

GEOLOGIA EM PLANOS DE MANEJO: SUBSÍDIOS PARA ZONEAMENTO AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL INTERVALES (PEI), ESTADO DE SÃO PAULO

Alethéa Ernandes Martins SALLUN & William SALLUN FILHO

Instituto Geológico - IG, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA/SP).
Avenida Miguel Stefano, 3900 – Água Funda. CEP 04301-903. São Paulo, SP.
Endereços eletrônicos: alethea@igeologico.sp.gov.br; wsallun@igeologico.sp.gov.br.

Introdução
Localização do Parque Estadual Intervales (PEI)
Materiais e Métodos
Geologia
Recursos Minerais
 Importância Econômica das Rochas Carbonáticas
Hidrogeologia
 Unidades Aquíferas
 Sistema Granular ou Poroso
 Sistema Fraturado
 Sistema Cárstico
 Vulnerabilidade dos Sistemas Aquíferos à Contaminação
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Na elaboração do Plano de Manejo do Parque Estadual Intervales (PEI) e de sua Zona de Amortecimento houve destaque especial a Geologia, por ser uma área onde ocorrem rochas carbonáticas com sistemas cársticos e cavernas (um dos maiores atrativos turísticos do parque) e por conter recursos minerais importantes. O estudo da geologia se baseou em dados bibliográficos, técnicas de geoprocessamento, controle cartográfico das unidades geológicas e estruturas tectônicas, geoquímica das rochas carbonáticas, pesquisa dos títulos e das ocorrências minerais e avaliação hidrogeológica. Como resultados foram estabelecidos os sistemas aquíferos e sua vulnerabilidade, as regiões de maior potencial para desenvolvimento de carste e a análise dos recursos minerais e da mineração. Verificou-se a necessidade de um aprofundamento sobre os sistemas cársticos, que foi incluído como um novo capítulo no Plano de Manejo. Os dados obtidos forneceram subsídios para o zoneamento ambiental, uma vez que os sistemas geológicos estudados têm alta vulnerabilidade ambiental, principalmente frente aos impactos antrópicos no solo e na água subterrânea.

Palavras-chave: geologia, Parque Estadual Intervales, Plano de Manejo, sistema cárstico, mineração.

ABSTRACT – *A.E.M. Sallun & W. Sallun Filho - Geology in Management Plans: subsidies for environmental zoning of the Intervales State Park (PEI), São Paulo, Brazil.* During the development of Management Plan of the Intervales State Park (PEI) and its buffer zone was given special emphasis on Geology due the occurrence of carbonate rocks with karst systems and caves (one of the major tourist attractives of the park) and to contain important mineral resources. The geology study was based on bibliography, geoprocessing, cartographic control of geological units and tectonic structures, geochemistry of carbonate rocks, research of the mineral titles and occurrences and hydrogeological assessment. As results were established aquifer systems and its vulnerability, the regions of greatest potential for development of karst and the analysis of the mineral resources and minning. There is a need for a detail on the karst systems, which was included as a new chapter in the Management Plan. The provided data contributed for environmental zoning once the geological systems studied have high environmental vulnerability particularly against the anthropic impacts on soil and groundwater.

Keywords: geology, Intervales State Park, Managment Plan, karst system, mining.

INTRODUÇÃO

O Parque Estadual Intervales (PEI) é uma Unidade de Conservação Estadual criada no sentido de promover o desenvolvimento sustentável regional e a conservação da natureza no Vale do Ribeira (Decreto 40.135 de 08/06/1995) devido a necessidade de proteção à extensa área de mananciais, aos significativos sítios espeleológicos e às frágeis encostas da Serra do Mar/Paranapiacaba, cobertas pela Mata Atlântica, elementos esses reconhecidos

constitucionalmente, em nível federal e estadual, a serem protegidos como Patrimônio Nacional. Seu Plano de Manejo foi realizado em 2007 e 2008 e aprovado em 2009.

Plano de Manejo é o “documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação

MATERIAIS E MÉTODOS

Para caracterização geológica da área do PEI e sua Zona de Amortecimento, foi feita uma descrição das unidades geológicas sob o ponto de vista da estratigrafia e litologia, com a indicação da mineralogia, composição e de suas características estruturais. O estudo envolveu o levantamento geológico baseado no levantamento bibliográfico e técnicas de geoprocessamento, com uso de imagens de satélite (Figura 2) e de radar, além de plantas topográficas para gerar cartas temáticas utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG) em ambiente ARCGIS.

Na área de estudo existem mapas geológicos desde a escala de 1:2.500.000 (Bizzi et al., 2001), 1:750.000 (CPRM, 2006), 1:100.000 (fornecido pela Fundação Florestal/SMA), até 1:50.000 (Campanha, 2002). As bases geológicas disponíveis foram compiladas e para o mapa geológico da UC e da Zona de amortecimento foi utilizado mapa 1:50.000 de Campanha (2002).

Os lineamentos relacionados a feições estruturais do terreno, foram extraídos de três fontes diferentes: a) Modelos Digitais de Terreno (MDTs) confeccionados à partir de dados de radar, de resolução de

90 m, do projeto SRTM (2004), disponíveis no sítio <http://srtm.usgs.gov>, e os lineamentos foram extraídos nos quatro quadrantes; b) Imagem 220-77 de 26/09/1999 LANDSAT ETM+ com várias composições RGB, adquiridas no servidor de imagens ESDI (2004) da Universidade de Maryland (EUA); c) Mosaicos semicontrolados de radar de visada lateral com abertura sintética do Projeto RADAMBRASIL (1976).

A partir dos lineamentos obtidos foram elaborados estereogramas, agrupados em áreas homogêneas e posteriormente analisados. Todos os diagramas estruturais apresentados correspondem à rede de Schimidt-Lambert, tendo como referência a semi-esfera inferior.

O estudo reuniu dados a respeito de recursos minerais e hidrogeologia. A caracterização química das rochas carbonáticas foi obtida a partir dos dados de ocorrências minerais do Projeto Calcário para Cimento da CPRM (Gonzalez et al., 1972). Foi realizada uma simulação do risco da vulnerabilidade do aquífero a contaminação da água e do solo pelos efluentes gerados, através do método GOD (Foster et al., 2002).

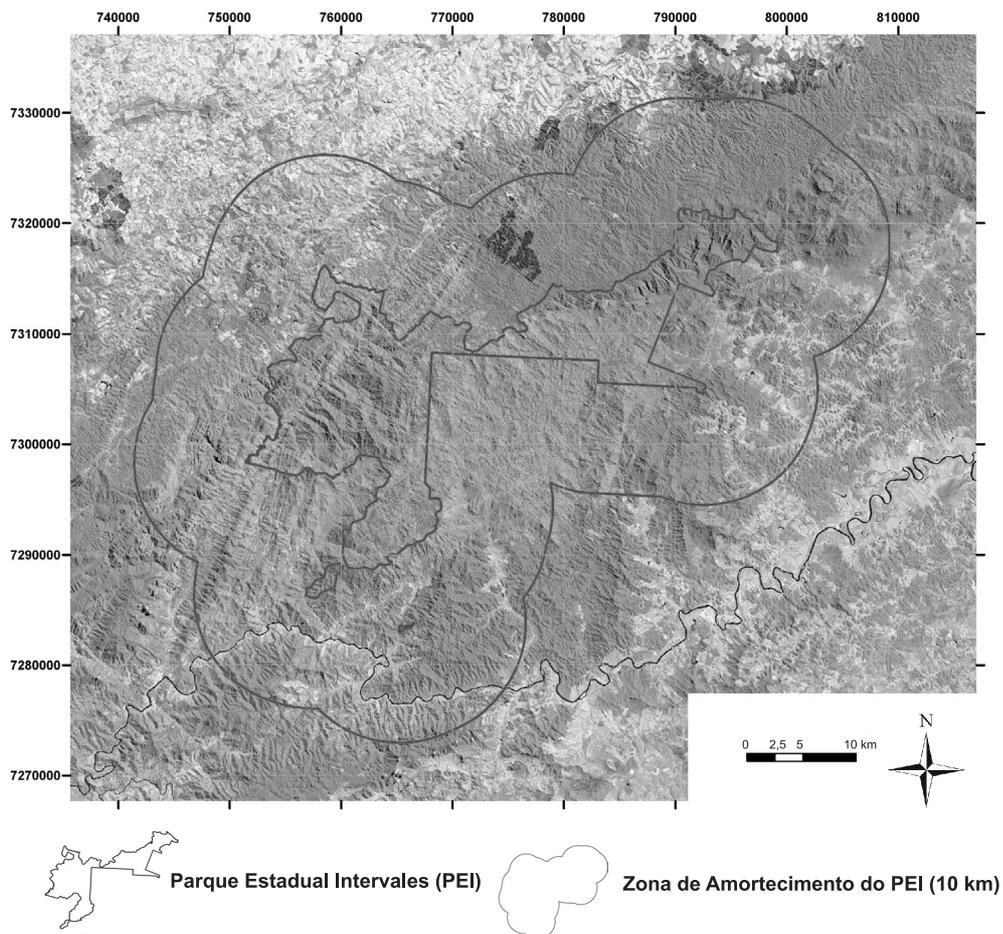


FIGURA 2. Imagem LANDSAT-7 com composição R8G5B3 da área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento.

GEOLOGIA

Em um contexto geológico amplo, a área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento estão inseridos na porção central da Província Mantiqueira (Almeida, 1977), na denominada “Faixa de Dobramentos Ribeira” (Hasui et al., 1975) (Figura 3). A Faixa Ribeira é um cinturão de cisalhamento transcorrente, que se estende desde a Bahia até o Uruguai, que articula as interações entre a Faixa Brasília (Província ou Sistema Orogênico Tocantins), o Cráton do São Francisco e uma série de terrenos acrescidos a sul (Campos Neto, 2000).

Esta faixa é recoberta pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná a W e a SW, limitada a NNW pelo Maciço de Guaxupé, a SSE pelo Maciço de Joinville, e para NE transiciona para terrenos de médio a alto grau (Campanha et al., 1987). Neste bloco, ocorrem predominantemente um conjunto de rochas supracrustais, de grau metamórfico fraco a médio, denominado de Supergrupo Açungui (Campanha et al., 1987; Campanha, 1991; Campanha & Sadowski, 1999).

O Supergrupo Açungui é composto pelas seguintes unidades geológicas: Grupo Itaiacoca, Formação Água Clara, Grupo Votuverava (Subgrupo Lajeado e Subgrupo Ribeira), Formação Capiru e Grupo Setuva (Campanha

& Sadowski, 1999). As rochas do Supergrupo Açungui são intrudidas por um grande número de corpos granitóides de características variadas.

Na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento litologicamente predominam filitos, granitóides, xistos, mica-xistos e mármore (metacalcários) (Tabela 1) (Campanha, 2002). Essas rochas podem ser agrupadas em depósitos sedimentares cenozóicos, diques básicos jurocretáceos, granitóides (Suítes e Corpos Graníticos pós-tectônicos, Complexo Três Córregos, Complexo Agudos Grandes, Corpos Graníticos, Gabro de Apiaí) e rochas metamórficas do Supergrupo Açungui (Figura 4).

As complicações da estratigrafia e da idade de sedimentação das unidades geológicas do Grupo Votuverava na área em estudo, refletem a complexidade geológica estrutural da região. O metamorfismo gerado foi de grau xisto verde incipiente a baixo (Trein et al., 1985; Campanha et al., 1987).

A deformação e o metamorfismo teriam sido gerados no Neoproterozóico. Posteriormente, durante o final do Neoproterozóico e início do Paleozóico (Campanha & Sadowski, 1998), diversas falhas e zonas de cisalhamento de direção geral NE-SW, responsáveis

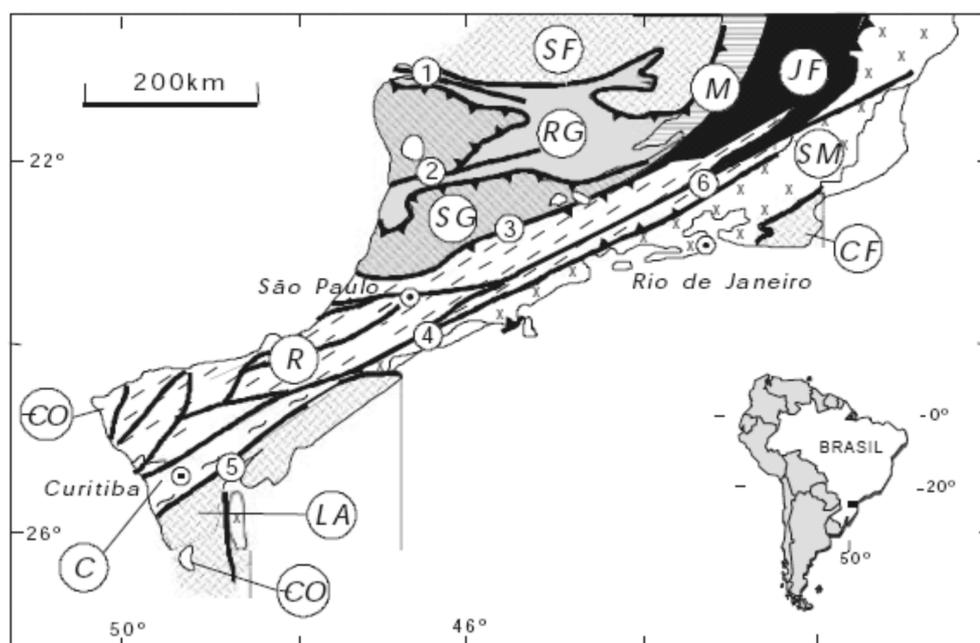


FIGURA 3. Contexto geológico regional em que está inserida a área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento. Blocos e fragmento cratônico: (LA) Luís Alves, (CF) Cabo Frio, (SF) São Francisco; Terrenos arqueanos e paleoproterozóicos: (C) Curitiba, (SM) Serra do Mar, (JF) Juiz de Fora, (M) Mantiqueira; Faixas de dobramento meso-neoproterozóicas: (RG) Alto Rio Grande, (R) Ribeira, (SG) Nappe Socorro-Guaxupé; Seqüências sedimentares e vulcanossedimentares Cambro-ordovicianas (CO); Zonas de cisalhamento: (1) Campos do Meio, (2) Jacutinga-Ouro Fino, (3) Jundiuvira-Boquira-Rio Preto; (4) Cubatão; (5) Lancinha; (6) Além Paraíba (Campanha & Sadowski, 1999).

TABELA 1. Tipos litológicos que ocorrem na área do PEI e sua Zona de Amortecimento, a partir do mapa geológico de Campanha (2002).

Tipos litológicos	% em área
Metarrimitos, metassiltitos, ardósias, filitos e xistos finos	43.58%
Granitóides	19.01%
Carbonato-xistos	15.00%
Micaxistos, carbonato filitos e xistos migmatizados	6.72%
Rochas carbonáticas (mármore)	6.49%
Metarenitos	4.50%
Depósitos sedimentares cenozóicos	3.24%
Meta-básicas, anfíbolitos, Metagabros e diabásios	1.04%
Quartzitos	0.16%
Hornfels	0.15%
Metabrechas	0.10%

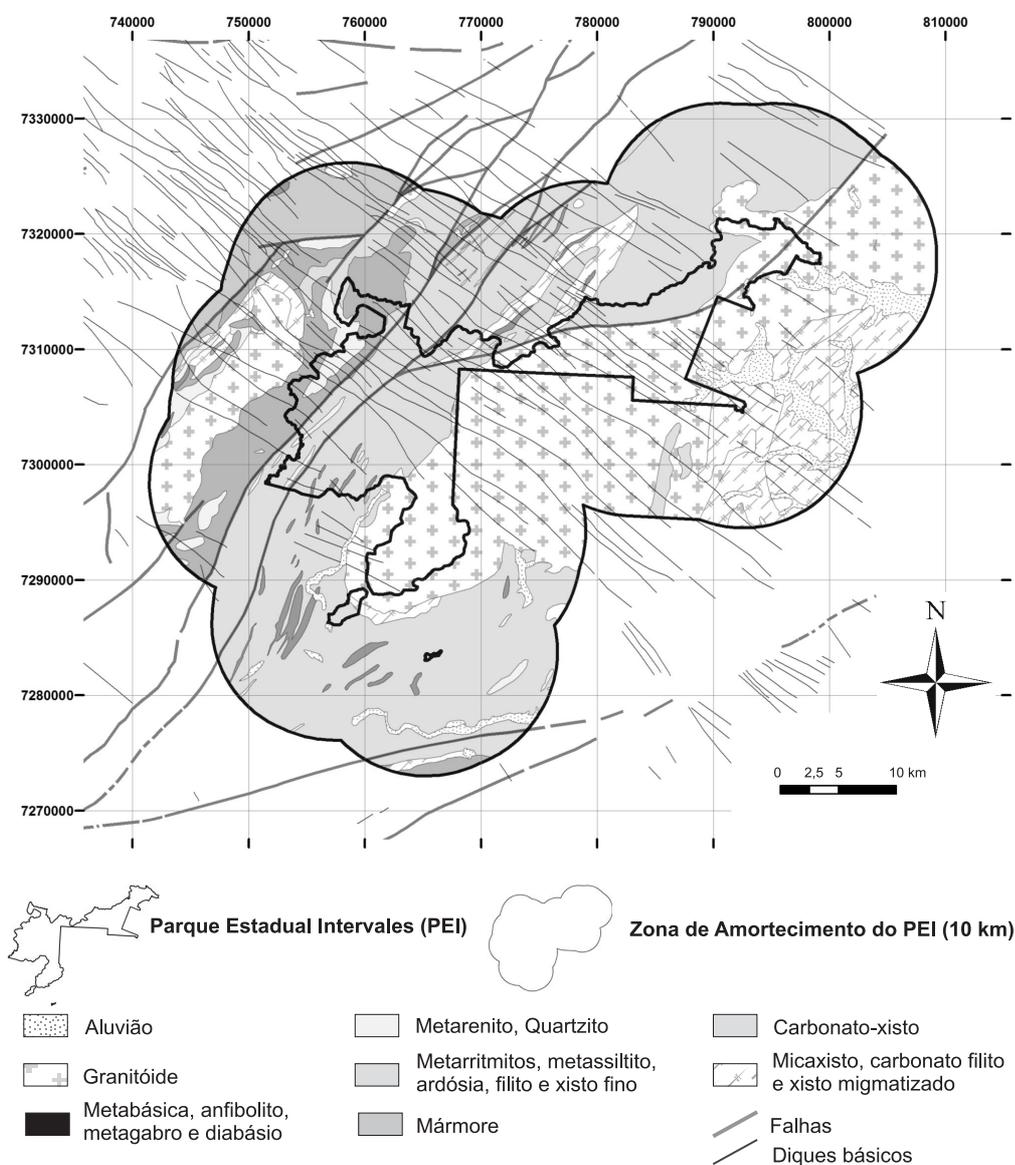


FIGURA 4. Mapa geológico simplificado da área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento.

pelas rochas cataclásticas/miloníticas, de caráter essencialmente transcorrente (posteriores aos eventos deformacionais e metamórficos principais) afetaram toda a área do Pré-Cambriano na área de estudos. Durante o Mesozóico, no Jurássico-Cretáceo, toda a área foi intrudida por uma série de diques de rochas básicas, alojados em estruturas de orientação na direção NW-SE reativadas por esforços tracionais perpendiculares à direção costeira, cortando as rochas pré-

cambrianas do embasamento.

Foi observada maior frequência de lineamentos nas direções NW-SE e NE-SW (Figuras 5 e 6). Os lineamentos de direções NE-SW observados regionalmente em termos de frequência podem ser relacionados à ocorrência de diversos corpos intrusivos de diques básicos, assim como os de direções NW-SE estão relacionados aos principais falhamentos que condicionam as unidades geológicas na região.

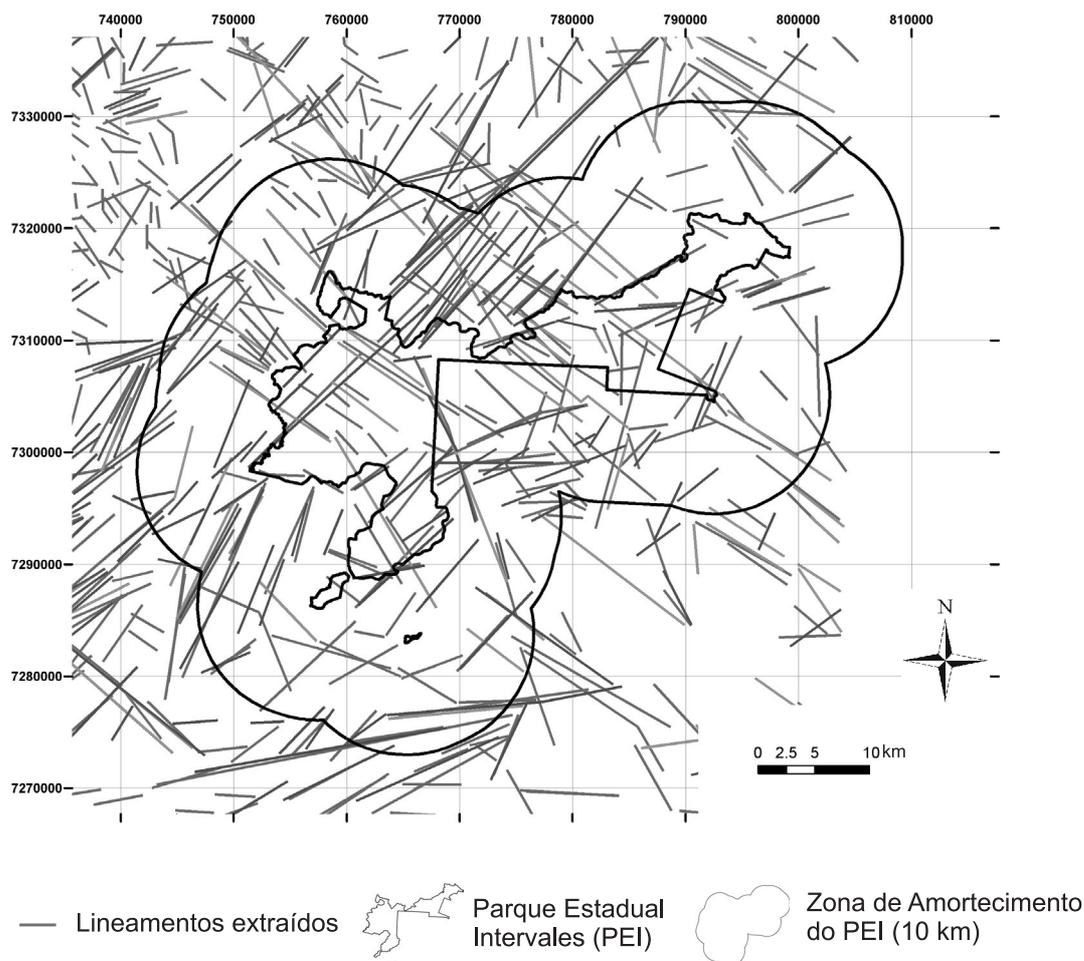


FIGURA 5. Mapa dos lineamentos extraídos de Modelos Digitais de Terrenos (MDTs), com azimute a 45° e iluminação nas direções N45, N135, N225 e N315, da área da Folha Itararé (Folha SG.22-X-B – escala 1:250000).

RECURSOS MINERAIS

A região do PEI e Zona de Amortecimento é detentora de importante potencial mineral, ocorrendo variedade de substâncias, desde ferrosos, metálicos não ferrosos e preciosos, além de minerais industriais diversos e materiais naturais destinados à indústria de construção civil.

São de conhecimento histórico as ocorrências de cobre, ouro, chumbo e prata associada. A região

também encerra importantes reservas de mármore (calcários e dolomitos) que propiciam a exploração mineral empregados na indústria cimenteira e como insumo para a agricultura (corretivo de solo), atuante principalmente na Zona de Amortecimento do PEI. Outros bens minerais encontrados, que podem ser aproveitados eventualmente, são os sedimentos de origem fluvial para construção civil (areia e argila),

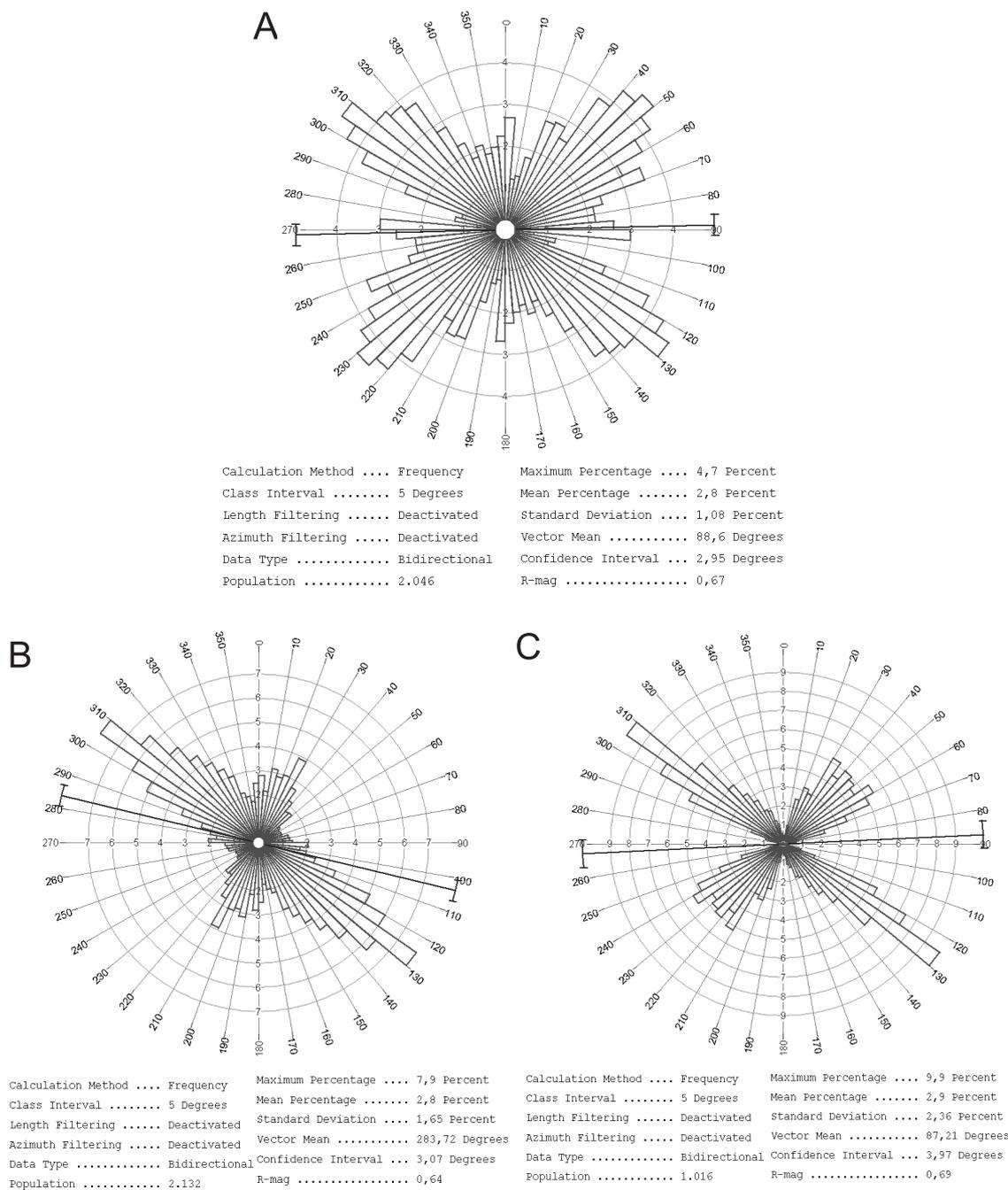


FIGURA 6. Diagramas em rosácea dos lineamentos extraídos da área da Folha Itararé (Folha SG.22-X-B – escala 1:250000) em termos de frequência, à partir de Modelos Digitais de Terrenos (MDTs) (A), Imagem LANDSAT-7 (B) e Mosaico semicontrolado de radar (C).

apresentando depósitos pequenos e sem significado econômico. Gnaisses, granitóides e veios pegmatóides podem ocorrer intemperizados, dando como produto final caulim proveniente da decomposição dos feldspatos, porém sem significado econômico na região.

Ressalta-se que na região do Rio Itacolomi (ou Rio do Leite), localizado na Zona de Amortecimento do PEI, ocorrem anomalias de cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn), com potencial muito significativo de mineralizações, tendo em vista a similaridade com

outros depósitos explorados do Vale do Ribeira, como do Perau e Araçazeiro. Os indícios de mineralizações correspondem à disseminação e/ou finos leitos de galena e pirita em rochas carbonáticas associadas a formações ferríferas bandadas, intercaladas com xistos carbonosos e clorita-sericita quartzo xistos (Morgental et al., 1975).

A partir de dados obtidos em IPT (1981), CPRM (2006) e levantamento das áreas requeridas para pesquisa mineral e/ou lavra nos arquivos do Departamento

mento Nacional de Produção Mineral (DNPM) para a área do PEI e sua Zona de Amortecimento, observa-se como bens minerais na região: areia, argila, calcário e dolomito, chumbo, filito, turfa, cianita, feldspato, fluorita, ouro, pirita e prata (Figura 7).

Em relação à caracterização geológica, as rochas carbonáticas que ocorrem na área do PEI e sua Zona de Amortecimento tem pequena extensão em área, correspondendo a 5,70% da área do PEI e 7,09% da área da Zona de Amortecimento (ZA). Quando é analisada a área conjunta do PEI e da sua ZA, as rochas carbonáticas perfazem 6,49% da área total. Deste total, 16,42 % das rochas carbonáticas ocorrem na área do PEI, onde é expressamente proibida a atividade mineirária, e 83,58% ocorrem na sua Zona de Amortecimento. Na sua Zona de Amortecimento 57,09% estão

localizadas em áreas protegidas, sendo 39,41% no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e 17,67% no Mosaico de Jacupiranga, enquanto 42,91% encontram-se em áreas sem nenhuma restrição ambiental (Figura 8 e Tabela 2).

Do ponto de vista geoquímico, estes carbonatos apresentam composições distintas de CaO e MgO, bem como variações na composição siliciclástica. Essas distintas composições nas rochas carbonáticas da região refletem no tipo de exploração mineral, bem como na compartimentação do Sistema Cárstico e a distribuição das cavidades naturais. As rochas carbonáticas da região apresentam maiores teores de CaO em relação a MgO e SiO₂ (Figura 9), principalmente na área da Zona de Amortecimento do PEI localizada em áreas sem restrição ambiental.

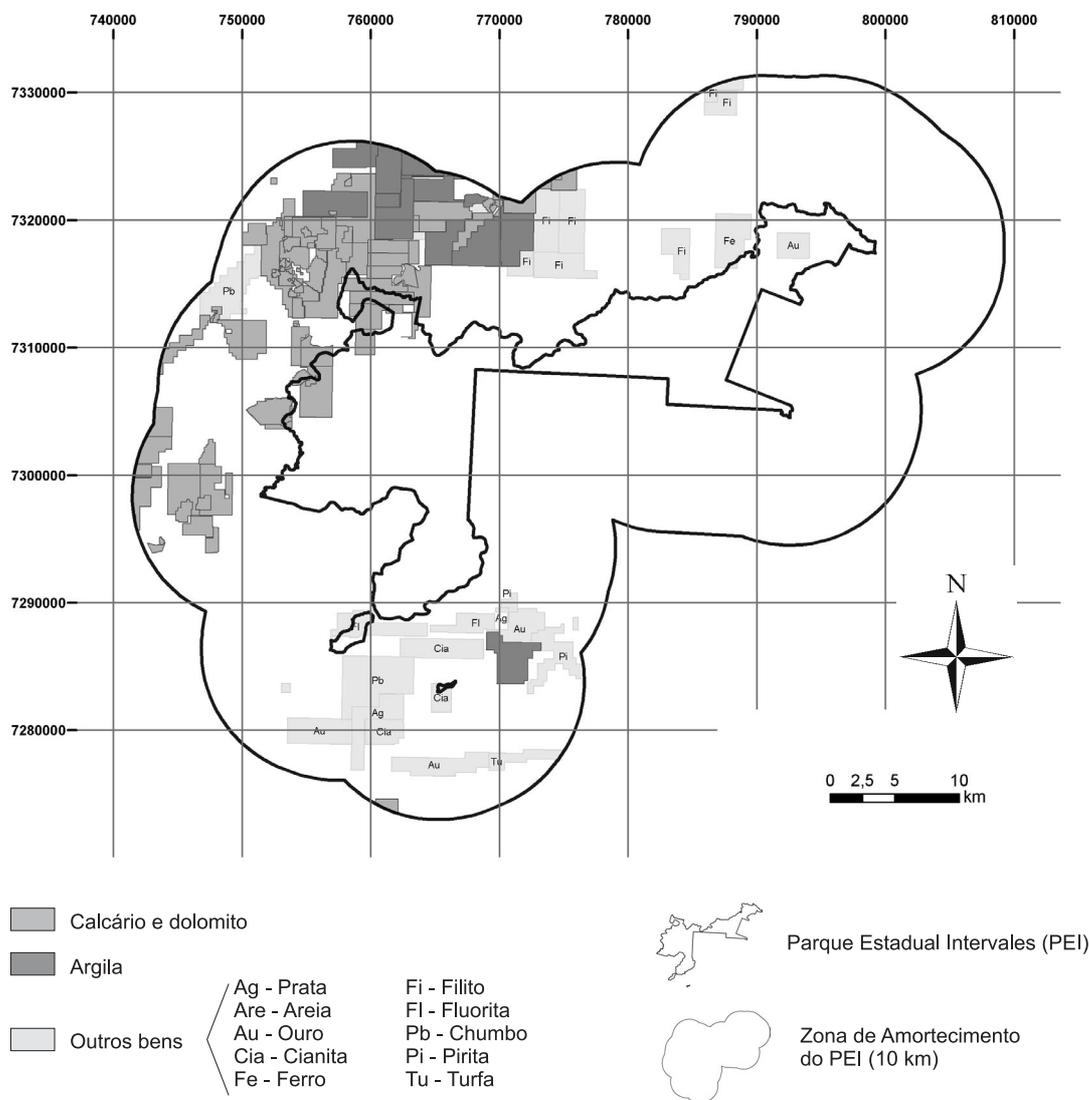


FIGURA 7. Mapa com delimitação das principais ocorrências de bens minerais na área do Parque Estadual Intervalles (PEI) e sua Zona de Amortecimento, a partir dos polígonos delimitados de processos minerários junto ao DNPM.

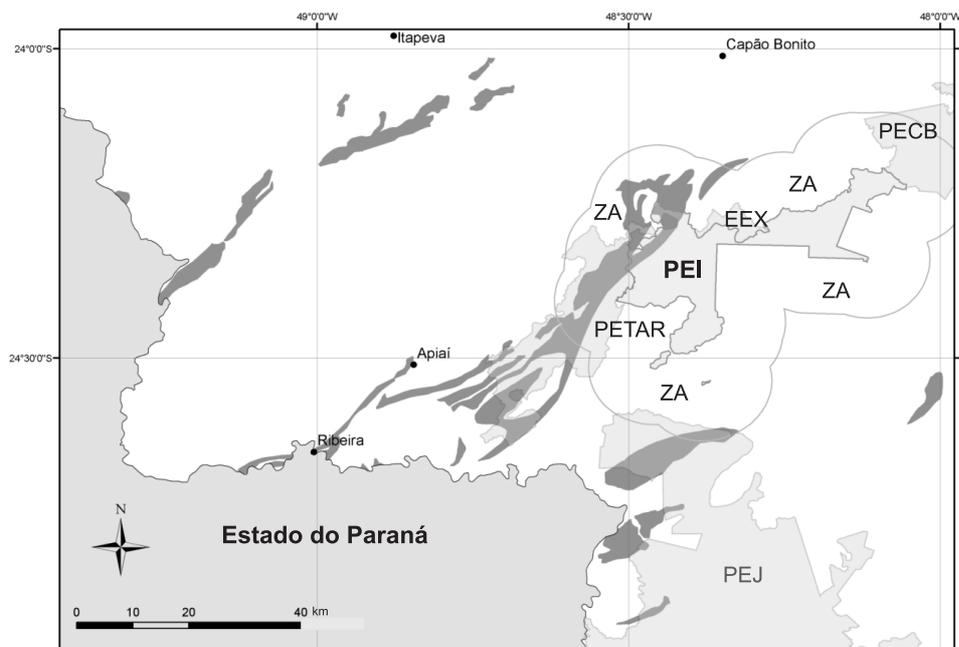


FIGURA 8. Localização das unidades geológicas carbonáticas proterozóicas nas áreas do Parque Estadual Intervalles (PEI) e sua Zona de Amortecimento (ZA), Mosaico de Jacupiranga e Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), Parque Estadual Carlos Botelho (PECB) e Estação Ecológica Xitúé (EEcX).

TABELA 2. Distribuição das rochas carbonáticas no Parque Estadual Intervalles (PEI) e sua Zona de Amortecimento (ZA), que inclui áreas do PETAR (Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira) e Mosaico de Jacupiranga.

Rochas Carbonáticas	% de ocorrência em área em cada unidade	% do total em área de ocorrência (PEI + ZA)	% de áreas protegidas
PEI	5,70%	16,42%	100%
ZA	7,09%	83,58%	57,09%

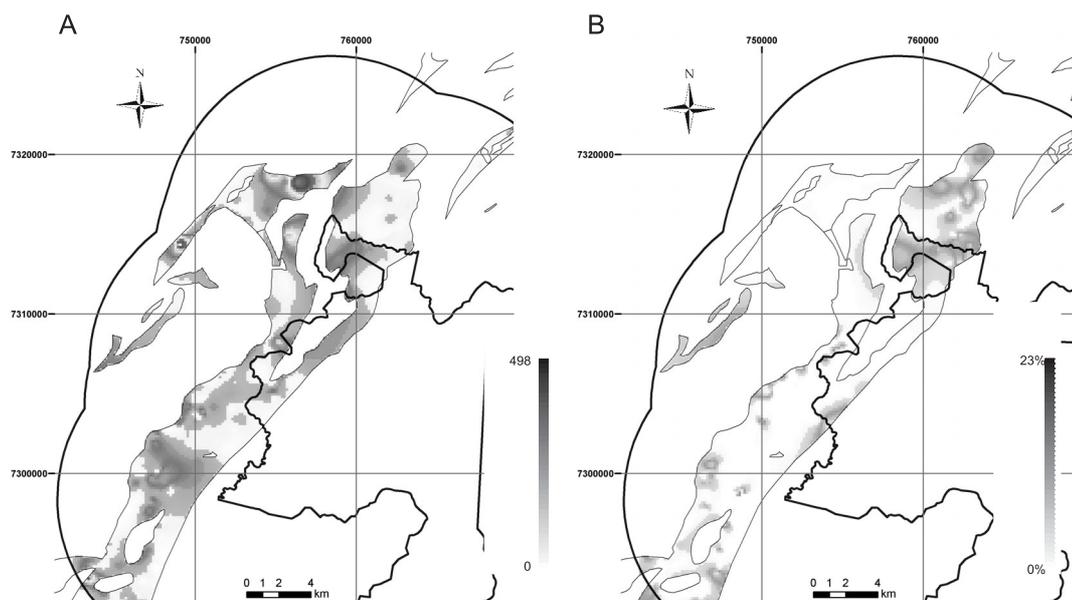


FIGURA 9. Relação CaO/MgO (A) e porcentagem de SiO₂ (B) das unidades geológicas carbonáticas que ocorrem no Parque Estadual Intervalles (PEI) e sua Zona de Amortecimento, incluindo áreas do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR) e Estação Ecológica Xitúé (Fonte: Gonzalez et al., 1972).

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS

Gonzalez et al. (1972) identificou os tipos de aplicação industrial mineral das unidades geológicas carbonáticas do Vale do Ribeira a partir da composição geoquímica (Tabela 3). Na área do Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento foram identificados: calcário para cimento, calcário dolomítico e dolomito calcífero, calcário silicoso para pavimentação e, dolomito para cal e corretivo de solo (Tabela 3).

No ano de 2005 (DNPM, 2006) de todo o calcário comercializado no Brasil, 44,80% foi utilizado pela indústria cimenteira, 18,67% para construção civil, 4,97% para corretivo de solo, 3,72% extração e beneficiamento de minerais e 2,52% para cal. O dolomito e magnesita representa 27% para corretivo de solo, 4,68% para fabricação de óxidos e 3,93% para cal e 2,90% para construção civil. De todo calcário bruto produzido no Estado de São Paulo, 94,5% é

consumido no próprio Estado. Das reservas minerais do Brasil (DNPM, 2006), em São Paulo tem-se de reserva lavrável 7,13% de calcário e 4,04% de dolomito e magnesita (Tabela 4).

As reservas minerais lavráveis que ocorrem nos municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento (Apiáí, Capão Bonito, Eldorado, Guapiara, Iporanga, Ribeirão Grande e Sete Barras) representam, das reservas lavráveis, 67,07% de calcário e 19,87% de dolomito e magnesita do Estado de São Paulo em 2005 (DNPM, 2006) (Tabela 5).

Considerando que de todo calcário bruto produzido no Estado de São Paulo, 94,5% é consumido no próprio Estado (DNPM, 2006), os valores de reservas minerais, produção bruta de minério (Tabela 6), quantidade e valor da produção mineral comercializada (Tabela 7), nos municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento são bem representativos. A maior parte das lavras de minas do Estado de São Paulo em 2005 (DNPM, 2006) são de médio a pequeno porte com mina a céu aberto (Tabela 8).

TABELA 3. Classificação utilizada por Gonzalez et al.(1972) para caracterizar os bens minerais carbonáticos do Vale do Ribeira em relação ao teor de CaO e MgO.

Tipo	CaO	MgO
Calcário para cimento	= 42%	= 4%
Calcário dolomítico e dolomito calcífero	-	4,3 a 19,1%
Calcário silicoso para pavimentação	<42%	< 1%
Dolomito para cal e corretivo de solo	-	19,1 a 22%

TABELA 4. Reservas Minerais de 2005 (DNPM, 2006) de calcário, dolomito e magnesita no Brasil e Estado de São Paulo.

Classe	Reserva (toneladas)			
	medida	indicada	inferida	lavrável
calcário				
Brasil	49.410.979.875	29.959.685.186	26.265.945.460	43.705.014.298
Estado de São Paulo	3.126.753.572	1.945.159.006	679.326.870	3.115.818.617
% da reserva SP	6.33%	6.49%	2.59%	7.13%
dolomito e magnesita				
Brasil	8.797.014.933	3.881.285.385	2.214.345.539	5.127.705.426
Estado de São Paulo	196.252.741	67.177.980	26.144.072	207.170.825
% da reserva SP	2.23%	1.73%	1.18%	4.04%

TABELA 5. Reservas Minerais de 2005 (DNPM, 2006) de calcário, dolomito e magnesita nos municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento.

Municípios que abrangem o PEI e sua Zona de Amortecimento				
calcário				
Classe	Reserva (toneladas)			
	medida	indicada	inferida	lavrável
Apiaí	629.650.643	205.280.743	108.088.000	630.825.643
Capão Bonito	91.180.303	63.635.700	11.346.750	91.180.303
Eldorado	0	0	0	0
Guapiara	280.564.298	87.698.212	70.279.555	246.995.892
Iporanga	782.049.049	804.713.893	102.044.425	720.314.149
Ribeirão Grande	525.499.291	285.457.200	113.491.750	400.558.631
Sete Barras	0	0	0	0
TOTAL	2308943584	1446785748	405250480	2089874618
% da reserva SP	73.84%	74.38%	59.65%	67.07%
dolomito e magnesita				
Classe	Reserva (toneladas)			
	medida	indicada	inferida	lavrável
Apiaí	0	0	0	0
Capão Bonito	1.400.000	3.000.000	0	1.400.000
Eldorado	0	0	0	0
Guapiara	25.894.290	514.670	514.670	25.894.290
Iporanga	8.200.000	8.790.000	4.150.000	8.200.000
Ribeirão Grande	5.676.000	3.656.000	4.046.000	5.676.000
Sete Barras	0	0	0	0
TOTAL	41170290	15497467	8247467	41170290
% da reserva SP	20.98%	23.07%	31.55%	19.87%

TABELA 6. Produção bruta de minério de 2005 (DNPM, 2006).

Classe	Produção em quantidade toneladas	
	Bruta	Beneficiada
calcário		
Brasil	80.379.623	71.321.864
Estado de São Paulo	12.510.844	12.167.037
% de SP na produção nacional	15.56%	17.06%
dolomito e magnesita		
Brasil	6.568.447	1.766.560
Estado de São Paulo	220.631	198.292
% de SP na produção nacional	3.36%	11.22%

TABELA 7. Quantidade e valor da produção mineral comercializada de 2005 (DNPM, 2006).

Classe	Bruta		Beneficiada		Valor Total (R\$)
	quant. (ton)	valor (R\$)	quant. (ton)	valor (R\$)	
calcário					
Brasil	21.932.985	117.942.754	66.311.515	749.326.304	867.269.058
Estado de São Paulo	721.749	3.976.516	9.033.674	147.565.944	151.542.560
% de SP na produção nacional	3.29%	3.37%	13.62%	19.69%	17.47%
dolomito e magnesita					
Brasil	1.048.082	4.747.986	1.800.807	206.078.230	210.826.216
Estado de São Paulo	-	-	198.516	5.900.022	5.900.022
% de SP na produção nacional	0.00%	0.00%	11.02%	2.86%	2.80%

TABELA 8. Porte e modalidade de lavra das minas de São Paulo em 2005 (DNPM, 2006)
(Produção bruta anual: grande- > 1.000.000 ton., média- entre 1.000.000 e 100.000 ton.,
pequena- entre 100.000 e 10.000 ton.; CA: mina céu aberto, M: mina mista, S: mina subterrânea).

Classe	grande			média			pequena			sub-total			Total
	CA	M	S	CA	M	S	CA	M	S	CA	M	S	
calcário	3	0	0	16	1	0	17	0	0	36	1	0	37
dolomito e magnesita	0	0	0	1	0	0	2	0	0	3	0	0	3

HIDROGEOLOGIA

Neste estudo, tentou-se esboçar o potencial e as disponibilidades hídricas subterrâneas na área do PEI e sua Zona de Amortecimento. Porém não há condições de quantificar as parcelas que alimentam o sistema granular ou poroso, o sistema fraturado e o sistema cárstico, devido a sua heterogeneidade e anisotropia. As maiores dificuldades referem-se à determinação da real espessura saturada do sistema, embora a maior densidade de fendas abertas e cavidades naturais ocorrem, em geral, em níveis superficiais em poucos metros de profundidade. Em segundo lugar, e esta constitui a principal dificuldade, não se conhece a distribuição espacial dos coeficientes de armazenamento ou porosidade, além do sistema fraturado não apresentar conectividade em profundidade, enquanto o sistema cárstico provavelmente apresenta conectividade em profundidade.

Pode-se fazer uma estimativa muito preliminar da reserva de água subterrânea que ocorre na área do PEI e sua Zona de Amortecimento admitindo-se os seguintes valores: área de cerca de 2480 km², espessura saturada de 60 m, porosidade eficaz 0,001, resultando em uma reserva permanente de 1.488.000 m³.

UNIDADES AQUÍFERAS

A compartimentação dos sistemas aquíferos da área do PEI e sua Zona de Amortecimento foi realizada com base nos litotipos e descontinuidades presentes, e da interpretação da natureza da porosidade apresentada pelos mesmos. As unidades aquíferas da área de estudo podem ser agrupadas em três sistemas de aquíferos distintos: sistema granular ou poroso e sistema fraturado (Tabela 9 e Figura 10).

Sistema Granular ou Poroso

Composto pelos depósitos sedimentares cenozóicos, formando aquíferos aluviais, de coberturas coluviais, tálus e mantos de alteração. Apresentam níveis d'água profundos e rasos, devido à sua condição topográfica variada, pequena espessura saturada e baixa vazão específica. Suas condições de ocorrência favorecem uma rápida drenagem e alimentação dos cursos d'água, tendo importante função reguladora do escoamento superficial.

Este sistema ocupa uma área de cerca de 140 km², perfazendo cerca de 3,24% da área de recarga, e

TABELA 9. Unidades aquíferas da área estudada e características hidráulicas. Condutividades hidráulicas estimadas com base nas características texturais e estruturais das rochas. Valores tabelados extraídos de Freeze & Cherry (1979) e Fetter (1994).

Sistema de Aquíferos	Unidade aquífera	Tipo de porosidade	Condutividade hidráulica (cm/s)
Granular ou Poroso	Depósitos sedimentares cenozóicos (aluvial, coberturas colúviais, tálus e mantos de alteração)	Permeável, porosidade primária: intergranular	10^{-7} a 10^{-2}
Faturado	Granitóides Supergrupo Açungui (Formação Água Clara, Grupo Setuva e Grupo Votuverava)	Impermeável e porosidade secundária: planos de estratificação, descontinuidades	10^{-7} a 10^{-2}
Cárstico	Grupo Votuverava (Subgrupo Lajeado – Form. Bairro da Serra e Form. Mina de Furnas)	Condutos e porosidade secundária (planos de estratificação e descontinuidades como fraturas, falhas e xistosidade)	10^{-7} a 10^{-2}

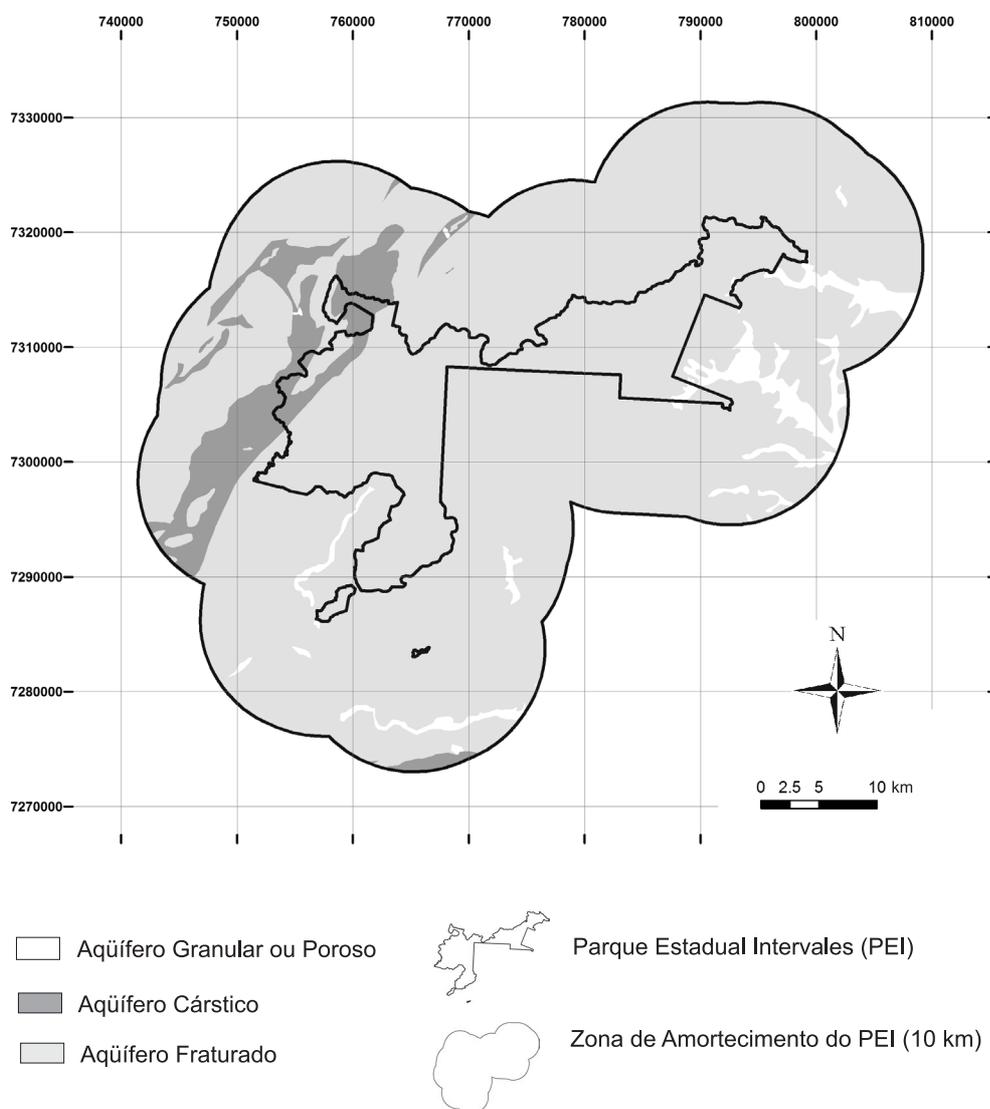


FIGURA 10. Sistema de aquíferos que ocorrem no Parque Estadual Intervales (PEI) e sua Zona de Amortecimento.

assumem importância em alguns trechos dos principais rios da região.

Nos períodos sem chuva a água percola pelo sistema granular ou poroso de forma lenta e gradativa para o topo do aquífero fraturado e cárstico, responsável pelo abastecimento do deflúvio da bacia. Já nos períodos chuvosos, a infiltração da água é alta e a profundidade do nível de água subterrâneo se eleva enquanto a frente de molhamento estende-se em direção às camadas mais profundas ou de menos permeabilidade do sistema fraturado e cárstico, a direção do fluxo da água na camada saturada do sistema granular ou poroso é desviada ao longo da declividade do terreno, resultando no escoamento subsuperficial, que é o responsável pelo aumento do deflúvio da bacia.

Os aquíferos aluviais apresentam pequenas espessuras (da ordem de uma dezena de metros), correspondendo aos aluviões que ocorrem nos principais rios da área. Apresentam níveis d'água próximo à superfície e recebem recarga direta das águas de escoamento superficial, com as quais mantêm conexão hidráulica constituindo uma zona de trocas ativas rio-aquífero, e por infiltração meteórica. Provavelmente os aquíferos aluviais apresentam o nível de água próximo à superfície durante a estação chuvosa e algum tempo após o início da estação seca, sendo cursos de água efluentes. Em seguida, sofrem um rebaixamento acentuado, sendo cursos de água influentes. Embora não se tenha informação local da condutividade hidráulica, a mesma deve variar bastante em função da natureza dos sedimentos como arredondamento, seleção e empacotamento.

Os aquíferos em coberturas colúviais, tálus e mantos de alteração compreendem os pacotes de sedimentos detríticos e coberturas de natureza colúvionar e de tálus, que configuram condições favoráveis a infiltração de modo que constituem as principais áreas de recarga da região.

A recarga nos aquíferos de cobertura ocorre diretamente através da percolação de água meteórica em suas áreas de ocorrência, apresentando níveis d'água mais profundos, em comparação aos aquíferos aluviais. As coberturas têm em geral permeabilidade elevada, razão pela qual as águas neles infiltradas percolam até o topo do substrato impermeável de rochas Granitóides, do Supergrupo Açungui ou do Grupo Votuverava, formando um lençol freático pouco espesso. O escoamento dessas águas é comandado pela inclinação do substrato e pelos sistemas de fraturas subjacentes, formando zonas de descarga nas escarpas, constituindo fontes ou nascentes de encostas, no contato com as rochas quando estão pouco alteradas, devido a diferença de porosidade e permeabilidade entre as unidades geológicas.

Porém, quando as rochas Granitóides do Supergrupo Açungui ou do Grupo Votuverava apresentam espessuras razoáveis de material alterado ou com descontinuidade adequada (descontinuidades com extensão, abertura e grau de conectividade) é favorável à recarga para o meio fissurado. Neste caso o aquífero atua como meio condutor, e não armazenador.

Sistema Fraturado

Na área do PEI e sua Zona de Amortecimento predominam os aquíferos em meio fraturado. Como os sistemas fraturados têm uma permeabilidade primária muito baixa ou nula, podendo ser considerada impermeável, a ocorrência e o armazenamento de água restringem-se aos sistemas de descontinuidades (juntas, fraturas, falhas, estratificação, xistosidade). Embora algumas fontes ou pequenas filtrações possam ocorrer nas encostas e cabeceiras de drenagem, a descarga desses aquíferos se processa principalmente no fundo dos vales.

No sistema fraturado ocorre o *Aquífero Granitóides, Aquífero Supergrupo Açungui ou Aquífero Grupo Votuverava* que apresentam feições estruturais com maior ou menor incidência e densidade de fraturas responsáveis por variações locais na permeabilidade. Tais comportamentos devem-se ao alargamento da abertura de juntas, e ao melhor desenvolvimento das descontinuidades em rochas mais competentes.

A área do PEI e sua Zona de Amortecimento, este sistema ocupa uma área de cerca de 3900 km², perfazendo cerca de 90,27% da área de recarga, e assumem maior importância na região.

As rochas Granitóides, do Supergrupo Açungui e do Grupo Votuverava apresentam manto de alteração, que aloja rede de drenagem mais densa com direções concordantes aos padrões estruturais regionais, facilitando o escoamento superficial em detrimento da infiltração. A recarga deste aquífero ocorre através da infiltração direta em suas descontinuidades, através de água meteórica, ou infiltração através da cobertura que forma o manto de intemperismo.

O *Sistema Granular ou Poroso* recobre o *Sistema Fraturado* em várias localidades em discordância erosiva. No geral, os sedimentos cenozóicos apresentam maiores valores de condutividade hidráulica, favorecendo uma infiltração mais rápida para o topo do *Sistema Fraturado*. A baixa condutividade hidráulica de alguns setores de coberturas formadas por alteração intempérica, dependendo do tipo de rocha geradora, pode atuar como retardador na infiltração no caso de espessuras elevadas, influenciando em condições de recarga, circulação e armazenamento do *Sistema Fraturado* porque adquire nesta zona porosidade secundária do tipo granular. O *Sistema Fraturado* corresponde a uma

parcela do fluxo de base dos rios da região, considerando a parcela de recarga indireta que recebem dos aquíferos de cobertura.

Sistema Cárstico

A área do PEI e sua Zona de Amortecimento, este sistema que ocorre em rochas carbonáticas, ocupa uma área de cerca de 280 km², perfazendo cerca de 6,49% da área de recarga.

Os sistemas cársticos têm uma permeabilidade primária muito baixa ou nula, podendo ser considerada impermeável, sendo que a ocorrência e o armazenamento de água restringem-se a porosidade secundária, que é gerada por dissolução na rocha, formando cavidades. Essas cavidades desenvolvem-se preferencialmente ao longo de sistemas de discontinuidades (juntas, fraturas, falhas e estratificação), devido a favorabilidade de percolação de água nestes meios. A absorção e o transporte de água ocorre sob a superfície, o que leva ao surgimento de feições de relevo típicas, ligadas ao sistema de condutos subterrâneos por onde a água é conduzida.

As rochas que compõem o sistema cárstico podem apresentar um manto de alteração, que aloja rede de drenagem mais densa com direções concordantes aos padrões estruturais regionais, facilitando o escoamento superficial em detrimento da infiltração. A recarga deste

aquífero ocorre através da infiltração direta em suas descontinuidades e cavidades geradas, através de água meteórica ou infiltração através da cobertura que forma o manto de intemperismo.

O *Sistema Granular ou Poroso* recobre o *Sistema Cárstico* em várias localidades em discordância erosiva. No geral, os sedimentos cenozóicos apresentam maiores valores de condutividade hidráulica, favorecendo uma infiltração mais rápida para o topo do *Sistema Cárstico*.

VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS AQUIFEROS À CONTAMINAÇÃO

Na simulação do risco de contaminação da água e do solo por efluentes gerados, segundo método GOD (Foster et al., 2002), o *Sistema Fraturado* apresenta vulnerabilidade do aquífero à contaminação em Média (não coberto) a Baixa (coberto). O *Sistema Granular ou Poroso*, cujo nível d'água encontra-se com menor profundidade, e o *Sistema Cárstico* – coberto apresentaram vulnerabilidade do aquífero à contaminação em Alta. Vulnerabilidade Extrema do aquífero à contaminação só foi identificada para o *Sistema Cárstico* – não coberto. A Tabela 10 apresenta os valores de GOD e o grau de vulnerabilidade calculado para cada sistema aquífero identificado.

TABELA 10. Parâmetros GOD (Foster et al., 2002) e graus de vulnerabilidade calculados para os sistemas aquíferos identificados (G: grau de confinamento; O: ocorrência de substrato suprajacente; D: distância do nível da água subterrânea).

Sistema	G	O	D	Resultado	Grau de Vulnerabilidade
Granular ou Poroso	1,0	0,7	0,9	0,63	Alta
Fraturado – coberto	0,6	0,4	0,8	0,19	Baixa
Fraturado – não coberto	1,0	0,4	0,8	0,32	Média
Cárstico – coberto	0,6	0,9	1,0	0,54	Alta
Cárstico – não coberto	1,0	1,0	1,0	1,0	Extrema

CONCLUSÕES

Foi obtido um quadro geral geológico, correlacionando a forma de ocorrência de tipos litológicos (rochas metamórficas, ígneas e sedimentares), estruturas tectônicas (direções SW-NE, NE-SW, NW-SE e NNE-SSW), históricas ocorrências minerais (calcários, dolomitos, areia, argila, cobre, chumbo e prata) e as disponibilidades hídricas subterrâneas.

Na área do PEI e sua Zona de Amortecimento há destaque em relação às rochas carbonáticas, que contem um Sistema Cárstico com diversas cavidades naturais, um dos maiores atrativos turísticos do PEI, e

constante conflito com a atividade minerária por conter os bens minerais mais explorados da região. Este conflito minerário existe devido ao fato de que a maior parte de unidades carbonáticas proterozóicas com grande potencial para a indústria cimenteira localizam-se na região sul do Estado de São Paulo, no Vale do Ribeira. Grande parte dessas reservas minerais, com composições mais calcíticas, encontram-se em áreas protegidas, como no Parque Estadual Intervales (PEI), no Mosaico de Jacupiranga e Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), ou ocorrem em áreas sem

restrição ambiental, mas apresentam composições mais dolomíticas ou silicosas como na região dos municípios de Itapeva, Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé.

É justamente em rochas carbonáticas com estas condições que se desenvolvem sistemas cársticos. Verificou-se que as rochas mais favoráveis ao desenvolvimento de carste (mais calcíticas e com menos sílica) encontram-se dentro do PEI e PETAR, enquanto as rochas do Zona de Amortecimento são mais magnesianas e mais impuras. Além disso, a norte do PEI e na ZA ocorre grande quantidade de diques de diabásio associados ao Enxame de diques de Guapiara, o que também pode dificultar a carstificação. Apesar das rochas carbonáticas ter pequena extensão em área no PEI e sua Zona de Amortecimento, 42,91% estão em áreas sem nenhuma restrição ambiental, assim representam um grande conflito devido a sua extrema vulnerabilidade. Dessa forma, os dados coletados no tópico Geologia foram considerados insuficientes para a tomada de decisões quando a adequada gestão sustentável no PEI e sua Zona de Amortecimento do Sistema Cárstico.

Em áreas com um Sistema Cárstico, os estudos dos Planos de Manejo envolvem variáveis mais complexas, devido a interação entre os diversos temas que convergem para os fenômenos cársticos envolvidos (meio físico, biótico e social). Dessa forma, o tema Geologia indicou as diretrizes para o desenvolvimento de novos temas nos Planos de Manejo para o adequado zoneamento ambiental.

Como conclusão no Plano de Manejo do Parque Estadual Intervales (PEI), diagnosticou-se a necessidade de um aprofundamento maior sobre o tema Sistema Cárstico, que foi concluído como um novo capítulo no Plano de Manejo, tendo por objetivo indicar direções para o estabelecimento de política de uso dos recursos espeleológicos na área em estudo, principalmente por não estarem em áreas de restrição ambiental. O Zoneamento Ambiental final que agrega os diversos diagnósticos, inclusive Geologia e Sistemas Cársticos, foi aprovado no CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente) no dia 18 de fevereiro de 2009.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ginaldo A.C. Campanha (IGc-USP) pelo fornecimento da base geológica em formato digital. À Fundação para a conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo, da Secretaria do Meio Ambiente (SP), e ao Departamento de Geografia da FFLCH da Universidade de São Paulo (USP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, p. 349-364, 1977.
2. BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J.H.; BAARS, F.J.; DELGADO, I.M.O.; ABRAM, M.B.; LEÃO NETO, R.; MUNIZ DE MATOS, G.M.; SCHNEIDER SANTOS, J.O. **Mapas de Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG**. Brasília: CPRM, 4 CD-Rom (Escala 1:2.500.000), 2001.
3. CAMPANHA, G.A.C. **Tectônica Proterozóica no Alto e Médio Vale do Ribeira, Estados de São Paulo e Paraná**. São Paulo, 1991. 296 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
4. CAMPANHA, G.A.C. **O papel do sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes na configuração da porção meridional da Faixa Ribeira**. São Paulo, 2002. 105 p. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
5. CAMPANHA, G.A.C. & SADOWSKI, G.R. Cinturão Ribeira: tectônica e questões pendentes sobre sua evolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1998, p. 17.
6. CAMPANHA, G.A.C. & SADOWSKI, G.R. Tectonics of the Southern Portion of the Ribeira Belt (Aparai Domain). **Precambrian Research**, v. 98, n. 1, p. 31-51, 1999.
7. CAMPANHA, G.A.C.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, M.A. Considerações sobre a organização litoestratigráfica e evolução tectônica da faixa de dobramentos Aparai. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba. **Atas...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987, v. 2, p. 725-742.
8. CAMPOS NETO, M.C. Orogenic systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano - Pan African Cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil. In: CORDANI, U.G. (Coord.), **Tectonic evolution of South America**. Rio de Janeiro, p. 335-365, 2000.
9. CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo: Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**. Brasília: MME, Programa Geologia do Brasil: Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais escala 1:750000, CD-ROM, 2006.
10. DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro – AMB 2006**. Brasília: MME/DNPM, v. 34, 763 p., 2006.
11. ESDI – EARTH SCIENCE DATA INTERFACE. **Global Land Cover Facility**. Disponível em: <<http://glcf.umd.edu/data/>>2004.
12. FETTER, C.W. **Applied hydrogeology**. New York: Millan College Publisher Co., 680 p., 1994.
13. FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 604 p., 1979.
14. FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Protección de la Calidad del Agua Subterránea**. Washington D.C: Groundwater Management Advisory Team (GW-MATE)/Banco Mundial, 115 p., 2002.

15. GALANTE, M.L.V.; BESERRA, M.M.L.; MENEZES, E. **Roteiro metodológico de planejamento. Parque Nacional, Reserva Biológica, Estação Ecológica.** Brasília: IBAMA, 136 p., 2002.
16. GONZALEZ, L.A.; CAVALCANTE, J.; PAIVA, I.; FRANCISCONI, Ó.; PINTO, G.G.; DRUMOND, J.B.V. **Projeto Calcário para Cimento.** São Paulo: DNPM/CPRM, v. 1 e 2, 151 p., 1972.
17. HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, p. 257-266, 1975.
18. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa de jazidas e ocorrências minerais do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 758 p. (IPT, Monografias 4, Publicação 1171), 1981.
19. MORGENTHAU, A.; BATOLLA JUNIOR, F.; PINTO, G.G.; PAIVA, I.P.; DRUMOND, J.B.V. **Projeto Sudelpa - Relatório Final.** São Paulo: CPRM, 18 v., 1975.
20. RADAMBRASIL. Folha SG.22-X-B, Mosaico semicontrolado de radar - **Projeto Radambrasil. Escala 1:250.000**, DNPM, 1976.
21. SRTM – **SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION.** Disponível na Internet via URL: <http://strm.usgs.gov>. 2004.
22. TREIN, E.; REIS NETO, J.M. DOS; BIONDI, J.C.; MONASTIER, M.S. Revisão da Formação Itaiacoca: identificação de uma seqüência metavulcano-sedimentar em Abapã (PR). In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5, 1985, São Paulo. **Atas...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1985, v. 1, p. 169-185.

*Manuscrito Recebido em: 10 de setembro de 2008
Revisado e Aceito em: 30 de março de 2009*

