

12.1.2.2. Espeleologia – Feições Cársticas e Pseudocársticas

a) Introdução

A avaliação do patrimônio espeleológico existente na Área de Influência Direta (AID) do reservatório da UHE Tijuco Alto é resultado da integração de trabalhos anteriores que compreendem:

- ✓ estudos ambientais complementares efetuados pelo CNEC (1991), de forma a atender as exigências dos órgãos licenciadores quando do primeiro EIA-RIMA da UHE Tijuco Alto (CBA, 1991), e que envolveram o cadastramento, mapeamento e caracterização geológico-estrutural e evolutiva das feições cársticas e pseudocársticas, resultando na indicação de um modelo de desenvolvimento dessas estruturas e padrão de circulação subterrânea;
- ✓ estudos de integração desenvolvidos pelo IPT (1997), a partir dos dados geológicos, estruturais, hidrogeológicos e de carsticidade, com o objetivo de caracterizar detalhadamente os sistemas cársticos e o regime atual de percolação da água, bem como as possíveis alterações nas condições naturais de percolação com a formação do reservatório;
- ✓ mapeamento e estudos adicionais voltados para a complementação do diagnóstico ambiental referente ao EIA-RIMA atual (CNEC, 2004), que se concentraram especificamente na área do médio rio do Rocha, região de Gramados, próximo ao Vale do Rocha.

A partir da avaliação do potencial espeleológico e da compreensão do processo de carstificação e respectivo zoneamento hidrogeológico na área afetada pela UHE Tijuco Alto, é possível analisar as implicações do enchimento do reservatório sobre a perda do patrimônio espeleológico, as alterações na percolação regional, na velocidade de carstificação das rochas carbonáticas e a poluição do aquífero dos maciços calcários carstificados, assim como a própria estanqueidade do reservatório. Com o dimensionamento da natureza dos impactos do reservatório sobre os maciços carstificados propõem-se programas ambientais que visem monitorar/controlar as questões levantadas acima.

b) Materiais e Métodos

Os estudos de levantamento e caracterização das feições cársticas e pseudocársticas, citados anteriormente, foram executados obedecendo a um planejamento composto por etapas de escritório e campo, conforme especificado na seqüência.

As atividades de escritório, pré-campo, englobaram essencialmente a pesquisa bibliográfica, seleção de cartografia básica, foto-interpretação e programação/organização dos trabalhos de campo.

- Pesquisa bibliográfica e aquisição de materiais

A compilação de informações secundárias existentes sobre a área objeto de estudo envolveu a obtenção de dados e mapas sobre geomorfologia, geologia, estruturação das rochas e feições cársticas catalogadas, com o objetivo de avaliar o conhecimento pré-existente.

Os materiais utilizados foram (i) folhas topográficas em escala 1:250.000 e 1:50.000; (ii) fotos aéreas em escala 1:25.000 (ano 1980) do Instituto de Terras e Cartografia (ITC-PR) e 1:35.000 (arquivo IPT); e (iii) imagens de satélite Landsat 5 TM (passagem de 09/set/90) e

Landsat 7 ETM (WRS 220/77 e WRS 221/77, passagens de 02/09/02 e de 11/10/02, respectivamente) em papel fotográfico, composição colorida RGB/543, e em arquivo digital, ortorretificado e georreferenciado. Com base nesses materiais foram preparadas as bases cartográficas necessárias para as etapas de foto-interpretação e levantamento de campo.

Também se utilizou o Cadastro das Cavernas do Paraná, organizado pelo Grupo de Estudos Espeleológicos do Paraná/GEEP-Açungui, o qual fornece o grau de conhecimento sobre as cavidades nesse estado, de forma simplificada, através do registro das informações necessárias para sua localização e acesso.

- Foto-interpretação

A foto-interpretação das imagens de satélite e fotos aéreas teve por objetivo a identificação dos padrões e contatos das principais unidades geológicas que afloram no entorno do reservatório, da estruturação das rochas e em especial do maciço calcário (foliação, fraturas, zonas de cisalhamento) e das feições cársticas superficiais, tais como dolinas, uvalas, vales cegos, sumidouros/ressurgências, além de outros indícios (afloramentos, paredes rochosos) favoráveis ao desenvolvimento de grutas, abismos, tocas, locais, buracos, entre outros.

As informações extraídas a partir da fotointerpretação, juntamente com os dados secundários levantados, foram lançadas em bases cartográficas na escala 1:50.000, de forma a permitir o direcionamento e a otimização dos locais a serem investigados em campo.

- Trabalhos de campo

Em cada um dos estudos mencionados acima foram realizadas campanhas de campo com objetivos específicos conforme relacionado a seguir.

Em 1991 foram realizadas duas campanhas de campo pelo CNEC, nos períodos de 06 a 13/03 e 02 a 11/04, com vistas a cadastrar e mapear/caracterizar as feições cársticas e pseudocársticas descobertas/inferidas durante a investigação fotogeológica. Nesse estudo, que contou com o auxílio de guias locais e informações de moradores da região, foi identificada a maioria das feições inventariadas nesse diagnóstico. Cada feição foi descrita e mapeada por meio de levantamento topográfico. Na época, nas grutas e abismos, a topografia desenvolvida estava de acordo com o nível 4C, enquanto nas feições secundárias, correspondeu a níveis 2B/3B, considerando-se a escala da BCRA (*British Caves Research Association*). Os levantamentos foram realizados em toda a AID e também compreenderam observações voltadas para a caracterização da fauna cavernícola.

O IPT realizou um trabalho de campo entre os dias 9 e 18 de junho de 1997, com a finalidade principal de inspecionar algumas das feições cársticas cadastradas anteriormente pelo CNEC e verificar suas relações e adequações ao modelo estrutural-hidrogeológico proposto. Os estudos concentraram-se na área do reservatório, que será instalado sobre rochas carbonáticas, desde o eixo da barragem até pouco a montante do rio do Rocha, onde está o contato (N e W) com as rochas intrusivas do Granito Três Córregos e com os metassedimentos siliciclásticos, a S-SE da Zona de Cisalhamento Ribeira.

Entre os dias 9 e 18 de setembro de 2004, o CNEC efetuou novo levantamento de campo, direcionado particularmente para a região de Gramados (Cerro Azul-PR), no médio curso do rio do Rocha, com a finalidade de complementar o cadastramento anterior (CNEC, 1991). Essa campanha, também executada por uma equipe especializada em prospecção e mapeamento de cavernas, envolveu simultaneamente o detalhamento topográfico e a análise bioespeleológica. Este novo levantamento concentrou-se na citada região,

porquanto a mesma se mostrou mais favorável ao desenvolvimento de dolinas e outras feições.

As atividades de campo contaram com o apoio de mapas, para auxiliar no reconhecimento da área, identificação e localização dos acidentes geográficos, das quebras de relevo, dos elementos estruturais, das dolinas, dos paredões, entre outras informações obtidas em escritório. Utilizou-se um aparelho de GPS (Sistema de Posicionamento Global) para a plotagem na base cartográfica dos pontos descritos em campo.

– Levantamento topográfico

Para a atividade topográfica, realizada em todas as cavernas englobadas no projeto, utilizaram-se os seguintes equipamentos: bússola SUNNTO, para a medição dos ângulos horizontais; clinômetro SUNNTO, para a medição dos ângulos verticais; bússola de geólogo BRUNTON, para a determinação de atitudes das camadas e trena centimetrada de PVC, para a determinação das distâncias.

As bases topográficas foram marcadas e posicionadas com plásticos coloridos, para que na topografia houvesse condições de se efetuar verificações e/ou correções, quando necessário. As bases foram posicionadas em locais onde ocorria uma mudança significativa na morfologia da caverna ou, ainda, em pontos onde eram necessários detalhamentos e/ou amarrações.

Em condutos mais amplos ou em salões utilizaram-se dois métodos principais para melhor determinar as suas dimensões: a poligonal fechada e a irradiação. Para cada base topográfica foram tomadas medidas laterais e verticais, perpendiculares às visadas, sempre com o uso da trena centimetrada, com exceção das medidas de altura acima das bases que foram estimadas, algumas vezes, em virtude da altura de alguns condutos e salões tornar impraticável o uso da trena.

– Levantamento Interno

A metodologia utilizada no detalhamento topográfico das cavidades descobertas no último trabalho de campo (CNEC, 2004) baseia-se na classificação da União Internacional de Espeleologia (UIS). Para a execução dos mapas topográficos resultantes, utilizou-se a simbologia homologada nas Normas e Convenções Espeleométricas, publicadas pela SBE em 1991, com algumas pequenas adaptações para casos específicos. Para estes levantamentos internos, optou-se para as cavidades cadastráveis, por obter um grau de detalhamento/precisão mínimo 3B de acordo com a classificação da UIS.

Para as cavidades cadastradas, recorreu-se às definições publicadas pela Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE, 1991), que determina:

- ✓ para gruta: desenvolvimento predominantemente horizontal igual ou superior a 20 m,
- ✓ para abismo: desenvolvimento predominante vertical igual ou superior a 10 m.

Os outros indícios espeleológicos verificados em campo que **não se encaixavam nessas definições foram considerados como feições cársticas secundárias.**

Para a execução das topografias das cavidades, utilizou-se de uma equipe composta por três pessoas: (i) topógrafo (opera os instrumentos); (ii) ponta de trena/escriva (determina a posição das bases topográficas e serve de mira para o topógrafo, e também anota os dados cantados pelo topógrafo); e (iii) croquista (esboça um croqui da cavidade).

– Levantamento Fotográfico

Realizou-se ainda, um levantamento fotográfico tendo como objetivo ilustrar e organizar as observações de campo ou acidentes geográficos de relevância, envolvidos no trabalho. Esta documentação fotográfica pretende ilustrar a situação atual desses ambientes.

• Tratamento dos Dados

Após os trabalhos de campo, em 1991, foram elaboradas fichas de cadastramento individuais para cada uma das feições mapeadas. Os dados de cota altimétrica da entrada, desenvolvimento, desnível, situação topográfica em relação ao perfil da vertente e litologias/unidades geológicas hospedeiras foram analisados e organizados em quadro-síntese. As feições foram plotadas na base cartográfica, em escala 1:50.000, de forma a se conhecer e analisar a sua distribuição espacial na área afetada pelo reservatório e avaliar a perda do patrimônio espeleológico com a implantação da UHE Tijuco Alto.

Com a análise e interpretação dos dados reunidos em campo, em 1997, o IPT refinou a compreensão sobre os mecanismos de formação e evolução dos sistemas cársticos no Alto Vale do Ribeira. Propôs uma compartimentação da área em diversos sistemas cársticos e estabeleceu o zoneamento hidrogeológico do maciço calcário carstificado. Para avaliação dos efeitos do enchimento do reservatório sobre o lençol freático foi executada uma simulação dos fluxos subterrâneos através do *software Modflow*.

Com relação aos dados topográficos coletados no trabalho de campo mais recente (CNEC, 2004), estes foram processados em programa específico de topografia (*Survex 1.0.31*). Os resultados obtidos foram analisados, a linha de trema resultante da topografia foi importada para programas gráficos, sendo assim elaborados os desenhos finais dos mapas topográficos.

Os mapas finais tiveram como prioridade a confecção de plantas (projeção horizontal), perfil longitudinal e/ou retificado e cortes longitudinais. Através desses mapas foram determinadas as medidas de projeção horizontal, desenvolvimento linear e de desnível total ou absoluto de cada cavidade.

Os novos dados produzidos serão enviados ao Grupo de Estudos Espeleológicos do Paraná/GEEP-Açungui para incorporação ao Cadastro, de modo que cada cavidade receba uma codificação específica.

Com relação às cavernas cadastradas em 1991, foi feita a atualização de seus números de cadastro e a revisão completa de seus dados.

c) Integração dos Dados Anteriores

Os relatórios elaborados a partir dos estudos anteriores foram analisados e integrados, de forma a se produzir uma avaliação consolidada sobre o potencial espeleológico existente na AID do empreendimento, bem como contabilizar e determinar a relevância da perda desse patrimônio com o alagamento da área até a cota 300 m, pelo enchimento da barragem da UHE Tijuco Alto.

Foi realizada uma nova campanha de campo, entre os dias 10 e 13/01/2005, direcionada para a verificação da estruturação das rochas carbonáticas na região do eixo da barragem, bem como para inspecionar os tipos litológicos encontrados nas galerias de pesquisa perfuradas nas ombreiras durante as investigações geotécnicas para locação do eixo.

O conhecimento adquirido a respeito da natureza geológico-estrutural das feições investigadas e do processo evolutivo de carstificação/zoneamento hidrogeológico no Alto Vale do Ribeira garante uma base consistente para o julgamento dos efeitos da formação do lago represado sobre o padrão de percolação regional, a velocidade de carstificação das rochas carbonáticas e a possibilidade de poluição do aquífero dos maciços calcários carstificados, assim como para considerar a questão da estanqueidade do reservatório.

- Apresentação dos dados

Os pontos de localização das feições cársticas e pseudocársticas foram organizados em um Quadro, com as suas respectivas coordenadas geográficas ou UTM, e inseridos no *software Arc View 3.2*, sobre a nova base cartográfica georreferenciada, na escala 1:50.000, referente à AID do empreendimento. O Desenho MA136.00.15-DE.06 resultante permite observar a distribuição espacial e identificar as feições que serão atingidas pela cota máxima de alagamento (300 m).

A documentação fotográfica das campanhas de campo foi incorporada ao diagnóstico consolidado sobre o patrimônio espeleológico do Alto Vale do Ribeira e é apresentada em Anexo.

A partir das fichas de cadastramento foi construído um Banco de Dados em Access para armazenar as informações sobre todas as feições descritas (Anexo II -Memoriais Técnicos). Croquis com seção das feições em planta e/ou perfil foram digitalizados e incorporados ao banco de dados.

Para a apresentação do modelo de elevação da área estudada foram adquiridos os arquivos, de domínio público (em extensão hgt), com dados de interferometria de radar da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA, a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. Esses dados têm resolução espacial de 90 m e acurácia vertical e horizontal de 12 e 50 m, respectivamente. Os arquivos, em coordenadas geográficas, foram inseridos e agrupados em um mosaico no *software ENVI 4.0*, que possibilita a geração de um modelo digital de terreno em 3D e a extração de curvas de nível e perfis topográficos automaticamente.

d) Contexto Espeleológico

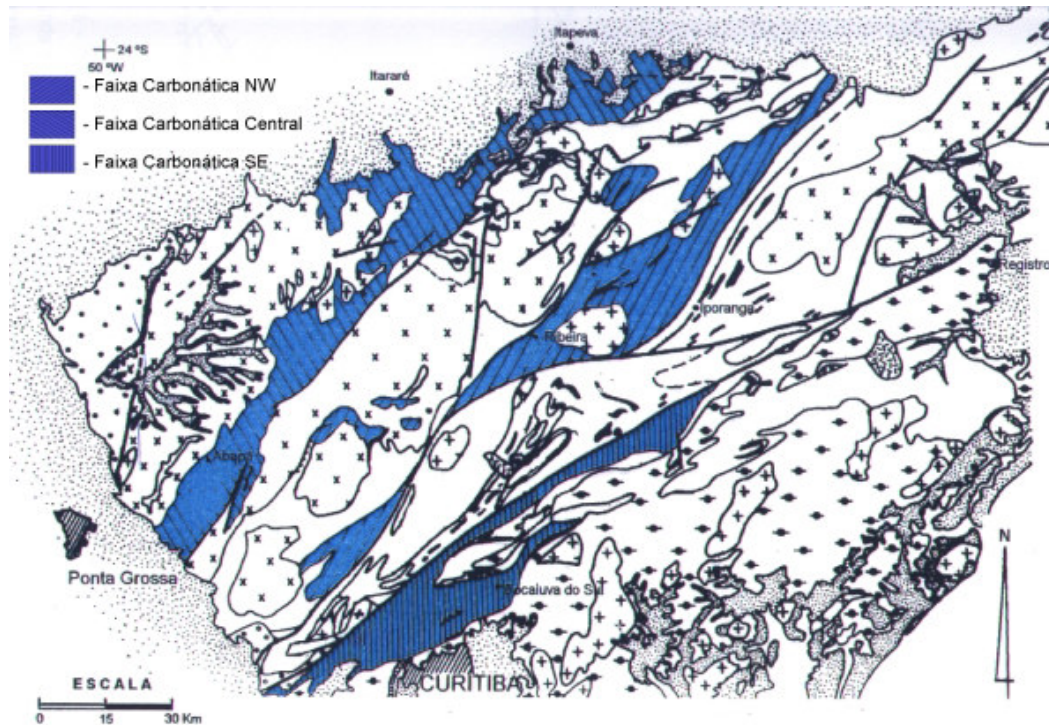
Do ponto de vista espeleológico, o maciço carbonático carstificado da área de estudo insere-se na Província Espeleológica do Alto Ribeira (KARMANN e SANCHEZ, 1979), abrangendo a região do rio Ribeira e seus tributários da margem direita.

No Estado do Paraná essa província é caracterizada por três faixas calcárias dispostas no sentido NE-SW, constituindo grandes conjuntos diferenciados litológica e estruturalmente. Segundo FIORI (1991), essas três faixas obedecem lineamentos tectônicos e estão dispostas segundo as falhas que as condicionam, respectivamente, a Falha da Lancinha, do Morro Agudo e de Itapirapuã (Figura 12.1.2/02).

Nos calcários da Faixa Leste, constituídos basicamente por dolomitos metamorfizados, ocorrem algumas das maiores cavidades do estado. A Faixa Central é constituída predominantemente por calcários calcíticos, estendendo-se desde a Escarpa Devoniana (Segundo Planalto Paranaense) até a região de Iporanga/Apiáí, no Estado de São Paulo, e apresenta número maior de cavidades, apesar destas possuírem menores dimensões. A terceira grande faixa denominada de Faixa Itaiacoca, atualmente Antinha, é composta preferencialmente por calcários dolomíticos e apresenta cavernas de grandes dimensões.

A área afetada pelo reservatório da UHE Tijuco Alto, composta por metacalcários calcíticos e dolomíticos da Formação Votuverava do Grupo Açungui, insere-se na Faixa Carbonática Central.

FIGURA 12.1.2/02 – FAIXAS CARBONÁTICAS EXISTENTES NA REGIÃO DO ALTO VALE DO RIBEIRA, NO ENTORNO DA DIVISA ESTADUAL ENTRE SÃO PAULO E PARANÁ.



FONTE: GUIMARÃES, S.B. Os metadolomitos da Região Metropolitana de Curitiba - Morro Azul - PR. 2001

e) Feições Cársticas e Pseudocársticas Identificadas

Os estudos efetuados na área de interesse, os trabalhos de fotointerpretação e os levantamentos de campo permitiram a identificação de 450 dolinas, 52 cavidades naturais subterrâneas e 59 feições secundárias, além de 4 sumidouros e 8 ressurgências. Essas feições estão espacializadas no Desenho MA136.00.15-DE.06, em escala 1:50.000, e ocorrem na Área de Influência Direta (AID) da UHE Tijuco Alto.

O relevo das áreas carstificadas estudadas apresenta um aspecto ruiforme, com presença de pináculos, vales cegos e dolinas. Nos setores com preservação da superfície aplainada, as dolinas são facilmente identificadas em fotos aéreas, enquanto nas áreas de relevo muito entalhado, as feições observadas são caneluras de dissolução, *canyons* encaixados e, mais dificilmente, linhas de dolinas no fundo do vale.

Como cavidades naturais subterrâneas foram considerados todo e qualquer espaço penetrável pelo homem, com ou sem abertura identificada, desde que sua formação seja resultante de processos naturais, independentemente do tipo de rocha encaixante ou de suas dimensões. As grutas são cavidades que apresentam desenvolvimento de mais de 20 m, predominantemente na horizontal. Os abismos são cavidades que possuem um desenvolvimento predominantemente vertical, com mais de 10 m de desnível.

Como feições secundárias foram definidas pequenas tocas e/ou locas, buracos, paredões e fendas que, embora regionalmente sejam conhecidos pela população local por designações

como cavernas, grutas, ermidas ou abismos, apresentam menor interesse como elemento do patrimônio espeleológico.

Outras duas feições identificadas, e de grande importância para a definição dos sistemas de circulação de água subterrâneas, são os sumidouros e ressurgências. Os sumidouros são os pontos onde a drenagem superficial adentra em uma cavidade natural subterrânea; enquanto as ressurgências correspondem aos pontos onde a drenagem subterrânea deixa a cavidade natural e volta a circular em superfície.

Além das feições mais evidentes como dolinas, grutas e abismos, são encontrados freqüentemente feições menores como canalículos de dissolução que atestam a ocorrência de maciços calcários invariavelmente solubilizados.

A análise da distribuição espacial das feições identificadas (Desenho MA136.00.15-DE.06) e a confrontação com o mapa geológico possibilitam a individualização de dois domínios com características geológico-estruturais e com densidade de feições doliniformes e ocorrência de cavidades naturais/feições secundárias extremamente diferenciadas.

No domínio leste, associado às rochas metacarbonáticas do Grupo Açungui, concentra-se a grande maioria das feições identificadas por fotointerpretação e/ou cadastradas/mapeadas. No domínio oeste, onde afloram majoritariamente rochas graníticas e pendentes de teto compostos por rochas metacarbonáticas e metassiliciclásticas do Grupo Açungui, foram verificadas poucas feições.

As principais características das feições cársticas e pseudocársticas encontradas e mapeadas nesses dois domínios são descritas a seguir e resumidas no Quadro 12.1.2/02.

QUADRO 12.1.2/02 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS FEIÇÕES CÁRSTICAS E PSEUDOCÁRSTICAS MAPEADAS.

	DOMÍNIO LESTE	DOMÍNIO OESTE
DOLINAS	(330) Circulares/ovaladas a irregulares Dimensões: m a km diâmetro Topo de vertentes (>400-500 m) Plano de foliação – fraturas/fissuras Calcários: secas, uvalas (rio do Rocha-Gramados) Filitos: acúmulo argila/lagos temporários	(120) Circulares/ovaladas Dimensões: <30 m a 300 m diâmetro. <i>Roof pendant</i> de metacalcários / metassedimentos siliciclásticos sobre granitóides Grande acúmulo de argila: lagos temporários ou zonas encharcadas.
CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS (grutas, cavernas, ermidas, abismos)	(50) Desenvolvimento: 5-150 m (437 m) Desnível até 111 m Topo de vertentes – meia encosta (>450 m) Foliação N50-70E/SUBV. – fraturas ortogonais Rochas carbonáticas – espeleotemas Estado de senilidade: ausência quase total de água, alteração avançada de espeleotemas e rochas encaixantes; níveis de cascalho	(2) Desenvolvimento: 50-80 m Cota – 540 m Rochas alcalinas (carbonatitos) – paredes verticais com grandes pórticos na entrada Ausência de espeleotemas
FEIÇÕES SECUNDÁRIAS (tocas/locas, buracos, paredões, fendas)	(54) Desenvolvimento/profundidade: < 15 m Base a topo de vertentes (180 – 750 m) Rochas calcárias (filitos, quartzitos) Menor interesse patrimônio espeleológico	(5) Desenvolvimento/profundidade: <10 m Cota 360 – 520 m Granitóides/ carbonatitos Gruta do Chapéu (valor histórico)
SUMIDOUROS / RESSURGÊNCIAS	4 Sumidouros, 8 Ressurgências Sumidouros: cota 650 – 750 m Ressurgências: cota 318 – 610 m (1 em 220 m) Concentração Gramados-Carumbé Sistemas cársticos de circulação de água	NÃO CONSTATADOS

Obs.: O número entre parênteses indica a quantidade de feições encontradas.

Fonte: CNEC (2005).

- Domínio Leste

No Domínio Leste, inserido na Faixa Carbonática Central da Província Espeleológica do Vale do Ribeira, foram identificadas 330 dolinas e cadastradas 50 cavidades naturais subterrâneas, 54 feições secundárias e 11 feições do tipo sumidouro/ressurgência (Quadro 12.1.2/02).

Comparando-se ao domínio oeste, as dolinas identificadas e as demais feições (cavidades naturais e feições secundárias) representam, respectivamente, cerca de 73% e 94% das feições cársticas e pseudocársticas inventariadas na AID do empreendimento.

- Dolinas e/ou Uvalas

As dolinas identificadas por fotointerpretação e observadas em campo representam feições morfológicas circulares ou ovaladas, raramente com formas irregulares, com dimensões métrica a quilométrica e condicionadas, geralmente, pelos planos de foliação subvertical (N50-70E) das rochas metacarbonáticas e sua intersecção com fraturas e fissuras menores, como verificado na região de Gramados. Comumente, ocorrem no topo das vertentes, ocupando cotas superiores a 400-500 m. Concentram-se, preferencialmente, sobre as faixas carbonáticas, mas também ocorrem associadas a outras litologias.

Nos calcários constituem feições geralmente secas, mas observou-se em campo que muitas dessas dolinas funcionam como sumidouros, isto é, pontos em que a drenagem superficial

adentra o substrato rochoso e podem estar associados à presença de abismos ou grutas.

Quando estas dolinas ocorrem interconectadas – resultado da maior evolução superficial do que em profundidade ou por abatimento de blocos – formam-se as uvalas, que são depressões de forma elíptica, porém mais complexas do que as dolinas. Esta feição ocorre de modo pronunciado e em grande densidade por toda a área do Vale do Rocha (entre Gramado e Carumbé) tanto na margem esquerda como na margem direita e, em menor proporção, na vertente da margem direita do rio Mato Preto. No Vale do Rocha, associados aos campos de dolinas, normalmente, ocorrem abismos e cavernas com desenvolvimento horizontal.

As dolinas associadas às faixas de rochas fílitosas, comumente, mostram considerável concentração de material argiloso em seu interior, podendo constituir verdadeiros lagos temporários.

– Cavidades Naturais Subterrâneas

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 347, de 10 de setembro de 2004, que dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico nacional, “cavidade natural subterrânea é todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecido como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, fuma e buraco, incluindo seu ambiente, seu conteúdo mineral e hídrico, as comunidades bióticas ali encontradas e o corpo rochoso onde as mesmas se inserem, desde que a sua formação tenha sido por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou do tipo de rocha encaixante”.

Assim, a seguir serão descritas as principais características das grutas e abismos encontrados na AID da UHE Tijuco Alto. A ficha cadastral com a identificação, localização e descrição de cada feição mapeada está no Anexo II -Memoriais Técnicos

✓ Grutas

Constituem feições com desenvolvimento essencialmente horizontal ou subhorizontal que variam de 5 a 150 m, na maioria das feições investigadas, e que podem atingir de 300 a 437 m, como na Gruta Bonsucesso, Ermida do Maciel e Gruta Paiol do Capim.

Tais feições se formaram em rochas carbonáticas e têm seu desenvolvimento controlado principalmente pela foliação subvertical (N50-70E). Intersecções da foliação com planos fraturas ortogonais também condicionam o avanço de seu desenvolvimento.

No interior das grutas é comum a ocorrência de espeleotemas, que são ornamentos formados pela precipitação química de minerais, principalmente calcita, a partir das águas de infiltração que atingem as paredes e tetos dessas feições subterrâneas. Os espeleotemas comumente encontrados são estalactites, estalagmites, colunas, escorrimentos de calcita, travertinos, formações tipo couve-flor e cogumelos, entre outros.

Com relação à situação topográfica, predominam as grutas situadas no topo das vertentes e em meia encosta, geralmente acima da cota de 450-500 m. Representam feições em estágio de senilidade, caracterizado na maioria das vezes por avançado estado de alteração de seus espeleotemas e das rochas encaixantes, presença de níveis de cascalhos consolidados ou em consolidação, além da ausência ou pequeno volume de água no seu interior. Essas grutas, particularmente na região do vale do rio do Rocha, possivelmente configuram as paleoressurgências da região, como a Gruta Paiol do Capim.

Na porção sul da área cárstica, junto à margem esquerda do rio do Rocha, observou-se a existência de pequenos canyons nas rochas calcárias, formados pelo afundamento do vale, provavelmente sobre antigas galerias, os quais encontram-se alinhados à estruturação das rochas e aos sistemas cársticos desta região. Associadas a estes canyons, encontram-se pequenas cavidades e muitos blocos abatidos, sendo que algumas destas grutas foram mapeadas, como a Gruta da Gambiarra e Gruta do Toco que não Cai.

Comparativamente, na porção inferior da encosta ou base das vertentes ocorrem poucas feições, tais como as grutas do Rocha, do Onça ou do Tigre, do Calixto, da Mina do Rocha e Bonsucesso, que estão em cotas entre 250 e 400 m.

A gruta da Mina do Rocha encontra-se destruída pela ação da antiga mineração. O acesso à gruta é feito através de galeria aberta pela mineradora, não existindo entrada natural. Em seu interior, encontram-se vários salões e condutos superiores; apresentando espeleotemas, em especial, flores de aragonita e escorrimento com cristais. Os salões encontram-se encaixados em filito, assim como os espeleotemas.

A gruta do Rocha é uma caverna com desenvolvimento horizontal, apresentando entrada em parede de rocha calcária (entrada pela surgência), sendo formada somente por um conduto principal e pequenos salões laterais. Em seu interior constata-se a presença de água corrente e dois sifões, sendo o segundo intransponível sem equipamento de mergulho. Apresenta poucos espeleotemas.

As grutas do Calixto, do Tocão e da Mina do Rocha formaram-se pela dissolução de lentes carbonáticas intercaladas em rochas filíticas e, conjugada a presença de planos de fraturas e/ou foliações, são caracterizadas pela ocorrência de significativos salões de abatimento de blocos.

✓ Abismos

Os abismos ocorrem inteiramente sobre as rochas carbonáticas, podendo ou não ter o seu desenvolvimento associado às dolinas. Estão posicionados entre as cotas 600 e 705 m, ocupando geralmente o topo das vertentes. Exceção feita aos abismos da Pedra Chata e do Rancho Raso, que estão no fundo de vale seco, provavelmente, conectados ao sumidouro do Rancho Raso.

A profundidade dos abismos varia entre 10 e 111 m, tendo a maioria um desnível inferior a 30 m. Destacam-se os abismos da Paz I e do Cantador (ambos com 60 m), Abismo da Paz II (70 m), Abismo do Vacilo I (80 m), Abismo dos Véios (111 m) e Abismo do Quase (106 m). Os dois últimos são os maiores abismos da região e, respectivamente, o 2° e 3° maiores abismos do estado do Paraná.

De modo geral, assim como as grutas, os abismos também são condicionados pela foliação das rochas metacarbonáticas encaixantes, como na região de Gramados. Em especial, nos Abismos do Leão e Buraco do Minoal o desenvolvimento é controlado por zona de falha. Planos de fraturas sub-horizontais geram patamares internos, com desenvolvimento horizontal seguindo os planos da foliação.

É comum encontrar no interior de alguns abismos um nível de composição mais argilosa, espessos depósitos de material argiloso/lama, restos de vegetais, ossos fossilizados e grande quantidade de blocos desabados, que delimitam sua profundidade. Como exemplo, temos os abismos do Quase, dos Veios, Ovos de Urubu, Vacilo III, do Cantador, entre outros.

– Feições Secundárias

As feições secundárias mapeadas em campo, localmente conhecidas sob denominações diversas, formaram-se em rochas carbonáticas e apresentam extensão igual ou inferior a 15 m. Essas feições estão em cotas altimétricas variadas, entre 200 e 750 m, ocupando posições diversas no relevo, desde a base da vertente até o topo dos morros.

O Buraco da Porteira, Buraco Quente e Buraco Frio, localizados na margem esquerda do rio Ribeira, defronte à Barra do Rocha desenvolveram-se em filitos quartzosos e quartzitos, associados a zonas de fraturas/falhas de alívio. Merece destaque o Buraco Quente que, por circular fluxo de ar quente nos períodos de clima frio, é bastante conhecido na região. Sua provável conexão com o Buraco Frio, em posição topográfica inferior, deve ser responsável por esse fenômeno.

Também ocorrem os paredões das Dolinas e da Serra da Balança, a Pedra do Morcego e a Dolina da Draga Engolida. A Pedra do Morcego, junto à margem esquerda do rio Ribeira, é bastante conhecida da população local, sendo apenas uma rocha inclinada sobre o leito do rio, em cuja base se concentra grande quantidade de morcegos.

A Dolina da Draga Engolida representa uma dolina desenvolvida em calcário que, utilizada como área de bota-fora pela Mineração Del Rey, rompeu-se “engolindo” 50.000 m³ de rejeito, além da drag-line que fazia o espalhamento da pilha.

No levantamento complementar (CNEC, 2004) foram identificadas as feições secundárias listadas na Quadro 12.1.2/03, a seguir.

QUADRO 12.1.2/03 – PRINCIPAIS FEIÇÕES SECUNDÁRIAS IDENTIFICADAS NA REGIÃO DE GRAMADOS.

Nº de Cad.	Nº Campo	Nome e Qualificativo	Latitude	Longitude	Altitude (m)	D.L. (m)	Desn. (m)	Município
P110	CNEC-112	Gruta da Furna	7.258.628	690.785	717	15	9	Cerro Azul
P111	CNEC-113	Buraco do Feijão	7.259.135	690.730	687	0	0	Cerro Azul
P112	CNEC-114	Abismo do Entulho	7.258.897	690.050	706	3	3	Cerro Azul
P113	CNEC-115	Gruta do Embú	7.259.014	691.246	752	6	2	Cerro Azul
P114	CNEC-116	Tomara que Feche	7.259.005	690.526	687	8	5	Cerro Azul
P115	CNEC-117	Buraco do Budum	7.258.902	689.961	685	10	9	Cerro Azul
P117	CNEC-66	Sumidouro de Gramados	7.259.820	689.357	572	0	0	Cerro Azul
P118	CNEC-118	Ponto 118	7.259.056	689.861	671	7	3	Cerro Azul
P120	CNEC-119	Ponto 120	7.259.138	691.375	708	6	2	Cerro Azul
P121	CNEC-120	Ponto 121	7.259.035	691.370	715	3	3	Cerro Azul
P126	CNEC-121	Ponto 126	7.258.967	691.353	738	3	3	Cerro Azul

Nota: N° de Cad.= número de cadastro; PHZ= projeção horizontal, D.L.= desenvolvimento linear; Desn.= desnível total

– Sumidouros e Ressurgências

Essas feições concentram-se na região de Gramados – Carumbé, compondo vários sistemas de circulação de água subterrânea. Os sumidouros Rio das Serras, Gramados e Rancho Raso ocorrem em cotas de 570 a 700 m.

As ressurgências do Sistema Hortelã, da Paz e da Pingadeira, localizadas no vale do rio do Rocha, e a ressurgência Bebedouro do Olho d'Água, nas proximidades de Adrianópolis, estão abaixo da cota de 220 a 390 m. As ressurgências Da Água Cruzada e Água que Surge, nas cabeceiras de tributários do rio Mato Preto estão em cotas entre 420 e 550 m.

A ressurgência Bebedouro do Olho D'Água situa-se a jusante do eixo projetado da barragem, pouco acima do nível do rio Ribeira.

Os sumidouros e ressurgências representam o principal sistema coletor ativo de águas superficiais e subterrâneas que drena o maciço carstificado do Planalto de Gramados. Constituem uma complexa rede de canais e canalículos, esculpidos por dissolução das rochas carbonáticas e condicionados geralmente por discontinuidades, como planos de foliação, fraturas/fissuras, falhas e contatos litológicos.

- Domínio Oeste

Na região de abrangência desse domínio há o predomínio de rochas graníticas do Complexo Três Córregos, além de pendentes de teto de metassedimentos do Grupo Açungui e intrusivas alcalinas como da Barra do Itapirapuã.

Nesse domínio foram fotointerpretadas 120 dolinas e mapeadas 2 cavidades naturais e 5 feições secundárias, destacando-se a ausência de sumidouros e ressurgências (Quadro 12.1.2/02). As dolinas e feições cársticas e pseudocársticas presentes correspondem, respectivamente, a cerca de 27% e 6% das feições identificadas e mapeadas na AID do empreendimento.

- Dolinas

As dolinas reconhecidas nesse domínio, de modo geral, apresentam dimensões reduzidas quando comparadas àquelas do domínio leste. Estão associadas aos restos de metassedimentos do Grupo Açungui, englobados por granitos e bastante alterados e deformados, como na região do cotovelo do rio Ribeira, entre a foz dos rios Sete Quedas e Ponta Grossa. Formam feições circulares a ligeiramente ovaladas, com dimensões dificilmente ultrapassando 300 m de diâmetro. Quase sempre se encontram com acúmulo de material argiloso formando lagoas temporárias ou zonas encharcadas.

Dolinas também ocorrem em regiões predominantemente constituídas por granitóides, onde o fator controlador está relacionado ao padrão de fraturamento e a assimilação de material carbonático durante o posicionamento desses corpos graníticos. Nessa situação, as dolinas possuem pequenas dimensões, geralmente com diâmetro inferior a 30 m, onde não se têm evidências da existência de metassedimentos nas suas paredes.

- Cavidades Naturais Subterrâneas

Apenas duas grutas foram identificadas e mapeadas no domínio oeste, reconhecidas como Gruta do Itapirapuã e Ermida Grande. Ambas têm como característica comum o seu desenvolvimento em rochas alcalinas, associadas a paredões subverticais com grande pórtico de entrada. Ocupam cotas em torno de 550 m, em posição de meia encosta superior.

Nas grutas de Itapirapuã, assim como na Gruta do Chapéu, foram encontradas nas porções internas das paredes rochas brechóides (brecha carbonática), com frações bastante caulinizadas contendo locas e zonas de microfaturas/fissuras preenchidas por sílica. A lixiviação do material silicoso com deposição em forma de estalactites é comum na Gruta de Itapirapuã.

– Feições Secundárias

No domínio do Complexo Três Córregos foram reconhecidas três tocas e uma fenda associadas a rochas graníticas, ao passo que em rocha alcalina intrusiva foi identificada somente uma gruta.

Na faixa dos granitos é comum a presença de fraturas de alívio sub-horizontais e fendas verticais, onde localmente se desenvolvem pequenas cavidades com dimensões decimétricas, bastante conhecidas pela população local como tocas ou locas.

Nos locais onde as rochas graníticas são bandadas ou foliadas, a partição de blocos em formas de lajes também pode originar arranjos que lembram tocas ou locas, servindo de abrigo para animais, como as tocas do Fundão I e II e do Lajeadozinho. Essas feições não apresentam qualquer interesse do ponto de vista espeleológico.

Dentre as feições secundárias, apenas a Gruta do Chapéu merece destaque pelo seu desenvolvimento em rochas alcalinas e pelo seu valor histórico.

- Condicionamento Estrutural das Feições Cadastradas

As diferentes feições cársticas identificadas, assim como a rede de drenagem superficial, são fortemente controladas pela estruturação do maciço carbonático, onde a foliação é a principal estrutura condicionante da solubilização em subsuperfície. As observações de campo e a ocorrência de diversas bacias fechadas, dispostas segundo o fraturamento, indicam um controle secundário desse elemento estrutural sobre a formação de dolinas, grutas, abismos e canalículos.

O fraturamento, de modo geral, é ortogonal ou oblíquo em relação à direção dos planos de foliação. As principais e a maioria das drenagens da bacia contribuinte do Alto Ribeira estão alinhadas à direção de fraturamento do maciço, como o alto e médio curso do rio do Rocha. A foz deste rio, por sua vez, ocorre subparalela à foliação, condicionado pela Zona de Cisalhamento Quarenta Oitava. Comportamento semelhante é notado no rio Ribeira que, da confluência com o rio do Rocha até o eixo projetado da barragem de Tijuco Alto, mostra várias inflexões, em função de seu posicionamento subparalelo à foliação e ao fraturamento, alternadamente.

A situação adequada para identificação dos condutos cársticos se dá quando os vales das drenagens cortam ortogonal ou obliquamente a foliação das rochas calcárias, principal direção de solubilização do maciço, como ocorre com as ressurgências no médio vale do rio do Rocha.

Os sistemas cársticos dessa região estão muito fraturados e revelam uma tendência natural de acomodação das rochas, tornando-se evidente tanto superficialmente (processo de incasão) como em algumas galerias ou salões de cavernas. Estes fatos foram constatados nas consecutivas visitas a campo realizadas ao longo dos últimos 15 anos de exploração desta região. Em locais onde haviam condutos e galerias, hoje repousam blocos abatidos, com sinais de desabamento recente, sendo este o caso da Gruta do Rocha, Gruta Paiol do Capim, entre outras.

A análise do Desenho MA136.00.15-DE.06 permite identificar uma concentração de feições cársticas no médio vale do rio do Rocha, denotando uma diferenciação no grau de carstificação das rochas carbonáticas e configurando a principal província espeleológica de toda a área de implantação do reservatório. No restante da área, as feições cársticas ocorrem de forma dispersa, dificultando ou impedindo a sua correlação e individualização em sistemas cársticos, que estão em uma fase incipiente.

f) Sistemas Cársticos

Na região do médio vale do rio do Rocha - Gramados verifica-se a existência de pequenos sistemas cársticos, condicionados pela estruturação sub-vertical. Estes sistemas cársticos são delimitados por intercalações com outras litologias (quartzitos e filitos) e limitam uma determinada região que apresenta a mesma evolução tanto em termos da espeleologia como da geomorfologia, isolados de outros sistemas.

A concentração e as características das feições encontradas nessa região, junto à Serra do Carumbé, levaram o IPT (1997) a propor uma primeira compartimentação dessa região em alguns sistemas cársticos (Figura 12.1.2/03). Como base para essa divisão, utilizou a disposição dos elementos presentes (dolinas, uvalas, vales, bacias fechadas, sumidouros, ressurgências, grutas/cavernas, abismos e feições secundárias), as microbacias ou divisores de água superficial, os condicionantes litológicos e estruturais e o modelo espeleogenético. De maneira geral, os sistemas cársticos individualizados são isolados por lentes de metassedimentos siliciclásticos, intercaladas nas rochas metacarbonáticas.

FIGURA 12.1.2/03 (ARQUIVO PDF) – COMPARTIMENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS SISTEMAS CÁRSTICOS NO MÉDIO VALE DO RIO DO ROCHA – GRAMADOS.

Na margem esquerda do rio do Rocha, a partir do lineamento Ribeira (a sul) em direção a confluência com o rio Ribeira (a norte), foram definidos os sistemas Hortelã-Furnas, Gruta do Rocha (Figura 12.1.2/04), Paiol do Capim e Mina do Rocha (Figura 12.1.2/04). A oeste do sistema Hortelã-Furnas, na bacia do rio Mato Preto, foi delimitado o Sistema Água Morna.

Na margem direita do rio do Rocha, a partir da porção SW da Serra do Carumbé (no divisor com o rio Carumbé) em direção ao rio Ribeira, a jusante, foram individualizados os sistemas da Paz, Rancho Raso e Água das Serras. No vale do rio Paqueiro e na margem direita do rio das Onças, a NW, foram separados dois sistemas cársticos menos evoluídos, denominados Paqueiro e Paiol do Alto.

O Sistema Hortelã-Furnas é o mais desenvolvido da região (Figura 12.1.2/05), sendo formado por uma série de vales cegos e uvalas, de dimensões variadas, dispostas segundo a direção do fraturamento e um alinhamento de dolinas, grutas, abismos e pequenas uvalas obedecendo a direção da foliação das rochas metacarbonáticas.

A partir do último levantamento de campo (set/2004) pôde-se definir melhor o Sistema Gruta do Rocha. Observou-se que as direções e inclinações das camadas de calcário, obtidas na ressurgência da Gruta do Rocha e no sumidouro de Gramados, estão alinhadas na direção dos acamamentos, correspondendo ao percurso preferencial que a água tende a realizar em subsuperfície. Desta forma, este sumidouro pode ser considerado primário para o sistema da Gruta do Rocha, sendo que, ao longo deste alinhamento, ocorrem pequenas feições em cotas altimétricas mais elevadas, como grandes dolinas, que se caracterizam como captações ou pontos de recarga do sistema que ressurgirá na Gruta do Rocha.

O nível de base do sistema é o rio do Rocha, caracterizando a Gruta do Rocha como a ressurgência (cota 290 m) e o Sumidouro de Gramados (cota 572 m), o ponto primário de injeção do mesmo sistema. Entre o sumidouro e a ressurgência existe um desnível de 282 m e uma distância em linha reta de 2,9 km, sendo que este alinhamento está permanentemente em conformidade com o direcionamento das camadas de calcário e suas inclinações.

Figura 12.1.2/04 PERFIS TOPOGRÁFICOS E POSICIONAMENTO DAS FEIÇÕES CÁRSTICAS E PSEUDOCÁRSTICAS

Figura 12.1.2/05 PERFIL TOPOGRÁFICO E POSICIONAMENTO DAS FEIÇÕES CÁRSTICAS NOS SISTEMAS HORTELÃ – FURNAS E ÁGUAS DAS SERRAS

g) Processo de Carstificação

A análise do Quadro 12.1.2/04 indica que as feições cársticas (grutas e abismos) da região planáltica têm entrada em cotas entre 640 e 795 m e se desenvolvem até 580-557 m, aproximadamente. Abaixo dessas cotas, as feições tornam-se intransponíveis na medida em que se encontram atulhadas com depósitos detríticos de areia e lama, blocos desabados, ossos de animais e restos vegetais, ou se convertem em estreitos condutos e fendas, comumente com a presença de pequenos lagos ou poças de água no fundo.

Os sumidouros encontram-se entre as cotas de 650 e 750 m, enquanto parte das ressurgências dos sistemas cársticos ocorrem em posições elevadas, entre 420 m (Ressurgência Água que Surge) e 610 m (Gruta da Mina do Paqueiro). Outras ressurgências ocorrem junto ao nível de base do rio do Rocha (cota 290 a 330 m) e, com exceção da Gruta do Rocha, contêm um fluxo d'água rápido, porém disperso em meio a fraturas e blocos de rocha, aparentemente com desenvolvimento horizontal nulo.

Praticamente todas as feições situadas no topo das vertentes ou nas encostas apresentam indícios claros que comprovam o seu estágio de baixa atividade ou senilidade. Os principais indícios dizem respeito ao adiantado estado de alteração dos espeleotemas e das rochas encaixantes, a ausência quase total de água, mesmo que em forma de umidade das paredes e a presença de espessos níveis de cascalho em consolidação ou já consolidados.

Estes indicadores demonstram que as feições cársticas da região planáltica testemunham uma primeira fase (antiga) de desenvolvimento cárstico que, com o soerguimento tectônico da área e conseqüente rebaixamento do nível de base, tiveram sua evolução fortemente alterada (IPT, 1997).

O entalhe rápido do rio Ribeira é comprovado pelo perfil de vertente descontínuo, com segmento retilíneo, íngreme e rochoso, e segmento convexo no sopé, rochoso ou com tálus descontínuo, e pela presença de vales suspensos. O mapa de declividade (MA136.00.38-DE.04) reforça tais aspectos com a seguinte divisão: (i) as áreas de declividades mais baixas (< 45%) são as superfícies planálticas (cotas entre 600 e 950 m) e as planícies e depósitos de encosta (cotas abaixo de 280 m); (ii) as áreas de declividades mais altas (> 45%) correspondem às vertentes das drenagens, abaixo da cota 600 m em média, ou às áreas de relevo de montanhas e serras, acima de 600 m, como as serras Carumbé e Vinte e Sete.

QUADRO 12.1.2/04 – SÍNTESE DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO NA AID DA UHE TIJUCO ALTO.

Desta forma, o aprofundamento das feições cársticas nas áreas planálticas até as cotas 580-560 m, as ressurgências em cotas elevadas, o aumento da declividade das encostas abaixo da cota 600 m e o caráter predominantemente fluvial da drenagem, aproximadamente abaixo da cota 500 m, sugerem que o paleonível de base da área esteve entre as cotas 500 e 600 m e que, com o soerguimento rápido, o processo cárstico passou a se aprofundar e a se reorganizar, atualmente estando em desenvolvimento (IPT, 1997).

A diferenciação no grau de carstificação do maciço carbonático na AID da UHE Tijuco Alto está diretamente relacionada a um grupo de fatores, que também condicionam o modelado do relevo: a atuação diferenciada das zonas de cisalhamento, a presença de lentes ou camadas de metassedimentos siliciclásticos, o grau de impureza das metacarbonáticas, os diferentes graus de carbonatação dos metassedimentos, a presença de diques de diabásio e a posição relativa das drenagens em relação à foliação (IPT, 1997).

A região abrangida pelos sistemas cársticos Hortelã-Furnas, da Paz, Rancho Raso, Águas das Serras e Água Morna (Figura 12.1.2/03), junto as vertentes da Serra do Carumbé, apresenta processo de carstificação em estágio mais evoluído. Nesta área há uma combinação favorável de fatores – o fornecimento de água proveniente da Serra do Carumbé (maior volume e gradiente hidráulico elevado) e o entalhamento do rio do Rocha no sentido ortogonal a foliação – que criaram condições adequadas para a evolução mais rápida da dissolução em subsuperfície. Em outras regiões da face norte da Serra do Carumbé, entre o rio do Rocha e o eixo da barragem, apesar da disponibilidade de água, os cursos d'água posicionam-se paralelamente a foliação, condicionados por lentes de metassedimentos siliciclásticos, o que não favorece a drenagem do maciço e o desenvolvimento mais acentuado e veloz do carste. Exemplos dessa situação são o rio Paqueiro e o rio das Onças (IPT, 1997).

Para jusante dessas áreas, em direção ao rio Ribeira, a recarga do aquífero é efetuada principalmente por água da precipitação pluviométrica, em função das drenagens de natureza predominantemente fluvial. As inúmeras lentes de metassedimentos e diques de diabásio condicionam as drenagens e inibem a circulação subterrânea. Nas áreas onde a drenagem corta a foliação, o processo de carstificação se intensifica, havendo um aumento da ocorrência de dolinas e feições primárias (grutas e abismos), como no Sistema do Paiol do Alto (IPT, 1997). Quando a drenagem é subparalela à foliação, as feições cársticas são menos evidentes e o processo cárstico tende a ser menos intenso.

Ao norte do rio Ribeira, os condicionantes da circulação de água no maciço carbonático são distintos, sendo o fluxo subterrâneo em direção a esse rio geralmente restringido por fatores como a influência das intrusões graníticas nos metacalcários (escarnitos), a ausência aparente de grandes lentes de metassedimentos interdigitadas nos metacalcários e o caráter eminentemente fluvial das drenagens.

Entre a zona de cisalhamento Quarenta Oitava e o rio Ribeira ocorrem algumas feições secundárias, além de pequenas dolinas ou depressões doliniformes alongadas, nos depósitos de encosta, sugerindo um aprofundamento e maior evolução da carstificação nesta área, porém de significância reduzida em relação aos sistemas cársticos do médio vale do rio do Rocha-Gramados.

h) Zoneamento Hidrogeológico do Maciço Carstificado

O grau variado de desenvolvimento do processo de carstificação, em função da combinação dos condicionantes analisados, resulta em um zoneamento diferenciado do aquífero cárstico. Contudo os dados obtidos através do mapeamento das cavidades naturais subterrâneas, em conjunto com a compreensão atual da evolução geológica da área,

permitem traçar um comportamento relativamente regional para o zoneamento hidrogeológico do maciço carstificado (IPT, 1997).

Como as feições mapeadas atingem a cota de 557-580 m – grande parte tem seu fundo nivelado entre 620-630 m – pode-se afirmar que a zona insaturada ou vadosa do maciço abrange o intervalo da superfície do terreno até o nível de 500 a 550 m, compatível com o nível de descarga de algumas ressurgências elevadas na região planáltica. O caráter eminentemente fluvial da drenagem abaixo da cota 500 m fornece indícios adicionais para esse posicionamento da base da zona insaturada.

As ressurgências, junto ao nível de base (cotas 290-330 m), rebaixam o aquífero, provocando o aprofundamento do lençol freático. No entanto, as ressurgências identificadas, tanto em cotas superiores como no nível de base local, ocorrem geralmente de forma difusa por entre fraturas e/ou blocos rochosos, o que diminui a eficiência da drenagem do maciço.

As sondagens realizadas no eixo da barragem indicam a elevação do nível d'água (NA) na medida em que se caminha por suas ombreiras, afastando-se do rio Ribeira. O NA atinge a cota 310-320 m na porção mais elevada da ombreira esquerda e a cota 420 m na pedreira da ombreira direita. No rio Paqueiro e nas nascentes do rio das Onças, a alta umidade presente nas paredes e galerias da Mina do Paqueiro e na caverna Águas da Serra, indicam que a saturação do maciço atinge cotas mais elevadas.

Desta forma, à montante do eixo da barragem, a zona saturada do maciço encontra-se seguramente abaixo da cota 290 m e se eleva aproximadamente para as cotas 350-450 m, conforme nos distanciamos das drenagens principais. No maciço da Mina do Rocha, na área sob influência das atividades de mineração, o maciço parece estar saturado apenas abaixo da cota 240 m.

Entre a zona saturada e a insaturada ocorre, portanto, a zona de flutuação do lençol freático, considerada o principal intervalo de desenvolvimento cárstico atual.