alerta, nas áreas amostradas. Isso pode indicar que já existe algum aporte de metais nessas áreas embora não indicando risco à saúde humana.

Tabela 4.1 - Resultados das concentrações (mg.kg⁻¹) de metais para 4 cenários de exposição de solo no Município de Paulínia.

Cenário	As	Ag	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Hg	V	Zn
ÁREA DE PROTEÇÃO MÁXIMA	1,20	<0,30	45,8	<0,50	3,51	18,1	21,2	6,05	4,95	35,5	<0,50	<0,20	NA	58,9	66,8
	1,00	<0,30	56,6	<0,50	4,07	27,6	19,8	6,64	11,2	33,1	<0,50	<0,20	NA	62,0	53,2
	0,40	<0,30	86,6	<0,50	4,64	19,8	21,2	4,91	12,8	29,3	<0,50	<0,20	NA	39,0	56,7
AGRÍCOLA.	3,40	<0,30	26,0	<0,50	2,00	39,0	20,2	7,10	6,35	46,3	<0,50	<0,20	NA	84,2	43,5
	3,00	<0,30	21,0	<0,50	1,23	30,4	5,00	9,83	4,40	31,6	<0,50	<0,20	NA	57,1	39,1
	1,20	<0,30	41,2	<0,50	1,30	24,1	5,25	7,18	4,50	30,1	<0,50	<0,20	NA	54,4	43,3
RESIDENCIAL	3,70	<0,30	29,5	<0,50	8,82	38,0	65,5	13,4	11,9	71,1	<0,50	<0,20	NA	226	85,9
	3,90	<0,30	26,1	<0,50	4,23	42,3	30,6	10,6	9,90	57,4	<0,50	<0,20	NA	136	77,2
	3,70	<0,30	25,3	<0,50	8,32	45,2	54,7	17,3	12,9	78,8	<0,50	<0,20	NA	276	103
INDUSTRIAL.	2,00	<0,30	99,7	<0,50	6,41	52,8	30,3	13,1	14,1	53,0	<0,50	<0,20	NA	117	94,1
	2,20	<0,30	82,7	<0,50	11,5	62,4	46,3	12,6	15,8	56,0	<0,50	<0,20	NA	125	102
	2,30	<0,30	62,8	<0,50	13,8	52,2	84,1	16,1	16,2	60,8	<0,50	<0,20	NA	205	127

Fonte: QUINÁGLIA, 2001

Ag, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, V e Zn: Determinados por espectrometria de emissão atômica (ICP-OES);

Cd: Determinado por espectrometria de absorção atômica – chama;

As, Se: Determinado por espectrometria de absorção atômica – forno de grafite;

Hg: Determinado por espectrometria de absorção atômica – geração de vapor frio.

4.5.2 Qualidade das águas subterrâneas

A qualidade das águas subterrâneas da área de estudo é monitorada por meio da coleta semestral de água em 4 poços tubulares de abastecimento público, localizados nos municípios de Hortolândia, Paulínia, Americana e Nova Odessa. Todos os poços captam água no aquífero Itararé.

A Tabela 4.4 apresenta os valores do quartil 75% dos dados analítico obtidos entre 1998 e 2000 para os quatro poços amostrados.

Tabela 4.4 - Valores do 3º Quartil (75%) dos parâmetros monitorados em águas coletadas em poços tubulares de abastecimento público na região de estudo

Parâmetro	3º Quartil	Unidade	Parâmetro	3º Quartil	unidade
Dureza total	52,3	mg/L CaCO ₃	Cádmio	0,0001	mg/L
Dureza de cálcio	69,1	mg/L CaCO ₃	Cromo	0,0007	mg/L
Dureza magnésio	31,7	mg/L CaCO ₃	Cloreto	5,53	mg/L
Sólidos totais dissolvidos	180	mg/L	Magnésio	5,9	mg/L
Resíduo Seco	211		Cálcio	20,2	mg/L
Condutividade elétrica	289,5	µS/cm	Potássio	2,8	mg/L
PH	7,85		Sódio	28,5	mg/L
Contagem de bactérias	13	UFC/ml	Fluoreto	0,720	mg/L
Coliformes totais	9	NMP/100 m	Ferro total	0,12	mg/L
Coliformes fecais	0	NMP/100 m	Manganês	0,009	mg/L
Alcalinidade Bicarbonato	69,5	mg/L CaCO ₃	Mercúrio	0,0003	mg/L
Alcalinidade Carbonatos	2	mg/L CaCO ₃	Chumbo	0,005	mg/L
Alcalinidade hidróxidos	0,00	mg/L CaCO ₃	Temperatura	23,7	°C
Alumínio	0,1	mg/L	Nitrogênio Nitrato	0,82	mg/L
Arsênio	<0,002	mg/L	Nitrogênio Amoniacal	0,080	mg/L
Bário	0,4	mg/L	Nitrogênio total	0,16	mg/L

Fonte: CETESB, 2001a

Esses dados indicam que, de modo geral, a qualidade das águas subterrâneas captadas pelos poços monitorados é adequada ao consumo humano. Pontualmente ocorrem valores de nitrato que representam uma alteração da qualidade das águas, como no poço localizado no município de Paulínia (CETESB, 2001a). Embora os valores de nitrato estejam abaixo do padrão de potabilidade da Portaria 1469/00 do Ministério da Saúde, isso demonstra a necessidade de medidas de proteção dos aquíferos.

4.6 USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Foi levantado o consumo das águas subterrâneas nos municípios da área de estudo enfocando o uso para abastecimento público, ou seja, água fornecida à população por meio de rede municipal e o uso industrial. Não foram levantados os usos privados para

consumo humano, como por exemplo, condomínios, chácaras, clubes e atividades agropastoris.

4.6.1 Abastecimento público

Na área de estudo, a água subterrânea participa entre 0 e 40% da captação municipal para abastecimento público, dependendo do município, conforme apresentado na Tabela 4.5, onde observa-se que os municípios de Americana, Hortolândia e Holambra, são os que mais utilizam o recurso hídrico subterrâneo.

O recurso hídrico subterrâneo é reserva estratégica para o desenvolvimento industrial e urbano, na área de estudo. Isso ocorre em função da escassez do recurso superficial por limitações da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba e Capivari, em comportar a demanda local, além do fornecimento desta água para o Sistema Cantareira de São Paulo. Além disso, a qualidade das águas superficiais tem sido deteriorada ao longo do tempo por falta de tratamento de esgotos domésticos urbanos.

Tabela 4.5– **Porcentagem de Abastecimento Público com Águas Subterrâneas por Município da Área de Estudo**

MUNICÍPIO	EMPRESA FORNECEDORA DE ÁGUA	POÇOS (n°)	POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO	HABITANTES ABASTECIDOS POR ÁGUA SUBTERRÂNEA	ABASTECIMENTO PÚBLICO (%)
AMERICANA	DAE	14	167.945	17.634	10,5
NOVA ODESSA	CODEN	01	37.424	486	1,3
SUMARÉ	DAE	0	168.058	0	0
CAMPINAS	SANASA	0	908.906	0	0
HORTOLÂNDIA	SABESP	22	115.720	46.288	40
HOLAMBRA	PREFEITURA	01	6.653	1.996	30
JAGUARIUNA	SEMSA	0	25.399	0	0
PAULÍNIA	SABESP	0	44.431	0	0
LIMEIRA	ÁGUAS LIMEIRA	01	230.348	1.152	0,5
COSMÓPOLIS	DAE	0	39.880	0	0
ARTUR NOGUEIRA	PREFEITURA	0	26.019	0	0
TOTAL		40	1.770.783	67.556	3,8

Fonte: CETESB ,1997

A Figura 4.4 apresenta a porcentagem de uso das águas subterrâneas para abastecimento público, por município.

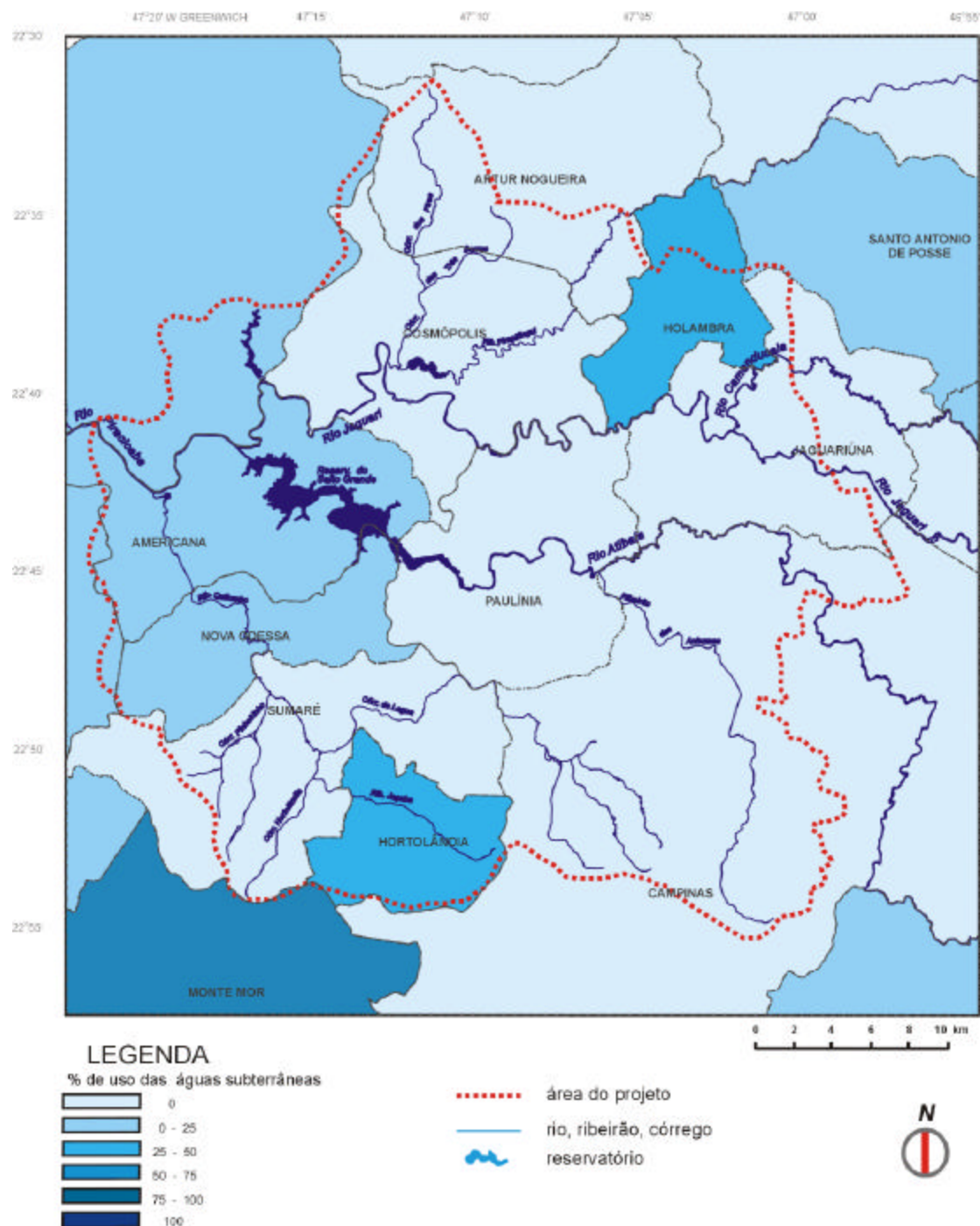


Figura 4.4– Porcentagem de Uso das Águas Subterrâneas para Abastecimento Público por Município (Fonte: CETESB, 1997)

4.6.2 Abastecimento industrial

A água subterrânea, considerada como reserva de água doce, se transformou em recurso principal para as pequenas, médias e grandes indústrias, para as atividades primárias como a agropecuária, atividades essenciais, hospitais, escolas, etc., além do abastecimento público.

O levantamento do uso das águas subterrâneas nas indústrias teve como objetivo retratar a importância de utilização deste recurso hídrico, que vem crescendo nos últimos anos e diagnosticar possíveis problemas de captação.

A situação da captação de água subterrânea para abastecimento industrial foi efetuada com a obtenção de dados sobre os poços e sobre os aquíferos explorados, a partir da aplicação de um formulário específico denominado “Levantamento nas Indústrias do Uso das Águas Subterrâneas”, onde foram solicitados os seguintes dados: denominação e localização dos poços, coordenadas UTM, dados de construção, vazão, profundidade, tempo de bombeamento, data da perfuração, cota do nível estático e dinâmico e o relatório técnico final de perfuração do poço tubular profundo. Para selecionar as indústrias que receberiam o questionário, consultou-se os arquivos de dados de poços fornecidos pelo Instituto Geológico (IG) e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). A fim de complementar este levantamento, foram compiladas as informações do cadastro de fontes da CETESB, levantando-se o consumo total de água nas empresas, por município e a quantidade proveniente da captação de águas subterrâneas.

Obteve-se também desse cadastro, o consumo de água subterrânea por atividade industrial. Foi levantado o número de empresas do cadastro de fontes da CETESB e, também, aquelas que responderam ao questionário enviado pelas Agências da CETESB, específico para este projeto. Na inexistência de dados específicos para as empresas que captam água subterrânea, considerou-se 1 poço por indústria e o consumo de água subterrânea foi estimado pela multiplicação da vazão média pelo tempo de bombeamento.

A Tabela 4.6 apresenta a porcentagem de abastecimento industrial com águas subterrâneas por município da área de estudo, mostrando os resultados obtidos da compilação dos dados existentes no cadastro CETESB (memorial de caracterização de empreendimentos) apresentados no Anexo 8, e dos dados levantados especificamente para este projeto, apresentados no Anexo 9.

A Tabela 4.7 apresenta o consumo médio de águas subterrâneas por atividade e por município, calculado com base nos dados do cadastro de fontes da CETESB.

Tabela 4.6– Porcentagem de Abastecimento Industrial com Águas Subterrâneas por Município da Área de Estudo

MUNICÍPIO	EMPRESAS ABASTECIDAS POR ÁGUA SUBTERRÂNEA (número)	POÇOS (número)	VOLUME DE ÁGUA SUBTERRÂNEA CONSUMIDA (m ³ /dia)	ABASTECIMENTO INDUSTRIAL (%) ⁽¹⁾
AMERICANA	50	72	9739	39
NOVA ODESSA	17	25	3844	57
SUMARÉ	14	26	2547	47
CAMPINAS	17	22	2221	30
HORTOLÂNDIA	7	9	239	78
HOLAMBRA	--	--	--	--
JAGUARIÚNA	1	1	3	75
PAULÍNIA	22	23	2808	30
LIMEIRA	4	8	3286	21
COSMÓPOLIS	1	1	5	--
ARTUR. NOGUEIRA	4	4	122	98
TOTAL	137	191	24814	43

(1) A porcentagem de consumo de água subterrânea em relação ao consumo total de água para as empresas do cadastro de fontes da CETESB.

A maioria dos poços tubulares avaliados (74%) capta água do Sistema Aquífero Itararé. A maior parte dos poços tem profundidade variando entre 100 e 300m. A perfuração teve uma aumento significativo a partir da década de 90.

O aquífero mais explorado na área de estudo é o Aquífero Itararé, com vazão média de 8,26 m³/h. As maiores vazões foram verificadas nos municípios de Nova Odessa (30 m³/h) e Limeira (32,9 m³/h).

O recurso hídrico subterrâneo é ainda pouco utilizado para abastecimento público, como observado na Tabela 4.5, devendo aumentar consideravelmente em função da escassez de água superficial. Por outro lado, para abastecimento industrial, a água subterrânea já é utilizada como a principal fonte em alguns municípios.

Visto que nem todas as empresas da área de estudo estão cadastradas, as informações obtidas são parciais. O volume de água subterrânea explorado para abastecimento industrial pode ser bem maior do que o apresentado. Torna-se necessário então, um trabalho de campo para confirmar as informações, o que gerará uma avaliação final do consumo das águas subterrâneas nos municípios estudados.

Tabela 4.7- Consumo médio de águas subterrâneas por atividade e por município segundo dados do cadastro de fontes da CETESB

ATIVIDADE	CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS EM m ³ .dia ⁻¹								
	Americana	Hortolândia	Nova Odessa	Sumaré	Campinas	Jaguariúna	Artur Nogueira	Limeira	Paulínia
Metalúrgica	30	25	8	81	63	3			
Produtos Alimentares	894			64			25		9
Química	203			573					1208
Têxtil	3.324		3.214						
Material Elétrico		39			30				
Mecânica		19		10					
Minerais não Metálicos		16			10		3		2
Extrativas			120		0,4				
Bebidas				4					
Material de Transporte				158	1,5				0,6
Matérias Plásticas				278			4		6
Editorial e Gráfica	1,4								
Papel e Papelão					2,2				
Serviços Pessoais					120				
Bebidas								10	
Comércio Atacadista									8
Madeira									0,56
Utilidade Pública									50

Entretanto, os dados levantados sobre abastecimento industrial com água subterrânea foram coerentes com os dados apresentados por IG (1995). Assim, a utilização da água subterrânea para fins industriais é significativa nos municípios de Americana, Nova Odessa, Sumaré e Paulínia. As atividades industriais que mais utilizam o recurso hídrico subterrâneo são as têxteis em Americana e Nova Odessa, químicas em Paulínia e Sumaré e Produtos Alimentares em Americana. No município de Holambra as indústrias não se abastecem por água subterrânea, sendo esse recurso utilizado para fins agropecuários.

Foi constatado que, de modo geral, os poços tubulares utilizados para abastecimento industrial apresentam alguma falha no sistema de proteção sanitária, o que é preocupante, pois pode tornar o poço uma via de transporte de poluentes da superfície para o interior do aquífero.

Sabe-se que as outorgas de captação são fornecidas com base em uma vazão específica para a produção do aquífero e para um tempo de bombeamento, de no máximo, 20 horas por dia, para permitir a recuperação do aquífero.

Entretanto, o tempo de bombeamento em mais de 50% dos poços levantados varia de 20 a 24 horas/dia, o que poderá provocar, ao longo do tempo, um rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, implicando em déficit de disponibilidade de água, por estar utilizando água acima dos volumes de recarga. Isso demonstra a necessidade de efetuar estudos de balanço hídrico, integrando as informações de qualidade e quantidade.

A legislação que dispõe sobre a preservação e uso dos recursos hídricos no Estado de São Paulo (Lei Estadual n.º 6134 de 02/06/88, regulamentada pelo Decreto n.º 32.955 de 07/02/91, e a Portaria DAEE 717 de 12/12/96) é parcialmente cumprida como constatado neste levantamento, destacando-se o reduzido número de "Relatórios técnicos finais de perfuração de poços" disponibilizados.

Além de atender a Legislação Estadual vigente, é necessário que os sistemas de captação de águas subterrâneas obedeçam também, as Normas Técnicas NBR 12.212/92 "Projeto de poço para captação de água subterrânea", e NBR 12.244/92 "Construção de poço para captação de água subterrânea". A aplicação dessas normas é o primeiro passo para a implementação de um plano gerencial dos recursos hídricos subterrâneos, priorizando ações de fiscalização de poços e áreas de proteção, pois definem as diretrizes e normas gerais para disciplinar e preservar o uso desse recurso.

4.7 IDENTIFICAÇÃO DE SITUAÇÕES CRÍTICAS

Disponibilidade de água subterrânea: Segundo o Relatório "Subsídios para o Planejamento Regional e Urbano do Meio Físico na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba" (IG,1995), que considerou também o uso das águas subterrâneas para fins agrícolas, a situação atual entre disponibilidade e consumo de água subterrânea revela que há um déficit de disponibilidade nos municípios de Hortolândia e Holambra, causado pela exploração excessiva dos aquíferos. Nos demais municípios, identificou-se áreas isoladas de exploração intensiva de água subterrânea. Assim, o relatório (IG, 1995) recomenda restrições à perfuração de novos poços no município de Hortolândia e em áreas de elevada concentração de poços em operação nos municípios de Holambra, Americana, Sumaré e Nova Odessa.

No município de Americana existe um aumento significativo do uso das águas subterrâneas pela atividade industrial, em função do incentivo oferecido pela prefeitura, reduzindo impostos para as indústrias que captam o recurso hídrico subterrâneo. Desta forma, existe a necessidade nesse local, de um gerenciamento integrado, avaliando-se os riscos relativos à superexploração e sua interferência nos processos de transporte de poluentes para águas subterrâneas.

Vulnerabilidade ao risco de Poluição: Segundo IG, CETESB e EMBRAPA (no prelo), os maiores índices de vulnerabilidade natural são associados aos sedimentos cenozóicos e aluviões, com ocorrência principalmente nos municípios de Americana, Nova Odessa, Santa Bárbara D'Oeste, Paulínia, Jaguariúna e Engenheiro Coelho. A Figura 4.6 apresenta o mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos, em escala 1:100.000 incluindo a vulnerabilidade dos aquíferos Fraturados Pré-Cambrianos (IG, 2001).

Áreas industriais: Neste trabalho foram selecionados os empreendimentos críticos relacionados ao potencial de contaminação e considerados contaminados pela CETESB localizados em áreas de alta vulnerabilidade natural, levantado por IG, CETESB e EMBRAPA (no prelo). Não foi levantada a situação atual das mesmas, quanto ao processo de diagnóstico, remediação e gerenciamento ambiental.

A Tabela 4.8 apresenta os empreendimentos considerados críticos em termos de potencial de contaminação de solo e da água subterrânea.

Tabela 4.8 - Empreendimentos industriais que apresentam situação crítica para solos e águas subterrâneas

MUNICÍPIO	INDÚSTRIA	ATIVIDADE	OBSERVAÇÕES	COORDENADAS
AMERICANA	Fibra SA	Química	Possui aterro industrial	7487.42N 258.52E
AMERICANA	Indústrias Nardini	Mecânica	Disposição insegura res. sól. Classe II (> 100t/mês) e armazenamento classe I	7482.82N 258.75E
AMERICANA	Têxtil Tabacow SA	Têxtil	Antiga infiltração de efluentes no solo	7486.12N 264.10E
CAMPINAS	Ashland Bentonit Resinas Ltda	Química	Área contaminada	7470.21N 280.44E
CAMPINAS	Beloit Rauma Industrial Ltda	Mecânica	Geração e armazenamento inseguro de res. sól. classe I (> 1t/mês)	7468.61N 279.01E
CAMPINAS	Itoil Indústria de Tratamento de Óleo Isolante Ltda	Química	Armazenamento inseguro de res. sól. classe I (> 1t/mês)	7483.96N 291.95E
CAMPINAS	Regenera Indústria e Comércio Ltda	Metalúrgica	Geração e armazenamento inseguro de res. sól. classe I (> 1t/mês)	7472.40N 288.84E
CAMPINAS	Vidotti Companhia Ltda	Metalúrgica	Armazenamento inseguro de res. sól. classe I	7472.73N 290.65E
CAMPINAS	Daimler Chrysler (Mercedes Benz do Brasil)	Material de transporte	Área contaminada	7455.86N 282.74E
CAMPINAS	Singer do Brasil Indústria e Comércio Ltda	Mecânica	Área contaminada	7453.50N 283.56E
COSMÓPOLIS	Ecadil Indústria Química	Química	Área contaminada	7495.59N 275.38E
HORTOLÂNDIA	Cobrasma SA	Material de transporte	Armazenamento inseguro de res. sól. classe I	7469.95N 275.41E
HORTOLÂNDIA	IBM Brasil Indústria Máquinas e Serviços Ltda	Material elétrico e de comunicações	Infiltração de efluente líquido no solo	7465.90N 274.30E

Fonte: IG;CETESB;EMBRAPA, no prelo.

Tabela 4.8 - continuação

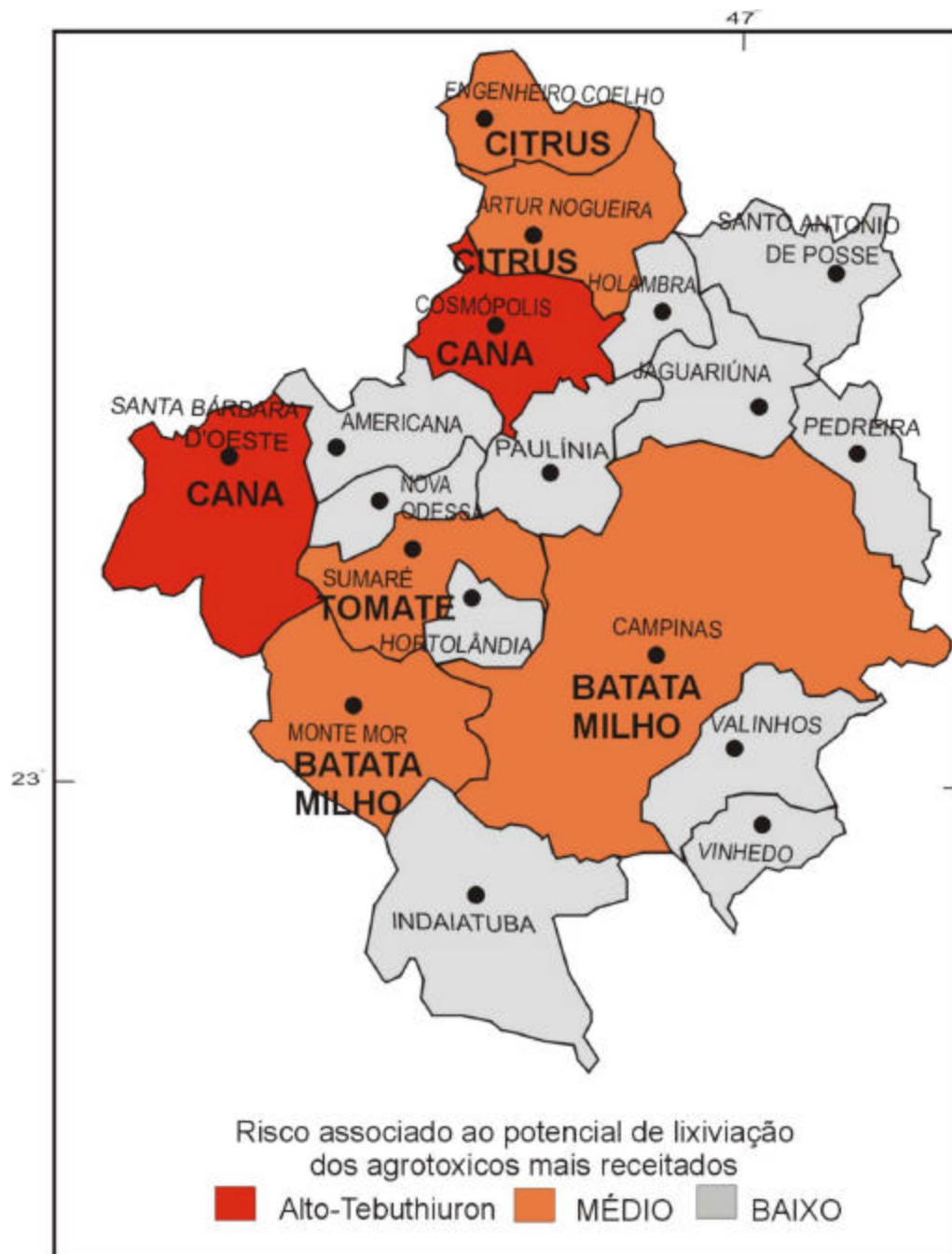
MUNICÍPIO	INDÚSTRIA	ATIVIDADE	OBSERVAÇÕES	COORDENADAS
NOVA ODESSA	Metalúrgica Nova Odessa Ltda	Metalúrgica	Disposição insegura de res. sól. classe I	7479.84N 264.64E
PAULÍNIA	Ipiranga Asfaltos SA	Química	Área contaminada	7476.81N 282.70E
PAULÍNIA	Nutriplant Ind. e Com. LTDA	Química	Área contaminada (> 1t/mês)	7480.04N 282.92E
PAULÍNIA	Petróleo Bras. PETROBRAS - Replan	Química	Área contaminada	7484.88N 279.43E
PAULÍNIA	Rhodia SA	Química	Área contaminada	7481.13N 283.74E
PAULÍNIA	Shell Brasil SA (Kraton)	Química	Área contaminada	7483.27N 281.16E
PAULÍNIA	Zêneca Brasil SA	Química	Efluentes industriais em área de brejo	7482.89N 278.64E
PAULÍNIA	Karcher Indústria e Comércio Ltda	Mecânica	Infiltração de efluente industrial	7476.78N 282.43E
SUMARÉ	Flasko Industrial de Embalagens	Produtos de matérias plásticas	Geração e armazenamento inseguro de res. sól. classe I (< 1t/mês)	7471.29N 276.16E
SUMARÉ	Buckman Laboratórios Ltda	Química	Área contaminada	7473.07N 277.09E
SUMARÉ	Cilag Farmacêutica Ltda	Produtos Farmacêuticos e veterinários	Área contaminada	7472.55N 277.60E
SUMARÉ	Eletrometal SA Metais Especiais	Metalúrgica	Armazenamento inseguro de res. sól. classe I (> 1t/mês)	7476.90N 273.35E
SUMARÉ	Schneider Eletric Brasil SA	Material elétrico e de comunicações	Armazenamento inseguro de res. Sól. classe I (> 1t/mês)	7472.90N 267.50E
SUMARÉ	Tema Terra Equipamentos Ltda	Mecânica	Disposição insegura de res. sól. Classe I (< 1t/mês)	7474.85N 274.00E
SUMARÉ	Sherwin Williams	Química	Infiltração de efluente no solo em pequena quantidade	7472.30N 277.40E

Fonte: IG;CETESB;EMBRAPA, no prelo.

Áreas Agrícolas: No trabalho Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Campinas (IG;CETESB;EMBRAPA, no prelo), as fontes difusas estudadas, foram o saneamento *in situ* e a atividade agrícola. Na região, tantos seus impactos sócio-econômicos, quanto os ambientais podem ser considerados de menor expressão, em comparação com as atividades dos setores urbanos e industriais. Para o saneamento *in situ*, não foi classificado nenhum município como de carga potencial poluidora elevada para solos e águas subterrâneas. Para a atividade agrícola identificou-se elevada carga potencial poluidora por nitrato, na cultura

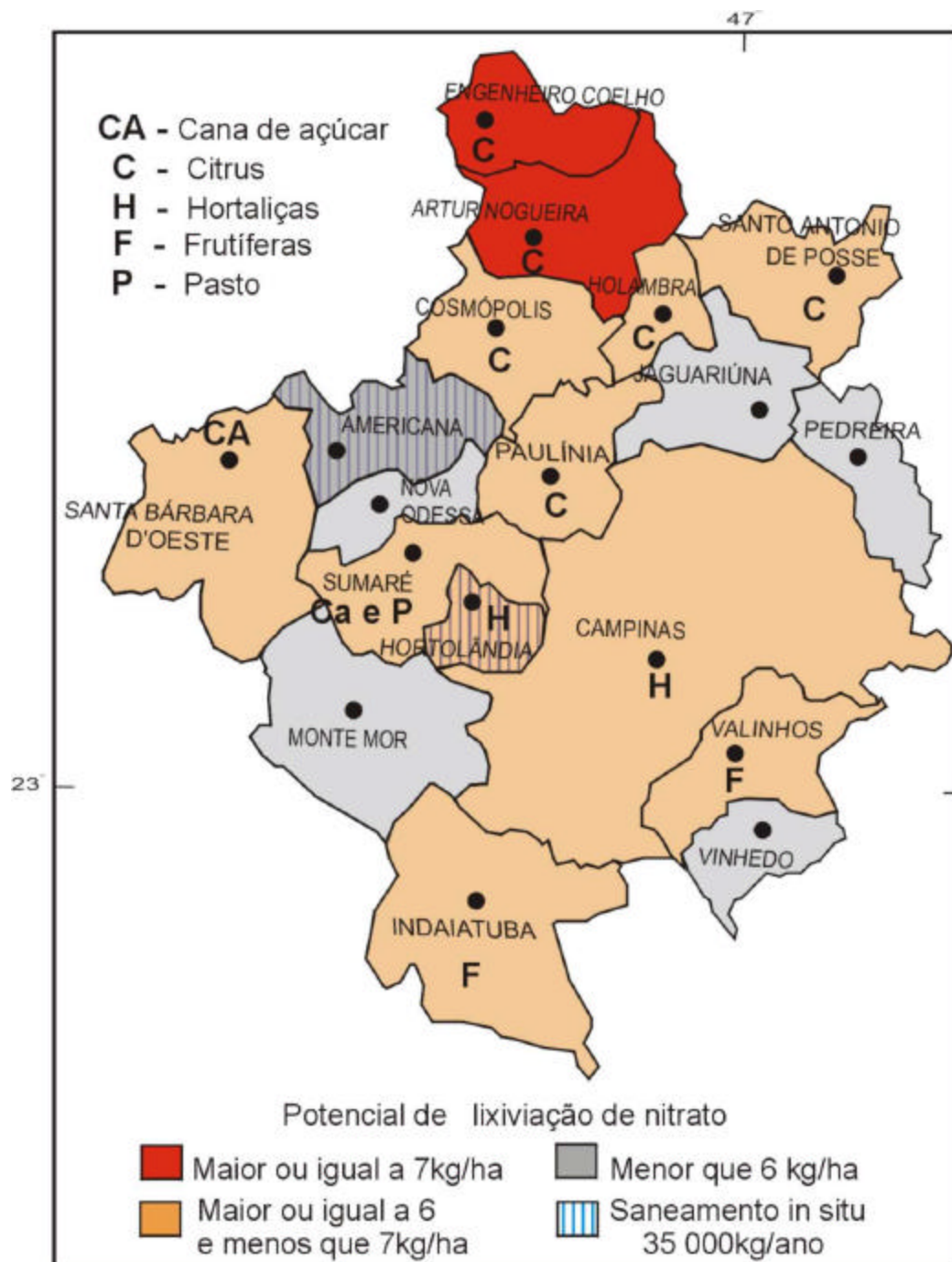
de cítricos e por agrotóxicos, principalmente pelo uso do herbicida a base de tebuthiuron, na cultura de cana-de-açúcar.

Foram então classificadas as áreas críticas em termos de carga agrícola. A Figura 4.5 apresenta o risco associado ao potencial de lixiviação de agrotóxicos e a Figura 4.6 apresenta o risco associado ao potencial de lixiviação de nitrato.



Fonte: IG;CETESB;EMBRAPA , no prelo.

Figura 4.5- Risco Associado à Lixiviação de Agrotóxicos



Fonte: IG;CETESB;EMBRAPA, no prelo.

Figura 4.6 - **Risco Associado à Lixiviação de Nitrato**

4.8 CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DA APTIDÃO À IMPLANTAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS POTENCIALMENTE POLUIDORES

Os problemas de controle da poluição envolvendo os recursos hídricos subterrâneos estão muito mais associados às emissões e ou manuseio de substâncias como hidrocarbonetos, solventes orgânicos sintéticos (principalmente clorados), compostos nitrogenados, pesticidas e metais pesados, do que propriamente às excessivas cargas orgânicas degradáveis (elevada demanda química de oxigênio), responsáveis, em geral, por maiores riscos aos recursos hídricos superficiais.

Uma ferramenta utilizada no planejamento de ações para proteção da qualidade das águas subterrâneas é o mapeamento da vulnerabilidade natural ao risco potencial de contaminação, com a identificação dos locais mais suscetíveis à poluição dos aquíferos. Nestes locais, a existência de empreendimentos com elevada carga potencial poluidora, sem medidas preventivas de controle, poderá comprometer a qualidade do recurso hídrico subterrâneo.

O conceito de risco potencial de contaminação, segundo Foster e Hirata (1988), refere-se à atividade humana que poderá vir a gerar uma poluição e alterar a qualidade das águas subterrâneas acima dos padrões de potabilidade, que atualmente são definidos na Portaria n.º 1469/2000 do Ministério da Saúde. É um conceito que está associado ao risco e não indica que a atividade, no momento em que se realiza, esteja causando dano a um aquífero específico.

Entende-se que as propriedades intrínsecas ao local podem conferir maior ou menor proteção do aquífero a agentes externos, tais como cargas poluidoras, atuando nos seguintes fatores: acessibilidade da zona saturada à penetração de fluxos de água e/ou poluentes (ex. áreas de recargas) e capacidade de atenuação do substrato, ou seja, a capacidade de retenção física ou química e de reação com poluentes das camadas de sedimentos da zona não saturada (FOSTER; HIRATA, 1988).

Foi realizada uma análise das características geomorfológicas e hidrogeológicas da área de estudo, mapeando e classificando as áreas em relação ao seu potencial de recarga e vulnerabilidade natural, identificando as áreas mais adequadas para a expansão industrial sob o ponto de vista de suscetibilidade do terreno à contaminação das águas subterrâneas.

A partir dessas informações pode-se classificar preliminarmente as áreas em termos de níveis de restrições, com exigências específicas para empreendimentos industriais visando a proteção da qualidade das águas subterrâneas.

4.8.1 Metodologia

A definição de áreas adequadas à instalação de empreendimentos, levando-se em consideração a proteção das águas subterrâneas, leva à necessidade de se escolher áreas com características que favoreçam a minimização dos impactos desta atividade ao meio ambiente. Segundo Berg e Wehrmann (1989) “a identificação de fatores indesejáveis direciona os trabalhos para as áreas mais favoráveis”.

Áreas classificadas como de alto nível de restrição não impedem a instalação de atividades industriais, porém implicam numa série de exigências e estudos detalhados das características físicas do local, em conjunto com a análise do potencial poluidor específico do empreendimento para definição de ações preventivas.

A classificação da aptidão das áreas quanto à implantação de empreendimentos foi definida pela sobreposição dos mapas de vulnerabilidade natural e do potencial de recarga. A cada uma dessas informações foi atribuída o peso de 0,5.

A aplicação prática de classificação do meio físico exigiu uma simplificação dos parâmetros hidráulicos e físico-químicos em função da complexidade dos fatores envolvidos, o espaçamento dos dados, sua disponibilidade, e aplicabilidade à escala de trabalho. A Tabela 4.9 apresenta os parâmetros hidrogeológicos utilizados nesse trabalho.

Tabela 4.9 - Parâmetros hidrogeológicos

Avaliação Sistemática	Fatores envolvidos	Dados disponíveis e aplicáveis à escala de trabalho (estudos regionais)
Vulnerabilidade Geral	•Características litológicas •Áreas de recarga e descarga •Tipo de aquífero •Litologia da zona vadosa •Profundidade do NA •Tipo de solo •Permeabilidade dos aquíferos •Topografia, entre outros.	•Tipo de aquífero •Litologia da zona vadosa •Profundidade do NA (FOSTER;HIRATA,1988) •Intensidade de fraturamento (interseções de fraturamentos) (IG, 2001)
Áreas prioritárias para Recarga	•Características hidráulicas do solo e rochas •Topografia •Disponibilidade hídrica •Cobertura vegetal •Teor de umidade (capacidade de campo) •Rugosidade da superfície •Forma da bacia •Evapotranspiração •Tipo de aquífero, entre outros.	•Topografia •Tipo de solo •Vegetação •Principais divisores d' águas regionais •Densidade de drenagens •Descontinuidades estruturais •Tipo de aquífero

4.8.2 Vulnerabilidade natural

Do trabalho “Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas na Região Metropolitana de Campinas” (IG;CETESB;EMBRAPA, no prelo) – escala 1:100.000, obteve-se a vulnerabilidade natural dos aquíferos sedimentares com a classificação de alta-alta, alta-baixa, média-alta, média-baixa e baixa-alta, em função da profundidade do nível estático, dos tipos litológicos e do tipo de aquífero.

A vulnerabilidade natural dos aquíferos fraturados pré-cambrianos da Região Metropolitana de Campinas – escala 1:100.000 – foi obtida do “Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição de Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Campinas” (IG, 2001), que utilizou os parâmetros: natureza litológica do substrato,

intensidade de fraturamento (interseções de fraturamentos), profundidade do nível d' água; e classificou os terrenos em alta, média-alta, média-baixa e baixa vulnerabilidade.

O mapa de vulnerabilidade da área de Paulínia foi elaborado a partir da compilação da informações supracitadas e da compatibilização da classes de vulnerabilidade em alta, média-alta, média-baixa e baixa (Figura 4.7)

4.8.3 Potencial de recarga

Para realização desse mapa, foram utilizadas informações existentes e levantamentos disponíveis como mapas geológicos, topográficos, pedológicos, níveis d' água, materiais inconsolidados, resíduos sólidos, em escala 1: 50.000 e de 1:100.000. O mapa geológico utilizado foi elaborado pelo Instituto Geológico (1993, 1995, 1999).

O mapa de recarga foi elaborado através da sobreposição e cruzamento dos principais parâmetros que condicionam a recarga. Tratando-se de uma escala de 1:100.000, os parâmetros considerados foram: a declividade, a infiltração e, de modo auxiliar, a densidade de drenagem, falhamentos, vegetação e os principais divisores de água.

O modelo conceitual de circulação de água, adaptado de Freeze e Cherry (1979), destaca aspectos cruciais na definição das áreas de recarga contemplando as características de fluxo local e regional assim como as áreas de recarga e descarga locais em um meio homogêneo (Figura 4.8).

O sentido de fluxo nos subsistemas local e intermediário, podem ter sentidos contrários ou mesmo oblíquos ao fluxo regional com renovações do reservatório à curto prazo sujeitos a fatores climáticos. Entretanto, a comunicação entre os fluxos intermediários e regionais são relativamente mais lentos ocasionando uma segregação hidrogeoquímica mais marcante.

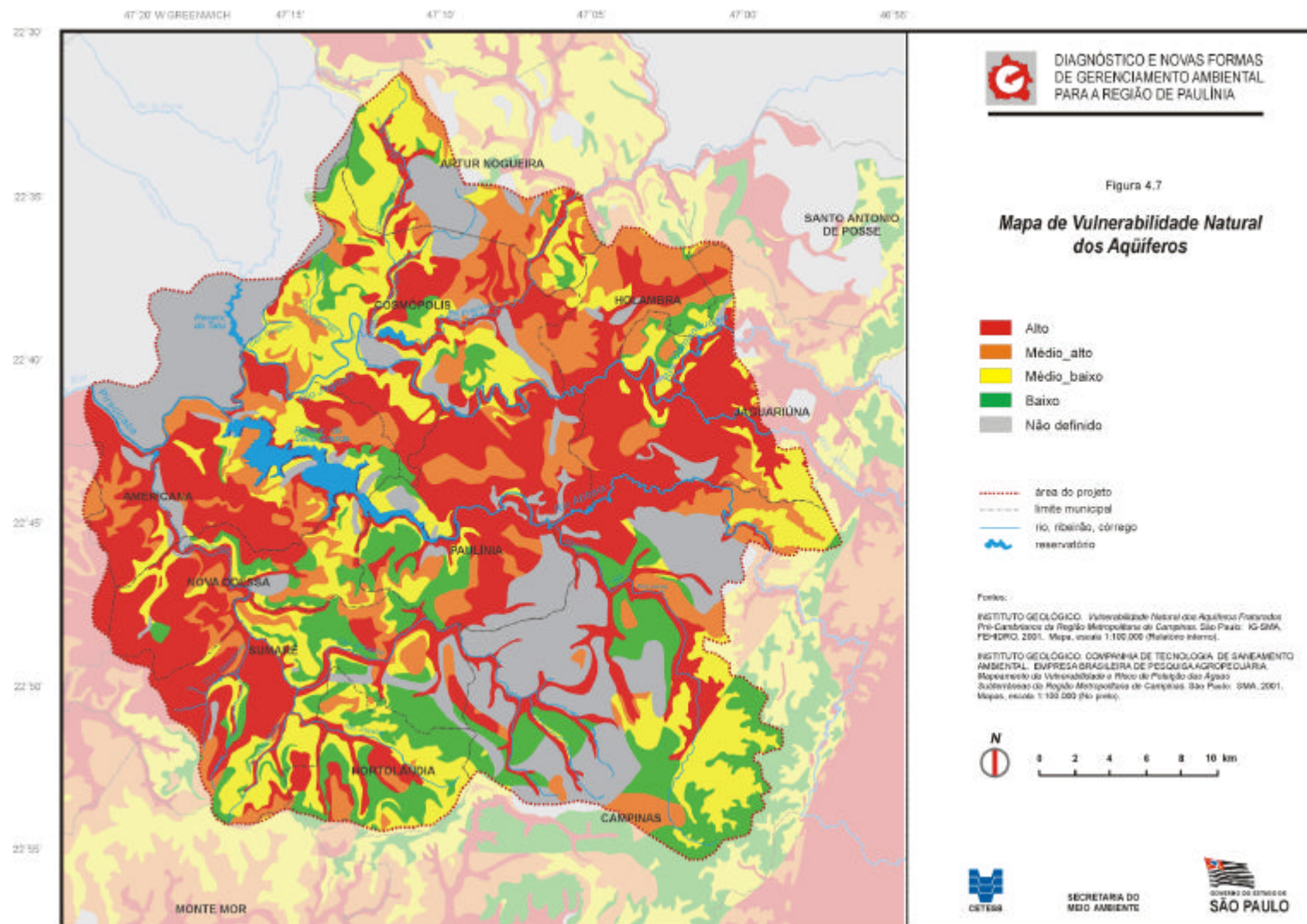


Figura 4.7- Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos da área de estudo

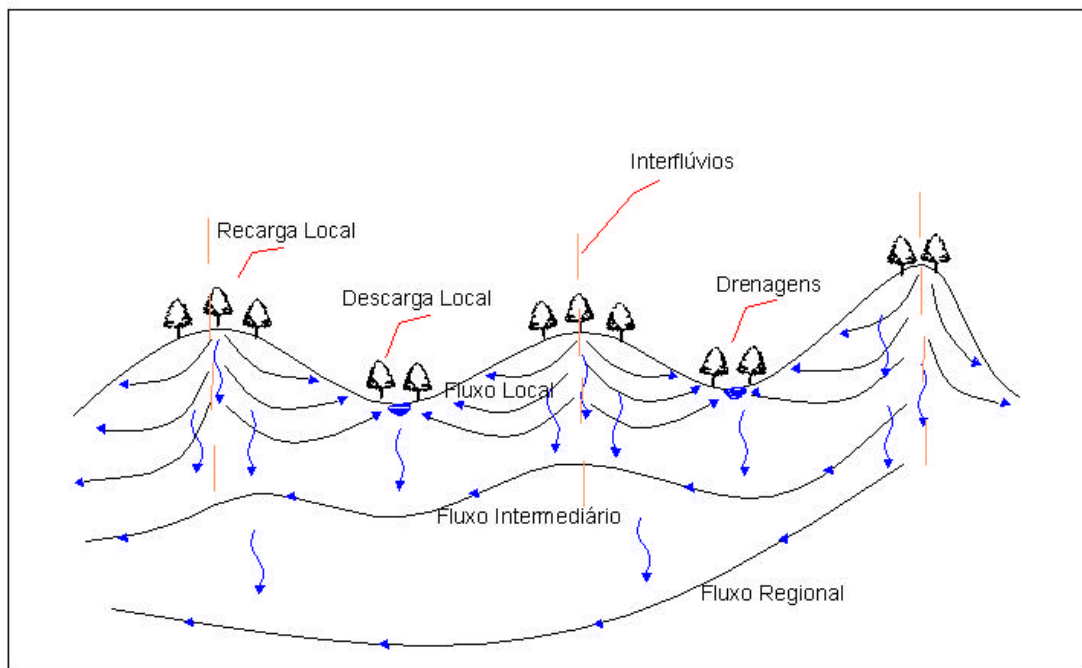


Figura 4.8 - Modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas adaptado de Freeze e Cherry (1979)

Um importante fator geométrico do modelo de fluxo é a capacidade de atenuar baixas concentrações de contaminantes muito persistentes em zonas de descargas locais, próximas aos rios por exemplo, pois estas zonas podem promover a dispersão do contaminante devido a concentração de vários tubos de fluxo (HIRATA; REBOUÇAS, 2000).

Para definição das classes que relacionam declividade e infiltração confeccionou-se uma tabela que classificou o potencial de recarga (alto, médio e baixo) de acordo com os principais solos presentes na área de estudo, suas características composicionais, tais como, textura e porcentagem de argila, além das limitações de implantação de empreendimentos por classes de declividades (Tabela 4.10).

A área de estudo, no entanto, não apresenta desníveis topográficos acentuados, com altitude variando de 500 a 680 m, de modo que a recarga dependerá quase que exclusivamente da permeabilidade determinada em função dos tipos de solos e rochas.

Tabela 4.10 - Classificação de áreas segundo o potencial de recarga.

POTENCIAL ALTO			
Características físicas			Declividade
Falhamentos principais			Todas as declividades
Áreas de mata e reflorestamento			Todas as declividades
Terrenos cenozóicos			Todas as declividades
Principais divisores de água regionais			Todas as declividades
Corpos de diabásio de menor extensão			Todas as declividades
Solos	Tipos	Textura	
	Gleissolos háplicos Gx7	Média Argilosa	Todas as declividades
	Argilosolo Vermelho Amarelo PVA53	Média Arenosa	< 20%
	Argilosolo Vermelho Amarelo PVA58	Média Arenosa e argilosa	< 20%
POTENCIAL MÉDIO			
Características físicas			Declividade
Solos	Tipos	Textura	
	Argilosolo Vermelho Amarelo PVA53	Média Arenosa	> 20%
	Argilosolo Vermelho Amarelo PVA58	Média Arenosa e argilosa	> 20%
	Argilosolo Vermelho Amarelo PVA20	Média Arenosa e argilosa	Todas as declividades
	Latassolo Vermelho Amarelo LVA4	Média	Todas as declividades
	Latassolo Vermelho Amarelo LVA9	Média	Todas as declividades
	Latossolo Vermelho LV53, LV17, LV4	Argilosa	< 5%
POTENCIAL BAIXO			
Características físicas			Declividade
	Tipos	Textura	
Solos	Latossolo Vermelho LV53, LV17, LV4	Argilosa	> 5%

Analisando os perfis construtivos de 16 poços industriais, localizados nos municípios de Paulínia, Americana e Sumaré observou-se a existência de uma camada de solo argiloso, produto de alteração do diabásio, em média com 7 metros de espessura e boas características de contenção e proteção aos níveis mais profundos.

A priori, a análise de espessura do solo de alteração não foi considerada, pois os dados disponíveis mostram que este atributo é extremamente variável e portanto não mapeável na escala de trabalho. Devendo ser levada em conta nos trabalhos de maior detalhe para regiões menores.

Pela necessidade de declividades inferiores a 20% na implantação industrial, foram definidas áreas que reúnem as características mais propícias à implantação industrial e zonas prioritárias para recarga.

O aquífero Cenozóico pela sua pouca espessura, situação estratigráfica e topográfica (em topos e colinas) qualifica-o como área-fonte (recarga) para outros aquíferos, para captações de menor porte, como os cacimbas e as fontes, classificado como alto potencial de recarga.

Considerando a densidade de drenagens na região, verifica-se que os terrenos cristalinos são mais impermeáveis do que os terrenos sedimentares. Sendo as áreas prioritárias de recarga condicionadas e intrinsecamente associadas a aspectos estruturais e secundariamente à declividade, para o aquífero superficial.

A circulação das águas subterrâneas na área assumem uma situação complexa definida pela intersecção de diferentes sistemas aquíferos. Os fluxos de caráter local possuem uma influência direta da topografia direcionando as linhas de fluxo e contribuindo com perdas para o fluxo intermediário/regional (Figura 4.8).

As estruturas de grande porte compartimentam os sistemas em blocos estruturais, responsáveis pela circulação da água subterrânea e consideradas zonas de recarga associadas à áreas de maior produtividade de poços, juntamente com as fraturas e falhas normais existentes. A abertura das fraturas é o fator mais importante que controla a condutividade hidráulica na rocha (FERNANDES; RUDOLPH, 2000).

Trabalhos recentes desenvolvidos por Fernandes e Rudolph (2000), realizados na mesma área de projeto, destacam que uma grande porcentagem dos poços associados aos lineamentos cartografáveis (prováveis fraturas que se estendem em subsuperfície) apresentam produtividades baixas. Isto devido principalmente a baixos valores de densidade de fraturamento e aberturas efetivas pequenas.

Fernandes (1997) por meio da análise dos lineamentos e o conhecimento da evolução tectônica da área constatou que as fraturas geradas por mecanismos de extensão (campos tensionais relacionados a eventos tectônicos recentes de idade Cenozóica e Quaternária) tendem a ter aberturas efetivas maiores que as geradas por mecanismos de cisalhamento (eventos tectônicos mais antigos).

Os lineamentos considerados no mapa de recarga foram definidos com base nas interpretações fotogeológicas de Pires Neto (1996) destacando-se os principais lineamentos e fraturas que separam os blocos estruturais, excluindo as zonas de cisalhamento regionais, por apresentarem aberturas efetivas menores e resultantes de esforços tectônicos compressivos.

As falhas normais na região apresentam direção NE e NS, as falhas transcorrentes e cavalgamento NW e EW são vistas na parte do extremo leste e norte da área. Em geral o

sistema aquífero cristalino apresenta-se bastante fraturado; praticamente todas as drenagens estão condicionadas as estruturas do terreno. Nas áreas de ocorrência das zonas de cisalhamento e na área entre elas, a direção predominante N40E (aproximado) de fotolineamentos são concordantes a essas estruturas (IG, 1993).

Os corpos de diabásio intrusivos na porção sedimentar e também em alguns pontos do cristalino ocorrem na forma de dique, sills, lacólitos ou corpos irregulares de diversos tamanhos e variadas profundidades. De idade Juro-Cretácio, geralmente associado aos sistemas de drenagem da bacia e no leito dos principais rios da região, encaixados como corpos de menor extensão e contatos sub-verticais nas direções preferenciais NW e NE, concordantes com as principais direções estruturais da região. As duas maiores extensões de corpos de diabásio situam-se na parte central (Campinas), possivelmente um lacólito colocado no contato bacia-cristalino com uma área de 300 km² e profundidades de até 250m; o outro corpo situa-se ao norte da área em Santo Antônio da Posse.

A seleção direcionou as áreas prioritárias de recarga para os corpos de diabásio de menor extensão (associados aos falhamentos) excluindo os maiores, por apresentarem maior impedimento à infiltração. Nos menores são esperadas descontinuidades a qualquer profundidade de caráter sub-horizontal com alta condutividade hidráulica (contato entre derrames) entre corpos tabulares quase estanques que podem assegurar melhores condições de atenuação e contenção de contaminantes. Podem ocorrer também possíveis fraturas subparalelas aos contatos com outras formações que devem ser consideradas nos trabalhos locais.

Os trabalhos de Rebouças e Fraga (1988), sobre as rochas vulcânicas no Brasil, apontam preferencialmente dois condicionamentos distintos assumidos pelos mecanismos de recarga: a infiltração de águas pluviais a partir de rupturas regionais importantes, e a infiltração de águas armazenadas nas coberturas sedimentares pós-basálticas. No caso dos diabásios outro fator importante seria a conectividade das fraturas e falhas verticais a sub verticais com os planos/falhas de alta permeabilidade dos contatos entre derrames. (LERNER; ISSAR; SIMMERS, 1990).

Através destes dados descritos e interpretações o mapa com as principais falhamentos foi incorporando de modo auxiliar ao mapa obtido pela relação declividade versus infiltração. A facilidade de percolação e circulação da água subterrânea nas áreas de falhamentos as tornam zonas importantes, com alto potencial de recarga. Para estas zonas foi atribuído uma faixa de 500m a partir do eixo principal das estruturas. Essa distância é relativa; pois há uma tendência geral de diminuição do fraturamento a partir do eixo. Estudos em detalhe, mais criteriosos, poderiam indicar uma faixa mais precisa.

Os principais divisores de água regionais também foram considerados como áreas de alto potencial de recarga, por constituírem importantes componentes morfológicos e zonas de recarga locais. E, em caso de contaminação, podem gerar duas ou mais frentes de pluma devido ao seu caráter de fluxo dispersivo. Também foi atribuída uma faixa de 500m como zona de influência.

Outro parâmetro considerado fator de alto potencial de recarga foi a área de ocorrência da mata e reflorestamento, em função da proteção natural oferecida ao solo e capacidade de infiltração das águas. Em termos de vegetação, tem-se a seguinte distribuição em área:

Tabela 4.1 - Distribuição da vegetação na região de estudo

Tipos de Vegetação/ Ocupação	Área em km²
Agricultura/pastagens	<i>1.381</i>
Urbana	<i>357</i>
Expansão Urbana	<i>19</i>
Reflorestamento	<i>37.5</i>
Matas	<i>33</i>
Chácaras	<i>40.5</i>
Capoeira	<i>49</i>
Área Total	<i>~2.460</i>

A elevadíssima taxa de exploração da reserva ativa regional (PEREIRA, 1996) e a diminuta extensão em área total das matas e áreas de reflorestamento evidenciam uma importante contribuição na recarga em área dos terrenos de atividades agrícolas/pastagens por apresentarem melhores condições de infiltração, além de sofrerem recarga artificial (irrigação); caracterizando assim áreas essenciais para reposição das reservas.

A disponibilidade de água na área, segundo (PEREIRA, 1996), aponta um maior excedente hídrico (mm) nas unidades climáticas localizadas no extremo leste e centro, relacionáveis portanto a um maior potencial de recarga, devido a sua disponibilidade à infiltração. Estas áreas são coincidentes com os terrenos Cenozóicos, relativamente mais permeáveis, prioritários para recarga, como mostra a análise da rede de drenagem.

A Figura 49 - Apresenta o mapa de potencial de recarga dos aquíferos da região de Paulínia.

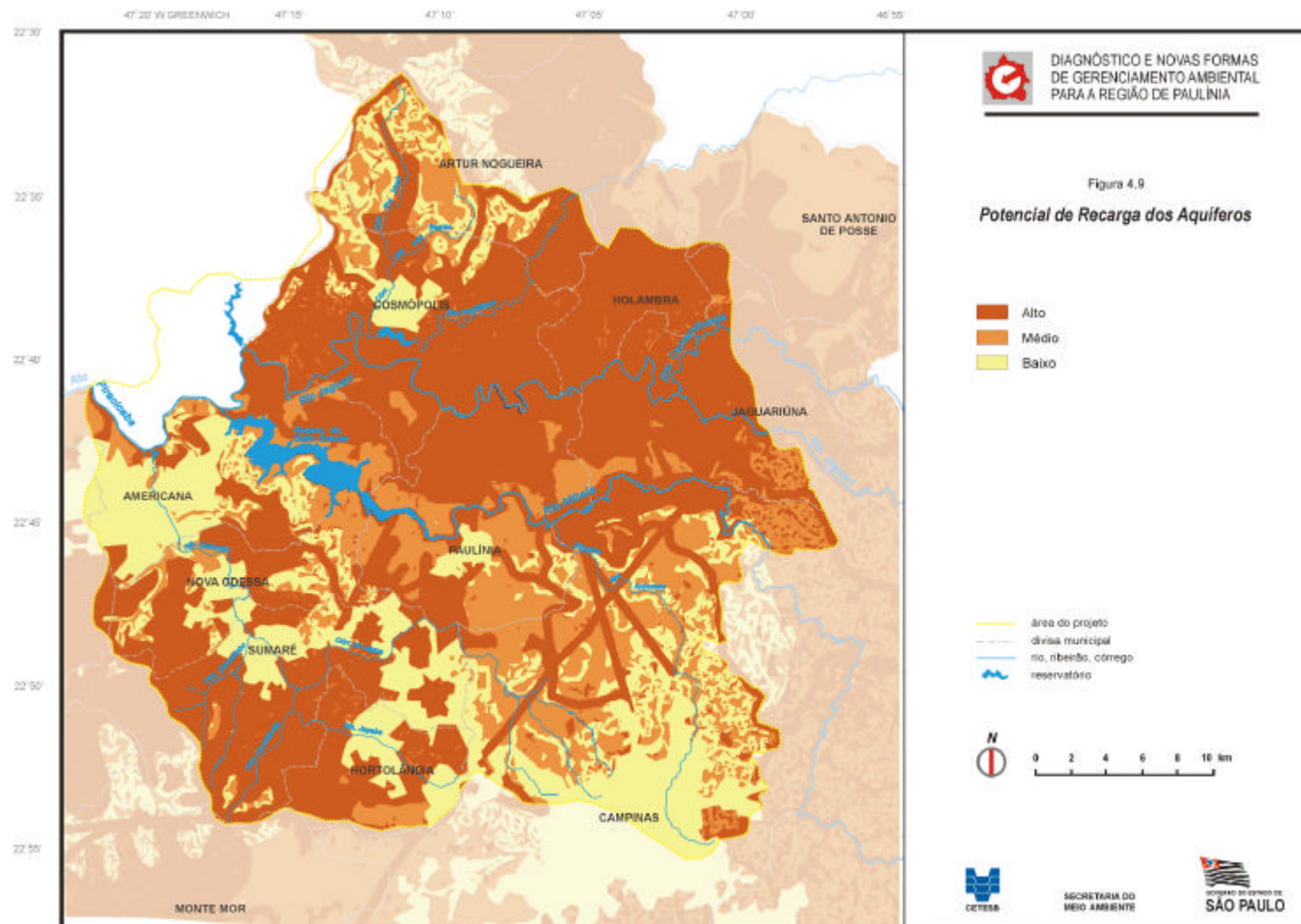


Figura 4.9- Áreas da região de estudo classificadas conforme o potencial de recarga dos aquíferos

4.8.4 Aptidão à implantação de empreendimentos

Determinados os fatores de análise e as classes que deveriam compor a carta final, foram definidos os critérios para classificação dos níveis de exigências, ou seja, estabelecer uma relação entre os índices das respectivas classes dos resultados parciais: mapas de vulnerabilidade e de recarga de aquíferos

O cruzamento das classes foi adaptado de Zuquette (1993); pela análise baseada na inter-relação dos múltiplos atributos, onde um dado fator e respectiva classe pode apresentar significado ou importância variável em função da classe de um outro fator de análise. Para os planos de informação vulnerabilidade e recarga, foram atribuídos pesos de 0,5 no contexto global da análise. Multiplicando os índices das classes por seus respectivos pesos e somando através dos cruzamentos possíveis, obteve-se valores expressos em porcentagem distribuídos entre os níveis de restrição (Tabela 4.12).

Tabela 4.1 - Critério para definição das classes de aptidão à implantação de empreendimentos

Parâmetros		Resultado	
Índice de Vulnerabilidade (1)	Potencial de Recarga (2)	0,5.(1) + 0,5.(2)	Nível de Restrição
Alto (0,75)	Alto (0,75)	> ou = 0,6	Alto
Médio Alto (0,45)	Médio (0,40)	< 0,6 à > ou = 0,5	Médio-alto
Médio Baixo (0,35)		< 0,5 à > ou = 0,4	Médio-baixo
Baixo (0,15)	Baixo (0,15)	< 0,4	Baixo

A Figura 4.10 apresenta uma proposta de classificação de áreas quanto à aptidão de implantação de empreendimentos que possam, de alguma forma, interferir na qualidade e/ou na quantidade das águas subterrâneas. Os níveis de restrição são descritos como:

Alto – áreas com índices de vulnerabilidade alto e/ou alto potencial de recarga,. Possuem baixa capacidade de atenuar possíveis contaminantes e são consideradas prioritárias para recarga. Nesses locais devem ser adotadas medidas preventivas e restrições que minimizem os riscos à poluição e garantam a manutenção de áreas não impermeabilizadas para infiltração das águas pluviais.

Médio-Alto – Áreas com índices de vulnerabilidade médio/alto ou médio/baixo combinados com áreas de médio potencial de recarga.

Médio-Baixo – Áreas com índices de vulnerabilidade baixos combinados com potencial médio de recarga e vice-versa.

Baixo – Áreas com índice de vulnerabilidade médio/baixo ou baixo combinado com baixo potencial de recarga. A vulnerabilidade indica boas condições de contenção de contaminantes dos sedimentos inconsolidados e tipos litológicos, assim como, solos predominantemente de textura argilosa com baixo potencial de recarga. Estas características reúnem as melhores condições para a ocupação por empreendimentos potencialmente poluidores, tendo em vista uma política de gestão preventiva regional, apresentando também declividades propícias à implantação (<20%). Não exclui a necessidade de estudos hidrogeológicos em detalhe, que permitam definir a direção de

fluxo com segurança, além de parâmetros hidráulicos mínimos, locação e perfuração de poços de monitoramento (simples, multi-níveis, etc.), parâmetros e frequência de amostragem para monitoramento da qualidade das águas subterrâneas.

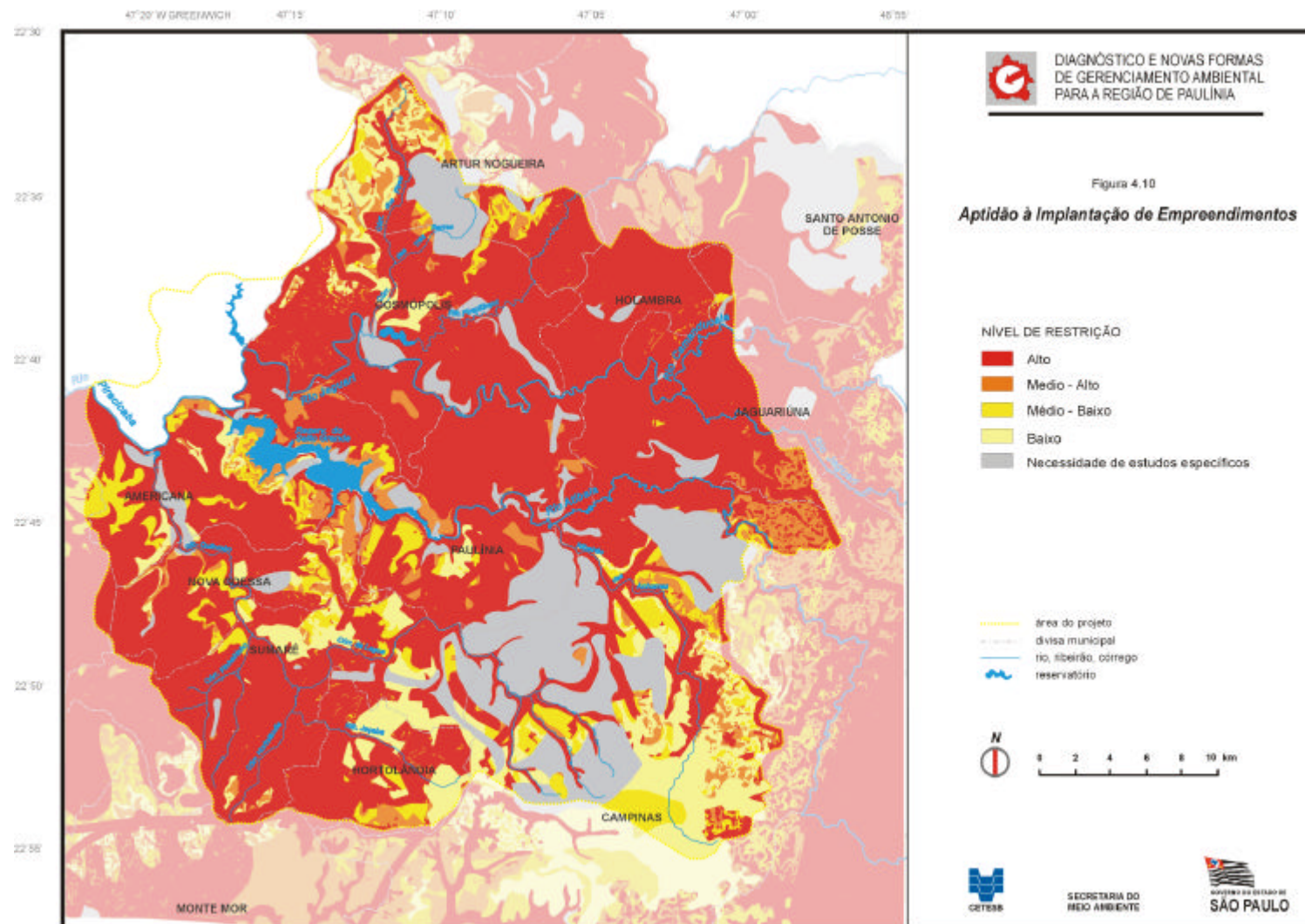


Figura 4.10 - Áreas da região de estudo classificadas conforme aptidão à implantação de empreendimentos

4.8.5 Discussão

O estabelecimento de uma atividade antrópica em um determinado local, sob o enfoque de uma ocupação ambientalmente responsável, segundo Hirata e Rebouças (1999), faz-se a partir da compreensão das características naturais do terreno e analisando-se a capacidade que o meio suporta.

Em termos de gerenciamento ambiental o mapeamento das áreas prioritárias para recarga e a proposta de classificação das áreas quanto à aptidão para implantação de empreendimentos têm caráter preventivo na manutenção do reservatório natural e da contaminação das águas subterrâneas.

É preciso preservar áreas propícias para a infiltração das águas das chuvas no solo, ou seja, áreas de recarga dos aquíferos, permitindo assim o armazenamento de água para uso futuro, visando a sustentabilidade do recurso.

A avaliação da região de Paulínia, a partir do cruzamento do potencial de recarga e vulnerabilidade natural permitiu a definição das áreas mais propícias à implantação de empreendimentos potencialmente poluidores, uma vez que reúnem características que minimizam o impacto e garantem a recarga dos aquíferos.

A avaliação do mapa proposto para aptidão à implantação de empreendimentos mostra que grande parte da área de estudo apresenta alto nível de restrição, devido à ocorrência de das áreas de recarga dos aquíferos e a importância de sua proteção. A necessidade de proteção dessas áreas torna-se relevante, uma vez que nessa região o recurso hídrico é escasso.

O conhecimento sobre a adequação do terreno à instalação de empreendimentos, com potencial poluidor, não impede a instalação de atividades industriais em áreas desfavoráveis. Porém, implica em uma série de estudos detalhados das características físicas do local, em conjunto com análise do potencial de poluição específico ao empreendimento e do uso, atual e futuro, da água subterrânea do local, que determinarão as exigências necessárias para prevenção de contaminação.

As áreas correspondentes aos diabásios foram classificadas somente quanto ao potencial de recarga. Por esse motivo eles aparecem no mapa de aptidão à implantação de empreendimentos como “áreas com necessidade de estudos específicos”.

Na seleção efetiva dos locais para instalação de empreendimentos é necessário estudos de detalhe (escala 1:25.000 e maiores), onde os dados geológicos e hidrogeológicos do terreno devem ser bastante adensados. Nestes casos, os parâmetros espessura, textura, descontinuidades estruturais (contato entre tipos litológicos, falhamentos), fontes e a composição dos solos tornam-se fundamentais.

Recomenda-se também a definição das zonas de captura (ZOCs) de poços tubulares, utilizados para abastecimento, pois empreendimentos de porte não devem ser locados a priori nessas zonas.

Os empreendimentos já instalados, que encontram-se em áreas com nível de restrição alto e médio devem ter prioridade nos estudos de detalhamento, em conjunto com a análise de seu potencial de poluição e do uso da água subterrânea no local.

4.9 BIBLIOGRAFIA DO MÓDULO

- BERG, R.C.; WEHRMANN, H.A. **Geological and hydrogeological factors for siting hazardous or low-level radioactive waste disposals facilities**. Champaign : Illinois State Geological Survey, 61p. 1989. (Circular 546)
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Uso das águas subterrâneas par abastecimento público no Estado de São Paulo**. São Paulo : CETESB, 1997. 47p.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo : CETESB, 2001. 100p.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 1998 - 2000**. São Paulo : CETESB, 2001a 97p.
- HIRATA, R.C.A.; REBOUÇAS, A.C. La protección de los recursos hídricos subterráneos: una vision integrada, basada en perímetros de pozos y vulnerabilidade de acuíferos. 2000
- FERNANDES, A.J. **Tectônica Cenozóica na porção média da bacia o rio Piracicaba e sua aplicação à hidrologia**. Tese (Doutorado), – Instituto de Geociências , Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- FERNANDES, A.J.; RUDOLPH, D. La influencia de la tectónica cenozóica en la proctividad de agua subterránea en zonas fracturadas: aplicación a São Paulo, Brasil. **Hydrogeology Journal**, v.9, n. 2, p. 151-167. 2000.
- FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. **Groundwater**. New Jersey: Simon and Schuster, 1979. 604 p.
- FOSTER, S.S.D; HIRATA, R.C.A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS, 1988. 79p.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (SP). **Subsídios do meio físico geológico para o planejamento territorial do município de Campinas - SP**. São Paulo : IG, 3v. 1993.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (SP). **Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba, SP**. São Paulo : IG, 4v. 1995.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (SP). **Seleção de áreas para tratamento e disposição de resíduos domésticos e industriais na Região Metropolitana de Campinas**. São Paulo : IG, 4 1999.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO (SP). **Vulnerabilidade natural dos aquíferos fraturados Pré-Cambrianos da Região Metropolitana de Campinas**. São Paulo: IG, FEHIDRO, 2001.
- IG;CETESB;DAEE. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo : Instituto Geológico : CETESB. 2v. 1997.
- IG;CETESB;EMBRAPA. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Campinas**. São Paulo : SMA, (no prelo).
- LERNER, D.N.; ISSAR, A.S.; SIMMERS, I.,. Groundwater Recharge. **A guide to understanding and estimating natural recharge**, vol. 8. 1990

- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERNO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: EMBRAPA-Solos. 1999. 64p:mapas. (Boletim Científico n° 45)
- PEREIRA, S.Y. **Proposta de representação cartográfica na avaliação hidrogeológica para o estudo de planejamento e meio ambiente, exemplo da região metropolitana de Campinas – SP**, 1996. 190 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1996.
- PIRES NETO, A.G. Estudo morfotectônico das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí, áreas adjacentes no Planalto Atlântico e depressão Periférica. Projeto CNPq 150011/94-6, realizado em Igce-UNESP, Rio Claro, 1996. 71p.
- PRADO, H. do. **Manual de classificação de solos do Brasil**. 3 ed. Jaboticabal: FUNEP, 1996. 194p
- PRADO, H. do. **Os solos do Estado de São Paulo: mapas pedológicos**. Piracicaba: Hélio do Prado, 1997. 205p.
- QUINAGLIA, G. **Estabelecimento de um Protocolo Analítico de Preparação de Amostras de Solos para Determinação de Metais e sua Aplicação em um Estudo de Caso**. 2001. 164p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para exploração**. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1993