

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO

HENRIQUE SIMÃO PONTES

**ESPACIALIZAÇÃO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS DA FORMAÇÃO FURNAS:
FERRAMENTA PARA GESTÃO DO TERRITÓRIO NO MUNICÍPIO DE
PONTA GROSSA (PR)**

PONTA GROSSA
2014

HENRIQUE SIMÃO PONTES

**ESPACIALIZAÇÃO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS DA FORMAÇÃO FURNAS:
FERRAMENTA PARA GESTÃO DO TERRITÓRIO NO MUNICÍPIO DE
PONTA GROSSA (PR)**

Dissertação apresentada para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Geografia, Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Dra. Maria Lígia Cassol Pinto
Co-orientador: Dr. Mário Sérgio de Melo

PONTA GROSSA
2014

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

P814 Pontes, Henrique Simão
Espacialização de feições cársticas da
Formação Furnas: ferramenta para Gestão do
Território no Município de Ponta Grossa
(PR)/ Henrique Simão Pontes. Ponta Grossa,
2014.
163f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do
Território - Área de Concentração: Gestão
do Território), Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria Lígia
Cassol Pinto.

Coorientador: Prof. Dr. Mário Sérgio de
Melo.

1.Sistema Cárstico. 2.Formação Furnas.
3.Carste não-carbonático. 4.Gestão do
Território. I.Pinto, Maria Lígia Cassol.
II. Melo, Mário Sérgio de. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Mestrado em Gestão do Território. IV. T.

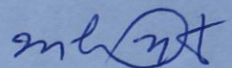
CDD: 551.44

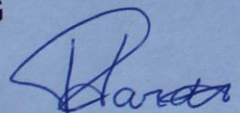
TERMO DE APROVAÇÃO

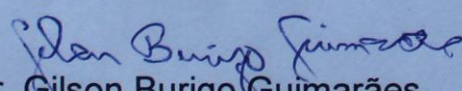
HENRIQUE SIMÃO PONTES

“ESPACIALIZAÇÃO DAS FEIÇÕES CÁRSTICAS DA FORMAÇÃO FURNAS: FERRAMENTA PARA GESTÃO DO TERRITÓRIO NO MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA - PR”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:


Orientadora: Profª. Drª. Maria Ligia Cassol Pinto
UEPG


Prof. Dr. Rubens Hardt
UNESP


Prof. Dr. Gilson Burigo Guimarães
UEPG

Ponta Grossa, 23 de abril de 2014.

Dedico este trabalho ao amor da minha vida, companheira de todos os momentos, minha noiva, Laís Luana Massuqueto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, aos meus pais, Laércio e Lorena, por todo apoio e compreensão, amo muito vocês.

À minha noiva, Laís, companheira de campo, de trabalho, de felicidades, de tristezas, de preocupações, mulher da minha vida.

Ao meu irmão, Felipe e sua esposa Ana Maria por diversos momentos de conversas sobre pesquisa, ciência e vida, bem como suas duas lindas filhas, Clarice e Cecilia.

À Professora Maria Lígia por todo apoio que me deu durante todo o mestrado e para a realização do presente trabalho.

Ao Professor Mario Sérgio, pelas diversas experiências compartilhadas desde o segundo ano de minha graduação e por continuar a me orientar nesta etapa de minha vida acadêmica.

Ao casal Heder e Daniella, são mais que amigos, sócios, parceiros de trabalhos, são companheiros para todos os momentos.

Ao grande amigo Gilson Burigo por compartilhar seu conhecimento, pelos diversos trabalhos de campo, pelos momentos de conversa e por sempre transmitir boas vibrações a todos que estão em sua volta.

Ao amigo Rubens Hardt por todo apoio teórico, pelas orientações à distância, as trocas de informações, as indicações, por ter contribuído muito para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos amigos do ICMBio, Marcio Ferla, Lilian Miranda, Gerson da Rocha, João Faraco e Jorge Marques, por todo apoio aos trabalhos de campo e pelos momentos de descontração.

Ao companheiro Fabiano Rosas Rocha (proprietário da Reserva Meia Lua – Fazenda Santa Mônica), pelo incentivo e apoio a este trabalho.

Ao Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE).

“A imaginação é mais importante que o conhecimento.”
Albert Einstein (1879-1955)

RESUMO

O presente trabalho busca entender a distribuição espacial das principais feições cársticas das rochas da Formação Furnas (Siluriano/Devoniano), no município de Ponta Grossa (PR). Esta unidade geológica, composta por arenitos quartzosos cimentados principalmente por caulinita, é aqui caracterizada como um sistema cárstico regional, composto por diversas feições, como: cavernas, furnas, sumidouros, depressões no terreno, bacias de dissolução, alvéolos, dutos de dissolução, relevos ruiformes, entre outras. Neste estudo, optou-se em estudar apenas as cavernas, furnas (dolinas de abatimento) e depressões no terreno, pelo fato que tais elementos da paisagem cárstica em questão influenciam diretamente na gestão do território, pois a ocupação e uso do solo em locais de ocorrência destas três feições do relevo proporcionam riscos geoambientais diversos, capazes de gerar perdas econômicas, ambientais e sociais. A carstogênese do Sistema Cárstico da Formação Furnas passa por pelo menos três momentos de evolução, com presença de processos de remoção mecânica e dissolução, principalmente do cimento caulínítico, sendo: 1) alteração da rocha em ambiente subterrâneo (fantomização, especificamente no arenito a arenização), formada a partir de descontinuidades litológicas (estruturas sedimentares e tectônicas); 2) processo de erosão subterrânea em ambiente epifreático (de oscilação do nível freático) e; 3) processo de remoção mecânica ocasionada pela ação das águas pluviais e fluviais. No total foram trabalhadas 227 feições, dentre elas 41 cavidades subterrâneas (sendo 14 furnas) e 186 depressões no terreno. Observa-se que há uma conexão entre estas feições, pois estão alinhadas, acompanhando grandes lineamentos, mostrando assim uma configuração espacial peculiar, com intrínseca relação entre cada elemento. Com a sobreposição dos dados da espacialização das cavernas, furnas e depressões no terreno com o mapa das estruturas tectônicas, foi possível confirmar a hipótese que atesta não haver relação de exclusividade na ocorrência das feições cársticas da Formação Furnas com a Depressão de Vila Velha, mostrando que o carste ocorre nos arenitos, mesmo em áreas onde o embasamento não é carbonático. O mapa de uso do solo mostrou que mais de cinquenta por cento do relevo em questão apresenta uso com finalidade agropastoril, como também há uma grande porção de reflorestamento com exóticas. A área urbana apresenta tendência de expansão sobre o sistema cárstico e parte da zona industrial está sobre as rochas da Formação Furnas. Por fim, o presente trabalho obteve um mapa de Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC), o qual apresenta seis zonas específicas no relevo em questão, apontando quais são as restrições de uso do solo em cada área.

Palavras-chave: Sistema Cárstico; Formação Furnas; Carste não-carbonático; Gestão do Território.

ABSTRACT

This dissertation seeks to understand the spatial distribution of major karst features in Furnas Formation sandstones (Silurian/Devonian) in the Ponta Grossa city (Paraná State). This geological unit, composed of quartz sandstone cemented mainly by kaolinite, is characterized here as a regional karst system composed of several features, such as caves, dolines, sinkholes, depressions in the terrain, kamenitza, alveolus, dissolution conduits, ruiniform reliefs, among others. In this study was investigated only the caves, furnas (collapse dolines) and depressions in the ground, because such elements of karst landscape in question directly influence the management of the territory, because occupation and land use in places of occurrence of these three relief features provide many geo-environmental risks, able to generate economic, environmental and social losses. The carstogenesis of the Furnas Formation karst system undergoes at least three moments of development, with the presence of mechanical removal processes and dissolution, mainly kaolinitic cement, being: 1) rock alteration in underground environment (phantomization, specifically the arenisation in the sandstone), formed from lithologic discontinuities (sedimentary and tectonic structures); 2) process of underground erosion in epiphreatic environment (oscillation zone of the groundwater level) and; 3) arenisation process and mechanical removal caused by the action of rainwater and river water. In total 227 karst features were studied, among them 41 caves (including 14 dolines) and 186 depressions in the terrain. There is a connection between these features because they are aligned, accompanying major structural lineaments, thus showing a peculiar spatial configuration, with intrinsic relationship between each element. With the overlap of the spatial data of caves, dolines and depressions in the terrain with the map of tectonic structures, was possible to see that there is no exclusive relationship with the occurrence of karst features of the Furnas Formation with the Depression of Vila Velha, showing that the karst occurs in sandstones, even in areas where the basement is not carbonate rocks. The map of land use showed that over fifty percent of the landscape in question presents agriculture use and pastoral use, as there is also a large portion of reforestation with exotic. The urban area has a tendency to expand on the karst system and part of the industrial zone is located the rocks of the Furnas Formation. Finally, the present work obtained a map of Environmental Karstic Zoning (EKZ), which presents six specific areas in this landscape, highlighting which are the restrictions of land use in each area.

Keywords: Karst System; Furnas Formation; Karst in non-carbonate rocks; Territory Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grão de quartzo corroído.....	30
Figura 2: Grão de quartzo corroído, com sobrecrecimento.....	30
Figura 3: Fases da teoria carstogenética da fantomização.....	34
Figura 4: Processo de fantomização (alterita) no sumidouro	35
Figura 5: Processo de fantomização (alterita) na Fenda	35
Figura 6: Coluna litoestratigráfica do Grupo Itaiacoca.....	47
Figura 7: Bloco diagrama representando os episódios metamórficos.....	48
Figura 8: Perfil estratigráfico Formação Furnas.....	51
Figura 9: Perfil estratigráfico Formação Furnas Parque do Guartelá.....	53
Figura 10: Mapa mostrando situação do Arco de Ponta Grossa.....	57
Figura 11: Lineamento São Jorge.....	62
Figura 12: Lineamento Rio Verde.....	62
Figura 13: Lineamento Mariquinha.....	62
Figura 14: Lineamento Aterro Botuquara.....	62
Figura 15: Lineamento Rio Quebra-perna.....	62
Figura 16: Lineamento Rio Guarituba.....	62
Figura 17: Morro residual	62
Figura 18: Lineamento Fortaleza.....	62
Figura 19: Vista do front da Escarpa Devoniana.....	65
Figura 20: Vista geral da Depressão de Vila Velha.....	66
Figura 21: Área plana com depressão no terreno.....	66
Figura 22: Padrão de desenvolvimento linear.....	71
Figura 23: Padrão de desenvolvimento linear composto.....	72
Figura 24: Padrão de desenvolvimento abismos circulares.....	73
Figura 25: Caverna da Chaminé.....	82
Figura 26: Caverna do Opilião.....	82
Figura 27: Guta da Inspirada.....	84
Figura 28: Caverna do Bigio.....	84
Figura 29: Fenda dos Tonini.....	87
Figura 30: Feição atípica nos arenitos.....	87

Figura 31: Furna Passo do Pupo II.....	88
Figura 32: Caverna das Andorinhas.....	91
Figura 33: Furna Grande.....	91
Figura 34: Sumidouro do Córrego das Fendas.....	92
Figura 35: Espeleotema tipo coralóide.....	92
Figura 36: Poço das Andorinhas.....	94
Figura 37: Gruta da Pedra Grande.....	95
Figura 38: Buraco do Padre.....	97
Figura 39: Fenda da Freira.....	99
Figura 40: Abismo Cercado Grande II	99
Figura 41: Gruta Macarrão.....	102
Figura 42: Caverna do Zé.....	102
Figura 43: Caverna dos Trezentos.....	103
Figura 44: Sumidouro do Rio Quebra-Perna.....	105
Figura 45: Dutos de dissolução.....	105
Figura 46: Gruta do Corujão.....	107
Figura 47: Interior da Furna do Bugio.....	108
Figura 48: Furna de Vila Velha 1.....	111
Figura 49: Fenda do Mosteiro.....	111
Figura 50: Gruta Mãe da Divina Graça.....	112
Figura 51: Depressão no terreno próximo à Caverna das Andorinhas....	116
Figura 52: Afloramento com sucessão de níveis.....	116
Figura 53: Fase para formação de níveis alternados.....	117
Figura 54: Lagoa do Coração.....	120
Figura 55: Perfil topográfico com exagero gráfico.....	121
Figura 56: Imagens do lixão do Botuquara na década de 90.....	124
Figura 57: Recalque no terreno.....	139

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização da área do estudo.....	42
Mapa 2: Unidades de Conservação.....	43
Mapa 3: Mapa Geológico.....	46
Mapa 4: Lineamentos na área do Sistema Cárstico.....	59
Mapa 5: Limites da Depressão de Vila Velha.....	66
Mapa 6: Mapa espeleológico do Poço de Santa Madalena.....	112
Mapa 7: Depressões e lineamentos estruturais no Aterro Botuquara.....	124
Mapa 8: Depressões e lineamentos estruturais no CTR Furnas.....	125
Mapa 9: Mapa da distribuição espacial das cavernas.....	128
Mapa 10: Mapa da distribuição espacial das furnas.....	129
Mapa 11: Mapa da distribuição espacial das depressões no terreno.....	130
Mapa 12: Estruturas tectônicas e distribuição espacial das feições.....	132
Mapa 13: Uso do solo sobre o Sistema Cárstico da Formação Furnas....	134
Mapa 14: Zoneamento Ambiental Cárstico.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Método de graduação BCRA.....	22
Tabela 2: Porosidade visual das rochas da Formação Funras.....	54
Tabela 3: Cavidades de Ponta Grossa.....	69
Tabela 4: Aspectos morfológicos e genéticos.....	75
Tabela 5: Tipos de depressão no terreno.....	126
Tabela 6: Descrições e restrições das diferentes zonas no ZAC.....	136

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	14
2- OBJETIVOS	17
3- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
3.1- Etapas da pesquisa.....	18
3.2- Materiais e métodos.....	20
4- CONCEPÇÃO TEÓRICA.....	24
4.1- Reflexões acerca do tema.....	24
4.2- Do método (de concepção) da pesquisa.....	27
4.3- O sistema cárstico, temporalidade, espacialidade e a ação antrópica: o geossistema.....	36
5- RECORTE ESPACIAL	41
6- CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	45
6.1- As rochas do Embasamento do Proterozoico.....	45
6.2- Formação Furnas.....	49
6.3- Outras unidades geológicas presentes na área de estudo.....	54
6.4- Estruturas tectônicas.....	56
6.4.1- Arco de Ponta Grossa.....	56
6.4.2- Falha Itapirapuã.....	58
6.4.3- Conjuntos de lineamentos estruturais.....	59
7- CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	63

8- AS FEIÇÕES CÁRSTICAS DA FORMAÇÃO FURNAS.....	67
8.1- Cavernas subterrâneas.....	68
8.1.1- Padrão de desenvolvimento.....	70
8.1.2- Morfologia das galerias.....	74
8.1.3- Breve descrição das cavernas subterrâneas.....	80
8.2- Depressões no terreno.....	114
 9 - ESPECIALIZAÇÃO DAS FEIÇÕES CÁRSTICAS DA FORMAÇÃO FURNAS.....	 127
 10- PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL CÁRSTICO (ZAC).....	 133
 11- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 142
 12- REFERÊNCIAS.....	 145
 ANEXOS.....	 156

1. INTRODUÇÃO

A ciência do carste passou por profundas transformações, principalmente nas últimas décadas. Com as mudanças na ciência ocorreu também a evolução no conceito, principalmente na classificação do que é carste. A literatura clássica considerava “carste” todo e qualquer relevo desenvolvido sobre as rochas carbonáticas, tais como metacalcários, metadolomitos, mármore, entre outras, bem como as rochas evaporíticas, considerando como “pseudocarste” aquelas formas e feições desenvolvidas em outros tipos de rochas. Correntes recentes da ciência do carste apresentam a existência de carstificação em rochas não-carbonáticas, como quartzo arenitos e quartzitos, contrapondo-se aos conceitos clássicos. Com esta nova forma de pensar, discutir o que é carste não se restringe somente a uma análise comparativa, ou ao tipo litológico, mas sim remete a pensar no processo, nas formas, na espacialização e no funcionamento deste tipo de relevo de maneira integrada, ou seja, pensar carste como um sistema. Neste trabalho o carste é abordado como um sistema, definido como um tipo de relevo que se estabelece em função de processos específicos (ocorrendo dissolução como processo fundamental, mas não necessariamente o preponderante), originando um conjunto de formas características, apresentando uma organização espacial e um funcionamento, independente do tipo litológico.

O recorte espacial desta pesquisa corresponde às áreas de afloramento dos arenitos quartzosos da Formação Furnas, no município de Ponta Grossa, cerca de 500 km², unidade geológica classificada como um sistema cárstico em rocha não-carbonática. Sobre o relevo desta unidade ocorrem diversas feições típicas de carste, tais como as furnas (poços de abatimento, cavernas verticais), que ocorrem principalmente na região do Parque Estadual de Vila Velha e proximidades; sumidouros e ressurgências; lagoas; depressões úmidas e secas; túneis; caneluras e *lapiás*; bacias de dissolução (*kamenitza*); alvéolos e túneis anastomosados; cúpulas de dissolução; espeleotemas; painéis; dutos de dissolução e; diversas cavidades subterrâneas (MAACK, 1956; MELO, MORO e GUIMARÃES, 2007; PONTES, 2010; MASSUQUETO, 2010; PONTES et al., 2011; MELO et al., 2011; FLÜGEL FILHO, 2012; PONTES et al. 2013).

A carstificação dos arenitos da Formação Furnas é compreendida neste trabalho como o resultado de: processos em ambiente freático, com a ação geoquímica das águas subterrâneas em zonas de fraqueza da rocha (estruturas sedimentares e tectônicas), formando alteritas (fantomização); ação das águas em ambiente epifreático (de oscilação do nível freático) e; remoção mecânica do material alterado pela ação das águas superficiais. Parte deste processo é descrito por Melo e Giannini (2007) os quais mostram que os arenitos em questão são atacados não somente pela erosão mecânica, mas também por erosão química, decorrente, sobretudo da dissolução do cimento caulínico, caracterizando assim a arenização (JENNINGS, 1983) das rochas sedimentares. Wray (1997) afirma que relevos cársticos são aqueles que, durante sua gênese, têm a participação de processos de dissolução, ou seja, seguindo este raciocínio mesmo havendo ação mecânica, as rochas da Formação Furnas seriam previamente preparadas (alteradas) e posteriormente a hidrodinâmica atuaria, removendo um material já alterado geoquimicamente.

Neste trabalho, optou-se em estudar apenas as cavernas, furnas (dolinas de abatimento) e depressões no terreno. Esta escolha reflete o fato de que tais elementos da paisagem cárstica da Formação Furnas influenciam diretamente na gestão do território, pois a ocupação e uso do solo em locais de ocorrência destas três feições do relevo proporcionam riscos geoambientais diversos, capazes de gerar perdas econômicas, ambientais e sociais. A escolha do recorte espacial e da temática da pesquisa foi embasada no fato da área apresentar diversos problemas com relação à sua gestão territorial, e por ser considerado um sistema cárstico, trata-se de um relevo com características naturais que merecem cuidados específicos, necessitando de um estudo com uma visão global da área, a fim de identificar áreas de maior e menor fragilidade ambiental.

A atual conjuntura econômica de Ponta Grossa está proporcionando um crescimento urbano e industrial acelerado, com tendência de expansão sobre o Sistema Cárstico da Formação Furnas, acentuando ainda mais os riscos geoambientais. A partir destas considerações, optou-se pelo recorte espacial apresentado, com a meta de realizar um Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC) na área em questão, a partir do estudo detalhado das cavidades

subterrâneas (cavernas e furnas) e depressões no terreno e espacialização geográfica das mesmas.

A partir desta linha de pensamento, o objetivo deste trabalho é responder a seguinte pergunta de partida: *“qual é o padrão espacial da ocorrência das depressões no terreno e cavidades subterrâneas (furnas e cavernas) no Sistema Cárstico da Formação Furnas, no município de Ponta Grossa – PR?”*. Para responder esta questão este estudo tem o sistema carste como conceito-chave (principalmente o carste não-carbonático, especificamente, o carste siliciclástico), sendo desenvolvido sobre a perspectiva da Geomorfologia, adotando como concepção teórico/metodológica o Geossistema.

Este trabalho foi enquadrado dentro de dois projetos de pesquisa, intitulados: *“Releitura da geomorfologia como fator determinante da Rota dos Tropeiros, à luz do conceito de Patrimônio Natural – Cultural”* e *“Estudo espeleológico das cavidades subterrâneas areníticas da Formação Furnas, município de Ponta Grossa, Campos Gerais do Paraná”*, este último financiado pela Fundação Grupo Boticário. Tais projetos contribuíram diretamente para o desenvolvimento do presente trabalho, bem como para o alcance das metas e objetivos propostos.

2. OBJETIVOS

2.1- Objetivo Geral

Estabelecer a distribuição espacial das principais feições do sistema cárstico da Formação Furnas no município de Ponta Grossa - Paraná.

2.2- Objetivos Específicos

- a) Espacializar as cavidades subterrâneas e depressões no terreno presentes na área de estudo.
- b) Discutir os aspectos genéticos e morfológicos das feições cársticas da Formação Furnas.
- c) Obter um zoneamento visando à gestão do território.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1- Etapas da pesquisa

Antes da apresentação dos materiais e métodos aqui utilizados, é válido citar que a presente pesquisa foi desenvolvida sobre a perspectiva da geomorfologia, através de uma abordagem teórica metodológica de sistema cárstico e geossistema.

Durante a elaboração do projeto deste estudo foram delimitadas cinco etapas para a construção de um documento final, contendo todas as discussões teóricas, os levantamentos e os resultados da pesquisa. A primeira etapa deste projeto consistiu na execução de levantamento do referencial teórico existente sobre a temática trabalhada (o estado da arte), envolvendo leituras direcionadas (sobre geomorfologia do carste, espeleologia, gestão de áreas cársticas, sistemas cársticos, geossistemas, carste clássico e carste não-carbonático). Consultas bibliográficas para a constituição do referencial teórico foram realizadas durante todo o período da pesquisa, sendo utilizados jornais, artigos em revistas científicas, monografias, dissertações, teses e resumos em anais de eventos e análise do Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) e do banco de dados do CECAV/ICMBIO.

A segunda etapa da pesquisa foi caracterizada por uma interpretação de imagens de satélite. Através da análise de imagens orbitais (ORTOIMAGEM SPOT 5 e *Google Earth*) foi possível identificar novos locais que apresentam relevante interesse no que se refere ao patrimônio cárstico e espeleológico da Formação Furnas. Os primeiros elementos a serem localizados nas imagens foram as estruturas tectônicas (fendas, falhas, lineamentos e *canyons*). Trabalhos como o de Maack (1956), Maack (1968), Soares (1988), Soares (1989), Spinardi e Lopes (1990), Santana e Melo (2001), Melo e Giannini (2007) e Pontes (2010) já ressaltavam a ligação intrínseca entre as estruturas tectônicas e a ocorrência de cavidades subterrâneas e outras feições cársticas.

O segundo elemento identificado, principalmente nas imagens do *Google Earth* são as depressões no terreno. Com o banco de imagens existente no referido programa, apresentando diferentes datas de cobertura, é

possível realizar uma análise temporal a partir do reconhecimento dos períodos de chuva. Períodos de chuva permitem identificar com maior facilidade muitas depressões no terreno, pois geralmente, tais feições do relevo se tornam lagoas intermitentes durante estações chuvosas, devido à elevação do nível freático, fato comum na área deste estudo. As áreas de campos úmidos, comumente presentes em depressões no terreno, juntamente com o sombreamento formado nestes locais, devido à posição de incidência da luz solar durante a obtenção da imagem, também permitem o reconhecimento destas feições do sistema cárstico da Formação Furnas.

Para a identificação e levantamento das depressões, os trabalhos de Soares (1988), Soares (1989) e Melo, Giannini e Pessenda (2000) contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste passo da pesquisa, sendo considerado o ponto de partida para os levantamentos destas feições. Os referidos autores identificaram cerca de 40 depressões, espacializando as mesmas e ressaltando a possibilidade da existência de outras no município de Ponta Grossa.

Classificados como a terceira etapa da pesquisa, os trabalhos de campo envolveram levantamento de dados em geral, como: identificação e cadastramento de depressões no terreno; identificação, cadastramento e mapeamento de cavidades subterrâneas (cavernas, furnas, fendas, abismos); estudo da morfologia das cavidades (envolvendo o estudo do padrão de desenvolvimento e morfologia de galerias); análise de estruturas tectônicas (como falhas e fraturas) e feições em parte controladas por estas estruturas (como fendas e *canyons*) e demais feições geomorfológicas de nível local, relacionando-as com as estruturas de expressão regional, utilizando cartas topográficas e geológicas de escalas variadas. Nesta etapa também foram identificadas e registradas as demais feições de dissolução superficiais e subterrâneas na Formação Furnas, tais como relevos ruiformes, bacias de dissolução, dutos, cúpulas, espeleotemas, sumidouros, etc.

A quarta etapa deste projeto de pesquisa consistiu na fase laboratorial de tratamento e interpretação dos dados coletados em campo e formulação de hipóteses. Com os dados obtidos em campo foram gerados mapas espeleológicos e mapas temáticos diversos, mostrando o padrão espacial das feições do relevo, os locais com alto potencial de impactos negativos oriundos

do uso e ocupação do solo, as estruturas tectônicas e conjuntos de lineamentos, geomorfologia da área de afloramento das rochas da Formação Furnas e um mapa com o Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC) visando à gestão do território no relevo em questão.

A quinta e última etapa consistiu na finalização desta pesquisa, envolvendo a construção textual final. Este trabalho contou com o apoio do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE), entidade fundada na cidade de Ponta Grossa, a qual tem como um de seus objetivos a realização de pesquisa sobre o patrimônio espeleológico e cárstico de Ponta Grossa e região. A unidade regional do ICMBIO/IBAMA, responsável pelo Parque Nacional dos Campos Gerais, apoia os trabalhos do GUPE, e auxiliou o presente projeto de pesquisa, principalmente por meio de suporte logístico.

Como a área de estudo inclui setores do Parque Estadual de Vila Velha e Parque Nacional dos Campos Gerais, foram obtidas as licenças ambientais dos órgãos competentes (Instituto Ambiental do Paraná – IAP e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBIO/IBAMA) para a realização das pesquisas.

3.2- Materiais e métodos

Para identificação de locais com potencial espeleológico e com ocorrência de depressões no terreno, foi utilizada a técnica de análise visual de imagens orbitais. Optou-se neste trabalho pela utilização de imagens digitais SPOT 5 do ano de 2005, com resolução espacial de 5 metros e curvas de nível com equidistância de 20 metros, materiais fornecidos pela Secretaria Estadual de Desenvolvimento Urbano – PARANÁCIDADE/SEDU ao Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e as imagens do *Google Earth*, disponíveis gratuitamente.

Além das imagens mencionadas, os arquivos da divisão política do estado do Paraná disponíveis gratuitamente no sítio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE, também serviram de referência nos levantamentos.

Nos trabalhos de campo foram utilizados equipamentos de segurança e apoio, tais como: perneiras, capacetes, lanternas fixas (de cabeça) e lanternas

de mão (equipamentos elétricos), equipamentos de técnicas verticais (cordas, cadeirinhas, mosquetões, ascensores e descensores), roupas apropriadas para entrar em ambientes subterrâneos e demais acessórios seguindo os critérios de segurança do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas (GUPE).

Os levantamentos topográficos das cavernas seguiram os métodos propostos por Dematteis (1975), um manual de espeleologia, auxiliando nas técnicas de cartografia de cavidades subterrâneas. Foram coletadas coordenadas UTM através de aparelho receptor GPS (*Global Position System*) (GARMIN GPS map62). Para realizar as medições das cavernas (altura, profundidade, desnível, extensão) foi utilizada trena laser (Leica Disto™ A6, mensuração com erro aproximado de 1,5 mm, com alcance de 200 metros). As medições seguiram o método da poligonal aberta e fechada segundo proposta de Dematteis (1975).

As direções de lineamentos e os desníveis (em graus) foram medidos com bússola geológica Brunton Modelo 5008 Com-Pro Pocket Transit. Os mapas espeleológicos possuem detalhamento de acordo com a graduação proposta pela *British Cave Research Association* (BCRA – Associação Britânica de Pesquisas em Cavernas) (MAGALHÃES E LINHARES, 1997) (tabela 1). Para acrescentar as representações cartográficas das cavidades foram realizadas seções transversais e perfis topográficos. Os dados topográficos das cavidades subterrâneas foram tratados (digitalizados) e os produtos finais executados através do programa livre *OCAD PRO 8*.

As descrições geológicas e geomorfológicas basearam-se em dados observados em campo e contaram com o apoio de cartas topográficas (disponíveis no Laboratório de Cartografia da Universidade Estadual de Ponta Grossa) e geológicas (folha geológica na escala de 1:250.000 cedida pela MINEROPAR, 2007).

Em todas as cavidades naturais subterrâneas houve levantamentos fotográficos para ilustrar os aspectos morfológicos gerais, suas feições e seus elementos.

Tabela 1: Método de graduação BCRA.

I - Quanto aos erros no alinhamento poligonal	
1	Um esboço de baixa precisão, onde nenhuma medida foi feita;
2	Pode ser usado, se necessário, para descrever um esboço que é intermediário em precisão entre os graus 1 e 3;
3	Um levantamento magnético aproximado. Ângulos horizontais e verticais medidos com precisão de dois graus e meio; distâncias com precisão de 0,5 metros; erro no posicionamento das bases menor que 0,5 metros;
4	Pode ser usado, se necessário, para descrever um levantamento que não atinge os requisitos do grau 5 mas é mais preciso que o grau 3;
5	Um levantamento magnético. Ângulos verticais e horizontais com precisão de 1 grau; distâncias com precisão de 10 cm; erro no posicionamento das bases menor que 10 cm;
6	Um levantamento magnético mais preciso que o grau 5;
7	Um levantamento baseado principalmente no uso de um teodolito.
II - Quanto ao detalhamento dos condutos	
A	Todos os detalhes baseados na memória;
B	Detalhes das passagens estimadas e anotadas na caverna;
C	Medidas de detalhes feitas nas bases topográficas apenas;
D	Medidas de detalhes feitas nas bases topográficas e onde quer que seja necessário entre as bases, para mostrar mudanças significativas na forma, tamanho e direção da passagem.

Fonte: Magalhães e Linhares (1997).

Foram gerados diversos mapas temáticos, principalmente espacializando a ocorrência de cavernas, furnas e depressões no terreno (feições foco deste estudo). Para isso foi desenvolvido um banco de dados em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) utilizando os programas de

uso gratuito *Arc View 3.2 a* (disponível no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG) e *Quantum GIS Enceladus 1.4.0.* (disponível para *download* na *internet*). Além destes programas SIG, foi utilizado o programa *Corel Draw x5* (versão de avaliação com tempo limitado de uso, disponível gratuitamente para *download* na *internet*), para finalização do *layout* dos mapas.

Todas as novas cavidades foram integradas ao Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) e o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (CECAV/ICMBIO). Também foram executadas algumas atualizações dos dados de cavernas já existentes no cadastro SBE.

4. CONCEPÇÃO TEÓRICA

4.1- Reflexões acerca do tema

Existem duas ciências, ambas pouco divulgadas e trabalhadas, iniciadas na Europa, que possuem estreita semelhança, principalmente com relação à proximidade dos objetos de estudo: a espeleologia e a carstologia. A espeleologia (do grego: *spelaiion* = caverna, *logos* = estudo) é a ciência que estuda as cavernas. A carstologia, termo mais recente em relação à espeleologia, é a ciência que estuda o carste, ou seja, todas as formas e processos do relevo cárstico, envolvendo suas três dimensões espaciais: endocarste (formas, feições e processos subterrâneos); exocarste (formas, feições e processos superficiais) e; criptocarste (formas, feições e processos ocorrentes entre o espaço subterrâneo e superficial, porção solo/regolito/rocha).

Segundo Hardt, Rodet e Pinto (2010) a carstologia, ciência que estuda os processos, formas e feições cársticas, surge, enquanto ciência, a partir dos trabalhos do sérvio Jovan Cvijic (1865-1927). Os mesmos autores mostram que os relevos cársticos foram estudados pela primeira vez em uma região denominada *Kras*, situada entre a Eslovênia e Itália. A palavra “carste” (do português brasileiro) é uma das derivações da palavra germânica “*karst*”, originada do “*kras*” na língua eslovena e sua tradução aproximada significa “campo de pedras”, sendo que no português (de Portugal) e italiano utiliza-se a denominação “*carso*”.

No início desta ciência, conforme mostra a literatura clássica, os estudos eram focalizados em rochas carbonáticas (rochas que, predominantemente, apresentam carbonato de cálcio e/ou magnésio em sua composição), tais como calcários e dolomitos e seus equivalentes metamórficos, por serem mais solúveis e possuírem muitas fraturas, diáclases, fissuras, que facilitam a infiltração e ação da água.

Por muito tempo a ciência do carste compreendeu que a ocorrência de carstificação só era possível nestes tipos de rochas, excluindo qualquer possibilidade de existência deste tipo de relevo em outras litologias, empregando a nomenclatura pseudocarste para tais formas e feições.

Unidades rochosas compostas de sílica, por exemplo, eram consideradas como “inertes”, ou seja, “insolúveis”, pelo fato da dissolução da sílica ser um processo lento, sendo que muitos autores acabaram excluindo a possibilidade de formas cársticas neste tipo de rocha (WRAY, 1997).

Isto mostra que para a ciência clássica do carste a existência deste tipo de relevo é condicionada restritamente ao tipo de rocha, a exemplo deste fato pode-se citar Bigarella et al. (2007) onde tratam como pseudocarste as feições existentes nos arenitos da Formação Furnas; Christofolletti (1974) admite que para que haja o pleno desenvolvimento do modelado cárstico o tipo de rocha deve ser o calcário e por vezes os dolomitos e rochas evaporíticas; Bloom (1970) exclui a existência de dissolução do quartzo tratando-o como “virtualmente insolúvel”; Derruau (1966) apresenta típica obra de carstologia clássica, na qual relata a existência de formas cársticas somente em calcários; entre outros autores.

Mas a carstologia tornou-se ciência a pouco mais de um século e sua definição sofreu modificações significativas durante as últimas décadas, devido às abordagens diferenciadas, resultadas principalmente da contribuição de geomorfólogos, baseados na análise geográfica deste tipo de relevo. Hardt, Rodet e Pinto (2010) colocam que o estudo do carste passou por três momentos que possibilitaram a modificação de conceitos e a evolução desta ciência. O primeiro momento é marcado pelos levantamentos das formas superficiais (exocarste), baseados na geomorfologia germânica do final do século XIX até a primeira metade do século XX. No segundo momento ocorre a expansão das explorações espeleológicas (endocarste), no contexto pós-Segunda Guerra Mundial e, mais recentemente, a carstologia abrange os ambientes subterrâneos não acessíveis ao homem, incluindo o aparecimento e disponibilidade das novas tecnologias, bem como o entendimento da evolução do relevo dentro da perspectiva global de sistema geomorfológico.

Nas últimas décadas espeleólogos e carstólogos têm realizado amplas discussões a respeito da ocorrência de relevo cárstico, apresentando feições, formas e processos semelhantes ao carste carbonático, mas desenvolvido em rochas não-carbonáticas (rochas com ausência de carbonatos), principalmente as unidades silicosas (essencialmente compostas por silicatos, por exemplo,

quartzitos ou quartzo arenitos, como os presentes na Formação Furnas, objeto de estudo desta pesquisa).

Há pesquisadores que utilizam o termo carste relacionando-o com a presença de dissolução da rocha e ocorrência de drenagem cárstica, apresentando que esta forma de relevo pode ocorrer em outras rochas desde que predomine o processo de dissolução. A exemplo desta afirmação citam-se Klimchouk e Ford (2000) e Hardt et al. (2009) os quais tratam relevo cárstico como sistema cárstico, sendo que esta definição trata da importância da dissolução da rocha, seja qual for o tipo, e de uma hidrologia formada por canais subterrâneos, tratando de um processo integrado de transporte de material.

Segundo Ford e Williams (1989), Klimchouck e Ford (2000) e Hardt (2008) toda rocha pode ser dissolvida em condições e ambientes específicos, independente do tipo de mineral componente. Como aborda Wray (1997), diversos estudos revelam fatores comuns entre as formas de relevo em quartzitos e quartzo arenitos e formas de relevo cárstico em calcários, como a dissolução (ação química) e os processos mecânicos (ação física).

Ab' Saber (1979), afirma que uma assembleia particular de feições geomorfológicas passível de merecer o nome de 'relevo cárstico', é gerada em função de uma lenta ação dos processos de dissolução química das rochas, ricas em carbonato de cálcio, ou de comportamento similar, pois outras rochas podem dar origem a formas cársticas, sem que haja propriamente a presença de calcários.

Os estudos sobre o carste desenvolvido em rochas não-carbonáticas tiveram grande contribuição de Renault (1953), Maack (1956), White, Jefferson e Haman (1966), Mainguet (1972), Marescaux (1973), Jennings (1983), Young (1988), Galan e Lagarde (1988), Urbani (1990), Willems (2000), Wray (1997 e 2009), entre outros. No Brasil, estudos de Maack (1956), Soares (1988 e 1989), Corrêa Neto e Baptista Filho (1997), Hardt (2003), Melo e Giannini (2007) e Hardt (2011). Estes são alguns exemplos da abordagem do carste não-carbonático, envolvendo situações de ocorrência em rochas siliciclásticas.

Estes estudos, com um recorte temporal de pouco mais de meio século, além de mostrar uma corrente do pensamento cárstico extremamente recente, revelam que o carste não está relacionado ao tipo de rocha, mas sim, de uma

maneira integrada, classifica-o como um tipo de relevo com presença de formas e feições típicas, resultado a partir de processos geoquímicos (durante sua formação), com uma tendência a organização e a um funcionamento, ou seja, um sistema.

4.2- Do método (de concepção) da pesquisa

Klimchouck e Ford (2000) definem carste como sendo um sistema de transferência de massa integrado, em rochas solúveis, com permeabilidade estrutural dominada por condutos estabelecidos pela dissolução do material rochoso e organizado para facilitar a circulação de fluidos. O presente trabalho define carste como um tipo de relevo que se estabelece em função de processos de dissolução (não necessariamente como processo preponderante), originando um conjunto de formas características, com presença de drenagem subterrânea, apresentando uma organização espacial e um funcionamento envolvendo um transporte de matéria e energia, independente do tipo da rocha. As formas do sistema cárstico podem estar organizadas, ou estarem se organizando, dependendo de seu tempo de desenvolvimento.

Para Hardt (2011) é a geomorfologia que se preocupa com a descrição das formas, na interpretação destas para identificação de processos genéticos atuantes e na análise da distribuição espacial, de uma maneira lógica na paisagem, permitindo definir uma organização em um contexto maior, materializando assim, o sistema. O sistema cárstico desenvolvido sobre as rochas da Formação Furnas possui formas que indicam a existência de determinados processos (ainda atuantes e em alguns casos que atuaram no passado), além de apresentar uma organização peculiar e lógica, comportando-se de maneira integrada na paisagem.

No relevo em questão, trabalhos como o de Maack (1956), Maack (1968), Soares (1988 e 1989), Melo et al. (2007) e Melo e Giannini (2007) identificam feições cársticas nas rochas da Formação Furnas. Segundo Pontes e Melo (2009); Pontes (2010) e Melo et al. (2011) a ocorrência de espeleotemas silicosos e caulíníticos, é um dos fatores que sustentam a hipótese de haver processo de dissolução dos grãos de quartzo e do cimento

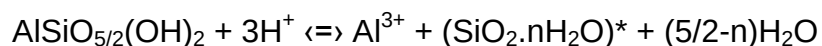
caulinítico. Vários espeleotemas foram encontrados em cavernas areníticas da região e, apesar de pequenos, são bastante significantes, principalmente por sua frequência nos arenitos.

Mas não são somente os espeleotemas os exemplos de feições cársticas nestas rochas. Melo et. al. (2007), afirmam que algumas feições de relevo típicas da região dos Campos Gerais do Paraná indicam significativos processos de dissolução de minerais constituintes da rocha, a par da erosão mecânica dos grãos. Segundo os mesmos autores, sumidouros, furnas, depressões e cavernas seriam exemplos destas feições. Massuqueto et al. (2011), descrevem os dutos de dissolução, formados pela ação das águas subterrâneas, sendo que estas feições evidenciam o processo de hipogênese (formação em ambiente freático), sendo esta considerada como mais uma evidência do processo de dissolução nos arenitos.

Apresentando visão oposta, Sallun Filho e Karmann (2007), no trabalho intitulado “Dolinas em arenitos da Bacia Sedimentar do Paraná: evidência de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR)”, afirmam que o que ocorre nas rochas da Formação Furnas não é carste, mas sim um carste subjacente, reflexo de processos existentes em profundidade (nas rochas carbonáticas do embasamento), denominando a região como campo de dolinas e não sistema cárstico. Mesmo sendo uma hipótese passível de aceitação, com relação à formação das furnas (dolinas de abatimento), a proposta ainda deixa em aberto a explicação da ocorrência de feições menores em tamanho e situadas próximas à superfície, destacando que a Formação Furnas possui cerca de 200 metros de espessura e as rochas do embasamento estão a grandes profundidades. Além disso, somente cerca de 60 km² da Formação Furnas, no município de Ponta Grossa, apresenta rochas carbonáticas como embasamento, e as feições cársticas, como cavernas, depressões no terreno, dutos de dissolução, entre outras, ocorrem em toda a área, em pontos onde o embasamento é representado por rochas ígneas plutônicas. Isto é mais um fator que comprova a hipótese da existência de carste nos referidos arenitos.

As rochas da Formação Furnas são essencialmente formadas por grãos de quartzo cimentados por caulinita. Queixo e Moinho (1991) e Ganor e Lasaga (2005) mostram que a dissolução do cimento caulinítico aumenta com a presença de ácidos orgânicos, principalmente ácido oxálico (H₂C₂O₄),

provenientes de atividade microbiana e/ou decomposição de matéria orgânica. Ganor e Lasaga (2005) e Melo e Giannini (2007) mostram que a dissolução da caulinita, cimento dos arenitos da Formação Furnas, em meio ácido, é expressa da seguinte maneira:



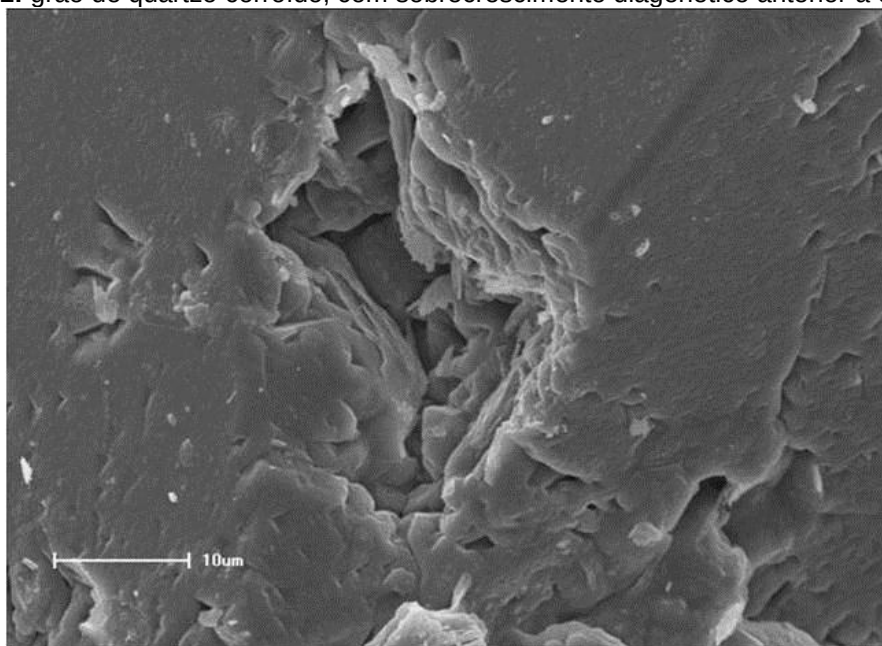
Já com relação ao quartzo, segundo White e Brantley (1995) apud Hardt (2011) é o pH elevado que dissolve a sílica. Mas, Wray (1997) diz que ocorre a dissolução da sílica em condições hiperácidas. Hardt (2011) mostra que mesmo que sílica, notadamente na forma de quartzo, tenha baixa solubilidade em água (*in natura*), encontram-se, com frequência, fatores que podem alterar esta solubilidade, permitindo que rochas siliciclásticas possam desenvolver feições cársticas, quando a atividade química é o fator condicionante para o aparecimento do relevo. Entre estes fatores estão: pH; presença de óxidos de ferro; ácidos orgânicos; sais e; ação de micro-organismos.

Conforme trabalho de Melo (2006) e Melo (2010), imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), realizadas em amostras de arenitos da Formação Furnas, evidenciam cristais de quartzo com faces cristalográficas e arestas bem definidas, apontando sobrecrecimento diagenético anterior com corrosão subsequente (figuras 1 e 2). Estas imagens atestam o processo de dissolução da sílica na área do presente estudo, no entanto, não há uma explicação exata de como ocorre e quais são os fatores condicionantes para que ocorra a ação geoquímica nos quartzos dos arenitos em questão.

Mesmo que a dissolução do quartzo nos arenitos da Formação Furnas não ocorra em proporções significativas para desenvolver um verdadeiro modelado cárstico na área de estudo, a dissolução do cimento caulinítico é significativa, e combinada com outros fatores (estruturas rúpteis, fortes gradientes hidráulicos, climas úmidos, arenização, antiguidade do relevo) influencia diretamente o desenvolvimento do sistema cárstico. O processo de arenização em arenitos, descrita por Jennings (1983), mostra que, primeiramente, ocorre a dissolução do cimento da rocha, deixando o material

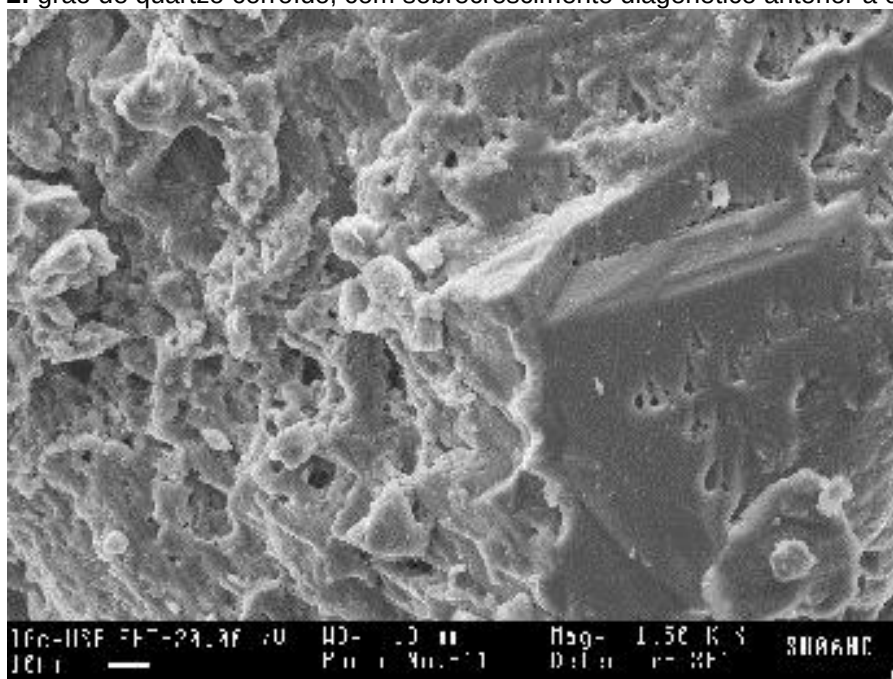
incoeso e suscetível à erosão mecânica, havendo a remoção dos grãos e transporte pela ação da água. No caso dos arenitos da Formação Furnas, a dissolução da caulinita (principal mineral cimentante) é mais rápida do que o processo de dissolução que ocorre nos grãos de quartzo, caracterizando assim, a arenização.

Figura 1: grão de quartzo corroído, com sobrecrecimento diagenético anterior à corrosão.



Fonte: Imagem pertencente ao banco de dados de análises de MEV e EDS do projeto de pesquisa: Processos erosivos superficiais e subterrâneos nos arenitos da Formação Furnas, Campos Gerais do Paraná.

Figura 2: grão de quartzo corroído, com sobrecrecimento diagenético anterior à corrosão.



Fonte: MELO, M.S. (2006).

Uma das interpretações mais intrigantes com relação à gênese do carste, seja ele carbonático ou não-carbonático, é apresentada por Rodet (1996) e posteriormente trabalhada por Quinif (1999) apud Lavery (2012), Bruxelles, Quinif e Wiénin (2009) e Dubois et. al. (2014). Esta nova concepção a respeito da carstogênese possui nomenclaturas diferentes entre os referidos autores, mas tem a mesma ideia lógica de formação. Estes pesquisadores discutem sobre o processo de alteração da rocha "*in situ*", tendo como produto a alterita (RODET, 1996 apud HARDT, 2011) e fantomização ou rocha fantasma (QUINIF, 1999 apud LAVERTY, 2012; BRUXELLES, QUINIF E WIÉNIN, 2012; DUBOIS et. al, 2014). Este processo é uma concepção diferente da carstogênese concebida pelo modelo clássico e trata-se de uma alteração que ocorre o desaparecimento de minerais solúveis e conservação *in situ* de materiais menos solúveis. A alterita, produto resultado da alteração da rocha (fantomização) pode se formar entre juntas, em bolsões, isolados ou agrupados, em pequenas ou grandes porções, sendo que, ao contrário do "carste tradicional", o volume inicialmente criado por dissolução é distribuído como poros em toda a alterita (QUINIF, 1999 apud LAVERTY, 2012). Lavery (2012) também apresenta o processo de substituição que pode ocorrer no processo de alteração da rocha (formação de alterita ou fantomização), como por exemplo, quando rochas calcárias são substituídas por argilominerais. Ou seja, a substituição é o crescimento de outro mineral quimicamente diferente a partir de um mineral preexistente.

Este processo de alteração da rocha ocorre em zonas freáticas, ambientes com pouca energia, onde a hidrodinâmica não afeta a estrutura original, ou seja, com remoção de material dissolvido em meio a um fluxo freático lento, sendo preservada a aparência do material (estratificação, granulometria, acamamento, etc) com relação ao seu entorno circundante inalterado. Quando o nível freático rebaixa, a água que antes ocupava os poros da rocha alterada desaparece e o material resultado da fantomização (ou em alguns casos ocorre a substituição) perde sustentação, colapsando sobre si, surgindo um vazio no topo do material alterado, podendo ser denominado de aloalterita (RODET, 1996). O mesmo autor mostra que quando a rocha é inteiramente alterada e o material resultado da alteração não colapsa sobre si, mantendo as características físicas da rocha, denomina-se isoalterita. Se um

novo potencial hidrodinâmico aparece, esta nova energia pode contribuir para a remoção do material que foi alterado, podendo assim desenvolver a carstogênese tradicional (RODET, 1996).

Na prática, as alteritas (isoalterita ou aloalterita) ou rochas fantasmas consistem em materiais geralmente argilosos, poucos coesos, com coloração diferente da rocha encaixante. Em uma primeira análise, as alteritas podem ser confundidas com depósitos de sedimentos alóctones, mas características como a presença de estratificação original da rocha passando através do material alterado e a composição mineralógica, são fatores que determinam a identificação desta feição. Rodet (1996) mostra que não se trata, portanto, de aluviões, de um preenchimento de determinado conduto por material exógeno, mas da transformação, "*in situ*", pela alteração da rocha encaixante, ao longo de estruturas tectônicas.

A alteração da rocha ou fantomização seria assim, um estágio inicial do carste, em profundidade, formada a partir da ação das águas subterrâneas, em diversos pontos da rocha, principalmente em zonas de descontinuidades, tais como planos de estratificação, acamamento e estruturas rúpteis. Primeiramente, inicia-se uma intemperização do material rochoso, ocorrendo dissolução dos minerais mais instáveis (mais solúveis) e o material mais resistente à dissolução permanece em sua estrutura sedimentar original. No caso do Arenito Furnas, a rocha inteira é alterada (os grãos de quartzo e o cimento), mas o que é mais atacado é o cimento caulínítico. Com isso, a rocha perde agregação ficando extremamente instável, sendo muito comum identificar alteração na coloração, facilitando a ação mecânica das águas superficiais, conforme interpretação de Melo e Giannini (2007), os quais destacam que algumas feições de relevo da Formação Furnas indicam significativos processos de dissolução de minerais constituintes da rocha, a par da erosão mecânica dos grãos de quartzo, desencadeando o processo de arenização, conforme Jennings (1983), e a formação de feições cársticas diversas.

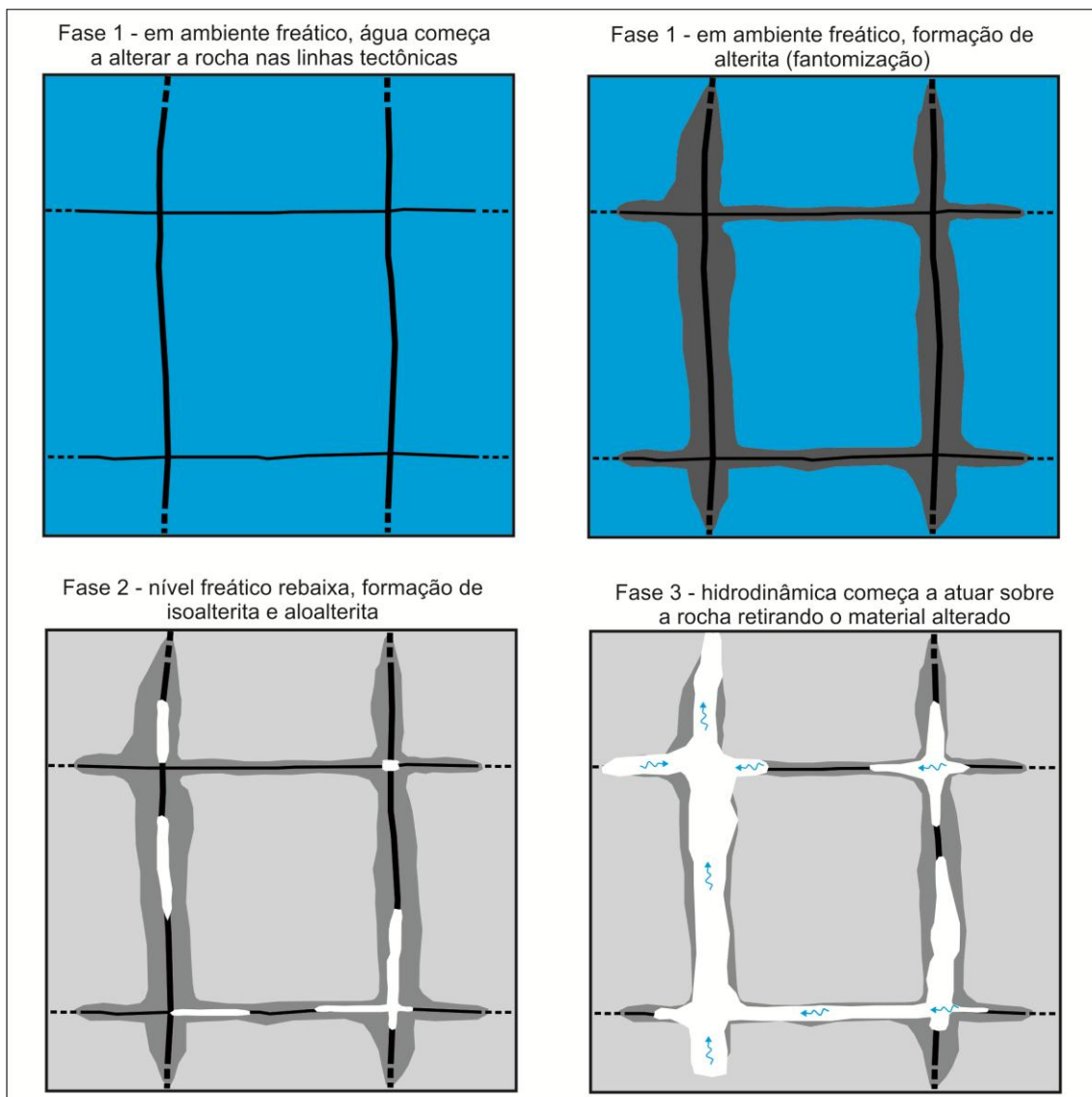
Desta forma a teoria carstogênica a partir da alterita ou fantomização indica três momentos distintos, sendo eles: 1) em ambiente freático, a rocha é alterada quimicamente, iniciando a formação da alterita (fantomização), principalmente em estruturas tectônicas; 2) com o rebaixamento do nível

freático, em alguns casos o material alterado colapsa sobre si formando a aloalterita, em outros mantém a mesma estrutura, se enquadrando como isoalterita; 3) introdução da hidrodinâmica, ação das águas superficiais (de rios e escoamento da chuva) sobre a rocha retirando o material já alterado (erosão mecânica) (figura 3).

No caso da área do presente estudo, pode-se dizer que é a arenização, considerada como um tipo específico de fantomização ou alteração “*in situ*”, o principal processo de formação do carste não-carbonático, pois foram identificadas alteritas nos arenitos da Formação Furnas (figuras 4 e 5). Tais observações mostram que, para compreender a carstogênese de sistemas cársticos, a exemplo do carste aqui estudado, é preciso ir além da observação de processos atuais, geralmente relacionados à hidrodinâmica. É preciso uma análise profunda e integrada de processos pretéritos, que afetaram diretamente no modelado das formas e feições atualmente desenvolvidas ou que estão em desenvolvimento. O título do trabalho de Laverty (2012) “*Preparing the ground – new mechanisms for karst and speleogenesis: ‘altération’, fantomisation and replacement*”, resume a lógica carstogênica da alterita (fantomização), pois literalmente, em primeiro lugar o solo é preparado a partir de processos geoquímicos e depois, processos hidrodinâmicos atuam sobre ele.

A partir das observações aqui apresentadas são supostas as seguintes hipóteses que irão permear as demais discussões acerca do presente trabalho: 1) o processo de dissolução ocorre no cimento caulínítico e nos grãos de quartzo dos arenitos da Formação Furnas; 2) há alterita (fantomização) nas rochas em questão, atestando que acontecem alterações geoquímicas em ambiente freático (com baixa energia); 3) pelo fato do quartzo ser mais resistente às intempéries, o cimento caulínítico é removido, a rocha perde coesão, e em ambiente onde há hidrodinâmica, dá-se início ao processo de remoção mecânica e formação de cavidades, dutos e demais feições cársticas.

Figura 3: Fases da teoria carstogênica da fantomização (alterita), em planta baixa.



Fonte: Baseado na proposta de Bruxelles, Quinif e Wiénin (2009), conceito desenvolvido por Rodet (1996).

Figura 4: processo de fantomização (alterita) no Sumidouro do Rio Quebra-Perna. Os traços em vermelho são para ressaltar as porções que correspondem às alteritas



Autor: Rubens Hardt.

Figura 5: processo de fantomização na Fenda Sítio Santa Maria 1. A imagem foi alterada, os traços em vermelho são para ressaltar as porções que correspondem às alteritas.



4.3- O sistema cárstico, temporalidade, espacialidade e a ação antrópica: o geossistema

A partir da concepção de que um sistema cárstico é um tipo de relevo que se estabelece em função de processos específicos, originando um conjunto de formas características que estão organizadas ou se organizando espacialmente, com um funcionamento envolvendo transporte de matéria e energia, a ação antrópica é um agente modificador capaz de alterar esta energia e a matéria e suas dinâmicas influenciam no funcionamento do sistema. Isto possibilita trabalhar o sistema cárstico a partir da abordagem teórico-metodológica de geossistemas.

Geossistemas é uma abordagem alinhada com os princípios da teoria dos sistemas, interessada na análise do sistema físico-geográfico, estruturada na interação dos fenômenos ocorrentes nas cinco esferas do Planeta Terra (litosfera, pedosfera, biosfera, hidrosfera e atmosfera), incluindo as ações antrópicas, sendo considerada um modelo dinâmico e complexo. Bertalanffy (1975) fala que geossistemas é uma classe peculiar de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados.

O geossistema possui temporalidade, pois modifica-se com o tempo, tanto em escala temporal geológica (dezenas a centenas de milhões de anos), escala temporal geomórfica (ou escala temporal climática, relacionada à alternância das fases glaciais e interglaciais – centenas de milhares de anos), como também na escala antrópica (décadas a centenas de anos).

No estudo do Sistema Cárstico da Formação Furnas a partir do recorte temporal geológico, é preciso pensar os processos na escala de tempo geológico, incluindo dezenas a centenas de milhões de anos. Neste recorte é preciso atentar a alguns fatores, tais como: o (s) ambiente (s) de formação da rocha; compreender processos diagenéticos (responsáveis pela compactação, porosidade e outras características do corpo rochoso) e; processos de tectonismo (incluindo soerguimentos e rebaixamentos regionais, falhas, fraturas e outras descontinuidades e feições oriundas de tectonismo). Esta temporalidade é considerada como primária e todos os acontecimentos presentes neste momento são condicionantes e influenciadores no

desenvolvimento de processos, formas e feições no relevo em temporalidades seguintes.

O recorte temporal geomórfico ou climático envolve centenas de milhares de anos e relaciona-se diretamente aos diferentes momentos climáticos que o planeta passou durante o Quaternário. O Quaternário é o período das grandes oscilações climáticas mundiais e, segundo Bigarella et al. (2007), as mudanças, pequenas ou grandes flutuações do clima, desempenham um papel importante no desenvolvimento do modelado do relevo atual. Como exposto pelos mesmos autores, durante todo o Quaternário (iniciado há 2,588 milhões de anos), em épocas glaciais, nas regiões tropicais e subtropicais ocorria diminuição da pluviosidade e processo de semiaridez e até mesmo aridez, apresentando climas mais secos, ressaltando que as épocas úmidas nestas regiões se relacionavam com as fases interglacial.

As oscilações climáticas controlam diretamente os processos geomórficos atuantes no modelado do relevo, pois em períodos interglaciais, com a alta umidade e disponibilidade hídrica elevada são fatores determinantes no processo de dissecação do relevo. Este é um recorte temporal de fundamental importância para compreender as formas e feições atuais da paisagem cárstica da Formação Furnas, pois neste período, devido a estas diferentes oscilações climáticas, as características gerais do relevo foram reorganizadas e remodeladas.

Para Sotchava (1977) apesar dos geossistemas serem formados por processos e fenômenos naturais, os fatores sociais e econômicos (antrópicos) influenciam na sua estrutura e características espaciais e devem ser abordados durante o seu estudo. Estes fatores fazem parte do recorte temporal antrópico e as ações provenientes deste meio influenciam diretamente no sistema cárstico, por exemplo, através dos diversos tipos de uso do solo sobre a área em questão. Outro exemplo da influência dos fatores antrópicos é o uso das águas subterrâneas em áreas cársticas, pois a exploração exacerbada de mananciais subterrâneos em áreas onde o relevo apresenta características cársticas, pode ocasionar recalques no terreno (formação de dolinas), conforme apresentam os trabalhos de Araújo (2006), Maia, Dias Neto e Corrêa-Gomes (2010) e Furrier e Vital (2011).

Este processo antrópico ocorre em escala de tempo muito pequena (entre anos e décadas), mas pode modificar toda a estrutura e funcionalidade do relevo cárstico, formado em diversos momentos de evolução e auto-organização (contando a escala de tempo geológica e geomórfica). Ou seja, mesmo sendo um período curto de tempo, este trabalho considera que a ação humana pode interferir e/ou acelerar (em diversas escalas de grandeza) a estrutura e funcionalidade do Sistema Cárstico da Formação Furnas.

Além dos aspectos temporais, os geossistemas possuem espacialidades bem definidas. O sistema cárstico pode ser dividido em duas porções, a Zona de Erosão, onde ocorre a remoção de material e Zona de Deposição, onde o material retirado é depositado (FORD e WILLIAMS, 1989). A respeito desta divisão do sistema Hardt (2011) coloca:

Este é um sistema ideal, mas na natureza, frequentemente estas zonas se sobrepõem, tornando o sistema muito mais complexo, ou representando um momento de transição ou reorganização do sistema em função de alterações do ambiente (regime das águas, mudanças climáticas, movimentações tectônicas, etc.). (HARDT, 2011, p. 17)

Além destas zonas, o carste possui três dimensões espaciais possíveis de serem trabalhadas: o exocarste, formada pelas feições, formas e processos presentes na superfície do relevo; o endocarste, formado pelos ambientes subterrâneos (as cavidades subterrâneas) e todos seus elementos, e; o criptocarste, composto pelas feições e processos ocorrentes em locais inacessíveis (no interior da rocha). Estas três dimensões e as duas zonas funcionam interconectadas e devem ser analisadas conjuntamente, independente da escala de análise¹ adotada.

Ao observar as formas, feições e processos existentes no relevo cárstico dos arenitos da Formação Furnas no perímetro municipal de Ponta Grossa, nota-se que há áreas de maior concentração e outras de vazios ou com menor intensidade de ocorrência destas características cársticas. Esta observação mostra que há uma organização espacial do carste não-carbonático em questão, sendo importante o estudo desta organização geossistêmica de forma integrada e conectada para contribuir com a gestão do território nestas áreas.

¹ Esta escala refere-se à escala cartográfica, em relação ao recorte espacial do estudo, ou seja, o tamanho das formas e feições a serem analisadas.

Sotchava (1977) mostra que o geossistema não deve ser analisado sob uma perspectiva reducionista, mas deve haver uma união e relação entre seus diversos componentes. Por isso, o referido autor define geossistema como uma dimensão do espaço terrestre que interage com a esfera cósmica e a sociedade humana, o qual é formado por variados componentes naturais que apresentam conexões sistêmicas entre si, apresentando uma integridade definida.

Esta definição de que o geossistema é composto por diversos componentes nos remete a considerar estes como subunidades de geossistemas, ou seja, estabelecer níveis hierárquicos, presentes dentro de geossistemas, diminuindo ou aumentando a escala de observação. Para compreender esta colocação pensando o Sistema Cárstico da Formação Furnas como um geossistema, inicia-se o exemplo utilizando uma escala cartográfica pequena (grandes áreas do real) e segue-se para grandes escalas (micro feições e formas do relevo).

Conforme anteriormente comentado, na área do presente estudo há a Depressão de Vila Velha (SALLUN FILHO e KARMANN, 2007). Esta depressão é considerada uma subunidade, um geossistema dentro do Sistema Cárstico da Formação Furnas. Situado dentro da Depressão de Vila Velha está o Sumidouro do Córrego das Fendas, um complexo sistema de cavidades naturais com mais de 1000 metros de desenvolvimento linear e com galerias ainda não exploradas. Esta cavidade é outra subunidade, situada dentro da Depressão de Vila Velha, apresentando intrínsecas relações e conexões uma com a outra, tais como rede de drenagem, falhas geológicas, unidade geológica, aspectos biogeográficos e climáticos, entre outros.

Se aumentar a escala em detalhe, no interior das cavidades subterrâneas na Formação Furnas ocorrem dutos de dissolução, feições que, segundo Massuqueto et al. (2011), são formadas pela ação das águas subterrâneas. Estes dutos representaram outrora um sistema de drenagem subterrânea organizada, com um padrão de hierarquia, na qual pequenos dutos se uniam e formavam dutos maiores, assim consecutivamente, podendo resultar em dutos de diâmetro superior a um metro. Estes dutos são por si só, um geossistema à parte, bem como as cúpulas de dissolução presentes nestes ambientes, com espeleotemas em seu interior, revelando mais uma fase de

evolução do carste em questão e também podem ser reunidas em outra subunidade de geossistema. Estes exemplos mostram que a cada vez que a escala de análise for aumentada (ou em outros casos diminuída), pode-se obter uma quantidade crescente de subunidades de geossistemas presentes no carste da Formação Furnas.

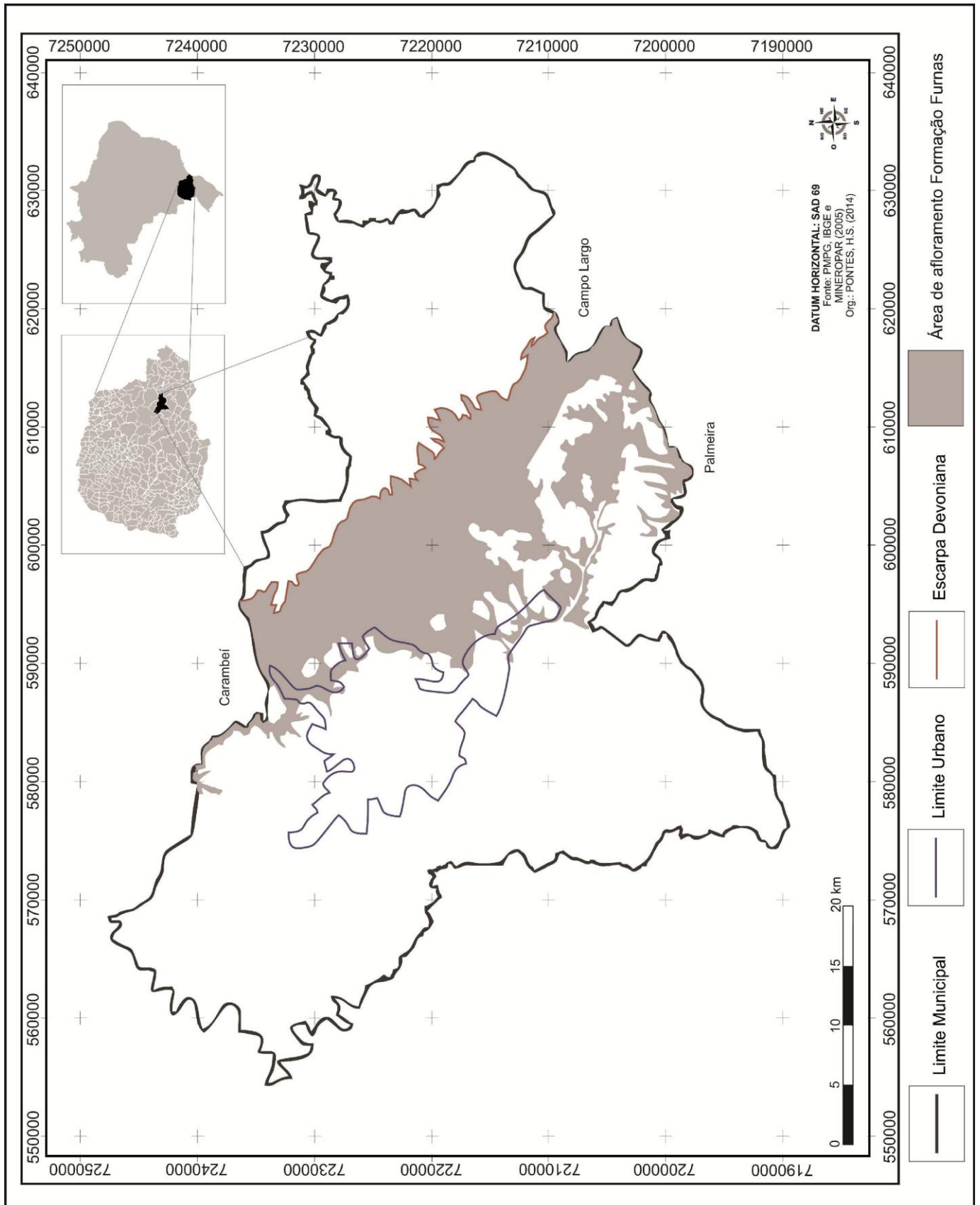
Para buscar compreender as características do Sistema Cárstico da Formação Furnas, visando fornecer subsídios para a gestão do território, é preciso conhecer os aspectos da espacialidade, ou seja, o padrão espacial da ocorrência das feições deste relevo, buscando entender as ligações entre as diferentes subunidades através da análise de múltiplas escalas espaciais. Além da espacialidade é preciso abordar os aspectos temporais, identificando possíveis modificações, dinâmicas e transformações do sistema, bem como incluir a ação antrópica nesta análise, pois sua ação interfere diretamente no funcionamento e na estrutura do sistema.

5. RECORTE ESPACIAL

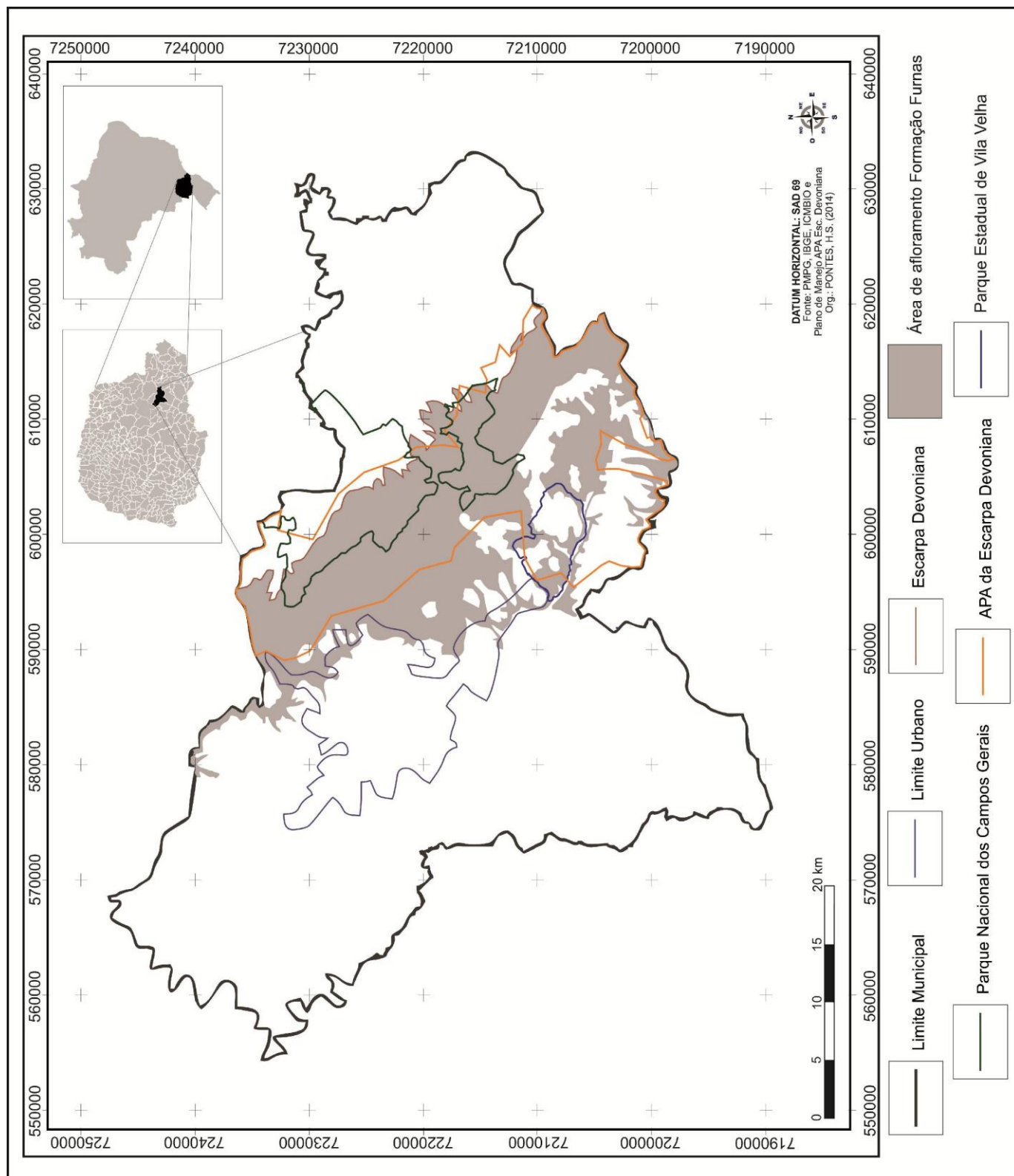
O recorte espacial deste trabalho abrange toda a área onde o substrato rochoso é formado pelos arenitos da Formação Furnas no perímetro municipal de Ponta Grossa (mapa 1). Possuindo cerca de 500 km², a área indicada no mapa 1 também apresenta afloramentos de rochas pertencentes à Formação Ponta Grossa e ao Grupo Itararé, sendo que neste último, ocorrem algumas feições cársticas semelhantes às existentes no Arenito Furnas, como depressões no terreno, cavernas, alvéolos e dutos, mas que não serão trabalhadas nesta pesquisa. O referido perímetro de trabalho faz divisa ao sul com os municípios de Palmeira e Campo Largo, a oeste, em boa parte, com o perímetro da área urbana de Ponta Grossa, a norte com o município de Carambeí e a leste com a Escarpa Devoniana (degrau topográfico que delimita o primeiro do segundo Planalto Paranaense, bem como a Bacia Sedimentar do Paraná das rochas do Embasamento do Proterozoico).

No contexto geomorfológico, a área de estudo está situada no Segundo Planalto Paranaense, sobre as rochas pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, nos domínios dos Campos Gerais do Paraná, conforme delimitação fitogeográfica proposta por Maack (1968). O recorte espacial aqui apresentado pode ser denominado de área de ocorrência do carste arenítico da Formação Furnas em Ponta Grossa, sendo que os afloramentos desta unidade rochosa ocupam cerca de $\frac{1}{4}$ (um quarto) do município.

O recorte espacial deste trabalho apresenta diversas Unidades de Conservação (UC's), sendo as principais, duas estaduais – a Área de Preservação Ambiental (APA) da Escarpa Devoniana e o Parque Estadual de Vila Velha – e uma federal – o Parque Nacional dos Campos Gerais (mapa 2).

Mapa 1: localização da área de estudo.

Mapa 2: unidades de conservação presentes no recorte espacial da pesquisa. Notar que ocorre sobreposição da APA da Escarpa Devoniana sobre o Parque Estadual de Vila Velha e Parque Nacional dos Campos Gerais.



Além destas áreas de conservação há as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN's): Fazenda Paiquerê (estadual) e Tayná (federal) e Reserva Meia Lua (RPPN estadual em processo de criação, a qual conta com o apoio da Sociedade Protetora da Vida Silvestre – SPVS para o manejo, através do programa Desmatamento Evitado).

A escolha deste recorte espacial foi embasada no fato de que o relevo em questão apresenta diversos problemas com relação à sua gestão territorial, e por ser considerado um sistema cárstico, trata-se de um relevo com características naturais que merecem cuidados específicos, necessitando de um estudo com uma visão global, a fim de identificar áreas de maior e menor fragilidade ambiental. Além disso, o recorte espacial deste estudo abriga exemplares de três biomas: mata atlântica (representada regionalmente por capões e matas galerias encaixada em *canyons*); campos (vegetação típica dos Campos Gerais, indicativa de períodos mais secos em toda a região durante o Quaternário) e; cerrado (vegetação relictual, representada no município pela ocorrência isolada de árvores típicas deste bioma, também indicando períodos mais secos em tempos passados).

O recorte escolhido também se justifica pela forma de uso e ocupação do solo em questão. A atual conjuntura econômica de Ponta Grossa faz desta região uma grande produtora de soja, eucalipto e *pinus*. O uso de agrotóxicos e biocidas diversos, bem como o a supressão da vegetação nativa (principalmente mata atlântica e campos) põem em risco os recursos naturais da região, com possibilidade de contaminação de mananciais superficiais e subterrâneos e geração de impactos negativos aos elementos biológicos.

Além disso, o crescimento urbano de Ponta Grossa apresenta forte tendência de expansão sobre o sistema cárstico da Formação Furnas, acentuando ainda mais os riscos geoambientais. A partir destas considerações, optou-se pelo recorte espacial apresentado, com a meta de realizar um zoneamento do carste desenvolvido nas rochas areníticas da Formação Furnas, a partir da compreensão das feições e espacialização geográfica das mesmas.

6. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

A área de estudo situa-se na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, especificamente nas rochas da Formação Furnas do Grupo Paraná. Apesar de a presente pesquisa optar por um recorte espacial extremamente ligado ao aspecto geológico, restringindo-se à área de afloramento das rochas da Formação Furnas, também serão descritas as rochas carbonáticas pertencentes ao Grupo Itaiacoca (Embasamento do Proterozoico), devido ao fato que estas rochas formam um sistema cárstico à parte e apresentam possível influência no relevo adjacente, formado pelo Arenito Furnas (mapa 3).

6.1- As rochas do Embasamento do Proterozoico

No compartimento geomorfológico denominado Primeiro Planalto Paranaense, dentro dos limites do município de Ponta Grossa, situam-se as rochas carbonáticas pertencentes ao Grupo Itaiacoca. Segundo Szabó et al. (2004) o Grupo Itaiacoca é dividido em três conjuntos distintos, sendo que os representantes carbonáticos compreendem “rochas metacarbonáticas (principalmente metadolomitos e mármore dolomíticos), equivalentes à Formação Bairro dos Campos, proposta por Souza (1990)”. Segundo Caltabeloti (2011), a Formação Bairro dos Campos, pertencente ao Grupo Itaiacoca (Domínio Apiaí) é constituída predominantemente por mármore dolomíticos com intercalações de metamargas, como filitos carbonáticos e calcifilitos.

Siga Jr. et al. (2003) colocam que as rochas metacarbonáticas fazem parte da sequência basal do Grupo Itaiacoca, apresentando idade entre o Mesoproterozoico e início do Neoproterozoico (1030–908 Ma) (figura 6).

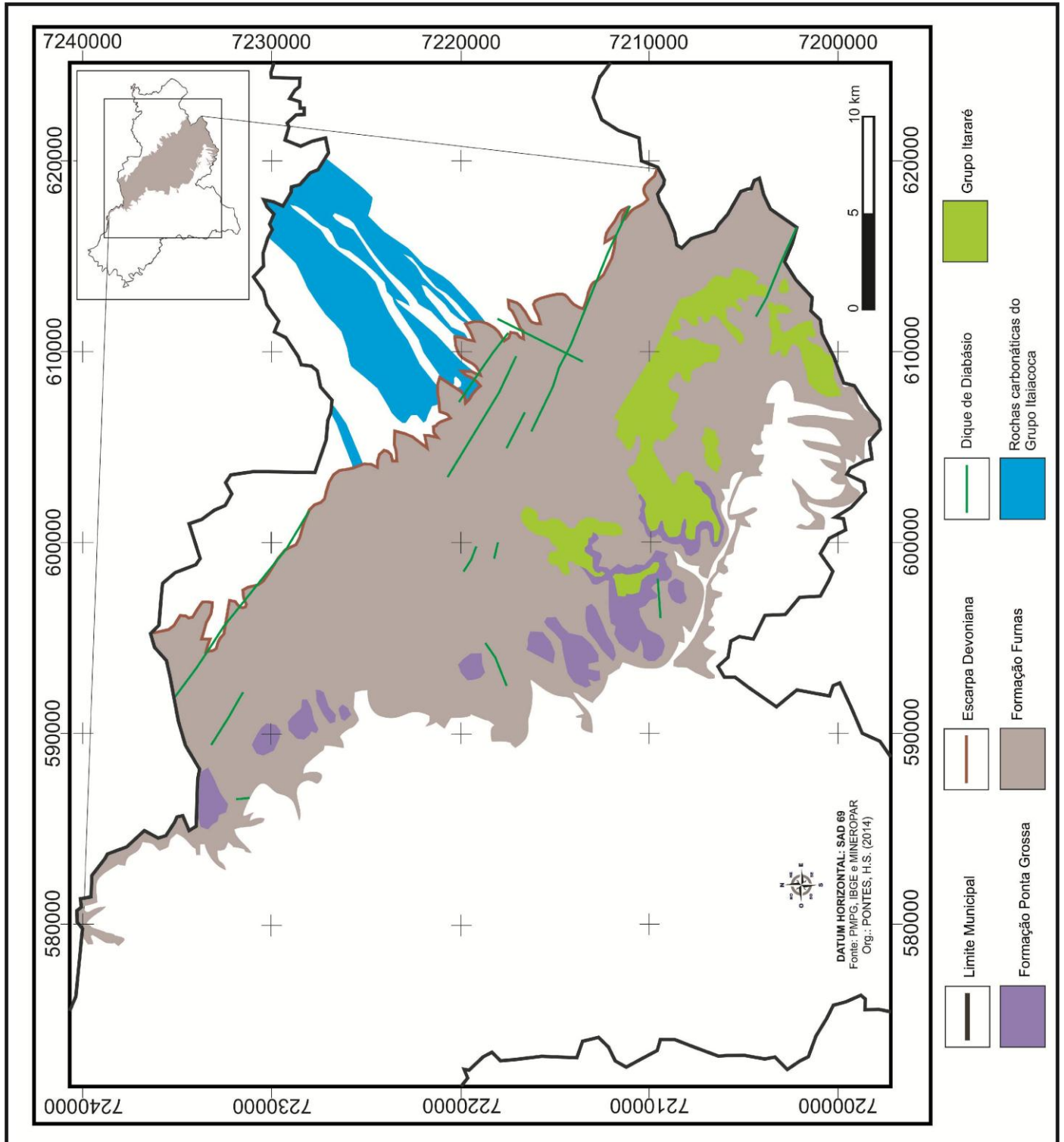
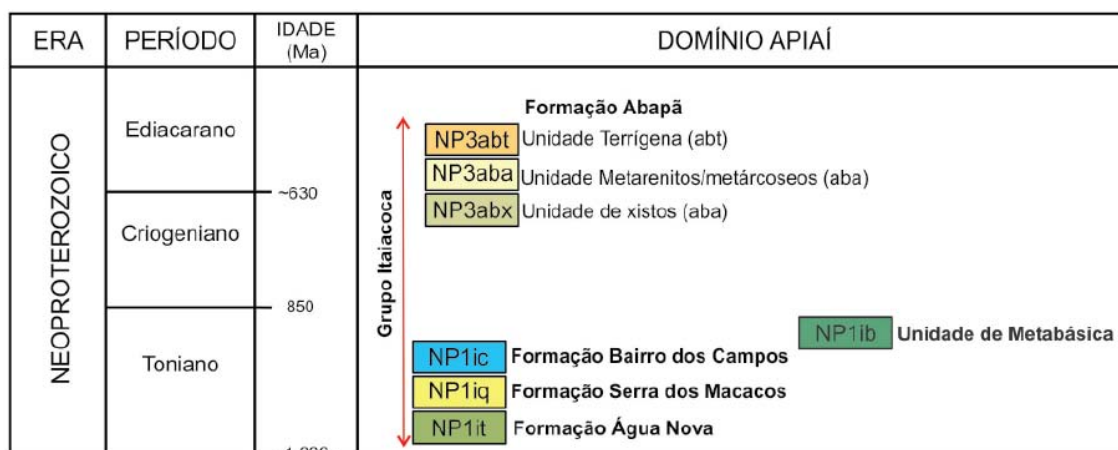
Mapa 3: mapa geológico da área de estudo.

Figura 6: Coluna litoestratigráfica do Grupo Itaiacoca

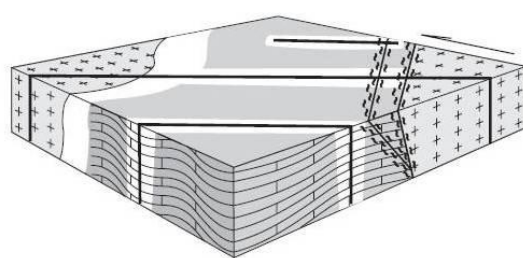
Fonte: Caltabeloti (2011).

Conforme relatado por Karmann (1994) e Hiruma et al. (2007), as rochas carbonáticas do Grupo Itaiacoca estão em uma faixa de direção geral NE-SW, concordante com a estrutura geológica pré-cambriana regional, tendo como limite noroeste a Bacia do Paraná e a sudeste pela Falha Itapirapuã. O metamorfismo regional (relacionado ao Ciclo Brasileiro), contemporâneo à fase principal de deformação destas rochas, ocorreu entre 628 e 590 Ma (SZABÓ et al., 2006).

Szabó et al. (2006) relatam que o Grupo Itaiacoca foi afetado por quatro episódios metamórficos (figura 7), sendo eles: 1) *metamorfismo regional*, relacionado ao Ciclo Brasileiro durante o Neoproterozoico, destacando que os metadolomitos puros não apresentaram registro deste metamorfismo, mantendo sua composição e estruturas sedimentares primárias; 2) *metamorfismo termal*, conexo com o contato intrusivo do Complexo Granítico Cunhaporanga com o Grupo Itaiacoca, ocasionando ao longo do contato a recristalização dos metadolomitos cinzentos, tornando-os mármore granoblásticos brancos, também chamados de mármore dolomíticos; 3) *Metamorfismo dinâmico*, o qual ocorreu ao longo das ramificações da Falha de Itapirapuã, sendo que nestas ramificações se encontram as maiores jazidas de talco da região e; 4) *metamorfismo termal*, relacionado com os diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa (Mesozoico), sendo que neste momento, segundo Szabó et al. (2006):

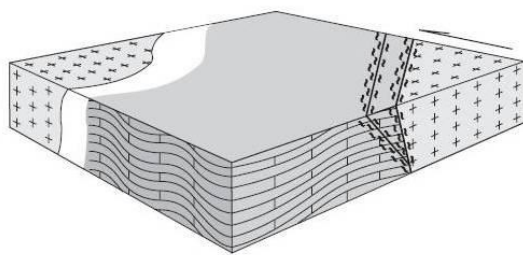
“Nas proximidades de diques mais possantes, o metadolomito sofreu recristalização, transformando-se em mármore dolomítico e calcítico branco a distâncias de até vários metros do contato. Em alguns casos, a recristalização foi condicionada pela estratificação, produzindo leitos alternados de mármore calcítico branco e de metadolomito cinza fino. Metadolomitos previamente talcificados de modo incipiente foram transformados em mármore calcítico-dolomíticos talcosos brancos, de grande interesse para a indústria cerâmica”. (Szabó et al., 2006, p. 18)

Figura 7: blocos diagrama representando os episódios metamórficos do Grupo Itaiacoca.



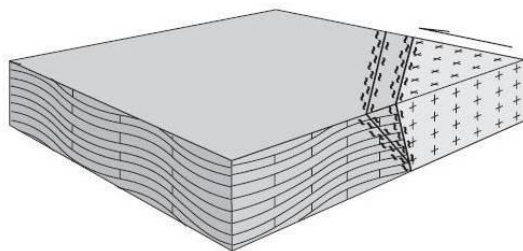
Cretáceo

Colocação dos diques de diabásio da Formação Serra Geral no Arco de Ponta Grossa e desenvolvimento de metamorfismo termal no contato com o Grupo Itaiacoca



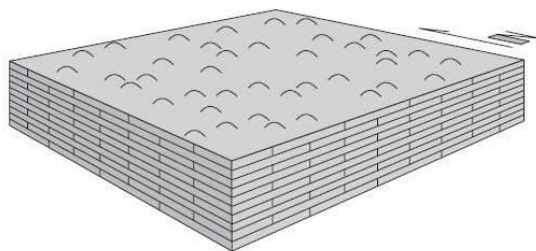
Neoproterozóico

Ciclo Brasileiro
- Colocação do Granito Cunhaporanga
- Desenvolvimento de metamorfismo termal no contato com o Grupo Itaiacoca



Neoproterozóico

Ciclo Brasileiro
- Metamorfismo de baixo grau e dobramento aberto do Grupo Itaiacoca
- Colocação do Granito Três Córregos
- Desenvolvimento de zonas de cisalhamento no contato do granito com o Grupo Itaiacoca e no interior do Grupo Itaiacoca



Mesoproterozóico

Sedimentação (estromatólitos)

Fonte: Szabó et al. (2006).

Os dados da MINEROPAR² (2005), na folha Geológica de Ponta Grossa (Escala 1:250.000) classificam as mesmas rochas carbonáticas aflorantes em Ponta Grossa como Formação Itaiacoca, pertencente ao Grupo Açungui, representada por afloramentos de mármore dolomíticos e metadolomitos, com intercalações de *metacherts* e metacalcários calcíticos cinzas.

Apesar da existência de três propostas de enquadramento estratigráfico, incluindo a nomenclatura de Faixa Itaiacoca, proposta por Reis Neto (1994), este trabalho irá tratar a referida unidade geológica como Grupo Itaiacoca, conforme apresentam Souza (1990), Karmann (1994), Siga Jr. et al. (2003), Szabó et al. (2006) e Hiruma et al. (2007).

6.2- Formação Furnas

A Formação Furnas, unidade litológica onde ocorre o sistema cárstico siliciclástico estudado nesta pesquisa, aflora na borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná, é predominantemente formada por arenitos quartzosos de variada granulometria, cimentados principalmente pelos minerais caulinita e illita, apresentando também níveis siltico-argilosos esparsos de espessura geralmente decimétrica. Os arenitos estão dispostos em sets de espessuras de 0,5 a 5 metros com geometria tabular, lenticular e cuneiforme, exibindo marcante estratificação cruzada planar, tangencial na base ou acanalada (ASSINE, 1996).

A denominação Furnas foi utilizada pela primeira vez por Oliveira (1912) para denominar os arenitos devonianos presentes nas escarpas da Serra das Furnas, na região de Itapeva (SP), e de “Serrinha”, a oeste de Campo Largo (PR). Mas, a denominação estratigráfica oficial da Formação Furnas, como pertencente ao Grupo Paraná, foi realizada três décadas depois por Petri (1948), e revista posteriormente por Bigarella, Salamuni e Marques Filho (1966).

Segundo Guimarães et al. (2007) a deposição da Formação Furnas teve início desde o final do Siluriano até o início do Devoniano, entre 395 e 421

² A MINEROPAR é uma sociedade de economia mista, constituída nos termos da Lei Estadual nº 6.938 de 21 de outubro de 1977, a qual tem como missão a função institucional de atuar como o Serviço Geológico do Paraná e servir de suporte técnico aos órgãos e entidades estaduais, aos municípios e à indústria mineral - <http://www.mineropar.pr.gov.br>

milhões de anos. Composto por camadas tabulares, esta unidade apresenta espessura que atinge medida superior a 250 metros, valor este registrado por Assine (1996) nos afloramentos no *canyon* do rio Iapó, especificamente no Parque Estadual do Guartelá, Município de Tibagi (figura 8).

Conforme estudos de Assine (1996), na região dos Campos Gerais a Formação Furnas pode ser subdividida em três unidades específicas, proposta realizada a partir das características sedimentológicas do corpo rochoso em questão. As referidas unidades são apresentadas resumidamente a seguir (Assine, 1996):

Unidade I (Inferior)

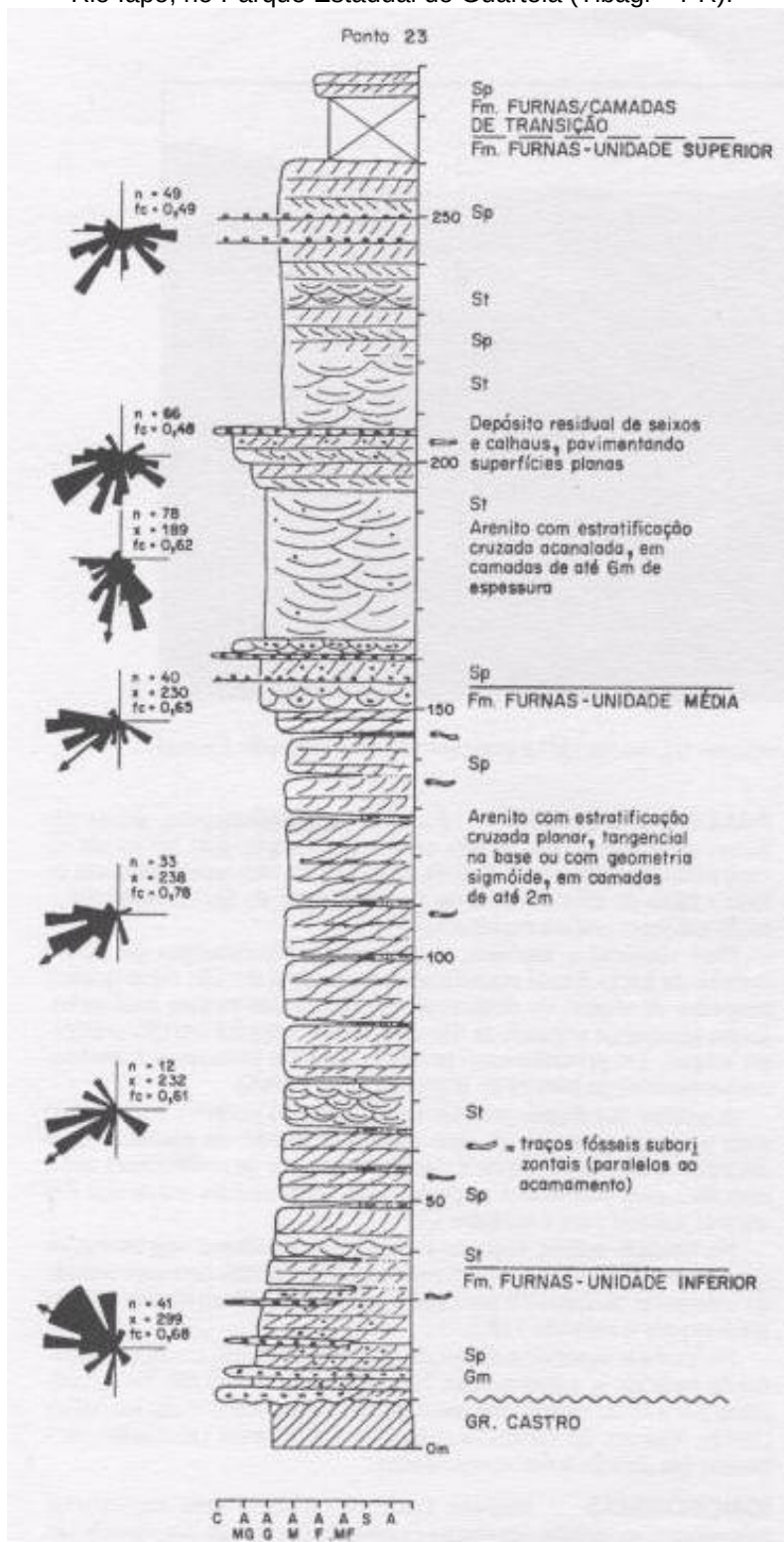
Unidade basal, disposta imediatamente acima da discordância com as unidades subjacentes, em contatos planos e bem definidos. Faciologicamente é constituída, predominantemente, de arenitos médios a grossos, apresentando conglomerados em camadas de pequena espessura. O conjunto é granodecrescente para o topo, com redução progressiva dos termos conglomeráticos, passando transicionalmente para a unidade II. As litologias da unidade I apresentam maior resistência à erosão que os estratos sobrepostos, formando relevos escarpados ao longo das faixas de afloramento.

Unidade II (Média)

É constituída de arenitos finos a grossos, predominando a fração areia média. Os arenitos apresentam-se dispostos em *sets* tabulares e/ou cuneiformes com 0,5 - 2,0 m de espessura. Os *sets* apresentam estratificações cruzadas planares e tangenciais na base e, secundariamente, acanaladas, com ângulos das camadas frontais menores que 25°. As terminações das camadas frontais muitas vezes gradam lateralmente para siltitos e/ou folhelhos brancos a verdes claros, frequentemente ricos em muscovita. Entre os bancos de arenitos ocorrem intercalações de siltitos argilosos de cor verde clara, formando camadas de alguns centímetros até dois metros, sob as quais é comum a presença de traços fósseis paralelos ao acamamento. Esta intercalação de

níveis finos entre os bancos arenosos se reflete na morfologia, dando origem a encostas com aspecto banqueado em degraus, característico da unidade II.

Figura 8: perfil estratigráfico vertical da Formação Furnas. A sessão foi realizada no *Canyon do Rio Iapó*, no Parque Estadual do Guartelá (Tibagi – PR).



Fonte: Mário Luiz Assine (1999).

Unidade III (Superior)

Compõe-se de arenitos médios a muito grossos, dispostos em *sets* com estratificações cruzadas tabular e acanalada, com espessura que varia de 0,5 a 5 m. Alguns *sets* apresentam lâminas de argila e deformação penecontemporânea nas camadas frontais, mesmo em arenitos com seixos dispersos. A unidade caracteriza-se pela existência de depósitos residuais de seixos e calhaus, delgados e extensos (centenas a milhares de metros), que ocorrem em superfícies erosivas planares separando os bancos arenosos. Os níveis siltico-argilosos são escassos e pouco espessos na unidade III, o que resulta numa morfologia de paredões mais íngremes que os da unidade II.

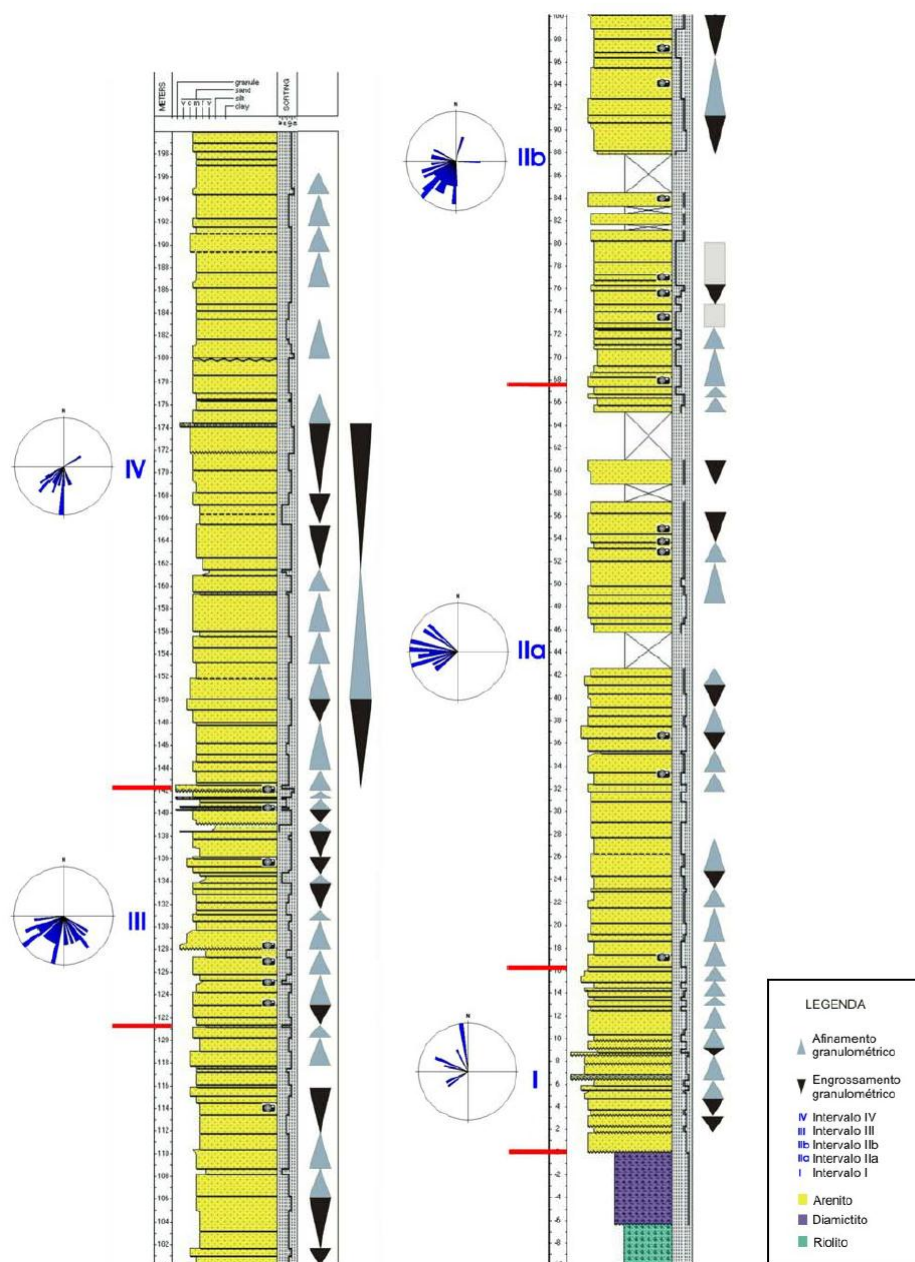
Para Lobato e Borghi (2005) a Formação Furnas mostra um intervalo arenítico do Devoniano Inferior, compondo grande parte um ciclo transgressivo de 2ª ordem do Devoniano da Bacia do Paraná. Os referidos autores, ao estudarem a estratigrafia da Formação Furnas, propuseram uma subdivisão desta unidade geológica em quatro intervalos específicos, destacando que o intervalo II é subdividido em A e B (figura 9).

Lobato e Borghi (2005) identificaram 86 ciclos na Formação Furnas, utilizando os seguintes critérios para identificação dos ciclos sedimentares na sucessão de fácies analisada: (1) afinamento ou engrossamento granulométrico; (2) espessamento ou afinamento de camadas; (3) presença de estratificação cruzada *hummocky*, laminação de baixo-ângulo, grânulos ou estratificação plano-paralela, como feições limitantes do ciclo; e (4) variação da seleção granulométrica.

O ambiente de deposição da Formação Furnas ainda é controverso, conforme relatam Lobato e Borghi (2005):

“A interpretação paleoambiental da Formação Furnas é assunto complexo, ocorrendo grande controvérsia na literatura entre paleoambientes continentais (fluviais), parálcos (costeiros e flúvio-deltaicos) e marinhos rasos (“plataformais”), o que se alia à dificuldade de se conceber uma arquitetura de sistemas deposicionais (q.v. Borghi, 1993), à luz da Estratigrafia de Seqüências. Tais problemas devem-se aos fatos de uma “homogeneidade litológica”, carência de estudos faciológicos de detalhe e pobreza de fósseis corporais (muito raros restos vegetais no topo da formação) e icnofósseis. A inexistência de ambientes análogos adequados no Recente é outro fator complicador para a interpretação paleoambiental.” (LOBATO e BORGHI, 2005, p. 2)

Figura 9: perfil estratigráfico da Formação Furnas, Parque Estadual do Guartelá (Tibagi – PR).



Fonte: Lobato e Borghi (2005).

Com relação ao ambiente de deposição, Lobato e Borghi (2005) apresentam que o Intervalo I compreende um sistema deposicional flúvio-deltaico entrelaçado com ciclo de mar baixo. O Intervalo II-A é um ambiente deltaico entrelaçado-estuarino (maré), com características de mar transgressivo. Os intervalos II-B, III e IV tratam-se de depósitos marinhos rasos (maré), sendo que o II-B é um mar transgressivo e os outros seriam um mar alto transgressivo.

Assine (1996) afirma que a presença dos icnogêneros *Rusophycus* e *Cruziana*, traços fósseis atribuídos a trilobitas, constituem um elemento decisivo na interpretação paleoambiental, pois atestam uma origem marinha para os estratos onde ocorrem. Bergamaschi (1992) e Assine; Soares e Milani (1994) apud Assine (1996) apontam que o ambiente de deposição da Formação Furnas está associado a fácies deltaicas e marinhas plataformais.

Fato interessante a ser apontado, refere-se aos dados sobre porosidade visual das rochas da Formação Furnas apresentados por Lobato e Borghi (2005) (tabela 2).

Tabela 2: porosidade visual das rochas da Formação Furnas.

Subdivisão Lobato e Borghi (2005)	Subdivisão Assine (1996)	Porosidade visual (Φ) em %	Porosidade visual (Φ) em % (média)
Intervalo I	Unidade Inferior	de 3,3 a 10,7	7
Intervalo II-A	Unidade Inferior e Média	de 6,6 a 9,3	7,95
Intervalo II-B	Unidade Média	de 2 a 5,3	3,65
Intervalo III	Unidade Média	de 2,3 a 6	4,15
Intervalo IV	Unidade Superior	de 2 a 12	7

Fonte: dados obtidos no trabalho de Lobato e Borghi (2005), organização do autor.

A presença de porosidade intergranular é um fator importante na ocorrência de feições cársticas. Conforme observado, a Unidade Inferior e início da Unidade Média, em uma porção com cerca de 70 metros contados a partir do contato com as rochas do embasamento, e a Unidade Superior, representando um pacote de cerca de 100 metros de espessura (a contar do topo da formação, próximo à transição com as rochas da Formação Ponta Grossa), são as porções que apresentam maior porosidade visual, compreendendo cerca de 70% da espessura total da Formação Furnas.

6.3- Outras unidades geológicas presentes na área de estudo

No interior da área de estudo ocorrem afloramentos de três outras unidades geológicas, a Formação Ponta Grossa (Devoniano), as rochas do Grupo Itararé (Carbonífero Superior) e diques de Diabásio.

A Formação Ponta Grossa, formada em ambiente marinho, apresenta idade Devoniana e integra o Grupo Paraná, juntamente com a Formação Furnas. Segundo Petri (1948) e Lange e Petri (1967) esta unidade geológica sobrepõe-se à Formação Furnas e é constituída por uma superposição de folhelhos, folhelhos sílticos, arenitos e siltitos cinza escuros a negros, localmente carbonosos, fossilíferos e micáceos.

O Grupo Itararé, de idade Carbonífero Superior, é constituído por arenitos, diamictitos, conglomerados e rochas argilosas, sendo comuns fácies típicas de ambiente glacial como, por exemplo, os varvitos (MELO, 2006). Na área desta pesquisa merecem destaque os arenitos do Grupo Itararé, denominados de Arenitos Vila Velha, os quais apresentam formas e feições passíveis de serem enquadradas como carste. Durante os levantamentos de campo para realização da presente pesquisa foram identificadas seis depressões no terreno e três cavidades subterrâneas, fato que mostra que esta rocha apresenta algumas feições semelhantes às presentes na Formação Furnas. Feições cársticas superficiais são bem desenvolvidas, a exemplo dos afloramentos do Parque Estadual de Vila Velha, o platô das Toquinhas e da Reserva Meia Lua (Fazenda Santa Mônica).

Os corpos discordantes de diabásio (Mesozoico) presentes na área de estudo estão associados com o Magmatismo Serra Geral, correlatos ao Grupo São Bento. Estes diques estão relacionados com a ativação do Arco de Ponta Grossa durante o Mesozoico. Segundo Melo et al. (2003) o diabásio possui uma composição e estrutura homogênea, apresentando variação de textura desde muito fina até média, com cristais de até 5 mm.

A partir da ocorrência de grandes falhas e fraturas, devido à evolução do Arco de Ponta Grossa, uma porção significativa de magma subiu até a paleosuperfície do Cretáceo Inferior. Onde hoje se tem o Terceiro Planalto Paranaense ocorreram diversos derrames de basalto (rocha vulcânica extrusiva). Na região atualmente dos Campos Gerais, na área de afloramento das rochas da Formação Furnas, o magma não extravasou, apenas se alojou em falhas e fraturas, formando os diques de diabásio (rocha equivalente ao basalto).

De acordo com os dados presentes na Folha Geológica de Ponta Grossa (Escala 1:250.000) cedida gratuitamente pela MINEROPAR (2005), são

registrados menos de uma dezena de corpos intrusivos de diabásio na área foco deste estudo.

6.4- Estruturas tectônicas

O recorte espacial da presente pesquisa faz parte de uma região que foi intensamente abalada por processos tectônicos, ocorrentes em diversos momentos da história geológica regional. Estes deixaram profundas marcas na paisagem, condicionando a drenagem fluvial e subterrânea, controlando a ocorrência e distribuição da vegetação e influenciando diretamente no modelado do relevo.

As estruturas tectônicas ocasionaram uma reorganização do que havia sido construído por milhões de anos, desencadeando mudanças significativas nos processos geomórficos atuantes na paisagem regional, controlando a existência de feições e formas de relevo diversas.

6.4.1- Arco de Ponta Grossa

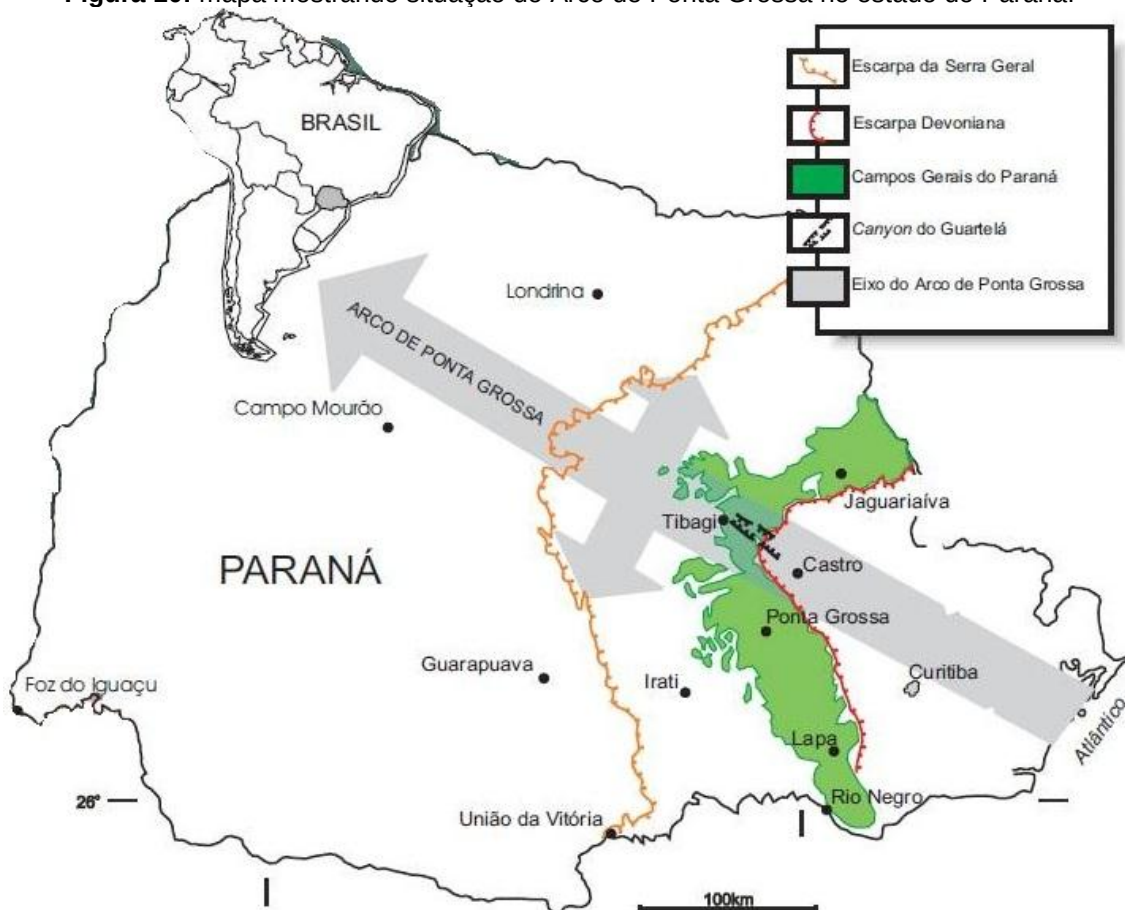
Todos os lineamentos estruturais (sejam falhas, fendas, fraturas, *canyons*) que apresentam direção noroeste-sudeste na área de estudo estão relacionados ao Alinhamento do Rio Alonzo, definido como uma proeminente anomalia magnética linear paralela ao eixo do Arco de Ponta Grossa (VIEIRA, 1973; FERREIRA, 1982; ZALÁN et al., 1987 apud TRZASKOS, VESELY, e ROSTIROLLA, 2006). O arco reflete um grande arqueamento regional, que segundo Zalán et al. (1990) foi ativo desde o Paleozoico, sendo o resultado de diversos esforços na crosta terrestre decorrentes de uma anomalia térmica que precedeu a ruptura continental e posteriores eventos colisionais e extensionais que incidiram nas margens ocidental e meridional do grande continente Gondwana (figura 10).

Segundo os mesmos autores, foi durante o Mesozoico que esta estrutura teve seu ápice, com uma tendência de separação continental no interior do estado do Paraná. Sendo assim, o Arco de Ponta Grossa é um indício de que durante a separação do continente Sul-Americano do Africano a

linha de quebra teve tendência em seguir duas direções, uma traçando a separação hoje estabelecida e a outra partindo do litoral paranaense em direção ao noroeste do Paraná, dando origem a diversos lineamentos estruturais.

O trabalho de Köene (2009) indica que foi neste momento que teve início um processo de rifteamento continental, com basculamento de blocos, registrada na região de Pirai da Serra, a cerca de 80 km a norte de Ponta Grossa. Esta separação entre placas foi interrompida e no relevo regional ficou impressa a ação deste processo tectônico. Destaca-se que o *canyon* do Guartelá é o eixo do Arco de Ponta Grossa, estando localizado na divisa entre os municípios de Tibagi e Castro, distante cerca de 50 km a noroeste da área aqui pesquisada.

Figura 10: mapa mostrando situação do Arco de Ponta Grossa no estado do Paraná.



Fonte: Melo M.S., baseado em Maack (1948 e 1981) e MINEROPAR (1989).

6.4.2- Falha Itapirapuã

Caltabeloti (2011) descreve a Falha Itapirapuã como sendo um dos limites de uma faixa alongada de direção NE-SW localizada entre os sedimentos da Bacia do Paraná e as rochas da Suíte Intrusiva Granítica Três Córregos, denominada Domínio da Zona de Cisalhamento Itapirapuã. O mesmo autor relata que esta faixa é determinada por duas zonas de cisalhamento, conhecidas como a própria Itapirapuã e a Estiva, sendo que a primeira separa tectonicamente os metassedimentos do Grupo Itaiacoca dos granitos da Suíte Intrusiva Granítica Três Córregos, enquanto a Zona de Cisalhamento da Estiva limita a influência deste domínio com o Domínio Estrutural Oeste.

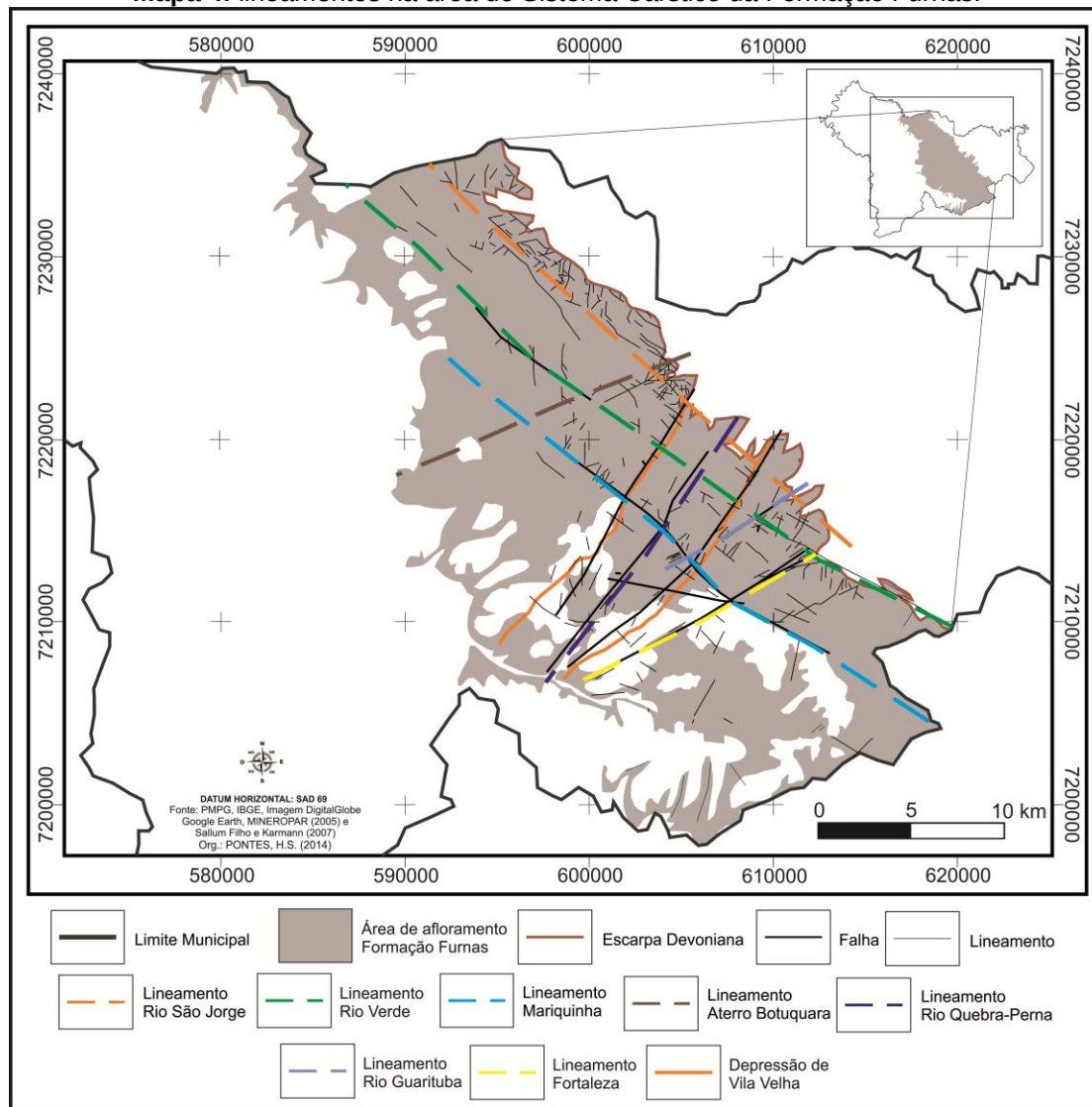
Segundo Szabó et al. (2006) a Falha Itapirapuã possui um importante papel nas mineralizações de talco no Grupo Itaiacoca e as grandes concentrações de talco foram desenvolvidas ao longo de ramificações desta zona de cisalhamento acompanhados de intensa atividade hidrotermal. A Falha Itapirapuã é resultado do ciclo neoproterozoico Brasileiro (900 - 580 Ma) (HASUI, 2010). O mesmo autor mostra que durante o Ciclo Brasileiro II, o mais ativo entre as três subdivisões, a atuação do mesmo foi intensa na área do vale do Ribeira (incluindo o Grupo Itaiacoca) entre 630 – 540 Ma sendo, sem dúvida, o evento de maior expressão e responsável pelos traços estruturais da região.

A Falha Itapirapuã é presente nas rochas do embasamento e também nos arenitos da Formação Furnas. Na área do presente estudo esta falha é responsável pela ocorrência de lineamentos estruturais de direção predominantemente NE-SW, sendo que a feição geomorfológica de maior destaque nas rochas da Formação Furnas e sobre influência desta falha é a Depressão de Vila Velha. Com a ação do Arco de Ponta Grossa e da Falha Itapirapuã, a área do presente estudo é constituída por uma trama de lineamentos dispostos nas direções NW-SE e NE-SW, com cruzamento de estruturas em determinados pontos. Alguns autores (Soares 1989, Melo & Giannini 2007) admitem que as estruturas NE-SW na Formação Furnas resultantes de reativações ao longo das falhas proterozoicas constituem um fator primordial no controle das cavidades subterrâneas.

6.4.3- Conjuntos de lineamentos estruturais

Na área da presente pesquisa foram identificados sete conjuntos de lineamentos estruturais, todos paralelos ao eixo do Arco de Ponta Grossa ou à Falha Itapirapuã (mapa 4).

Mapa 4: lineamentos na área do Sistema Cárstico da Formação Furnas.



O Lineamento São Jorge, situado na porção nordeste da área de estudo, no reverso imediato da Escarpa Devoniana, recebe esta nomenclatura pelo fato do rio de mesmo nome drenar sobre esta faixa. Sua direção é predominantemente N48°W, estando relacionado com o Arco de Ponta Grossa (figura 11). Esta é a faixa de maior densidade de estruturas tectônicas, sendo visualmente possível identificar tal afirmação no mapa 4. Nesta área ocorrem diversos *canyons* e fendas, algumas dispostas em direções contrárias ao arco,

pois outros conjuntos de lineamentos atravessam esta faixa. Neste lineamento estão situadas as cavernas do *Canyon* do Rio São Jorge, Fenda dos Tonini, Caverna do Bugio e Sumidouro do Rio Pitangui.

O Lineamento Rio Verde possui direção N55°W, relacionado ao Arco de Ponta Grossa, sendo a faixa de lineamento de maior extensão na área de estudo, projetando-se para uma porção urbana da cidade (figura 12). No trecho onde o Rio Verde está encaixado neste lineamento há uma falha definida segundo dados da Folha Geológica de Ponta Grossa (MINEROPAR, 2005). Estão situadas sobre este lineamento as furnas das Andorinhas, do Haras e Gêmeas, além de diversas depressões no terreno e o Centro de Tratamento de Resíduos – CTR Furnas (proposta de novo aterro do município de Ponta Grossa) obra atualmente embargada devido às fragilidades do local previsto para a instalação.

Tendo nome em referência a uma cachoeira do Rio Quebra-Perna considerada importante ponto turístico de Ponta Grossa, o Lineamento Mariquinha também é reflexo do Arco de Ponta Grossa, apresentando direção N53°W (figura 13). Sobre esta faixa estão os Abismos Cercado Grande I, II e III, a Fenda da Freira, a Furna do Buraco do Padre e a maior concentração de depressões no terreno da área de estudo, situadas na porção noroeste do lineamento, com mais de 60 feições registradas.

O Lineamento Aterro Botuquara possui este nome porque o aterro sanitário do município de Ponta Grossa³ está exatamente sobre ele. Apresentando direção para N68°E esta faixa está relacionada à Falha Itapirapuã, cortando transversalmente os outros três lineamentos descritos anteriormente. Alinhadas sobre esta estrutura há pouco mais de 10 depressões no terreno (figura 14).

Situado dentro da Depressão de Vila Velha, o lineamento Rio Quebra-Perna apresenta direção N35°E relacionando-se à Falha Itapirapuã (figura 15). Caracterizada como uma falha inferida (MINEROPAR, 2005), sobre este lineamento encontram-se as furnas Gêmeas, Grande, Buraco do Padre, do Bugio e Lagoa Tarumã, o Sistema Subterrâneo Sumidouro do Córrego das

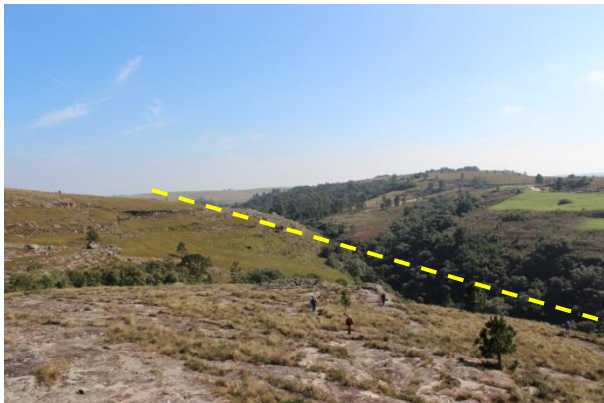
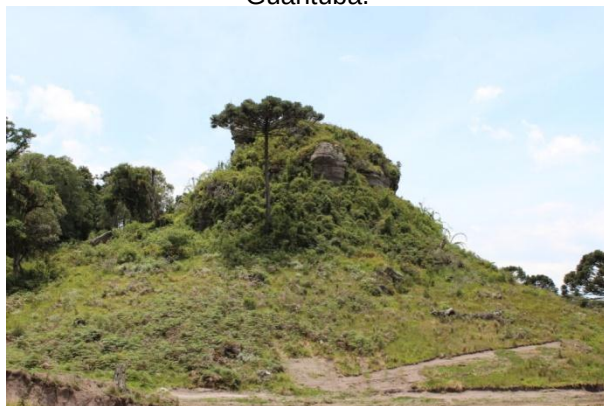
³ Segundo Nascimento (2008) o Aterro Botuquara teve seu início em 1969 e o local foi considerado lixão até o ano de 2001, quando foi transformado em aterro, para diminuir os impactos visuais. Por mais de 30 anos o local foi ponto de despejo indiscriminado de resíduos diversos (domiciliar, hospitalar, civil e industrial).

Fendas, Fenda da Freira, Abismos Cercado Grande I, II e III, Gruta do Corujão e diversas depressões no terreno.

O Lineamento Rio Guarituba apresenta a menor extensão comparada aos demais lineamentos da área de estudo. Com direção N58°E esta faixa também está relacionada à Falha Itapirapuã (figura 16). O Rio Guarituba, considerado uma das nascentes mais distantes do Rio Ribeira, nasce no reverso imediato da Escarpa Devoniana e drena por cerca de dois quilômetros na direção noroeste até encontrar o lineamento que leva seu nome, modificando o seu curso em um ângulo superior à 90°, sendo um dos poucos rios que nascem no Segundo Planalto, drenando por cerca de cinco quilômetros até atingir o Primeiro Planalto. Sobre este lineamento está o Sumidouro do Rio Quebra-Perna, Fenda Sem Fim, Abismo da Brisa, Fendas Guacharos, Caverna dos Trezentos, Caverna do Zé e dezenas de depressões no terreno. No trecho final deste lineamento na área de estudo há uma porção deprimida, com aproximadamente 1,5 km de comprimento por 500 metros de largura, caracterizada como o vale do Rio Guarituba, com presença de uma torre de arenito isolada com cerca de 20 metros de altura (morro residual), mostrando grande dissecação do relevo (figura 17).

Com direção N62°E o Lineamento Fortaleza apresenta cerca de 50% de seu traçado sobre as rochas da Formação Furnas e a outra metade está sobre o Grupo Itararé. Segundo Trzaskos, Vesely, e Rostirolla (2006) em termos de expressão morfológica e continuidade, este lineamento trata-se da feição estrutural mais importante reconhecida na área de Vila Velha. Sobre esta faixa não há tantos registros de feições cársticas porque compreende uma porção da área de estudo de difícil acesso, seja devido à proibição da entrada pelos proprietários rurais, ou pela má condição das estradas que impossibilitam a circulação de veículos não traçados (figura 18).

Segundo Sallum Filho e Karmann (2007) os limites da Depressão de Vila Velha são marcados pela área onde as rochas carbonáticas do Grupo Itaiacoca estão presentes como embasamento da Formação Furnas, mas segundo dados da MINEROPAR (2005), este limites também são considerados falhas aproximadas e apresentam diversas cavernas, furnas e depressões no terreno, todas estas feições cársticas alinhadas sobre e compreendidas entre as duas faixas limítrofes.

Figura 11: Lineamento São Jorge.**Figura 12:** Lineamento Rio Verde.**Figura 13:** Lineamento Mariquinha.**Figura 14:** Lineamento Aterro Botuquara.**Figura 15:** Lineamento Rio Quebra-Perna.**Figura 16:** Lineamento Rio Guarituba.**Figura 17:** Morro residual no Lineamento Rio Guarituba.**Figura 18:** Lineamento Fortaleza.

7. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

O recorte espacial da presente pesquisa situa-se totalmente sobre o Segundo Planalto Paranaense, sendo que o limite entre o Segundo e Primeiro Planalto é marcado por um degrau topográfico denominado de Escarpa Devoniana. A escarpa é uma notável feição do relevo sustentada pelos arenitos da Formação Furnas que se estende em toda porção oriental do estado do Paraná e sul do estado de São Paulo, com desnível topográfico que varia de 100 a 200 metros (figura 19).

A Escarpa Devoniana apresenta uma linha irregular devido a recortes decorrentes de falhas e fraturas originando *canyons* e anfiteatros. Na área de estudo, esta feição do relevo influencia na ocorrência do carste em questão, pois nas porções do reverso imediato da escarpa, o relevo é mais dissecado, uma vez que este degrau topográfico está passando por um recuo erosivo, fato comprovado pela ocorrência de diversos morros residuais situados em frente ao *front* da escarpa, como por exemplo, o Morro da Pedra Grande, Morro do Felpudo e Morro do Licenço. Conforme apresentam Souza e Souza (2004) estes morros refletem uma maior resistência da rocha aos processos erosivos, mantendo morros que testemunham a extensão original das rochas resistentes à ação da erosão na escarpa.

Maack (1968) deu o nome a esta notável feição geomorfológica da borda da Bacia Sedimentar do Paraná, referindo-se à idade dos arenitos que a sustentam, mas este fato torna-se um equívoco tanto no nome da feição quanto na idade da rocha. A escarpa é mais recente, da Era Mesozoica e a idade dos arenitos da Formação Furnas é mais antiga, sua deposição teve início no final do Siluriano até o início do Devoniano (MELO et al., 2007). Por se tratar de uma nomenclatura comumente utilizada em trabalhos clássicos na região dos Campos Gerias, optou-se em utilizar a designação “Escarpa Devoniana” nesta pesquisa, sendo válido realçar seu significado para que não ocorram possíveis equívocos.

A gênese e evolução desta feição do relevo estão relacionadas à combinação complexa de processos endógenos e exógenos, ou seja, os processos tectônicos do Arco de Ponta Grossa relacionados com a ruptura do Continente Gondwana, os quais soergueram a região e a ação dos fatores

climáticos que aconteceram posteriormente, erodindo as rochas e formando a configuração atual do relevo.

No sistema cárstico em questão há um grande rebaixamento do terreno, com cerca de 4 km de largura por 15 km de extensão e desnível de até 350 metros, denominado por Sallun Filho e Karmann (2007) de Depressão de Vila Velha (mapa 5) (figura 20). Conforme apresentam Maack (1956) e Sallun Filho e Karmann (2007), esta grande feição no relevo é formada devido ao fato das rochas metacarbonáticas do Grupo Itaiacoca (metadolomitos e mármore dolomíticos) estarem presentes abaixo da Formação Furnas. Sallun Filho e Karmann (2007) atestam que ocorre um carste adjacente no arenito em questão, influenciando assim, no processo de formação das furnas e depressões no terreno do município de Ponta Grossa. Esta é uma hipótese que não é refutada no presente estudo, mas é questionada em alguns pontos. O primeiro diz respeito a que a Formação Furnas apresenta mais de 200 metros de espessura de arenitos, sendo assim, as rochas carbonáticas estariam muito abaixo do nível freático regional.

Este fato mostra que os espaços vazios estariam totalmente preenchidos por águas subterrâneas, com elevada pressão, o que possibilitaria uma sustentação de paredes e tetos de possíveis cavidades nas rochas carbonáticas, dificultando assim seu desmoronamento. Nota-se que o processo de formação das dolinas, conforme mostram as teorias da concepção clássica do carste, inclui um momento que o nível freático regional passa por um rebaixamento, e as cavidades subterrâneas passam a se situar em uma zona denominada de epifreática, caracterizada como uma área de oscilação das águas subterrâneas, com momentos de total inundação da cavidade, exercendo pressão em todas as direções, e outros períodos de ausência de água. É neste ponto que as paredes e principalmente o teto começam a desmoronar dando início ao processo de formação das furnas e depressões no terreno.

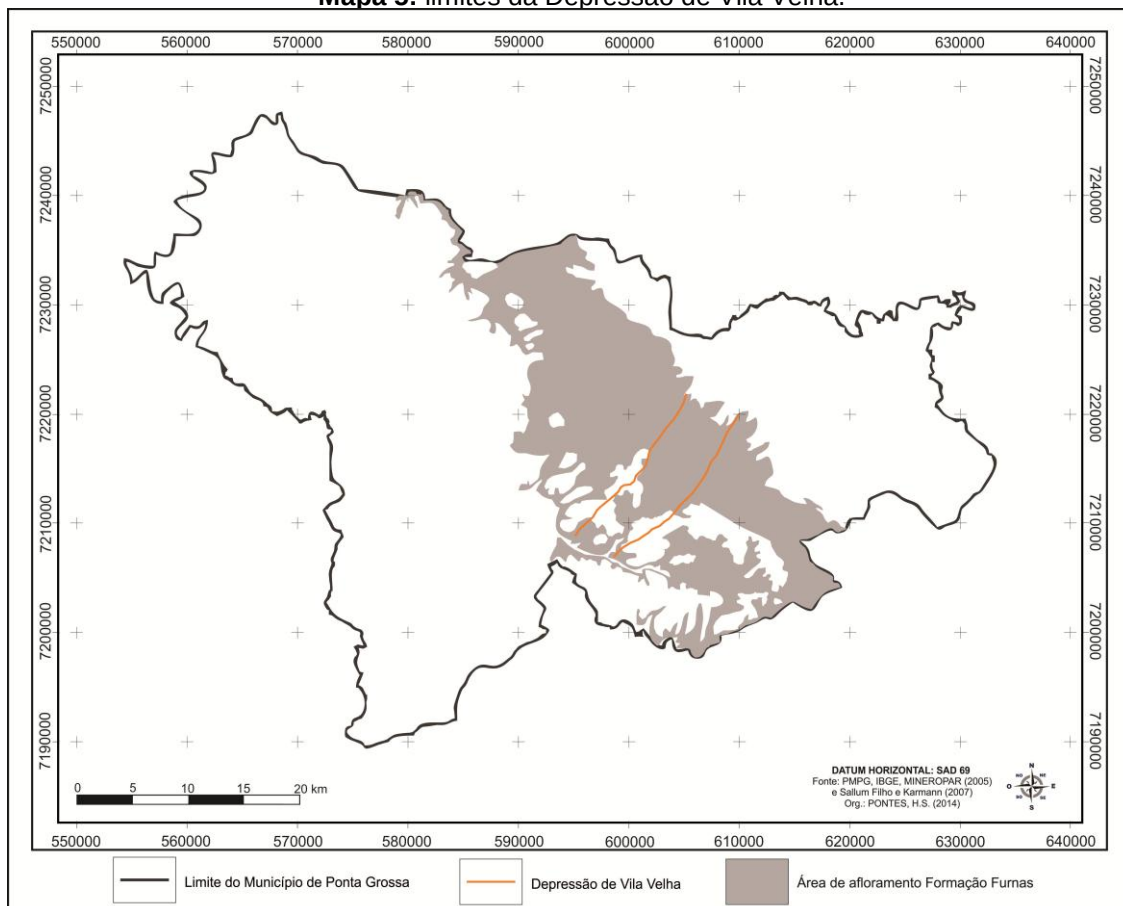
Há também a questão do escoamento do material erodido subterraneamente, pois este processo de formação das furnas gerou um volume imenso de sedimentos. Outro ponto importante é que a maioria das depressões no terreno e metade das cavernas, desenvolvidas no Arenito Furnas, situam-se fora da Depressão de Vila Velha. Bem como, na região de

Joaquim Murtinho, a cerca de 80 km a norte de Ponta Grossa, ocorre a Furna das Curucacas, também desenvolvida em arenitos da Formação Furnas, situada sobre embasamento não-carbonático.

Conforme já mencionado, a Escarpa Devoniana é recortada por *canyons* e fendas, mas tais feições ocorrem em toda a área do presente estudo. No geral, o relevo sobre as rochas da Formação Furnas é uma alternância contínua de superfícies aplainadas, levemente onduladas em certas situações e *canyons*, fendas e vales abruptos com afloramento de rocha. Nas áreas mais aplainadas ocorrem depressões no terreno, com campos úmidos e secos com solo arenoso e raso, com presença de matéria orgânica. À primeira vista, os terrenos da Formação Furnas são ideais para a construção civil, pois apresentam porções aplainadas que não exigem correções no nivelamento, mas a presença de depressões no terreno, indicando recalques e o comportamento do nível freático (extremamente raso em determinados locais) são fatores limitantes (figura 21).

Figura 19: vista do *front* da Escarpa Devoniana.



Mapa 5: limites da Depressão de Vila Velha.**Figura 20:** vista geral da Depressão de Vila Velha (linhas vermelhas mostram os limites aproximados).**Figura 21:** área plana com depressão no terreno e nível freático aflorando.

8. AS FEIÇÕES CÁRSTICAS DA FORMAÇÃO FURNAS

Este trabalho partiu da seguinte pergunta de partida *“qual é o padrão espacial da ocorrência das depressões no terreno e cavidades subterrâneas (furnas e cavernas) no Sistema Cárstico da Formação Furnas, no município de Ponta Grossa – PR?”*. A partir deste questionamento, foi realizado um estudo sobre a distribuição espacial de três feições de natureza cárstica na Formação Furnas: as depressões no terreno, cavernas e as furnas, sendo que no total foram identificadas 227 feições distribuídas no município de Ponta Grossa. A escolha de estudar apenas estas três feições cársticas, reflete o fato de que tais elementos da paisagem cárstica siliciclástica da Formação Furnas influenciam diretamente no uso e ocupação do relevo em questão.

A ocupação e uso do solo em locais de ocorrência destas três feições do relevo proporcionam riscos geoambientais diversos, capazes de gerar perdas econômicas, ambientais e sociais. Apesar da importância geoambiental que as demais feições cársticas existentes na área deste estudo apresentam, as mesmas não proporcionam uma acentuada influência na ocupação do solo, relacionada principalmente com a expansão urbana, industrial e minerária.

A partir deste pressuposto optou-se em dar maior atenção às cavernas, furnas e depressões no terreno, com o intuito de obter um Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC), visando à gestão do território e a conservação do patrimônio cárstico existente em rochas areníticas de Ponta Grossa.

8.1- Cavernas subterrâneas

Esta pesquisa considera cavernas naturais subterrâneas aquelas segundo classificação apresentada no Decreto de Lei Federal nº 6.640/2008, o qual trouxe alterações em alguns artigos do Decreto de Lei Federal nº 99.556/1990, lei esta que dispõe sobre a proteção das cavernas naturais subterrâneas existentes no território nacional. O termo caverna natural subterrânea de acordo com o recente decreto acima mencionado, é:

“Entende-se por caverna natural subterrânea todo e qualquer espaço subterrâneo acessível pelo ser humano, com ou sem abertura identificada, popularmente conhecida como caverna, gruta, lapa, toca, abismo, fuma ou buraco, incluindo seu ambiente, conteúdo mineral e hídrico, a fauna e a flora ali encontrados e o corpo rochoso onde os mesmos se inserem, desde que tenham sido formados por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha encaixante”. (DECRETO DE LEI FEDERAL Nº 6.640/2008)

Ou seja, caverna natural subterrânea é o termo que representa todos os tipos de cavernas, independente de seu tamanho, morfologia, rocha encaixante, região de ocorrência, etc.

As cavernas do município de Ponta Grossa, desenvolvidas em rochas areníticas da Formação Furnas podem ser abrigos (apresentando poucos metros de extensão), cavernas (possuindo algumas dezenas até centenas de metros) e abismos (furnas e fendas com dezenas de metros de profundidade). No total há 41 cavernas subterrâneas catalogadas até o presente estudo, sendo 14 furnas, mas a área ainda apresenta um potencial muito maior (tabela 3).

Tabela 3: cavidades de Ponta Grossa (furnas, cavernas, abrigos, fendas e abismos) desenvolvidas em rochas da Formação Furnas e coordenadas de localização.

	Cavidade	Coordenadas UTM
1	Furna Passo do Pupo 1	605.222 E – 7.218.382 S
2	Furna Passo do Pupo 2	605.151 E – 7.218.319 S
3	Furna Grande	604.475 E – 7.217.258 S
4	Poço das Andorinhas	607.811 E – 7.216.913 S
5	Abismo do Haras	606.713 E – 7.217.416 S
6	Buraco do Padre	603.950 E – 7.215.630 S
7	Furna do Bugio	601.473 E – 7.212.473 S
8	Furna de Vila Velha 1	596.685 E – 7.209.965 S
9	Furna de Vila Velha 2	596.516 E – 7.209.971 S
10	Furna de Vila Velha 3	596.373 E – 7.209.937 S
11	Furna de Vila Velha 4	596.135 E – 7.208.883 S
12	Sumidouro do Rio Pitangui	594.628 E – 7.232.448 S
13	Sumidouro do Córrego das Fendas	605.046 E – 7.216.903 S
14	Sumidouro do Rio Quebra-Perna	603.637 E – 7.211.786 S
15	Caverna da Chaminé	595.161 E – 7.231.165 S
16	Caverna do Opilião	594.955 E – 7.231.100 S
17	Gruta da Inspirada	594.984 E – 7.231.100 S
18	Caverna do Bugio	597.198 E – 7.230.471 S
19	Caverna das Andorinhas	607.720 E – 7.218.427 S
20	Gruta da Pedra Grande	611.211 E – 7.218.806 S
21	Fenda da Freira	604.053 E – 7.215.296 S
22	Gruta Macarrão	604.574 E – 7.213.766 S
23	Abismo Cercado Grande 1	606.449 E – 7.214.967 S
24	Abismo Cercado Grande 2	604.303 E – 7.215.247 S
25	Caverna do Zé	608.894 E – 7.215.260 S
26	Gruta do Corujão	601.310 E – 7.212.938 S
27	Gruta Cambiju 2	611.278 E – 7.212.611 S
28	Caverna dos Trezentos	607.874 E – 7.214.449 S
29	Fenda dos Tonini	597.422 E – 7.229.226 S
30	Lagoa Dourada	595.774 E – 7.208.039 S
31	Lagoa Tarumã	597.264 E – 7.207.673 S
32	Fenda Sem Fim	606.970 E – 7.214.743 S
33	Abismo da Brisa	607.179 E – 7.214.378 S
34	Fenda Guacharos	607.162 E – 7.214.356 S
35	Gruta Nova Holanda	603.356 E – 7.218.958 S
36	Abismo Cercado Grande III	604.289 E – 7.215.203 S
37	Poço de Santa Madalena	609.679 E – 7.219.289 S
38	Gruta Mãe da Divina Graça	609.719 E – 7.219.475 S
39	Fenda do Mosteiro	609.532 E – 7.219.311 S
40	Fenda Santa Maria I	608.634 E – 7.218.280 S
41	Fenda Santa Maria II	608.644 E – 7.218.247 S

As cavernas possuem diversas feições de grande importância no contexto nacional e internacional, dentre elas: dutos e cúpulas de dissolução; alvéolos; *scallops*⁴; alteritas e espeleotemas silicosos.

O maior diferencial da região é representado pelas furnas, tratadas como cavernas verticais, chamadas também de dolinas. São profundos poços de desabamento que apresentam de 5 metros até 113 metros de profundidade. Em algumas destas furnas, como as de Vila Velha e o Abismo do Haras, o nível freático aflora no fundo. Outras, como as Furnas Gêmeas, Furna Grande e Furna do Bugio, são secas e possuem densa vegetação em seu interior.

8.1.1- Padrão de desenvolvimento

A partir da análise de mapeamentos das cavidades subterrâneas areníticas de Ponta Grossa é possível observar três tipos de padrão de desenvolvimento: 1) linear com única galeria; 2) linear composto (com galerias transversais e paralelas) e; 3) abismos circulares, semicirculares e elipsoidais.

As cavidades lineares com única galeria são geralmente oriundas de grandes fendilhamentos existentes na rocha, comumente dispostas na direção NE-SW, a exemplo da Caverna dos Trezentos e Caverna do Zé (figura 22), e NW-SE, como a Fenda dos Tonini.

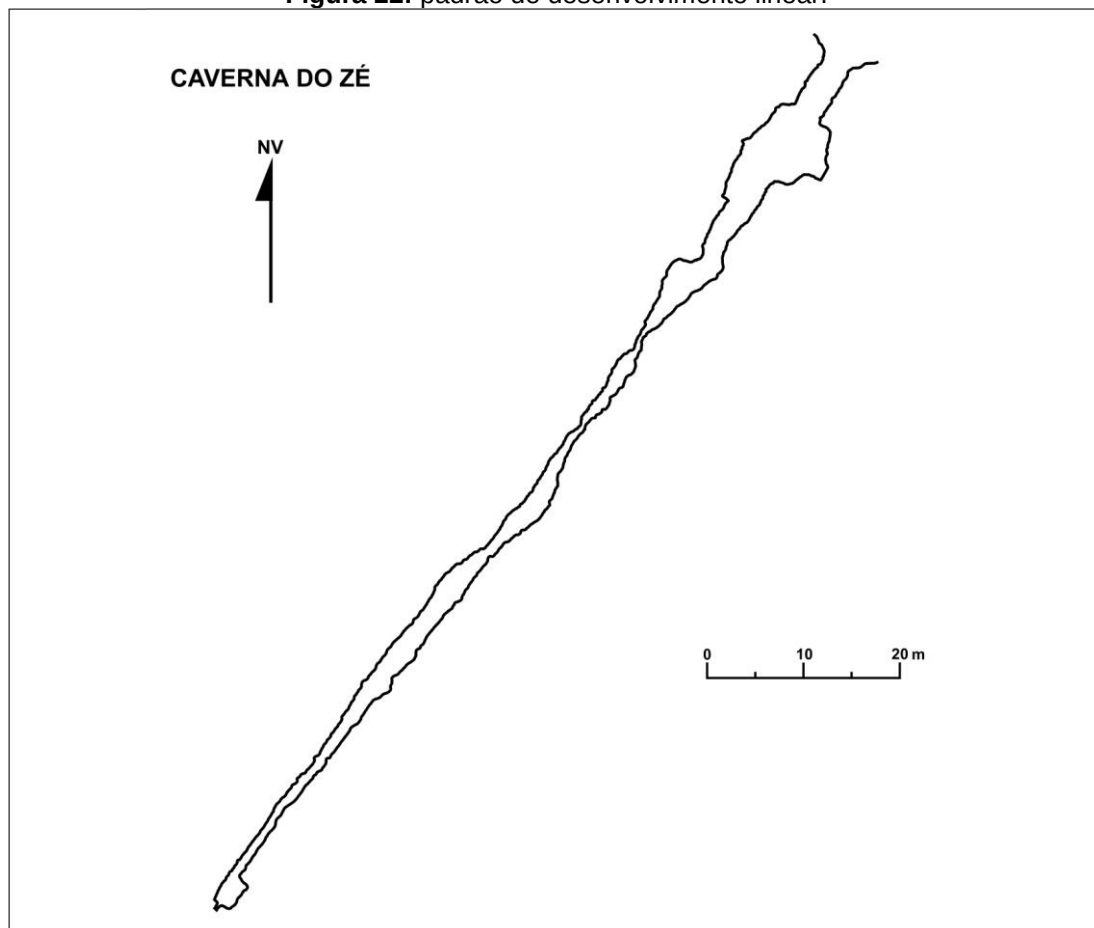
Há alguns casos onde a galeria alterna a direção de desenvolvimento, sempre controlado por estruturas tectônicas, como é o caso da Caverna do Bugio, com direções N10°W e NE-SW, a Gruta do Corujão, com direção preferencial N75°E, a Gruta da Pedra Grande, em sua porção natural (não antropizada) com direção N10°W e a Fenda da Freira, com disposição principal para N30°E.

As cavernas com padrão de desenvolvimento linear composto são aquelas que além de uma galeria principal apresentam corredores transversais

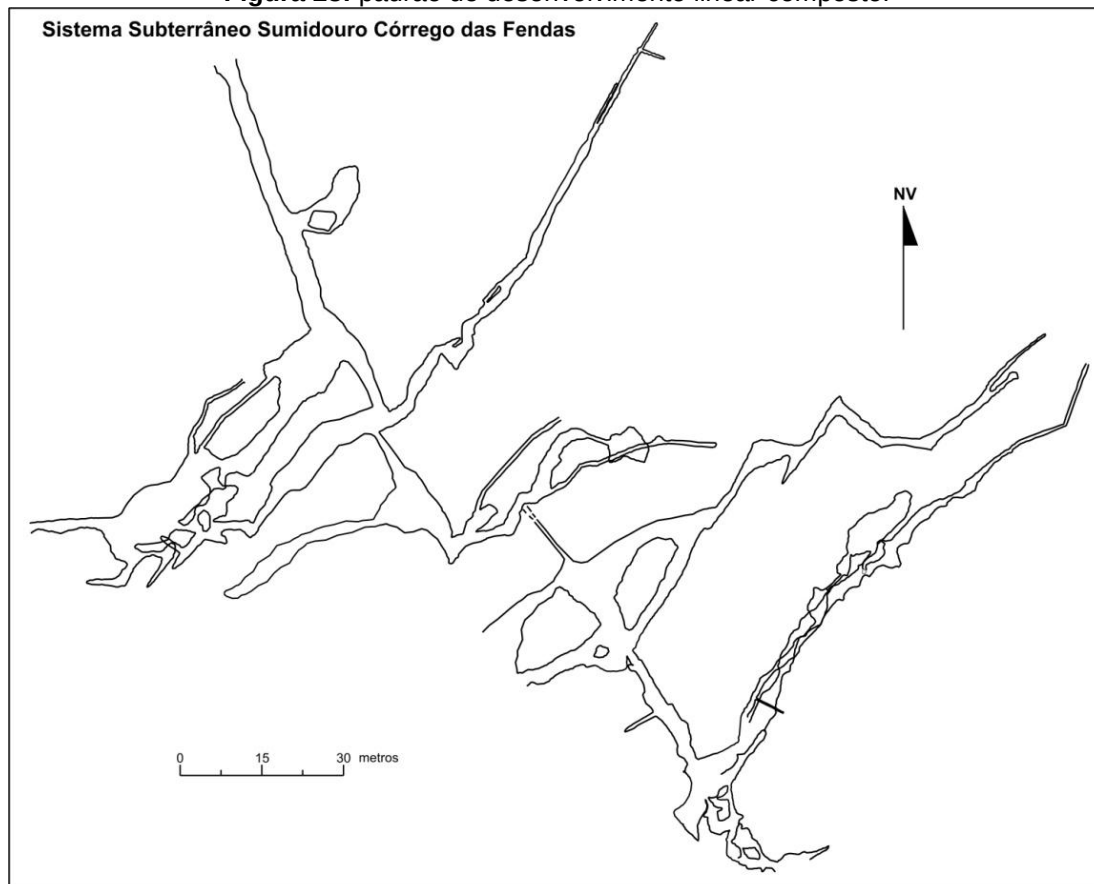
⁴ Segundo o *Speleogenesis Glossary of Karst and Cave terms*, *Scallops* é uma feição em forma de concha esculpida em paredes, teto e piso de cavidades subterrâneas resultado da erosão por redemoinhos em água corrente. São geralmente assimétricos, com a sua extremidade de montante mais acentuada do que a extremidade a jusante, podendo ser usadas para determinar o sentido do escoamento de águas turbulentas (direção de paleo-fluxos em trechos abandonados), uma vez que são mais acentuados no lado a montante (fonte: <http://www.speleogenesis.info/directory/glossary/disclaimer.php>).

ou paralelos, podendo apresentar simultaneamente os dois tipos. Enquadram-se nesta classificação a Caverna da Chaminé, Gruta da Inspirada, Caverna do Opilião, Sumidouro do Córrego das Fendas e Sumidouro do Rio Quebra-Perna (figura 23).

Figura 22: padrão de desenvolvimento linear.



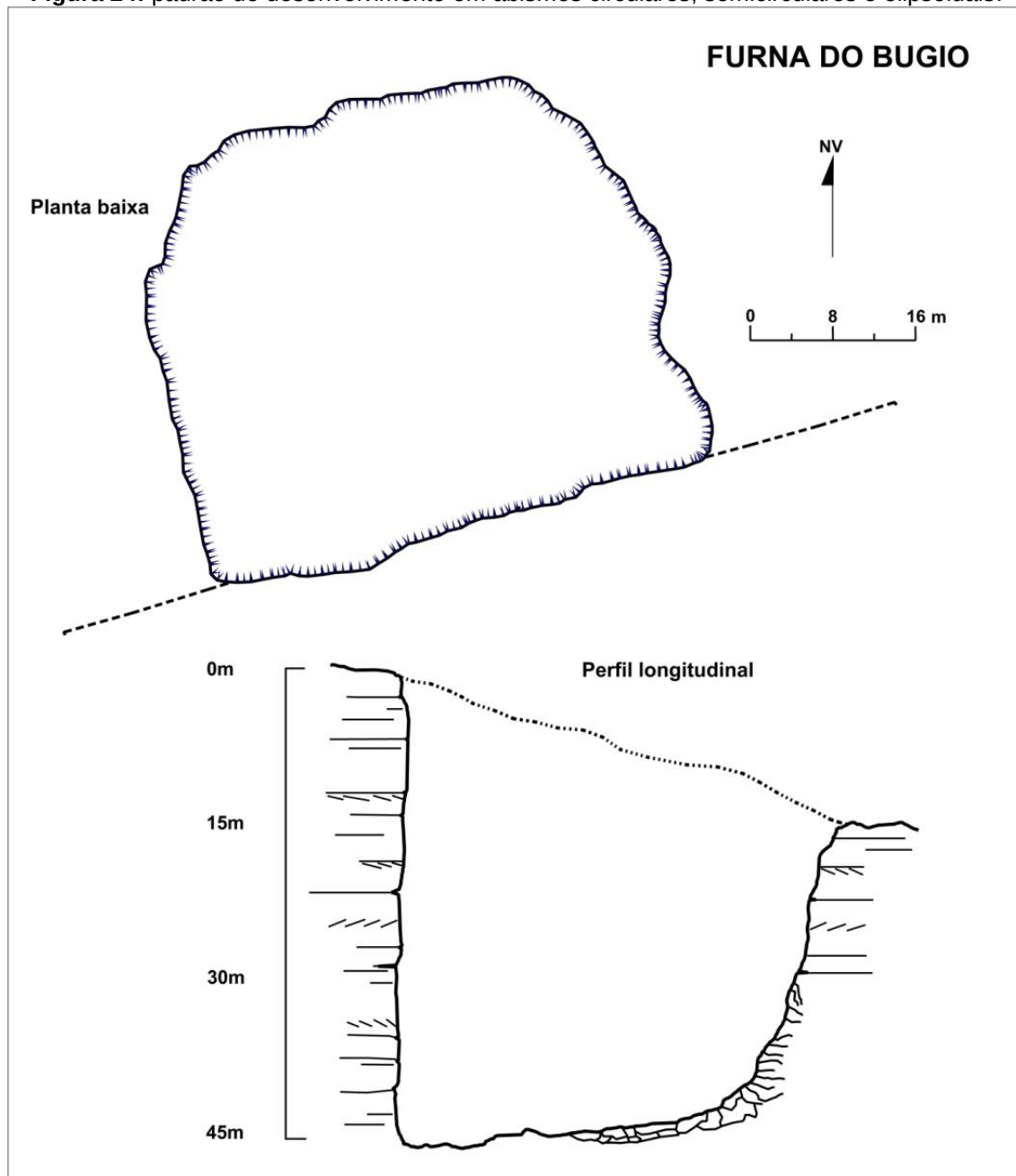
Fonte: adaptado de GUPE (2012).

Figura 23: padrão de desenvolvimento linear composto.

Fonte: adaptado de GUPE (2012).

O terceiro modelo de desenvolvimento de cavidades naturais em Ponta Grossa, formadas nos arenitos da Formação Furnas, é do tipo abismos circulares, semicirculares e elipsoidais (figura 24). Enquadram-se neste padrão todas as furnas (dolinas de abatimento) existentes na área de estudo. As furnas apresentam desenvolvimento vertical (com paredes abruptas), sempre sem galerias compostas, com exceção do Buraco do Padre, sendo uma cavidade do tipo abismo circular com galerias lineares compostas (com galerias transversais e paralelas). A Furna das Andorinhas enquadra-se no padrão abismo elipsoidal e a Furna do Bugio é um típico exemplo de dolina de abatimento semicircular.

Figura 24: padrão de desenvolvimento em abismos circulares, semicirculares e elipsoidais.



Fonte: adaptado de GUPE (2012).

É possível observar que as cavidades desenvolvidas nas rochas areníticas da Formação Furnas possuem forte controle estrutural. O sistema cárstico regional é fortemente ligado ao aspecto tectônico, controlado por falhas, lineamentos, fendas, fraturas e fissuras, em variadas escalas de dimensão, desde grandes estruturas até as micro fraturas. Mas esta relação não é um fator que desqualifica classificar o referido relevo como carste, pois

até mesmos os mais clássicos relevos cársticos desenvolvidos em rochas carbonáticas, precisam apresentar um sistema complexo de fraturas, capaz de facilitar o caminho das águas superficiais e subterrâneas e, consequentemente, contribuir na ação erosiva, química e física (mecânica).

8.1.2- Morfologia das galerias

Da mesma maneira que foram identificados três padrões de desenvolvimento das cavidades presentes na área de estudo, a partir da análise de seções transversais produzidas em levantamentos topográficos foi possível estabelecer dezoito tipos de morfologia de galerias.

Lladó (1970), em seu trabalho denominado “*Fundamentos de hidrologia cárstica*” apresenta uma proposta de classificação das formas de erosão em áreas cársticas a partir da análise de seções transversais de galerias de cavernas. O referido autor mostra dois tipos de formas, as compostas e as elementares e na descrição de cada forma, ressalta o elemento tectônico presente, a gênese (com relação à ação da água – superficial e subterrânea) e a estrutura regional.

Das dezoito formas identificadas nas cavernas areníticas, a metade é classificada como simples (elementares, segundo Lladó, 1970) e a outra metade são compostas, agregando um ou várias outros formatos em uma mesma situação. Tendo como base o trabalho acima citado, propõem-se as seguintes formas de erosão nas cavidades subterrâneas presentes no Sistema Cárstico da Formação Furnas em Ponta Grossa (tabela 4).

Tabela 4: aspectos morfológicos e genéticos das galerias das cavidades subterrâneas presentes nas rochas da Formação Furnas, a partir da análise de seções transversais.

MORFOLOGIA DA GALERIA		ELEMENTOS ESTRUTURAIS	ASPECTOS GENÉTICOS
	Tabular Vertical (forma simples)	Fratura ou fenda vertical	Estritamente tectônico com baixa ação erosiva das águas (superficiais e subterrâneas)
	Tabular Horizontal (forma simples)	Planos de estratificação	Relacionado aos planos de estratificação, com ação de erosão fluvial
	Tabular com elipsoide horizontal no topo (forma composta)	Interseção de fraturas e fendas com planos de estratificação	Relacionado aos planos de estratificação, fendas e fraturas, com circulação forçada na porção superior
	Tabular inclinada com alargamento bilateral em dois ou mais pontos (forma composta)	Fratura ou fenda inclinada com influência de planos de estratificação	Estruturas tectônicas, com circulação forçada em alguns trechos superiores e circulação fluvial na porção inferior
	Tabular vertical com alargamento bilateral em um único ponto (forma composta)	Fratura ou fenda vertical com influência de planos de estratificação	Influência de estruturas tectônicas e planos de estratificação com circulação forçada em único ponto

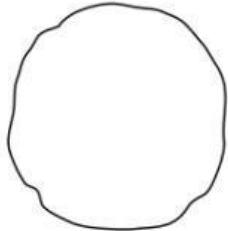
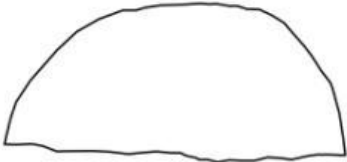
Fonte: as seções transversais foram baseadas em levantamentos de campo desenvolvido pelo autor, como também em alguns levantamentos topográficos desenvolvidos pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas. O modelo da tabela baseou-se na proposta de Lladó (1970).

Tabela 4: (continuação) aspectos morfológicos e genéticos das galerias das cavidades subterrâneas presentes nas rochas da Formação Furnas, a partir da análise de seções transversais.

MORFOLOGIA DA GALERIA		ELEMENTOS ESTRUTURAIS	ASPECTOS GENÉTICOS
	Tabular vertical com alargamento bilateral em dois pontos ou mais (forma composta)	Fratura ou fenda vertical com influência de planos de estratificação	Relacionado aos planos de estratificação, fendas e fraturas, com circulação forçada em dois trechos seguida de circulação fluvial
	Tabular vertical com alargamento unilateral em único ponto (forma composta)	Fratura ou fenda vertical com influência de planos de estratificação	Influência dos planos de estratificação, fendas e fraturas, com circulação forçada em um trecho da parte superior indicando direção das águas
	Tabular vertical com alargamento unilateral em dois ou mais pontos com base retangular horizontal (forma composta)	Planos de estratificação e fratura ou fenda	Decorrente dos planos de estratificação (principalmente na base) fendas e fraturas, com circulação forçada na porção superior, indicando direção das águas e circulação fluvial na porção inferior
	Tabular vertical com alargamento retangular horizontal unilateral (forma composta)	Planos de estratificação e fratura ou fenda	Influência direta de fendas ou fraturas e planos de estratificação (na base), com circulação fluvial na porção inferior
	Tabular vertical com alargamento unilateral em dois ou mais pontos (forma composta)	Fratura ou fenda vertical com influência de planos de estratificação	Influência de estruturas tectônicas e planos de estratificação com circulação forçada em trecho superior e ação fluvial na base

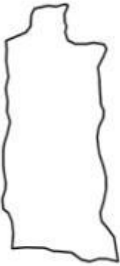
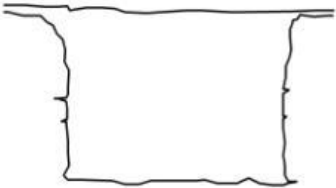
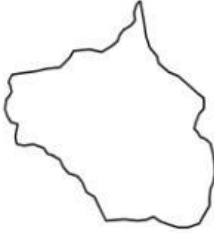
Fonte: as seções transversais foram baseadas em levantamentos de campo desenvolvido pelo autor, como também em alguns levantamentos topográficos desenvolvidos pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas. O modelo da tabela baseou-se na proposta de Lladó (1970).

Tabela 4: (continuação) aspectos morfológicos e genéticos das galerias das cavidades subterrâneas presentes nas rochas da Formação Furnas, a partir da análise de seções transversais.

MORFOLOGIA DA GALERIA		ELEMENTOS ESTRUTURAIS	ASPECTOS GENÉTICOS
	Circular (forma simples)	Interseção de fraturas com planos de estratificação	Estritamente relacionado com ação erosiva das águas (subterrâneas) com circulação forçada em interseção de fraturas e planos de estratificação
	Arco (forma simples)	Planos de estratificação	Relacionado aos planos de estratificação, com ação de erosão forçada e posterior ação fluvial
	Elipsoidal Vertical (forma simples)	Interseção de fraturas ou fendas com planos de estratificação	Estritamente relacionado com ação erosiva das águas (subterrâneas) com circulação forçada em fratura vertical
	Elipsoidal inclinada (forma simples)	Fratura ou fenda inclinada com influência de planos de estratificação	Estruturas tectônicas, com circulação forçada (ação de águas subterrâneas) e circulação fluvial na porção inferior

Fonte: as seções transversais foram baseadas em levantamentos de campo desenvolvido pelo autor, como também em alguns levantamentos topográficos desenvolvidos pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas. O modelo da tabela baseou-se na proposta de Lladó (1970).

Tabela 4: (continuação) aspectos morfológicos e genéticos das galerias das cavidades subterrâneas presentes nas rochas da Formação Furnas, a partir da análise de seções transversais.

MORFOLOGIA DA GALERIA		ELEMENTOS ESTRUTURAIS	ASPECTOS GENÉTICOS
	Retangular Vertical (forma simples)	Fratura ou fenda vertical	Estritamente tectônico com baixa ação erosiva das águas (superficiais e subterrâneas)
	Retangular Horizontal (forma simples)	Planos de estratificação	Relacionado aos planos de estratificação, com ação de erosão fluvial
	Triangular (forma simples)	Falha com rotação de blocos ou fratura ou fenda	Falhas, fendas ou fraturas, com influência de planos de estratificação e presença de circulação fluvial na base
	Amorfa (forma composta?)	Fratura ou fenda vertical ou inclinada com influência de planos de estratificação	Principalmente formado a partir de estruturas tectônicas. Há casos onde houve circulação forçada em alguns trechos superiores e circulação fluvial na porção inferior

Fonte: as seções transversais foram baseadas em levantamentos de campo desenvolvido pelo autor, como também em alguns levantamentos topográficos desenvolvidos pelo Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas. O modelo da tabela baseou-se na proposta de Lladó (1970).

Analisar as seções transversais das cavernas em questão permitiu encontrar feições primitivas, mascaradas pelo tempo, devido à ação erosiva fluvial e, principalmente, por se tratar de uma rocha arenítica, devido às superfícies de estratificação e planos de acamamento bem definidos. O processo de acomodamento dos blocos ocasionado pela ação da gravidade faz com que estas impressões morfológicas passem despercebidas na maioria das vezes.

Assim como no carste de rochas carbonáticas (metacalcários, metadolomitos, mármore dolomíticos, entre outras), o carste arenítico do sistema Formação Furnas possui forte relação com o arcabouço tectônico presente na região, sendo as estruturas tectônicas as responsáveis e controladoras da distribuição da vegetação regional, da forma de dissecação do relevo, bem como da ocorrência, forma e padrão das cavidades subterrâneas. A partir dos processos tectônicos, que proporcionaram uma permeabilidade por fraturas nas rochas da Formação Furnas, as águas subterrâneas iniciaram a modelagem destes ambientes subterrâneos, os quais posteriormente foram retrabalhados pela ação das águas fluviais, juntamente com o acomodamento de blocos rochosos (de variadas proporções).

Pela complexidade e quantidade dos processos que ocorreram, em determinadas cavidades subterrâneas torna-se complicado estabelecer a gênese e evolução das mesmas, pois as informações coletadas em campo são baseadas em feições impressas nas paredes, teto e piso das cavernas e muitas vezes estes espaços foram erodidos, destruídos, remodelados e, conseqüentemente, as feições denominadas de “chave” para determinar a gênese estão ocultas ou até mesmo não existem mais. O que se busca é sempre uma aproximação do real, baseando-se em indícios e pistas concretas para se estabelecer hipóteses, as quais podem ser aceitas, retrabalhadas ou refutadas.

8.1.3- Breve descrição das cavidades subterrâneas

A seguir será apresentado breve relato sobre as cavidades subterrâneas desenvolvidas nas rochas da Formação Furnas no município de Ponta Grossa, a fim de ilustrar as características de cada um destes ambientes.

8.1.3.1- *Sumidouro do Rio Pitangui*

O Sumidouro do Rio Pitangui localiza-se a algumas dezenas de metros a jusante da Represa dos Alagados, porção norte da área de estudo. Notam-se fraturas nas direções N40°E e N45°W que, em conjunto com planos de estratificação da rocha, propiciam a penetração da água no subsolo, a dissolução da rocha e a formação da cavidade. A presença de feições adornadas, paredes polidas e imensas bacias de dissolução no interior da caverna, evidenciam a ação das águas do Rio Pitangui nos arenitos da Formação Furnas (PONTES et al., 2011).

Antes da construção da Represa de Alagados, o Rio Pitangui passava do Primeiro para o Segundo Planalto Paranaense através deste sumidouro e posteriormente, formando uma cachoeira, adentrava em um *canyon*. Após a construção da represa parte da cavidade subterrânea foi dinamitada, perdendo dezenas de metros de sua extensão. Não há informação sobre a dimensão atual do Sumidouro do Rio Pitangui, uma vez que o mesmo situa-se a poucos metros da comporta da represa, formando diversos sifões devido a oscilações do nível da água.

Com relação aos aspectos morfológicos das galerias, o Sumidouro do Rio Pitangui apresenta tipo tabular vertical e tabular horizontal. Seu padrão de desenvolvimento é do tipo linear composto

8.1.3.2- *Caverna da Chaminé*

Situada no *canyon* do Rio São Jorge, dentro do Parque Nacional dos Campos Gerais, a Caverna da Chaminé é considerada, atualmente, uma das maiores cavidades areníticas do sul do Brasil, apresentando 307 metros de desenvolvimento linear (PONTES, 2010) (figura 25). Sua gênese está

relacionada a estruturas tectônicas ligadas ao Arco de Ponta Grossa e a fenômenos erosivos subsequentes, sendo enquadrada como típico exemplo de desenvolvimento linear composto. Seu padrão de desenvolvimento é do tipo linear composto e a morfologia das galerias é representada pelos tipos: tabular vertical; tabular vertical com alargamento unilateral em único ponto; retangular vertical e; triangular. A cavidade apresenta elevado número de pequenos espeleotemas (até cerca de 10 cm) com formatos variados, indicando que, a par do controle estrutural, ocorre significativa dissolução da rocha.

No interior da caverna há pequenos filetes de água, alguns perenes, alimentados por nascentes que escoam para dentro da caverna, outros temporários, formados nos períodos de elevados índices pluviométricos. Tais cursos hídricos controlam diretamente o microclima da cavidade. Pontes (2010) relata que a Caverna da Chaminé é uma das mais importantes representantes do patrimônio espeleológico regional, tanto no que se refere à diversidade abiótica quanto biótica, é umas das maiores cavidades da região e possui diversos espeleotemas de sílica e caulinita em seu interior.

8.1. 3.3- Caverna do Opilião

A Caverna do Opilião, situada no *canyon* do Rio São Jorge, no interior do Parque Nacional dos Campos Gerais, em um ambiente utilizado pelos escaladores da região denominado “Terra do Nunca”, possui 39 metros de desenvolvimento linear e 26,5 metros de projeção horizontal (figura 26). Seu padrão de desenvolvimento é linear composto e a morfologia de suas galerias é basicamente composta pelos tipos tabular vertical e retangular horizontal.

Pontes (2010) descreve sua gênese relacionando principalmente às fraturas na rocha, formando pequenos corredores e passagens, resultado principalmente do acomodamento de blocos. As direções das estruturas predominantes na caverna são E-W e N-S, enquadrando-se como padrão de desenvolvimento linear composto.

Espeleotemas milimétricos a centimétricos aparecem nos corredores, principalmente em fissuras e outras linhas de quebra do corpo rochoso, mostrando a ação erosiva da água que infiltra na rocha. Estes espeleotemas são denominados de coraloides, devido à semelhança com corais.

Figura 25: galeria com morfologia tipo tabular vertical na Caverna da Chaminé.

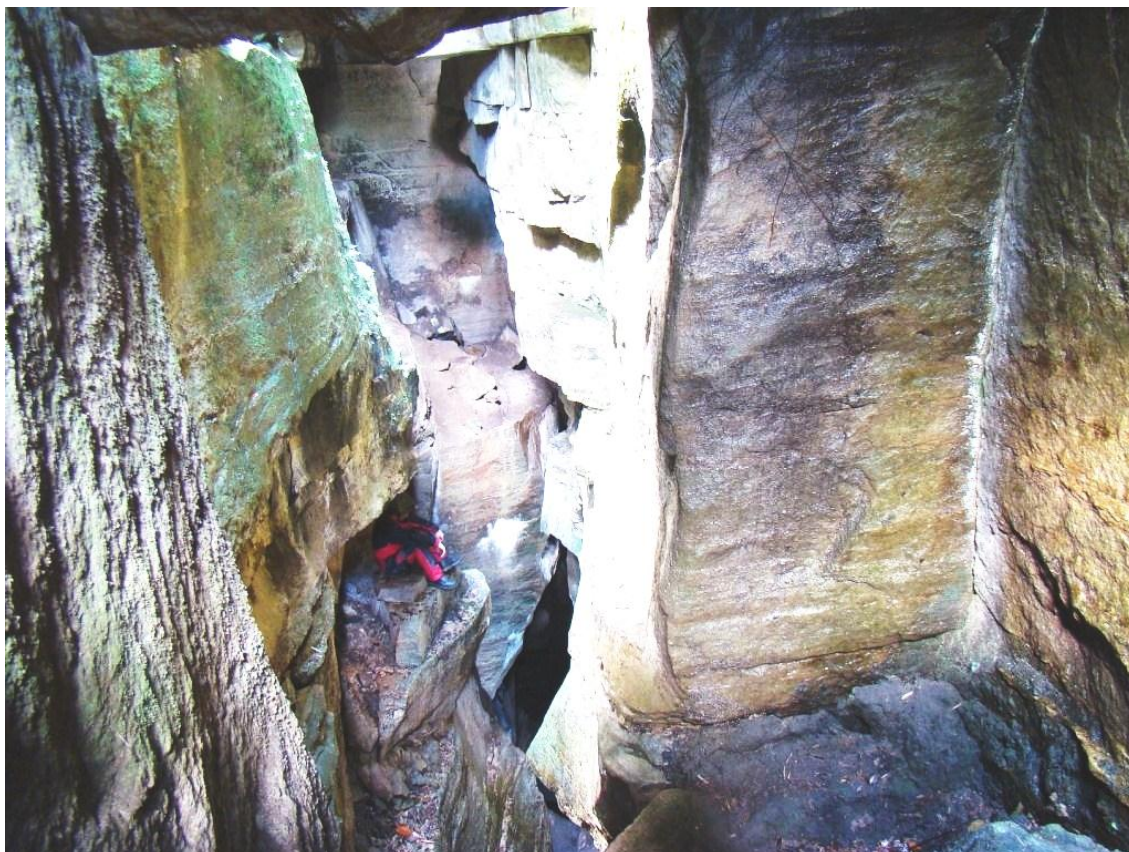


Figura 26: entrada da Caverna do Opilião apresentando galeria tipo retangular vertical.



8.1.3.4- Gruta da Inspirada

Localizada a cerca de 20 metros na direção SE da Caverna do Opilião, a Gruta da Inspirada apresenta 87 metros de extensão linear e 75 metros de projeção horizontal, sendo seu desenvolvimento enquadrado como linear composto e suas galerias apresentam padrão morfológico tipo retangular vertical e amorfo (figura 27). A gruta tem este nome devido a uma passagem estreita no meio do percurso.

Possui muitos espeleotemas distribuídos por todas as galerias, principalmente do tipo pipocas de material silicoso, estalactites e helectites. A formação desta cavidade também é resultado das fraturas na rocha, sendo que as direções predominantes destas estruturas são: N-S, E-W e NE-SW (PONTES, 2010).

8.1. 3.5- Caverna do Bugio

A caverna se localiza dentro do PARNA Campos Gerais, na região norte do recorte deste estudo, em um vale fortemente entalhado denominado de “Vale dos Tucanos” pelos escaladores da região (figura 28). Com aproximadamente 30 metros de extensão, a cavidade é controlada por uma fenda principal e outras pequenas estruturas transversais, se tratando de uma cavidade com típico desenvolvimento linear, com galerias do tipo triangular e tabular vertical. Feições arredondadas em uma das paredes da cavidade indicam possível ação erosiva da água na rocha, mas por não haver nenhum corpo hídrico perene nas proximidades da cavidade é possível propor duas hipóteses para gênese da referida feição: ação erosiva do escoamento da água pluvial pela parede e/ou ação das águas subterrâneas em tempos passados.

Figura 27: galeria tipo tabular vertical na Gruta da Inspirada.



Figura 28: galeria tipo triangular na Caverna do Bugio.



8.1.3.6- Fenda dos Tonini

Situada dentro dos limites do Parque Nacional dos Campos Gerais, a Fenda dos Tonini apresenta 244 metros de desenvolvimento linear e cerca de 20 metros de desnível. Trata-se de uma fenda retilínea, com desenvolvimento linear simples, de direção N52°W, morfologia de galeria tabular vertical, com presença de drenagem subterrânea (figura 29). O córrego que drena em seu interior é afluente da margem direita do Rio São Jorge.

Uma feição geológica de destaque na Fenda dos Tonini situa-se em um ponto da parede da fenda. Trata-se de um corpo de arenito conglomerático que intercepta os planos de estratificação, com cerca de dois metros de altura por cinquenta centímetros de comprimento. Esta porção é discordante ao restante do corpo rochoso, não possui estrutura sedimentar definida, sendo formado por areia grossa e clastos de até quatro centímetros na base. Tal feição não é comum de ser encontrada nas rochas da Formação Furnas (figura 30). Uma hipótese para a formação desta feição é relacioná-la com fluxo de detritos em ambiente subaquoso devido ao aumento de energia e/ou ação gravitacional em ambiente de plataforma, mas não há registros na literatura de casos como este.

A fenda apresenta potencial espeleoturístico, principalmente devido a beleza do local e facilidade no acesso, tanto para chegar até a cavidade, como para deslocar-se no interior da mesma.

8.1.3.7- Furna Passo do Pupo 1 e Furna Passo do Pupo 2 (Furnas Gêmeas)

As Furnas Gêmeas, situadas no Parque Nacional dos Campos Gerais, são regionalmente conhecidas por este nome, mas segundo o Cadastro Nacional de Cavernas (CNC) da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), foram denominadas de Furna do Passo do Pupo 1 e Furna do Passo do Pupo 2, devido ao nome da localidade onde se situam (figura 31).

As Furnas Gêmeas são duas dolinas distintas situadas uma ao lado da outra, sem conexão subterrânea visível, enquadradas no padrão de desenvolvimento tipo abismo circular. A Furna Passo do Pupo 1, situada mais à norte, apresenta 93 metros de diâmetro em seu eixo maior e 47 metros em seu

eixo menor. Sua profundidade total é de 38 metros e nota-se que em seu interior há uma área mais profunda situada em sua porção oeste, apresentando um desnível de 15 metros entre uma porção e outra. Foram identificadas visualmente oito fendas e fraturas presentes nesta fuma, as quais se distribuem nas direções N70°E, N30°E, N84°W, N45°W e N78°W (PONTES, MASSUQUETO e KÖENE, 2012).

A Fuma Passo do Pupo 2 é menor em relação ao diâmetro do que a Fuma 1, mas a supera em desnível. Seu diâmetro no eixo maior possui 82 metros e no eixo menor apresenta 44 metros, sua profundidade é de 53,6 metros. Foram observadas 8 fendas e fraturas em seu interior, distribuídas nas direções N20°W, N30°W, N60°W e N70°E.

Observa-se que as Furnas Gêmeas estão controladas por um falhamento de direção geral N70°E (relacionado ao conjunto de lineamentos Rio Quebra-Perna) o qual condiciona a morfologia das feições em questão, bem como influencia na formação das outras dolinas do município de Ponta Grossa. Esta falha ocasionou um rotacionamento de 23° dos blocos com direção de mergulho para N20°W. Este falhamento está relacionado com as estruturas tectônicas presentes nas rochas do embasamento, geralmente encaixadas na direção NE-SW (relacionadas com a Falha Itapirapuã), transversais ao eixo do Arco de Ponta Grossa e de possíveis processos de erosão subterrânea, relacionados à processos hipogenéticos, o que possibilitou o rebaixamento desta porção de rocha (PONTES, MASSUQUETO e KÖENE, 2012).

Ambas as furnas recebem visitação turística sem nenhum controle, resultando em fortes processos erosivos e formação de diversas trilhas, principalmente na Fuma Passo do Pupo 1, a mais visitada. Coloca-se que ambas as dolinas apresentam potencial espeleoturístico, as quais merecem um trabalho em caráter de urgência com o intuito de proporcionar uma gestão do turismo na área.

Figura 29: galeria tabular vertical na Fenda dos Tonini.

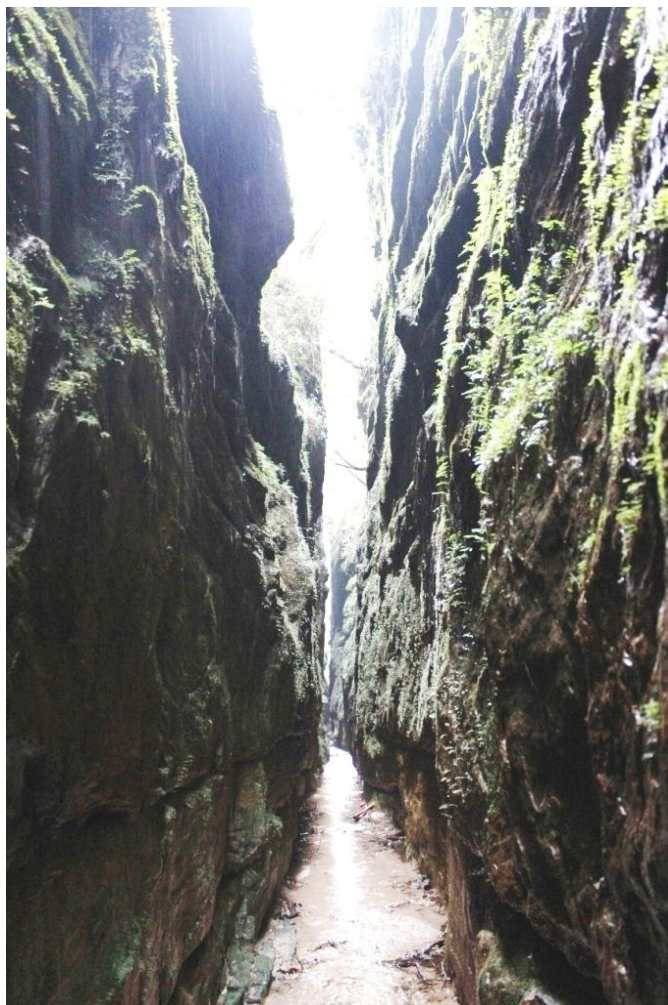


Figura 30: feição atípica no Arenito Furnas, material sem estrutura (indicado com linha preta) interceptando estratificações cruzadas (indicadas com traços) no interior da Fenda dos Tonini.

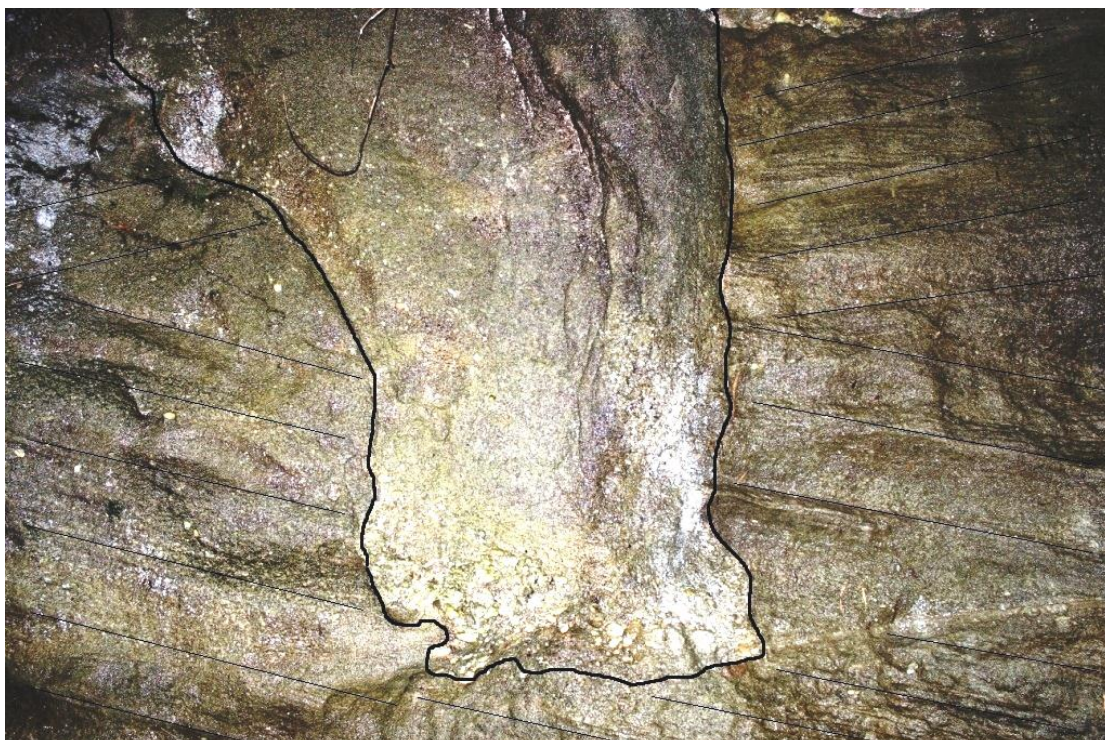


Figura 31: Furnas Passo do Pupo II.



8.1.3.8- Caverna das Andorinhas

A Caverna das Andorinhas, localizada no distrito de Itaiacoca, na localidade de Cedrinho, possui uma extensão total de 140 metros e tem sua gênese relacionada a uma falha inclinada de direção NW-SE (figura 32). A cavidade, com típico desenvolvimento linear simples, é condicionada pela falha, a qual possibilitou o desabamento e remoção de sedimentos e consequente formação da cavidade (SPINARDI e LOPES, 1990).

Esta é uma das mais impressionantes cavidades do município, não só por sua beleza cênica, mas principalmente pela sua morfologia, semelhante a uma dolina com inclinação de aproximadamente 45°. Possuindo morfologia de galeria tipo arco em praticamente toda sua extensão, o local se situa em uma propriedade particular e o acesso até a mesma é proibido pelos proprietários.

8.1.3.9- Furna Grande

Situada no interior do Parque Nacional dos Campos Gerais, a Furna Grande é a maior dolina dos Campos Gerais em diâmetro, apresentando mais de 400 metros no eixo maior, sendo enquadrada como abismo semicircular (figura 33). A furna é controlada por uma falha de direção NE-SW, foi formada em uma meia encosta, mas seu desnível é de 72 metros e em seu interior ocorre mata com araucária. No local há vários mirantes naturais, apresentando potencial geoturístico, para contemplação e observação da paisagem regional.

8.1.3.10- Sumidouro do Córrego das Fendas

Situado no Parque Nacional dos Campos Gerais, o Sumidouro Córrego das Fendas é um intrincado e complexo sistema de fendas e galerias subterrâneas, com marcado controle estrutural e sedimentar em sua gênese (figura 34). Este fato permite a existência de padrões diferentes de galerias, com locais de teto baixo, amplos, declives abruptos, passagens estreitas e diferentes níveis de galerias. No local são encontradas as seguintes morfologias de galerias: tabular vertical; tabular vertical com alargamento

bilateral em um ou mais pontos; tabular vertical com alargamento em único ponto; tabular horizontal; retangular horizontal; retangular vertical e; amorfa.

Possuindo padrão de desenvolvimento linear composto, as direções estruturais que predominam mostram direção entre N35°-50°E e N34°-40°W. A cavidade apresenta drenagem subterrânea ativa e no exato sumidouro, quando o Córrego das Fendas penetra na caverna, precipita em um abismo formando uma cachoeira de 20 metros de desnível.

O local ainda apresenta uma expressiva diversidade de espeleotemas (figura 35), dentre eles corais, estalactites, estalagmites, microtravertinos e cascata de rocha. Estes ornamentos são um dos destaques deste local, devido principalmente seu valor científico e singular beleza. Além dos espeleotemas o local possui diversos espelogens, tais como, alvéolos, dutos e cúpulas de dissolução e *scallops* (FLÜGEL FILHO, 2012).

O Sumidouro Córrego das Fendas é um local de destaque no contexto regional, sendo o mais extenso sistema subterrâneo em rocha arenítica do sul do Brasil, atingindo a marca de 1.119 metros de desenvolvimento linear. Estima-se que apenas a metade do local foi mapeado, pois há galerias conhecidas que não foram mapeadas e há galerias que não foram exploradas, supondo a partir da metragem aproximada das porções conhecidas não topografadas, que este sistema possa ultrapassar 2.000 metros de extensão.

Figura 32: Caverna das Andorinhas.

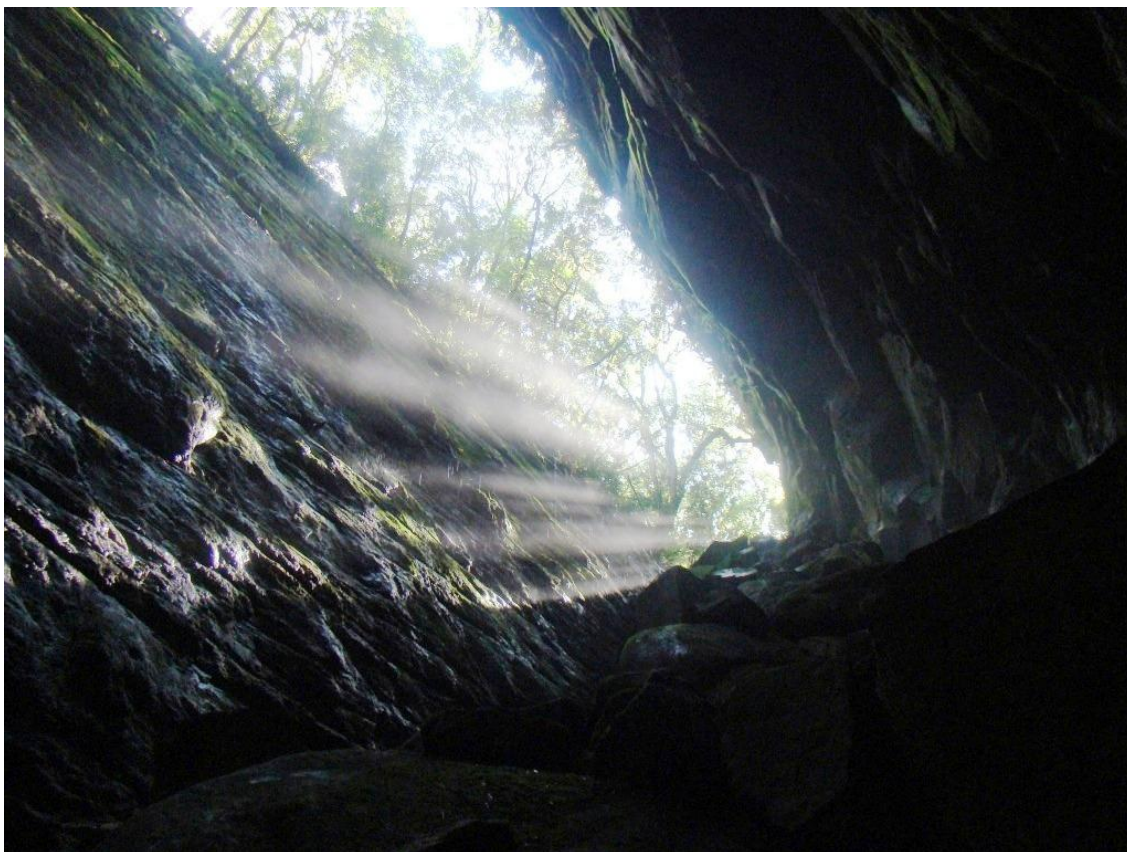


Figura 33: Furna Grande, exemplo de abismo semicircular.



Figura 34: grande clarabóia no Sumidouro do Córrego das Fendas.



Figura 35: espeleotema tipo coralóide no Sumidouro do Córrego das Fendas.



8.1.3.11- Furna do Haras

A Furna dos Haras situa-se dentro do Haras Tayná, propriedade particular, justificando seu nome. Apresenta 64 metros de desnível, havendo 15 metros de lâmina de água em seu fundo, sendo enquadrada como abismo circular. O local é bastante instável, pois a furna apresenta processo ativo de erosão, com diversos escorregamentos de terra e quedas de bloco das paredes.

Apesar de ser um local importante na região, pois apresenta processo de formação ativo, com desabamentos constantes, não é possível realizar estudos detalhados na área, pois os proprietários não autorizam a entrada. Segundo relatos de moradores vizinhos do local onde está a furna, há pouco tempo, uma bomba de água foi instalada em seu interior para utilização da água do freático que está a cerca de 49 metros de profundidade, mas devido à instabilidade do local (com características cársticas e fraturamento), a estrutura não aguentou e cedeu.

8.1.3.12- Poço das Andorinhas

O Poço das Andorinhas é uma furna com desenvolvimento do tipo abismo elipsoidal que apresenta formato de funil invertido, com 53 metros de desnível, controlado por falha de direção N-S (figura 36). Em seu interior ocorre vegetação arbustiva e algumas árvores de maior porte, ressaltando que, recentemente, o local está se tornando depósito de resíduos diversos, desde lixo doméstico até resíduos de construção civil. A furna encontra-se na área de amortecimento do Parque Nacional dos Campos Gerais, em meio a uma plantação de eucaliptos e o acesso até a mesma é permitido.

8.1.3.13- Gruta da Pedra Grande

Situada na localidade denominada Pedra Grande a gruta apresenta padrão de desenvolvimento linear simples, com 44,7 metros de extensão linear e 5,35 metros de desnível (figura 37). A cavidade possui uma galeria principal e três pequenas ramificações, sendo que sua maior parte é formada por teto

baixo e passagem estreita. As galerias apresentam padrão morfológico tabular vertical e retangular horizontal.

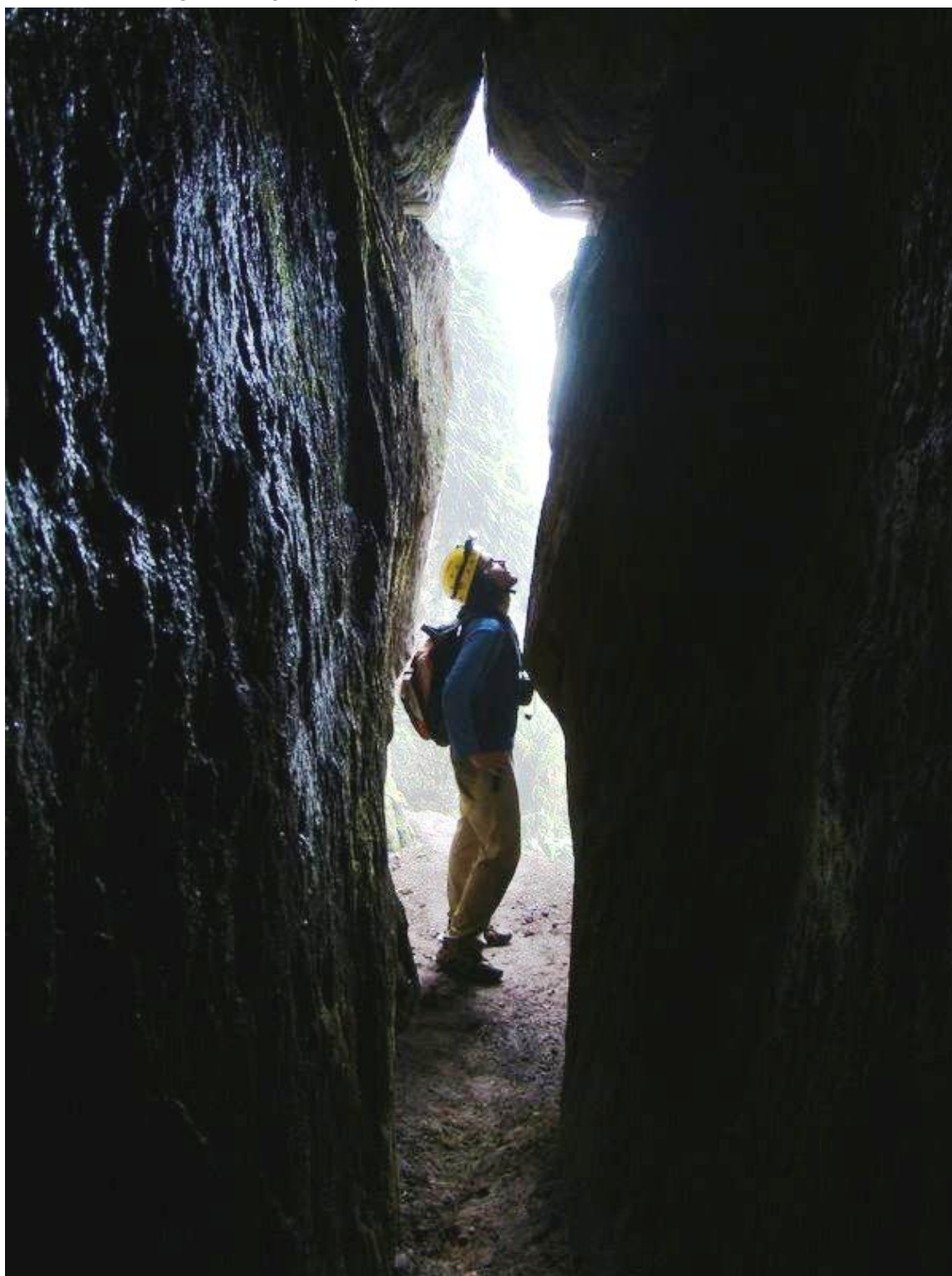
A Gruta da Pedra Grande é quase que totalmente artificial, trata-se de uma fenda natural da rocha que foi dinamitada e escavada, formando um pequeno circuito subterrâneo. Alguns relatos orais referem-se a uma extração de saibro, outros se referem a uma lenda local, dizendo que a extração da pedra ocorreu porque ali havia muito ouro escondido.

A área trata-se de um morro-testemunho da Formação Furnas, situada em frente à Escarpa Devoniana, e no local ocorre reflorestamento de *pinus*. O local recebe alguns visitantes, pois no alto do morro há um mirante natural, possibilitando uma bela visão da região, mas apesar destas visitas, a cavidade é pouco conhecida. O uso turístico não é indicado devido ao fato que a cavidade é muito pequena, apresentando passagens de teto baixo e galerias apertadas.

Figura 36: Poço das Andorinhas, exemplo de abismo elipsoidal.



Figura 37: galeria tipo tabular vertical na Gruta da Pedra Grande.



8.1.3.14- *Buraco do Padre*

O Buraco do Padre é um sistema de furnas (dolinas), cavernas, fendas, sumidouros e ressurgências por onde corre o Rio Quebra-Pedra (MELO et al., 2005; PONTES et al., 2010) (figura 38). Situado dentro do Parque Nacional dos Campos Gerais, o sistema subterrâneo tem cerca de 140 metros de desenvolvimento linear e é a cavidade subterrânea mais visitada da região, recebendo turistas de diversas regiões do país por sua beleza e notável valor turístico, ecológico, didático e científico. Apesar de não ser conhecido como patrimônio espeleológico, o Buraco do Padre é uma cavidade subterrânea que apresenta desenvolvimento vertical e horizontal, ou seja, apresentando padrão tipo linear simples e abismo circular. As galerias deste sistema apresenta morfologia tabular vertical e triangular.

A dinâmica no local é intrigante, pois em dezembro de 2007 o Rio Quebra-Pedra alterou seu percurso, ampliando o traçado de seu curso pelo interior do maciço rochoso (PONTES et al., 2010). Desde este episódio tornou-se mais evidente a transformação da paisagem no Buraco do Padre. Há momentos em que o rio flui pela superfície, em outros some completamente por entre as rochas e há períodos que a drenagem segue os dois caminhos. Existe urgência na implantação de uma estratégia racional de visitação da área, pois a situação atual de total ausência de controle põe em risco a integridade de sua geodiversidade. Desde o ano de 2012 o local está fechado conforme determinação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), pela necessidade de medidas de conservação e até o presente estudo ainda não há previsão para a abertura para visitação.

Figura 38: galeria com morfologia triangular no Buraco do Padre.



8.1.3.15- Fenda da Freira

Situada a pouco mais de 500 metros da fuma do Buraco do Padre, ainda no parque nacional, a Fenda da Freira, com cerca de 300 metros de extensão, impressiona por sua beleza cênica (figura 39). A gênese do local está relacionada com uma grande fenda, de direção N30°E, estrutura transversal ao eixo do Arco de Ponta Grossa, relacionada a uma grande falha, reflexo da

reativação de estruturas presentes nas rochas do embasamento (Falha Itapirapuã). Trata-se de uma fenda cortada por fraturas transversais que em certos trechos tem seu teto fechado impedindo a passagem de luz.

A fenda possui desenvolvimento linear simples e a partir de aproximadamente 70 metros de sua entrada apresenta inclinação de cerca de 70°. Tal fato gerou vários desmoronamentos de blocos rochosos, formando uma típica caverna em arenito. Suas galerias apresentam os seguintes padrões morfológicos: tabular vertical com alargamento bilateral em dois ou mais pontos; tabular vertical com alargamento unilateral em um ou mais pontos; tabular vertical com alargamento unilateral em dois ou mais pontos (com base retangular horizontal) e ; tabular inclinada com alargamento bilateral em dois ou mais pontos. Apesar de receber alguns visitantes, a presença de vários blocos, passagens apertadas e trechos da fenda que afunilam, faz com que a prospecção da cavidade tenha um grau de dificuldade relevante, não sendo muito visitada em seus trechos finais.

8.1.3.16- Abismo Cercado Grande 1

O Abismo Cercado Grande 1 foi catalogado por membros do Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas – GUPE na década de 80, sendo apenas registrada sua existência no Cadastro Nacional de Cavernas (CNC). Apesar de estar situada dentro do Parque Nacional dos Campos Gerais, a área ainda é uma propriedade particular e o acesso é proibido, justificando a ausência de informações sobre esta cavidade.

8.1.3.17- Abismo Cercado Grande 2

Situado no Parque Nacional dos Campos Gerais o Abismo Cercado Grande 2 possui 21 metros de desnível e está situado em um conjunto de fendas de direção N5°E e N50°E juntamente com cinco depressões no terreno associadas (figura 40). Poucos estudos foram realizados nesta cavidade devido à dificuldade de acesso imposta pelos proprietários do local.

Figura 39: Fenda da Freira, apresentando galeria tabular vertical com alargamento bilateral em dois ou mais pontos.

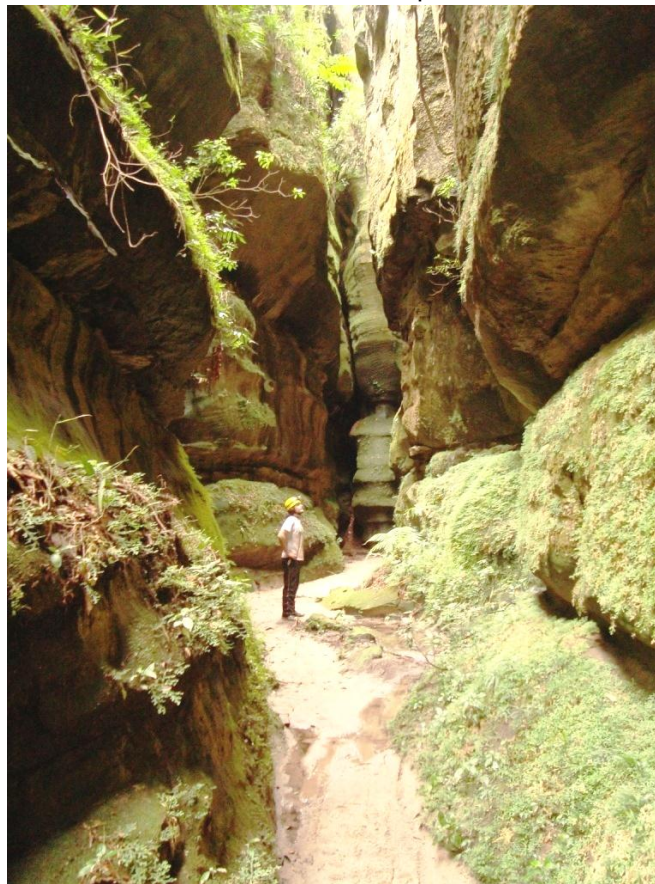


Figura 40: Abismo Cercado Grande II (vista de dentro da cavidade olhando pra cima).



8.1.3.18- Abismo Cercado Grande 3

Esta cavidade situa-se ao lado do Abismo Cercado Grande 2, apresentando conexão que permite somente a passagem de água. Este local ainda não foi explorado, devido às dificuldades de prospecção, exigindo técnicas verticais e uso de equipamentos específicos.

8.1.3.19- Gruta Macarrão

A cavidade está inserida no Parque Nacional dos Campos Gerais e seu entorno apresenta rico patrimônio arqueológico, geológico e espeleológico, com diversas paredes escarpadas utilizadas pelos escaladores de Ponta Grossa e região (figura 41). A gruta abriga representantes da fauna cavernícola, como por exemplo, o “vaga-lume” cavernícola, uma larva de um mosquito ainda não estudado nas cavernas da região. Merritt e Baker (2001), estudando uma espécie específica encontrada em cavernas na Austrália, classificam estes bichos como verdadeiros troglófilos.

A caverna possui 46,9 metros de extensão linear, 42,5 metros de projeção horizontal e 12,7 metros de desnível (padrão de desenvolvimento linear simples), sendo controlada por uma fenda levemente inclinada de direção predominante NE-SW. Suas galerias apresentam padrão morfológico tipo tabular inclinada com alargamento bilateral em dois ou mais pontos, retangular horizontal e tabular horizontal.

Feição de destaque nesta cavidade é um duto de dissolução paralelo à estrutura principal da caverna, situado na parede a cerca de 1,80 metros do piso. O duto possui cerca de 3 metros de desenvolvimento linear e cerca de 20 centímetros de diâmetro.

8.1.3.20- Caverna do Zé

Localizada dentro dos limites do Parque Nacional dos Campos Gerais, a Caverna do Zé possui 110 metros de extensão, padrão de desenvolvimento linear simples e galerias com morfologia tabular vertical com alargamento retangular horizontal unilateral, tabular vertical com alargamento bilateral em

dois ou mais pontos e amorfa (figura 42). Sua gênese relaciona-se com uma estrutura tectônica encaixada na direção N50°E, juntamente com a forte ação da água do córrego Pedregulho alargando as paredes e formando diversos espeleogens. Apresenta pequeno curso hídrico que forma uma bela queda d'água em seu interior, com cerca de 20 metros de altura.

Em relação ao potencial turístico, este local não recebe visitação, bem como apresenta alguns pontos negativos para a prática turística, tais como: dificuldade no acesso até a cavidade, sendo necessária a utilização de corda para apoio em uma descida de 10 metros de desnível e; fator de erodibilidade do solo elevada, onde o pisoteio pode acarretar em perdas significativas do solo. Estes indicativos mostram que deve haver elevada restrição na visitação da cavidade.

8.1.3.21- Caverna dos Trezentos

A Caverna dos Trezentos situa-se na Zona de Amortecimento do Parque Nacional dos Campos Gerais e apresenta 235,25 metros de extensão e desenvolvimento linear simples e galerias no padrão morfológico tabular vertical com alargamento bilateral em único ponto, tabular vertical com alargamento bilateral em um ou mais pontos, retangular horizontal e tabular vertical (figura 43). A cavidade possui galerias ainda não exploradas, com um trecho onde não   possível acesso sem o uso de técnicas verticais. Trata-se de uma cachoeira de aproximadamente 15 metros de desnível. Em seu interior drena um pequeno curso hídrico denominado informalmente de córrego do Barro Preto.

Com relação aos seus aspectos genéticos, esta cavidade está encaixada em uma fenda de direção NE-SW. Conforme já mencionado, as estruturas encaixadas nesta orientação estão relacionadas com a Falha Itapirapuã, desenvolvidas nas rochas do Embasamento do Proterozoico, mas reativada de forma intermitente na Bacia do Paraná (SZABÓ et al., 2006).

Além dos diversos espeleotemas encontrados no interior da Caverna dos Trezentos (coraloides, estalactites e estalagmites), foram identificados espeleogens (dutos, pilares, alvéolos e *scallops*) formados ao longo de um horizonte de granulação síltico-argilosa das rochas da Formação Furnas.

Figura 41: galeria apresentando padrão morfológico tipo tabular inclinada com alargamento bilateral em dois ou mais pontos na Gruta Macarrão.

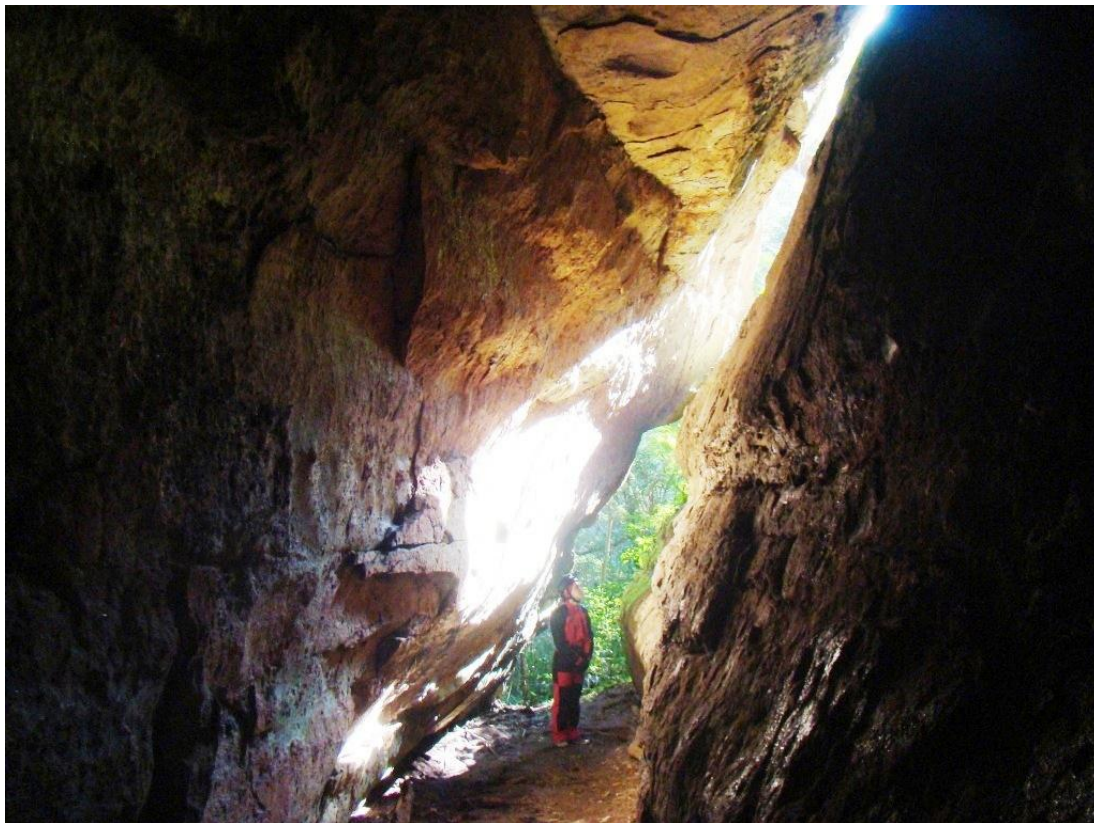


Figura 42: galeria com morfologia tabular vertical com alargamento retangular horizontal unilateral na Caverna do Zé.

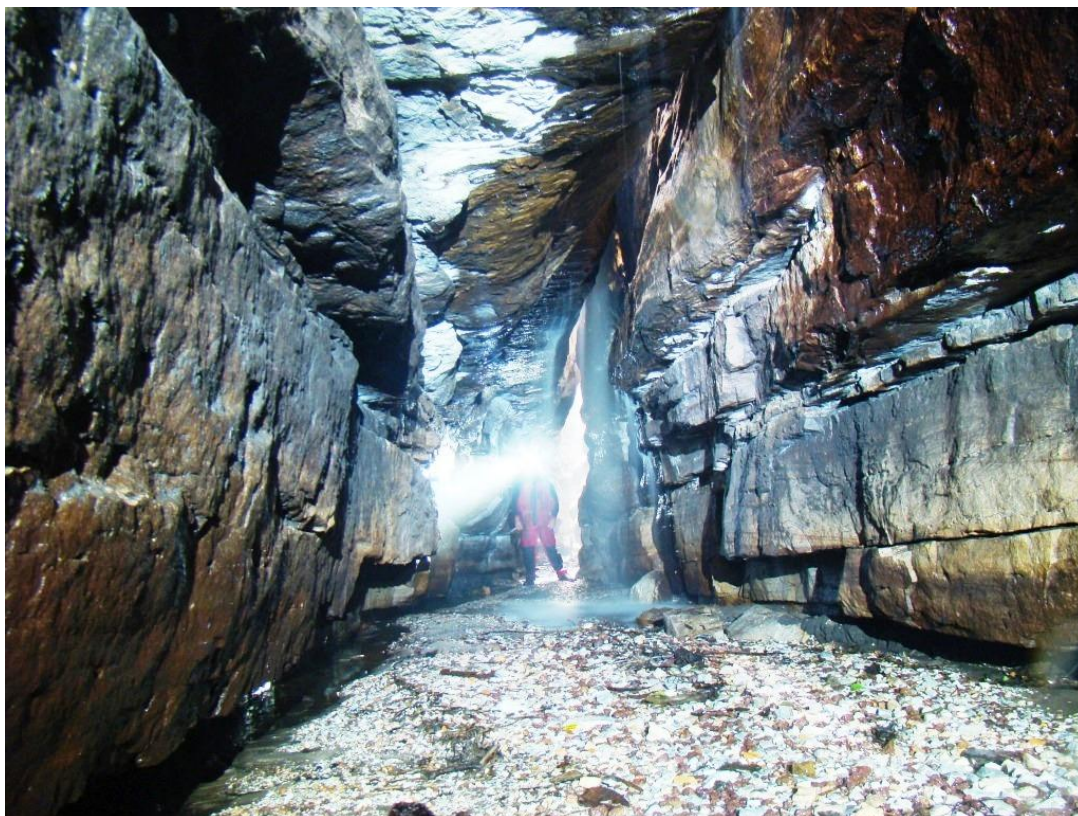
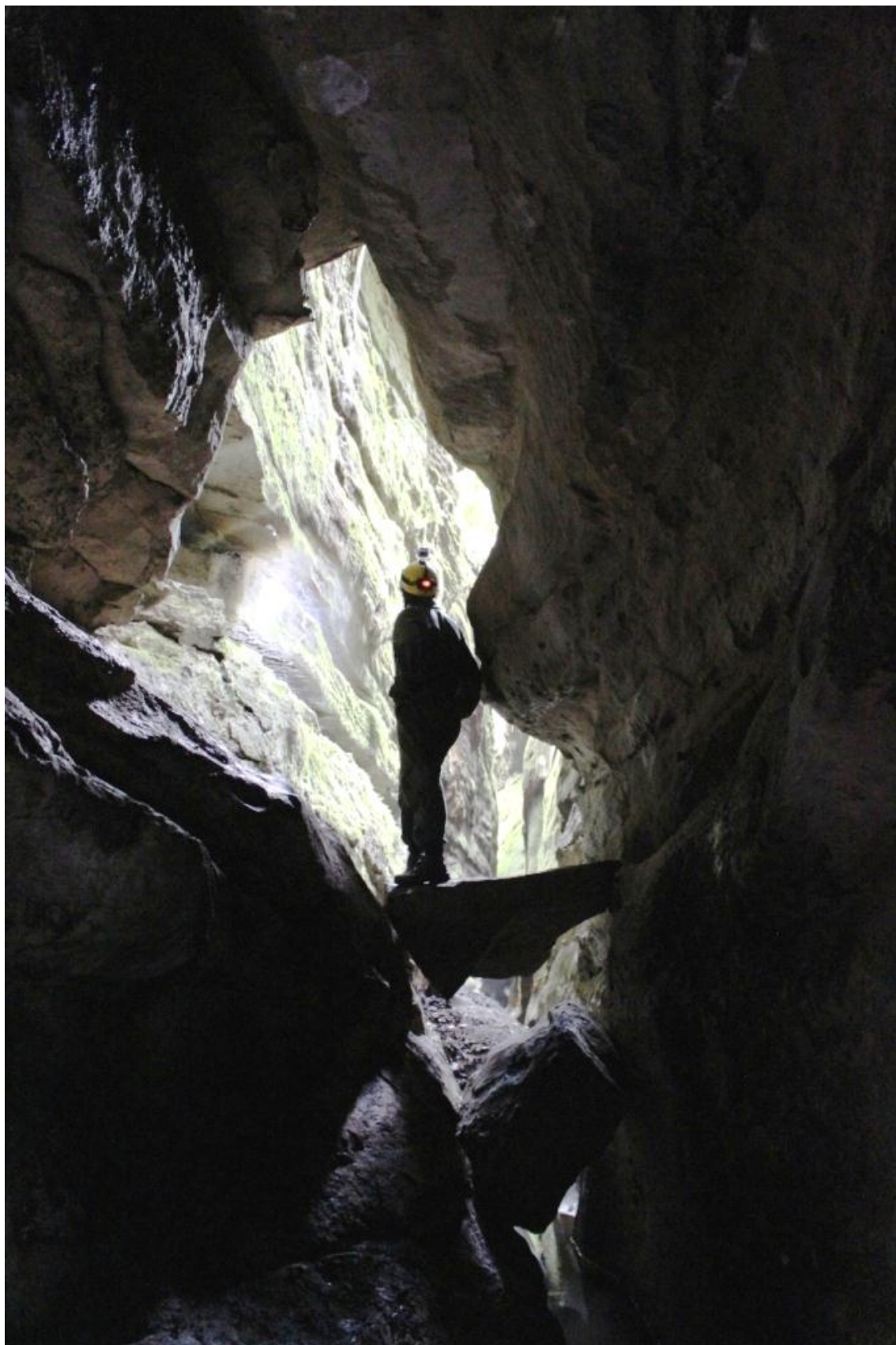


Figura 43: galeria tabular vertical com alargamento bilateral em um ou mais pontos na Caverna dos Trezentos.



8.1.3.22- Sumidouro do Rio Quebra-Perna

O Sumidouro do Rio Quebra-Perna, com 264 metros de desenvolvimento linear, é um sistema de cavidades subterrâneas com fendas apresentando notável alargamento pela ação erosiva da água, dutos de dissolução, paleoleitos, galerias estruturais, passagem entre planos de acamamento e abrigos (lapas), formando um rico patrimônio espeleológico (MASSUQUETO, GUIMARÃES e PONTES, 2011) (figura 44). Suas galerias apresentam os seguintes padrões morfológicos: tabular vertical; tabular vertical com alargamento bilateral em único ponto; retangular vertical; tabular horizontal; arco; circular; amorfo e; tabular vertical com elipsoide horizontal no topo.

Este sítio natural tem também relevância arqueológica, apresentando três lapas com pinturas rupestres pertencentes às tradições Planalto e Geométrica. O Sumidouro do Rio Quebra-Perna é um dos mais importantes sistemas subterrâneos da região, pois as inúmeras formas e feições ali presentes o credenciam ao posto do melhor exemplo de sistema cárstico em rochas não carbonáticas nos Campos Gerais do Paraná (MASSUQUETO, 2010).

Situado em uma propriedade particular e com severa restrição de acesso, o local é visitado por poucas pessoas. Tal fato levou a um notável estado de conservação da área e seu entorno, mas acaba impossibilitando sua imediata inserção em roteiros geoturísticos. Por se tratar de um ambiente que possui alto interesse espeleológico, geológico, geomorfológico, hidrológico, ecológico e arqueológico, a realização de visitas com grupos pequenos e acompanhados de monitores poderia ser uma forma de aproveitar o acervo natural da área em questão (para fins didáticos, científicos, geoturísticos, entre outros), mantendo sua integridade natural.

O maior diferencial existente no Sumidouro do Rio Quebra-Perna são os dutos de dissolução (figura 45). Na área ocorrem diversos, dentro e fora do sistema subterrâneo, mas merecem destaque dois dutos específicos, um com cerca de 3 metros de diâmetro e 20 metros de extensão, é o maior da área de estudo e um dos exemplos mais didáticos do contexto geológico/geomorfológico. O outro é um sistema de dutos que se ramificam,

conectados, formando uma rede de drenagem, onde condutos menores se unem para formar outro maior, assim sucessivamente.

Figura 44: galeria no Sumidouro do Rio Quebra-Perna.



Figura 45: dutos de dissolução no Sumidouro do Rio Quebra-Perna.



8.1.3.23- Gruta do Corujão

Situada na Fazenda Santa Mônica (Reserva Meia Lua), ao lado do Parque Estadual de Vila Velha, a Gruta do Corujão apresenta 53,1 metros de desenvolvimento linear e 8,7 metros de desnível (figura 46). Sua morfologia é controlada por uma falha de direção N75°E, apresentando uma única galeria e duas entradas distintas (padrão de desenvolvimento linear simples e galeria tipo retangular vertical).

Na cavidade foi coletada água proveniente das gotas dos espeleotemas para análise em campo do pH, resultando em água ácida (ph 3,22). No local ocorrem diversos espeleotemas, principalmente próximo ao trecho final da cavidade.

Em relação ao potencial geoturístico a cavidade situa-se em propriedade particular e o acesso é permitido somente mediante autorização do proprietário. Devido à presença de material delicado (espeleotemas e ossadas) indicam-se visitas com grupos pequenos, com acompanhamento especializado.

8.1.3.24- Furna do Bugio

Situada na Fazenda Santa Mônica (Reserva Meia Lua), a Furna do Bugio é um novo registro de dolina em arenitos da Formação Furnas (figura 47). Em relação à sua morfologia apresenta cerca de 40 metros de diâmetro e 45 metros de profundidade, tratando-se de um abismo (semi-circular) de contorno irregular em superfície, apresentando a face sul fortemente escarpada e a face norte com depósitos de tálus e inclinação reduzida (PONTES, MASSUQUETO e KÖENE, 2012).

A furna está encaixada em uma falha de direção N75°E, e a porção norte da falha apresenta claro rebaixamento de aproximadamente 15 metros em relação à face sul. Esta falha ocasionou um rotacionamento das camadas geológicas apresentando inclinação de 18° com mergulho para NW.

Seu interior apresenta diversos blocos de rocha, solo arenoso com abundante matéria orgânica, presença de grandes árvores, umidade elevada e beleza cênica. Não é indicado o acesso turístico ao interior da furna devido aos seguintes fatores: dificuldade no acesso, com desníveis de 20 metros, exigindo

a utilização de corda para apoio durante a descida e; fator de erodibilidade do solo elevado, onde o pisoteio pode acarretar em significativos processos erosivos.

Figura 46: exemplo de galeria retangular vertical na Gruta do Corujão.



Figura 47: interior da Furna do Bugio.



8.1.3.25- Furnas de Vila Velha 1, 2, 3 e 4

As Furnas de Vila Velha são reconhecidas mundialmente, sendo classificadas (assim como as outras furnas da região) como dolinas de abatimento, que atingem até 113 metros de profundidade (padrão de desenvolvimento tipo abismos circulares) (figura 48). As Furnas 1, 2 e 4 apresentam água em seu interior, chegando a atingir mais de 50 metros de lâmina de água. Já a Furna 3 apresenta fundo seco, sendo a menor entre elas, com 20 metros de desnível. As quatro furnas de Vila Velha, juntamente com as Lagoas Dourada e Tarumã e as demais furnas de Ponta Grossa, encontram-se alinhadas em falha de direção NE-SW (Falha Itapirapuã), sobre o Lineamento do Rio Quebra-Perna. Ressalta-se que apenas uma das 14 furnas do município não está dentro da Depressão de Vila Velha (SALLUN FILHO e KARMANN, 2007), um grande rebaixamento no terreno (de cerca de 20 km de extensão por 4 km de largura). O Poço de Santa Madalena situa-se fora, mas bem próximo do limite da referida depressão.

8.1.3.26- Lagoa Dourada e Tarumã

As Lagoas Dourada e Tarumã eram antigas cavidades subterrâneas. Tratam-se de antigas dolinas de abatimento que ao passar do tempo geológico foram preenchidas por sedimentos do Rio Guabiroba. A profundidade real destes poços é incerta, mas sabe-se que a Lagoa Dourada apresenta aproximadamente 36 metros de profundidade, somando 12 metros de sedimentos e 24 metros de desnível topográfico (MELO, GIANNINI e PESSENDA, 2000). Segundo os mesmos autores a Lagoa Tarumã apresenta 5,7 metros de lâmina de água.

Atualmente, estas feições são identificadas como lagoas, sendo também reconhecidas como paleocavidades. Estima-se que no município de Ponta Grossa ocorram outros exemplos semelhantes a estes, porém carecem de estudos mais aprofundados, envolvendo levantamentos topográficos e perfurações geológicas, de extrema importância para compreender estas feições.

8.1.3.27- Fenda do Mosteiro

Situada na área da nova sede do Mosteiro da Ressurreição, a Fenda do Mosteiro possui 30,1 metros de extensão linear e 13 metros de desnível, apresentando típico padrão de desenvolvimento linear simples com galeria de morfologia tabular vertical (figura 49). Sua formação é devido a um fraturamento na rocha de direção NE-SW, transversal ao eixo do Arco de Ponta Grossa (PITANGUI CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA., 2013).

8.1.3.28- Poço de Santa Madalena

O Poço de Santa Madalena, assim como a Furna do Bugio, é um novo registro de dolina em arenito nos Campos Gerais (mapa 6). Trata-se de uma dolina de abatimento formada sobre uma fratura na rocha de direção NE-SW (relacionada à Falha Itapirapuã), com padrão de desenvolvimento tipo abismo semicircular. Apresenta pequeno curso hídrico em seu interior, processo de abatimento ativo, com cerca de dois metros de diâmetro e 11,4 metros de desnível (PITANGUI CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA., 2013).

8.1.3.29- Gruta Mãe da Divina Graça

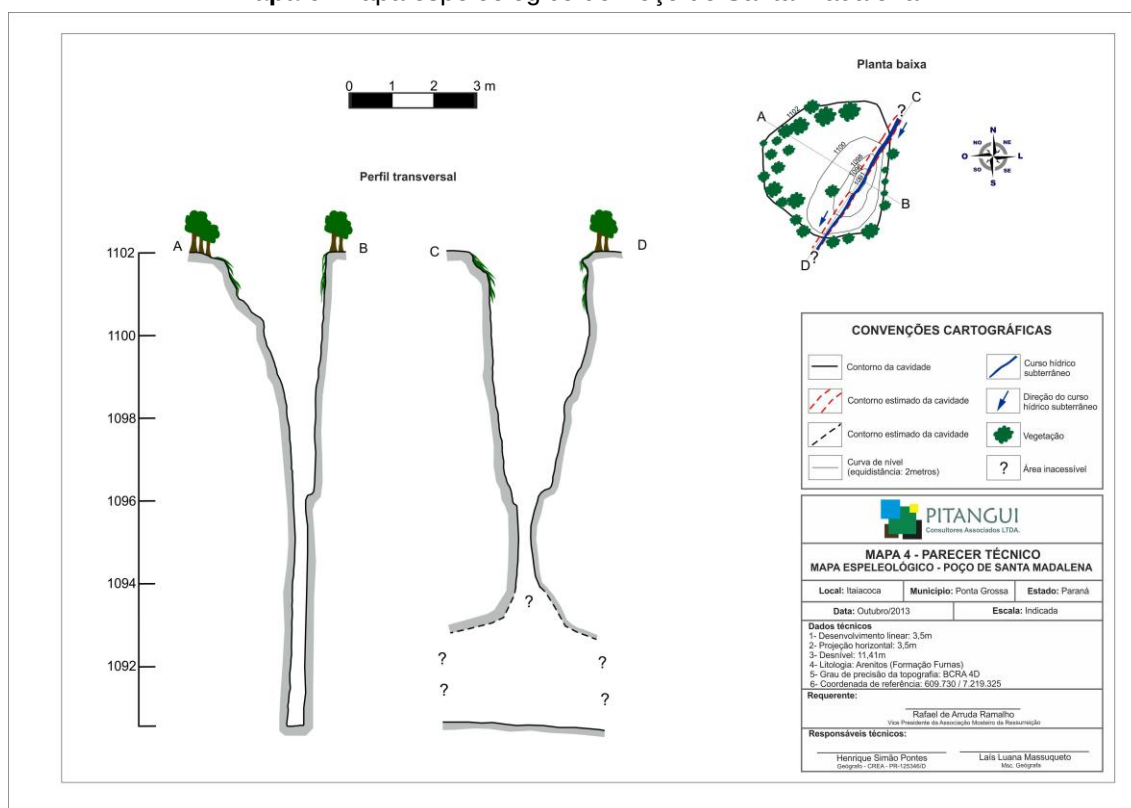
Formada em uma fenda de direção NE-SW (transversal ao eixo do Arco de Ponta Grossa), possui padrão de desenvolvimento linear simples, com 66,2 metros de extensão linear e 22 metros de desnível (PITANGUI CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA., 2013) (figura 50). Na Gruta Mãe da Divina Graça foram identificados os seguintes padrão morfológico de galerias: retangular vertical; tabular vertical com alargamento bilateral em dois ou mais pontos; elipsoidal vertical; elipsoidal inclinada e; triangular. No interior da gruta foram identificadas galerias com morfologia elipsoidal vertical e inclinada, indicando circulação forçada com ação de águas subterrâneas.

Figura 48: Furna de Vila Velha I, exemplo típico de abismo circular.



Figura 49: uma das entradas da Fenda do Mosteiro em meio à vegetação.



Mapa 6: Mapa espeleológico do Poço de Santa Madalena.

Fonte: PITANGUI CONSULTORES ASSOCIADOS (2013).

Figura 50: galeria com morfologia elisoidal inclinada na Gruta Mãe da Divina Graça.

8.1.3.30- Outras cavidades subterrâneas não trabalhadas

Durante a elaboração desta pesquisa foram registradas outras sete novas cavidades subterrâneas nas rochas da Formação Furnas, dentre elas estão: Gruta Nova Holanda, Fenda Santa Maria I, Fenda Santa Maria II, Fenda Sem Fim, Abismo da Brisa, Fenda Guacharos e Gruta Cambiju 2.

Há outras cavidades em Ponta Grossa ainda não exploradas, bem como há diversos pontos com potencial espeleológico, mas devido à proibição de acesso às propriedades particulares, por enquanto, não é possível identificar e quantificar o verdadeiro patrimônio espeleológico que o município possui.

8.2- Depressões no terreno

Além das cavidades subterrâneas, no sistema cárstico da Formação Furnas ocorrem as depressões no terreno, também chamadas de dolinas ou depressões fechadas. As depressões no terreno são áreas rebaixadas na superfície do relevo, que variam localmente de uma dezena de metros a centenas de metros de diâmetro e até dez metros de desnível (figura 51). Segundo Maack (1956), Soares (1989) e Pontes et al. (2012) as depressões podem representar o estágio inicial da formação das furnas (dolinas), bem como, conforme Melo, Giannini e Pessenda (2000), podem se tratar de furnas que foram assoreadas, como é o caso da Lagoa Dourada e Lagoa Tarumã. Ou seja, as depressões no terreno se formam a partir de uma cavidade pré-existente no corpo rochoso, tratando-se assim de paleocavernas ou cavernas em pleno estágio de formação.

Como exemplo desta afirmação pode-se mencionar os Abismos Cercado Grande II e III. Estes abismos possuem conexão entre um e outro, não penetrável para prospecção, somente pela água que se infiltra para dentro do Abismo II e drena sentido o Abismo III. Além desta característica, ambos situam-se dentro de uma depressão no terreno (uma bacia de cerca de seis mil metros quadrados) onde toda a água pluvial é forçada a drenar para dentro dos abismos. Dentro desta depressão maior há outras cinco depressões no terreno de menores dimensões.

Estas depressões no terreno foram formadas devido à existência de cavidades subterrâneas situadas no interior do corpo rochoso, mostrando que as mesmas encontram-se em pleno estágio de formação. Muitas vezes, o teto destas cavernas começa a colapsar, principalmente durante as grandes oscilações do nível freático regional, ocorridas durante as mudanças climáticas do Quaternário. Quando o nível freático rebaixa, as paredes e tetos das cavidades, ora sustentados pela pressão hidrostática, ficam suscetíveis a processos de colapsos, forçando o rebaixamento da superfície situada acima da cavidade.

Conforme Bigarella et al. (2007) o Quaternário é o período das grandes oscilações climáticas mundiais e estas mudanças afetaram diretamente no regime das chuvas e conseqüentemente no nível freático regional. Esta

hipótese do rebaixamento e oscilações do nível freático na área de estudo pode ser observada a partir de algumas feições expressas na rocha, a exemplo de uma parede rochosa com cerca de 20 metros de altura, situada no setor de escalada Macarrão (próximo ao Buraco do Padre). Nesta parede ocorre uma sucessão de níveis horizontais uns com ocorrência de alvéolos e dutos e outros com ausência total destas feições (figura 52). O trabalho de Wray (2009) aborda sobre a ocorrência de condutos de drenagem freática em quartzito arenitos Australianos, relatando que tais condutos formam-se em uma zona denominada epifreática, ou seja, em uma porção subterrânea de oscilação do nível freático, ora ocupada por água outra com ausência total de água. A ocorrência de dutos e alvéolos em um determinado nível da rocha e ausência em outro pode estar relacionada a esta oscilação do nível freático.

A figura 53 mostra cinco fases para a formação das feições encontradas na parede rochosa da figura 52. Na fase 1, em uma zona freática, inicia-se o processo de fantomização, alteração da rocha, conforme descrito por Rodet (1996) apud Hardt (2011), Quinif (1999) apud Laverty (2012), Bruxelles, Quinif e Wiénin (2009) e Dubois et. al. (2014), sendo que estes núcleos de alteração ocorrem em toda a rocha, mas concentram-se em locais com descontinuidades litológicas (sejam relacionadas às estruturas sedimentares ou tectônicas). Na fase 2, o nível freático rebaixa, e na porção do epifreático (porção de oscilação) inicia-se o processo de formação de aloalteritas e desestruturação mecânica de alteritas devido à oscilação das águas subterrâneas (hidrodinâmica), núcleos vazios conectam-se formando canais e estabelecendo condutos de drenagem subterrânea. As fases 3 e 4, representam rebaixamentos do nível freático em diferentes níveis, sendo que em cada fase, os mesmos processos descritos na fase 2 foram atuantes sobre a rocha. Na quinta e última fase, com a rocha já exposta na superfície, a ação de líquens, plantas rupestres, micro organismos e a da água da chuva (no caso do afloramento do setor de escalada Macarrão) ocasionam erosão na rocha e podem ampliar alvéolos e dutos formados em ambiente subterrâneo.

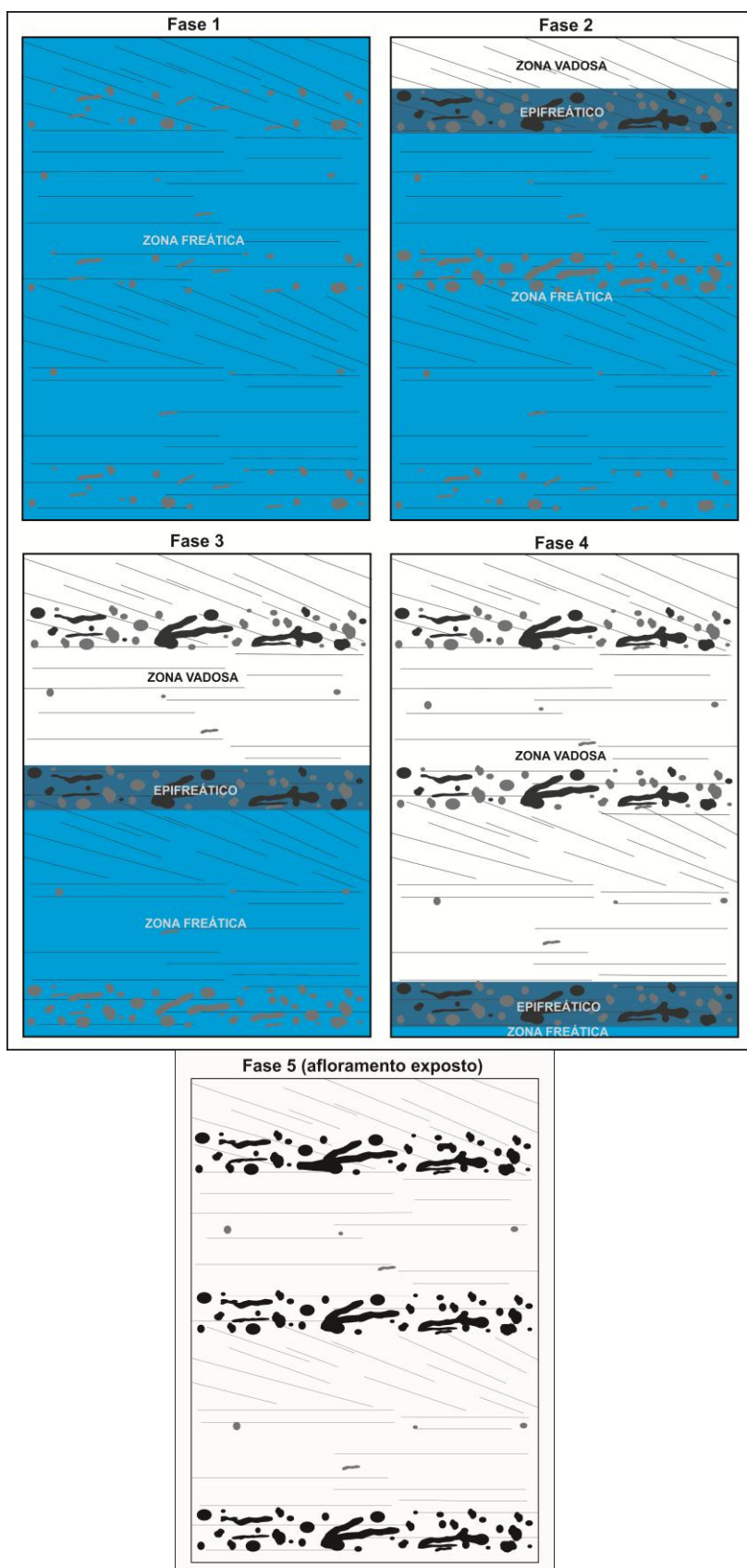
Figura 51: depressão no terreno próxima à Caverna das Andorinhas com cerca de 8 metros de desnível. Notar que se trata de uma porção rebaixada, circular e fechada no terreno.



Figura 52: afloramento com sucessão de níveis com presença e ausência de alvéolos e dutos de dissolução. Na imagem é possível identificar exatamente o ponto desta alternância.



Figura 53: fases para a formação de níveis alternados com e sem a presença de alvéolos e dutos de dissolução.



No interior destas depressões, muitas vezes ocorre o afloramento do nível freático, podendo formar lagoas temporárias em períodos de chuvas intensas ou lagos perenes. Como exemplo desta situação pode-se citar a Lagoa do Coração, uma depressão no terreno que apresenta nível freático aflorando e com uma oscilação significativa do nível de água durante todo o período do ano, variando nos períodos de chuva e de estiagem (figura 54).

Uma pequena depressão no terreno identificada a cerca de 200 metros do *front* da Escarpa Devoniana (próxima à Caverna das Andorinhas) apresenta nível freático aflorando. Esta ocorrência mostra que no local ocorre lençol suspenso, pois pelo fato da proximidade com a escarpa as águas subterrâneas poderiam drenar sentido primeiro planalto como fuga (formando nascentes no sopé do referido degrau topográfico), ou no sentido oposto ao primeiro, seguindo o mergulho das camadas das rochas da Formação Furnas, ao contrário a isso, a água aflora na superfície no reverso imediato da escarpa. Desta maneira, nota-se que o aquífero em questão possui nível inconstante funcionando a partir da existência de vazios, tais como cavernas, dutos, fraturas e planos de acamamento. O trabalho de Pigurim (2010) realizado sobre poços tubulares profundos nas rochas da Formação Furnas indica que a profundidade dos poços é muito variável, de menos de 50 a mais de 500 metros; a vazão é muito variável, de 0,5 m³/hora até 100 m³/hora e; não há correlação entre profundidade e vazão. Bagatim (2010) relata que a profundidade do aquífero é variável e durante as perfurações dos poços há indicações de “vazios” métricos, correspondentes a cavidades subterrâneas.

Ao analisar um perfil longitudinal das furnas presentes na área de estudo é possível perceber que o nível freático é bastante oscilante, tendo como exemplo principal o poço tubular profundo perfurado na Fazenda Paiquerê (figura 55). Conforme relato do responsável da fazenda foi realizado um poço com cerca de 200 metros de profundidade, mas não foi encontrado água. Curiosamente, a menos de 300 metros em linha reta do local da perfuração está a Furna do Haras, com o nível freático a 49 metros de profundidade. Com estas observações, é possível relacionar o nível e a vazão do freático nas rochas da Formação Furnas com a existência de cavidades subterrâneas, pois a referida furna e o poço situam-se na mesma bacia hidrográfica.

Estas características do nível freático e das depressões no terreno mostram a urgência na aplicação de medidas firmes para o gerenciamento do uso do solo sobre estas áreas do relevo. Os locais de ocorrência destas feições cársticas devem ter seu uso somente para o interesse científico e, diferente do que o atual Código Florestal apresenta, devem ser enquadradas como Áreas de Preservação Permanente (APP's), independente de serem lagos intermitentes. Estas porções do relevo devem ser enquadradas em um Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC) específico, a fim de proteger estes geossistemas, como também evitar os riscos geoambientais atrelados à ocupação destes espaços.

Theodorovicz e Theodorovicz (2008) em estudo sobre a adequabilidade e limitação ao uso e ocupação do solo, salientam que:

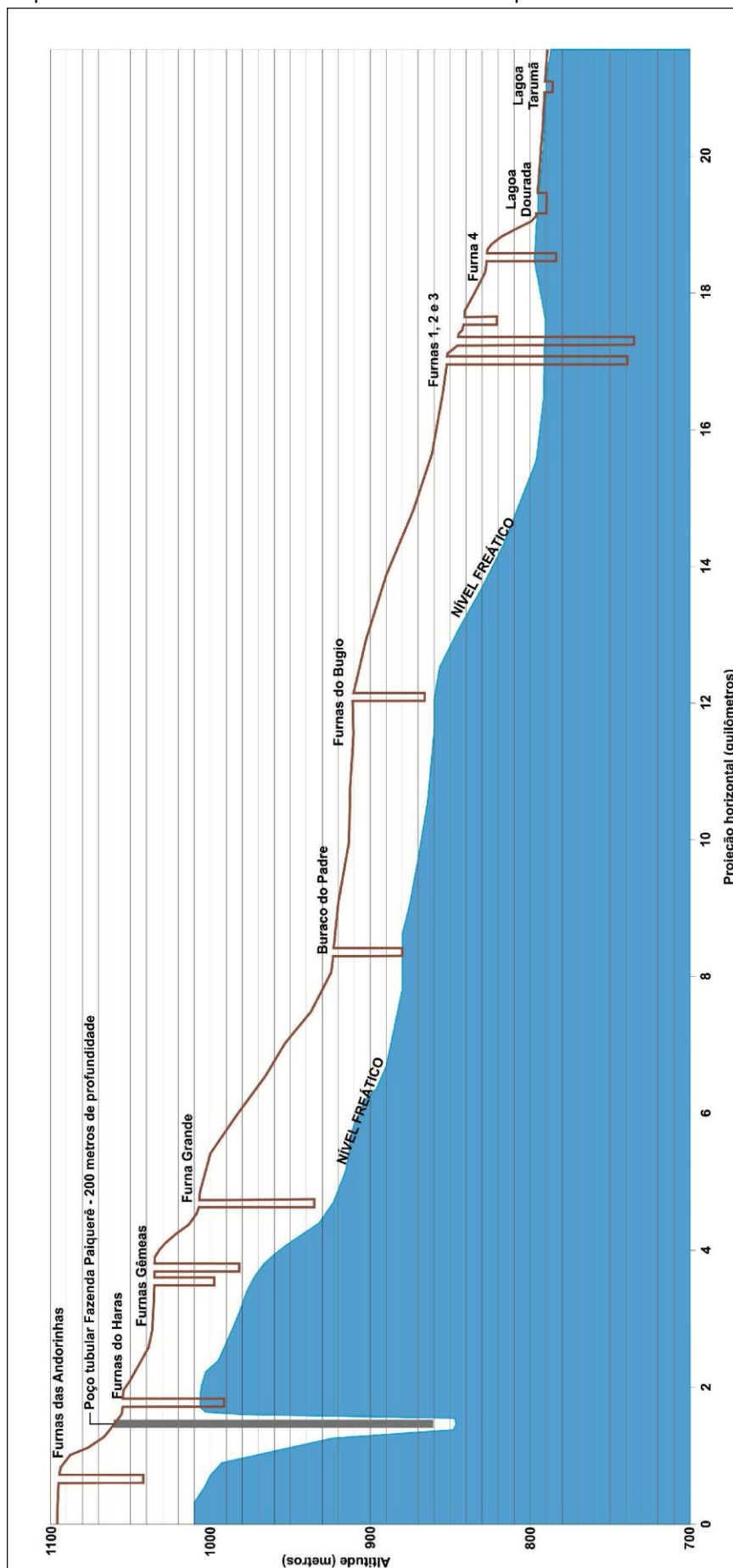
“Em terrenos quartzo arenosos pode haver pseudodolinas, ou seja, depressões que se formam na superfície porque a areia migrou ou está migrando para um curso de água subterrâneo. Essas pseudodolinas são indicativas da existência, nesses locais, de uma cavidade (caverna) ou da passagem de um rio subterrâneo. Em virtude dessas características, não se deve construir sobre estes locais. Assim como, antes de execução de qualquer obra que exerça tensão nas proximidades desses locais, é importante que se proceda a estudos geotécnicos detalhados e apoiados em investigações geofísicas que possam identificar a existência de cavidades, uma vez que são sujeitas a sofrerem colapso (afundamento brusco).” (THEODOROVICZ e THEODOROVICZ, 2008, p. 222).

Os referidos autores denominam de pseudodolina as feições denominadas neste trabalho de depressões no terreno e apesar de usarem a terminologia “*pseudo*” devido à influência da literatura clássica, referem-se aos riscos geoambientais destes locais, principalmente relacionados com o uso e ocupação do solo nestas áreas. Os autores exemplificam a colocação acima mencionada mostrando uma foto de uma depressão formada nas rochas da Formação Furnas, salientando assim as características do carste arenítico desta unidade geológica, de suas fragilidades e suas limitações.

Figura 54: a Lagoa do Coração é uma depressão no terreno que apresenta lâmina de água de aproximadamente 1,5 metros de profundidade. Em uma sequência de fotos no período de um mês a lagoa secou totalmente, mostrando significativa oscilação do nível freático.



Figura 55: perfil longitudinal retificado com exagero gráfico (vertical e horizontal) representando o nível do freático no interior da depressão de Vila Velha.



Dentro da área e no entorno imediato do atual aterro sanitário do município de Ponta Grossa ocorrem dez depressões no terreno, alinhadas sobre os Lineamentos do Aterro Botuquara, Mariquinha e Rio Verde (mapa 7). Nascimento (2008), em estudos realizados no aterro municipal, relata que o mesmo foi um lixão por mais de 30 anos, tornando-se controlado apenas no ano de 2001 (figura 56). A mesma autora aponta em suas análises químicas que o solo do local é extremamente impactado, com presença de Chumbo, Cobre, Cádmio e Cromo em quantidades acima do permitido, bem como foram identificados elevados teores de Potássio, Nitrogênio e Fósforo, afirmando que o contato destes nutrientes com corpos d'água diversos pode causar sua eutrofização.

A área onde se iniciou o processo de instalação do novo aterro de Ponta Grossa, o Centro de Tratamento de Resíduos – CTR Furnas, assim como o Aterro Botuquara, está situada sobre o Sistema Cárstico da Formação Furnas, com presença de depressões no terreno e sobre diversas estruturas tectônicas relacionadas ao Lineamento Rio Verde (mapa 8). Esta obra encontra-se embargada devido às características naturais da área, mas os resíduos da cidade continuam sendo depositados em um local com diversas feições cársticas e fragilidades geotécnicas diversas, passível de ocorrência de desastres ambientais.

Durante os estudos de campo para o desenvolvimento desta pesquisa foram identificadas 186 depressões no terreno nas áreas de afloramento das rochas da Formação Furnas e outras seis sobre rochas do Grupo Itararé. Nota-se que o arcabouço tectônico condiciona a distribuição e ocorrência das depressões no terreno e cavidades subterrâneas em Ponta Grossa, mas o processo de dissolução também atuou no corpo do arenito, podendo sugerir quatro momentos distintos da gênese das depressões e, conseqüentemente, das furnas. O primeiro momento da gênese está relacionado a processos tectônicos que geram permeabilidade por fratura na rocha. O segundo momento é caracterizado por processos hipogenéticos (processos originados em ambiente confinado), caracterizado pela erosão de águas subterrâneas e conseqüente alargamento de dutos, canais e descontinuidades da rocha.

No terceiro momento, ocorrem oscilações bruscas (rebaixamento e subida) do nível freático regional, acelerando o alargamento das cavidades

subterrâneas. Com estas oscilações e exumação do relevo em superfície, inicia-se o processo de formação de depressões (subsidiências) no terreno e, conjuntamente, o desabamento de blocos no interior de cavidades subterrâneas; o quarto e último estágio é o desabamento completo do teto da cavidade subterrânea, originando assim a furna (dolina de abatimento). Assim, as depressões no terreno podem representar duas fases distintas: 1) o preenchimento de uma furna por sedimentos, como é o caso da Lagoa Dourada e Tarumã ou; 2) o início da formação de uma furna, com o rebaixamento em superfície devido aos abatimentos do teto de uma cavidade subterrânea.

A partir de observações em campo, analisando as características das feições, foram identificados quatro tipos de depressões no terreno, exemplificadas na tabela 5. Embora este trabalho apresente uma classificação rápida dos tipos de depressões no terreno existentes no local da pesquisa, estudos mais apurados, como perfurações e levantamentos geofísicos, devem ser realizados nas depressões, a fim de identificar com maior precisão a classificação de cada uma.

Mapa 7: depressões e lineamentos estruturais no Aterro Botuquara.

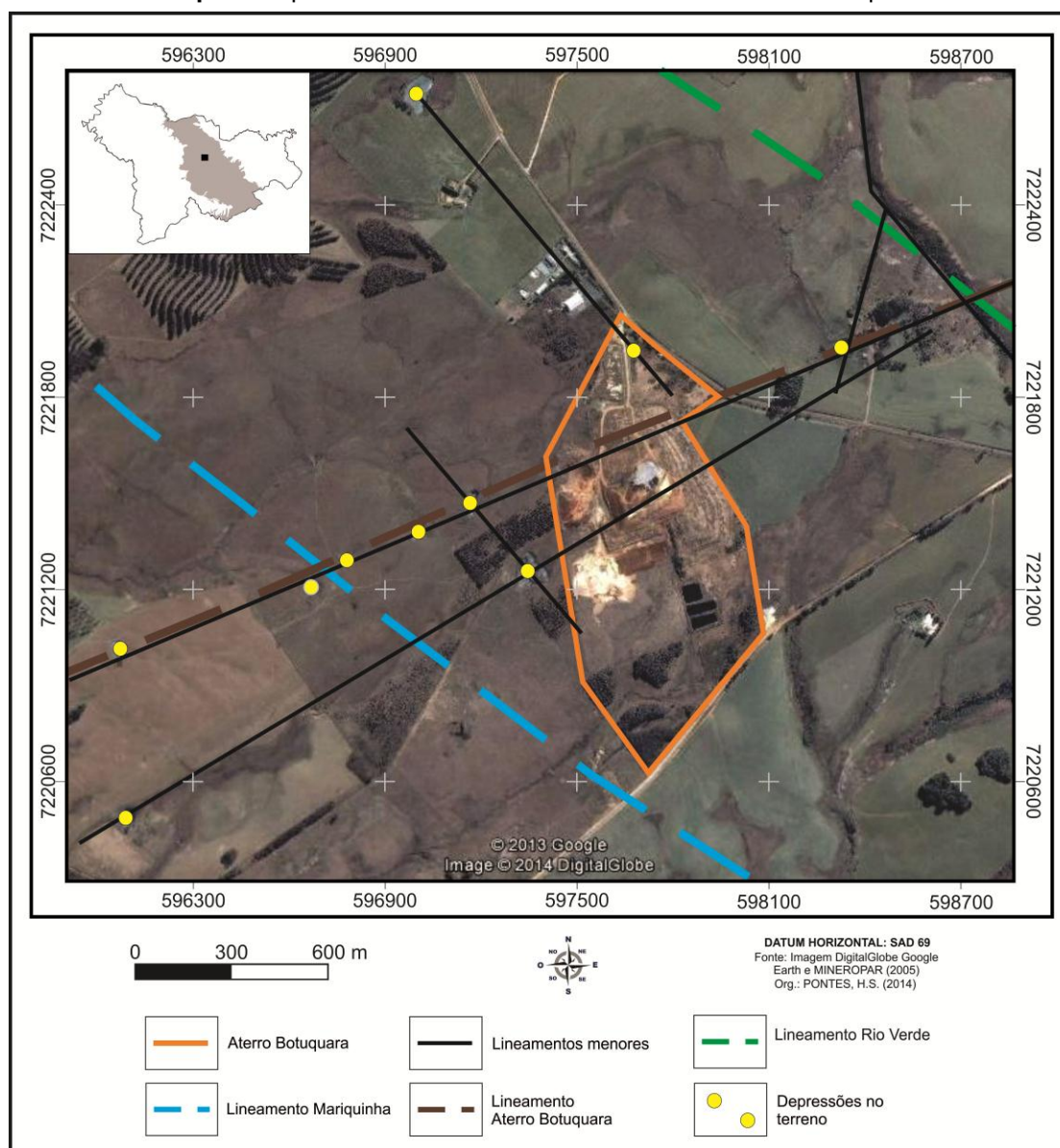


Figura 56: Imagens do lixão Botuquara na década de 90, 1- chorume; 2- resíduos hospitalares; 3- embalagens de herbicidas e; 4- resíduos industriais.



Fonte: Nascimento (2008).

Mapa 8: depressões e lineamentos estruturais no Centro de Tratamento de Resíduos – CTR Furnas (obra atualmente embargada).

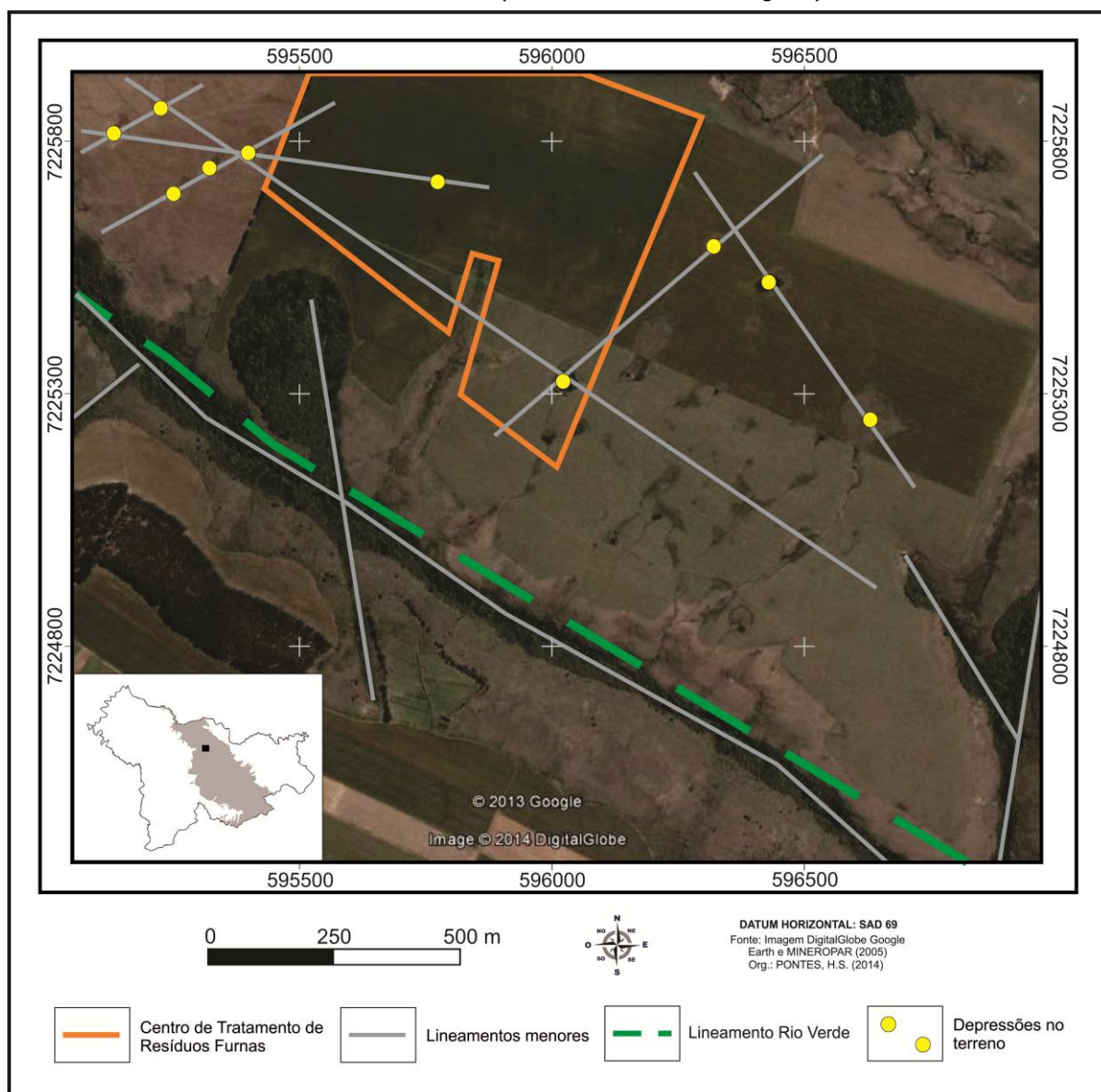
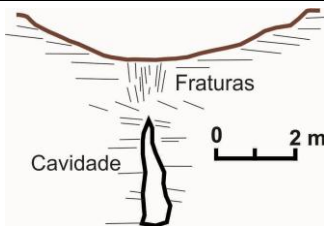
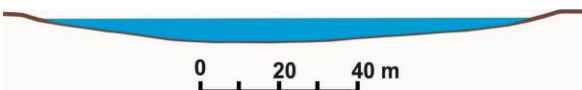
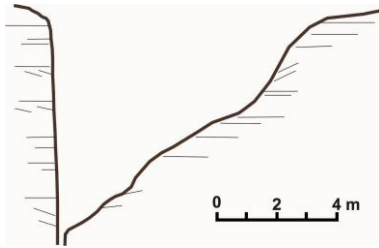
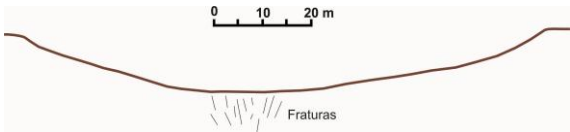


Tabela 5: tipos de depressão no terreno identificadas na área de estudo.

	TIPO	EXEMPLO	CROQUI
1	Depressão de abatimento	Depressões próximas aos Abismos Cercado Grande I e II	 Diagram showing a cross-section of a depression. A central vertical line is labeled 'Cavidade' (Cavity). Radiating lines from the top of the cavity are labeled 'Fraturas' (Fractures). A scale bar at the bottom right indicates 0 to 2 m.
2	Depressão com lagoa (intermitente ou perene) – possíveis furnas assoreadas	Lagoa do Coração e depressão no acesso ao São Jorge	 Diagram showing a cross-section of a depression filled with water, represented by a blue area. A scale bar at the bottom indicates 0, 20, and 40 m.
3	Depressão aluvial	Depressão próxima à Caverna do Zé	 Diagram showing a cross-section of a depression with a steep, eroded wall on the left side. A scale bar at the bottom right indicates 0, 2, and 4 m.
4	Depressão de dissolução	Depressões situadas próximas à Caverna das Andorinhas	 Diagram showing a cross-section of a depression. A scale bar at the top indicates 0, 10, and 20 m. At the bottom of the depression, there are lines representing fractures, labeled 'Fraturas'.

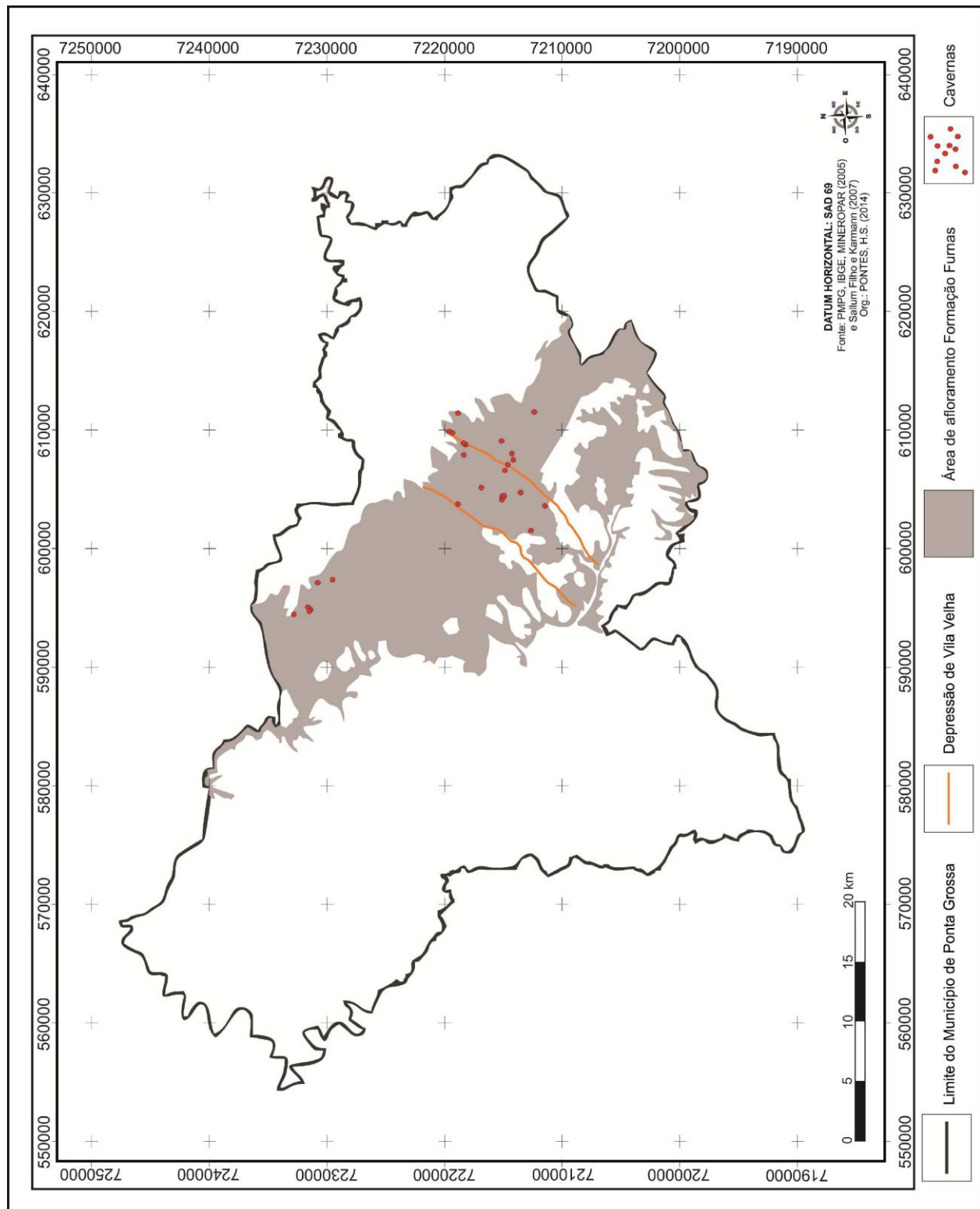
9. ESPACIALIZAÇÃO DAS FEIÇÕES CÁRSTICAS DA FORMAÇÃO FURNAS

Este estudo identificou um total de 227 feições cársticas no sistema cárstico da Formação Furnas, dentre elas 41 cavidades subterrâneas (sendo 14 furnas) e 186 depressões no terreno.

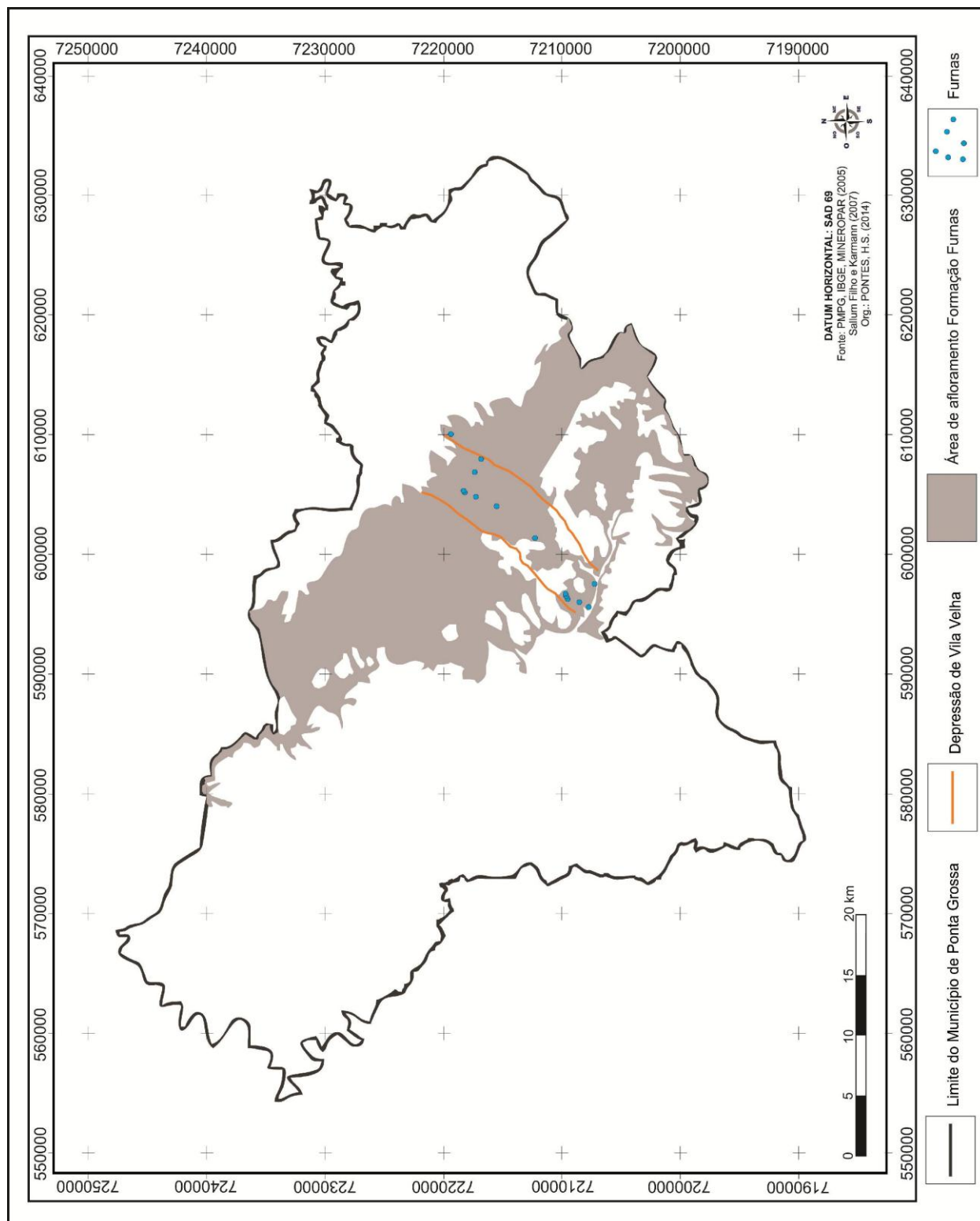
Conforme já discutido, há uma hipótese de que ocorra uma influência das rochas carbonáticas do Grupo Itaiacoca (metadolomitos e metacalcários), presentes no embasamento, no processo de formação das furnas e depressões no terreno do município de Ponta Grossa. Conforme apresentam Maack (1956) e Sallun Filho e Karmann (2007), na área onde as rochas metacarbonáticas do Grupo Itaiacoca estão presentes abaixo da Formação Furnas, há um grande rebaixamento do terreno, com cerca de 4 km de largura por 15 km de extensão e desnível de até 350 metros, denominado por Sallun Filho e Karmann (2007) de Depressão de Vila Velha.

Não há comprovação desta hipótese, o que se sabe é que há uma área deprimida no relevo da Formação Furnas desenvolvida sobre estas rochas carbonáticas, mas não é possível afirmar a exclusividade da influência sobre a gênese das furnas, depressões no terreno e cavernas. Dentre as 27 cavernas identificadas, treze estão situadas fora da área da Depressão de Vila Velha (mapa 9). Das 14 furnas existentes na área cárstica não carbonática do município de Ponta Grossa, apenas uma situa-se fora da referida depressão (mas próximo aos limites), o Poço de Santa Madalena, um novo registro de dolina na região dos Campos Gerais (mapa 10). Já as depressões no terreno, apenas 29 estão situadas no interior da Depressão de Vila Velha (sendo que há outras seis situadas no interior da depressão, mas estão sobre as rochas do Grupo Itararé) (mapa 11).

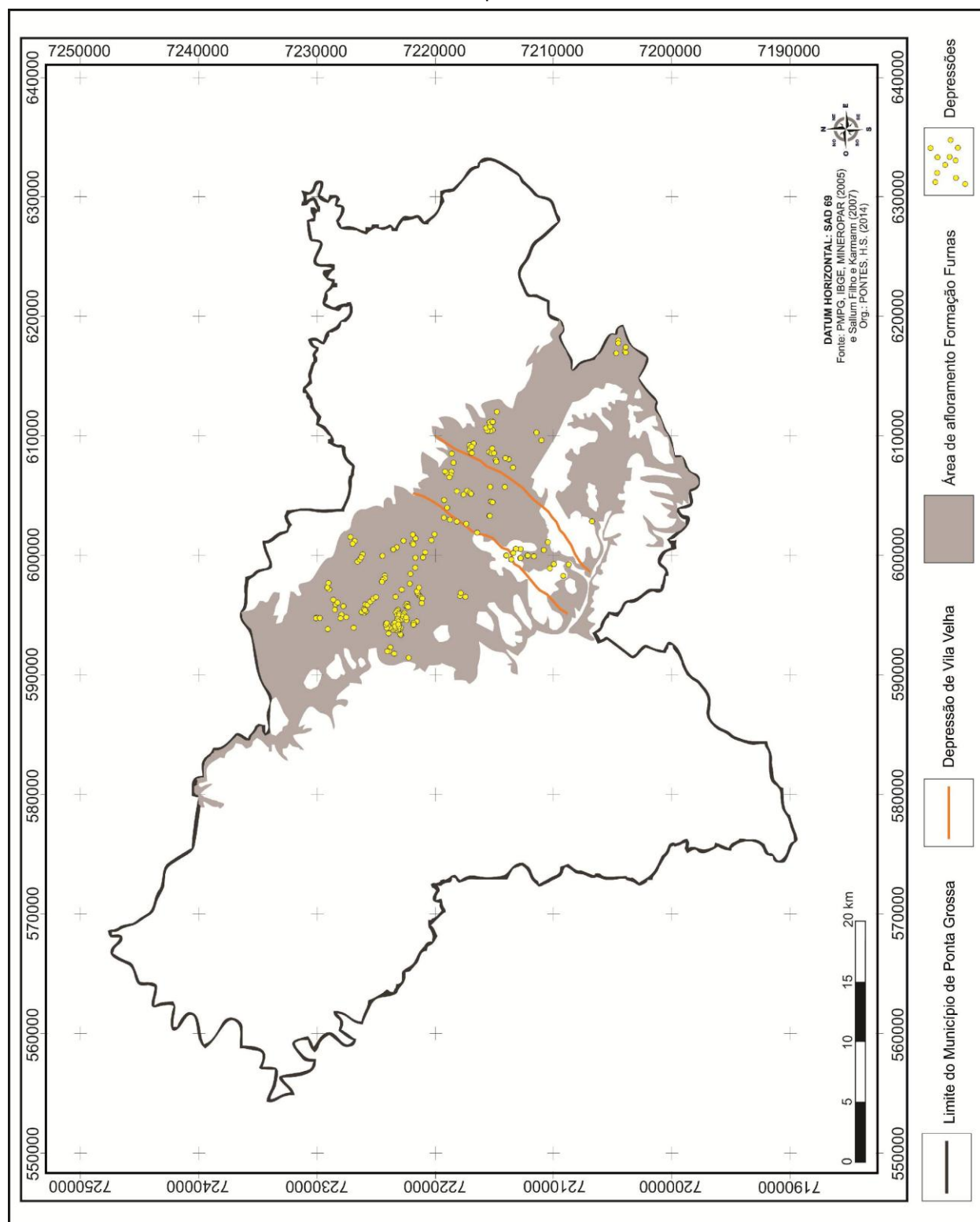
Mapa 9: mapa da distribuição espacial das cavernas nas rochas da Formação Furnas no município de Ponta Grossa.



Mapa 10: mapa da distribuição espacial das furnas nas rochas da Formação Furnas no município de Ponta Grossa.



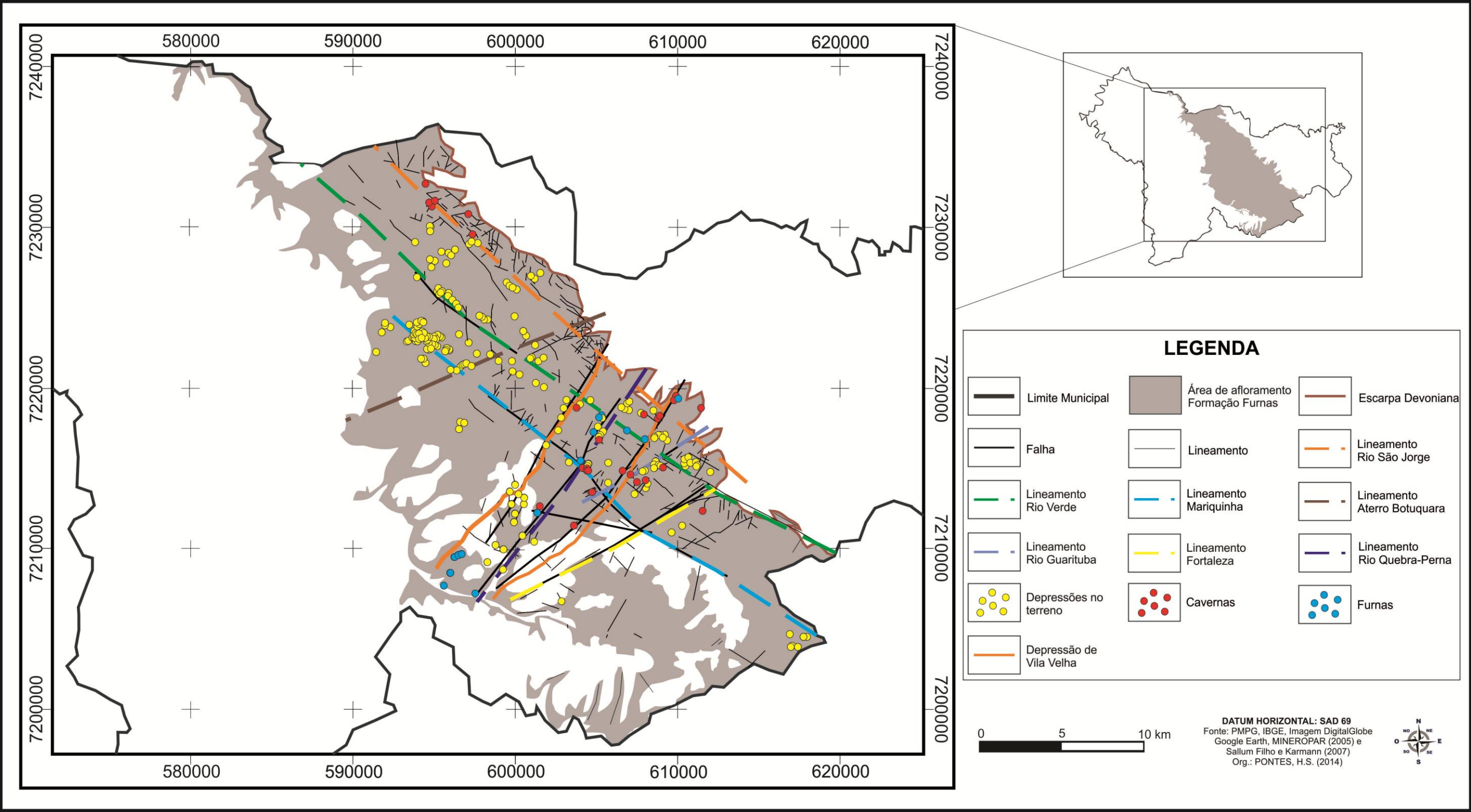
Mapa 11: mapa da distribuição espacial das depressões no terreno nas rochas da Formação Furnas no município de Ponta Grossa.



Conforme já afirmado, o município de Ponta Grossa apresenta diversos lineamentos estruturais resultado de antigos processos tectônicos que afetaram a Bacia Sedimentar do Paraná, sendo que na região destacam-se falhas nas direções NE-SW e NW-SE. A partir da sobreposição dos dados da espacialização das feições cársticas da Formação Furnas com o mapa das estruturas tectônicas observa-se que um fator condicionante da distribuição e ocorrência das feições superficiais e subterrâneas do sistema cárstico em questão é este arcabouço tectônico e não única e exclusivamente a Depressão de Vila Velha (mapa 12). Até mesmo a própria depressão é controlada pela Falha Itapirapuã, ou seja, assim como no carste clássico (desenvolvido em rochas carbonáticas), o carste aqui estudado possui intrínseca relação com a presença de falhas, fendas e fraturas.

A tectônica rígida, conforme apresentado por Maack (1956), Soares (1988), Soares (1989), Melo, Lopes e Bosca (2005), Melo e Giannini (2007), Pontes (2010) e Pontes et al. (2012), tem papel fundamental na gênese e na distribuição espacial dos três tipos de feições cársticas do relevo da Formação Furnas. Através destas descontinuidades rochosas a ação das águas (superficiais e subterrâneas) é capaz de formar dutos, cavidades e alargar fraturas, formando vazios e possibilitando a existência deste relevo cárstico.

Mapa 12: estruturas tectônicas presentes na área de estudo e distribuição espacial das 227 feições identificadas no Sistema Cárstico da Formação Furnas (depressões no terreno, furnas e cavernas) no município de Ponta Grossa. Nota-se que a presença das feições está intrinsecamente relacionada à presença de lineamentos estruturais, mostrando que a maioria das feições ocorre fora da Depressão de Vila Velha.



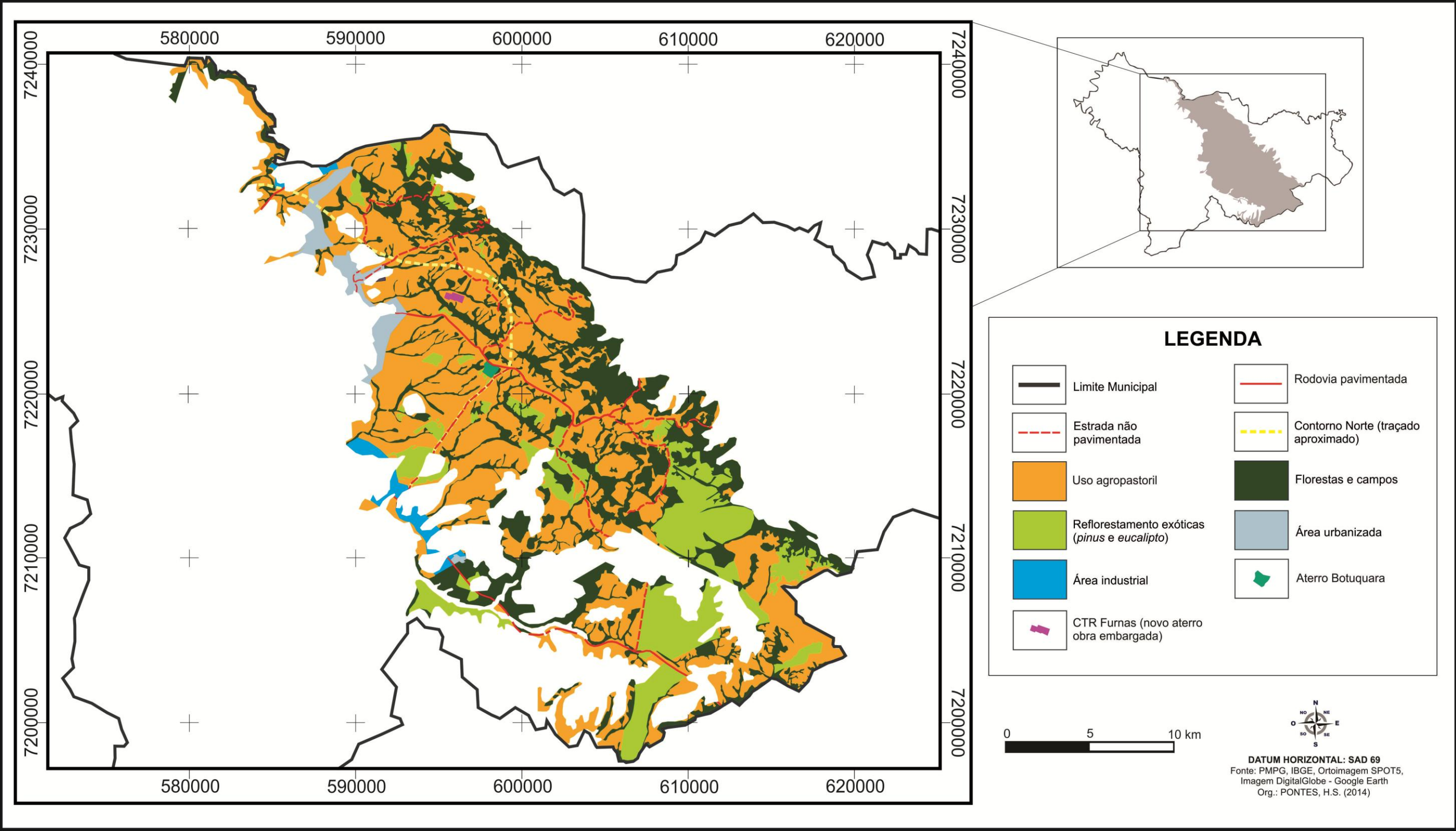
10. PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL CÁRSTICO (ZAC)

Ainda é um fato comum, seja no meio acadêmico, técnico ou político, considerar carste apenas os relevos desenvolvidos em rochas carbonáticas. Isto implica em potencializar os riscos de acidentes geoambientais e perdas econômicas e sociais em áreas onde há carste não-carbonático, pois o maior problema com relação aos desastres naturais é subestimar a possibilidade de sua ocorrência e ignorar ações de prevenção. Conforme mostram Vestena, Kobiyama e Santos (2002) as áreas de carste, por sua natureza física específica, sofrem com a ação antrópica, em virtude da ocupação urbana da terra, das atividades agrícolas, da captação de água subterrânea, da mineração, entre outros.

O caso do Sistema Cárstico da Formação Furnas não é diferente, a exemplo da existência de empreendimentos altamente impactantes situados sobre este relevo, como o Aterro Botuquara, porções das duas áreas do Distrito Industrial de Ponta Grossa e o Centro de Tratamento de Resíduos – CTR Furnas (obra embargada), além de áreas com uso urbano e o recente projeto do contorno norte, são exemplos de que está ocorrendo rápido crescimento urbano e industrial sobre o sistema cárstico em questão. O mapa 13 mostra o atual estado do uso do solo sobre o sistema cárstico em questão, evidenciando grande exploração agropastoril e de reflorestamento na área.

Visto isso, nota-se a falta de cuidados técnicos com relação às características naturais do local, demandando medidas urgentes de disciplinamento do uso do solo. O estudo da espacialização do carste arenítico da Formação Furnas resultou em um mapa de Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC), o qual poderá servir de subsídio para a gestão do Sistema Cárstico da Formação Furnas no município de Ponta Grossa (mapa 14). A área estudada foi dividida em seis Zonas, sendo que em cada uma apresenta diferentes restrições de uso do solo (tabela 6).

Mapa 13: uso do solo sobre o Sistema Cárstico da Formação Furnas, nota-se forte uso agropastoril e expansão urbana e de reflorestamento com exóticas sobre a área de estudo.



Mapa 14: Zoneamento Ambiental Cárstico do Sistema Cárstico da Formação Furnas.

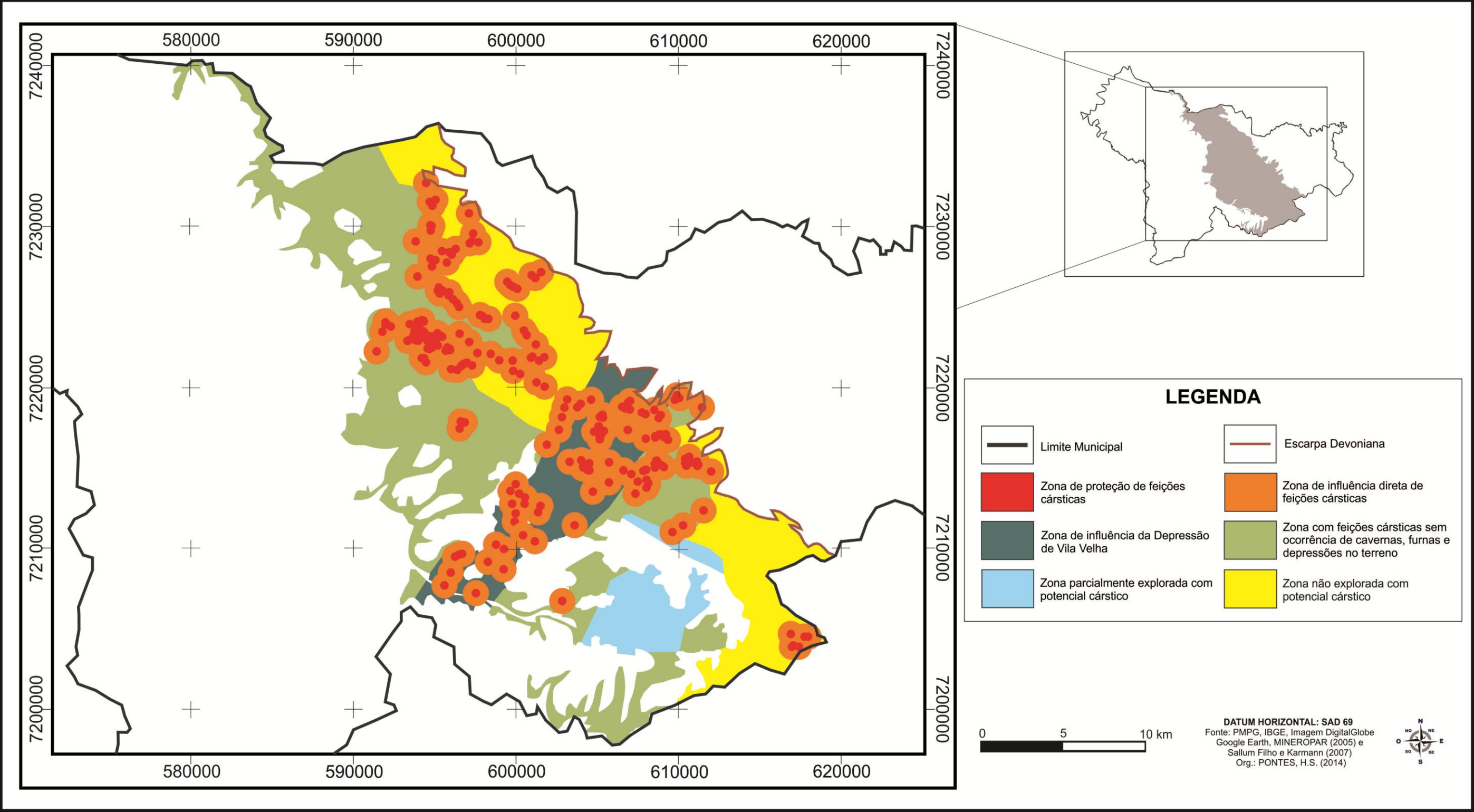


Tabela 6: descrição e restrições das diferentes zonas presentes no Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC) do Sistema Cárstico da Formação Furnas.

ZONA	DESCRIÇÃO	PROIBIÇÕES
Zona de Proteção de feições cársticas	Área formada a partir do raio de 250 metros de projeção horizontal da feição cárstica (segundo orientações da Portaria IBAMA 887 de 15 de julho de 1990 e Resolução CONAMA 347 de 10 de setembro de 2004).	- Uso industrial; - Expansão urbana; - Exploração mineral; - Reflorestamento; - Uso agropastoril deve ser controlado (respeitando as normas das UC's presentes nesta zona).
Zona de influência direta de feições cársticas	Área formada a partir do raio de 500 metros de projeção horizontal da feição cárstica, com alta possibilidade de ocorrência de outras feições cársticas	- Uso industrial; - Expansão urbana; - Exploração mineral e reflorestamento mediante estudos específicos e uso agropastoril deve ser controlado (respeitando as normas das UC's presentes nesta zona).
Zona de influência da Depressão de Vila Velha	Área formada pelos limites da Depressão de Vila Velha, conforme Sallun Filho e Karmann (2007).	- Uso industrial; - Expansão urbana; - Exploração mineral; - Reflorestamento e uso agropastoril devem ser controlados (respeitando as normas das UC's presentes nesta zona).
Zona com feições cársticas sem ocorrência de cavernas, furnas e depressões no terreno	Área explorada durante a elaboração do presente estudo possui feições cársticas superficiais (relevos ruiformes, lapiás, bacias de dissolução), mas não foram identificadas de depressão no terreno, furnas e cavernas.	- Uso industrial; - Expansão urbana e exploração mineral mediante estudos específicos e reflorestamento e uso agropastoril devem ser controlados (respeitando as normas das UC's presentes nesta zona).
Zona parcialmente explorada com potencial cárstico	Área visitada durante a construção da presente pesquisa, mas sem cadastramento de feições cárstica.	- Uso industrial; - Expansão urbana; - Exploração mineral; - Reflorestamento e uso agropastoril devem ser controlados (respeitando as normas das UC's presentes nesta zona).
Zona não explorada com potencial cárstico	Área não visitada durante a construção da presente pesquisa (devido à proibição por parte dos proprietários), mas classificada como de alto potencial cárstico devido à elevada densidade de <i>canyons</i> , fendas e lineamentos.	- Uso industrial; - Expansão urbana; - Exploração mineral; - Reflorestamento e uso agropastoril devem ser controlados (respeitando as normas das UC's presentes nesta zona).

Tendo como base o Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC) elaborado a partir do estudo da distribuição e padrão espacial das feições cársticas do Sistema Cárstico da Formação Furnas no município de Ponta Grossa, sugerem-se as seguintes indicações visando à gestão do território em questão:

- O relevo desenvolvido sobre as rochas da Formação Furnas é classificado como um Sistema Cárstico não carbonático, com feições, formas e processos semelhantes aos terrenos carbonáticos, possuindo fragilidades ambientais diversas (MAACK, 1956; SOARES, 1988 e 1989; MELO e GIANNINI, 2007; PONTES, 2010; MASSUQUETO, 2010; FLÜGEL FILHO, 2012; MELO et al., 2011).

- A classificação do relevo acima mencionado deve ser adotada durante a aplicação e criação de políticas públicas e na gestão do território municipal;

- As Unidades de Conservação existentes na área deste estudo, principalmente o Parque Nacional dos Campos Gerais, Parque Estadual de Vila Velha e Área de Proteção Ambiental – APA da Escarpa Devoniana devem aplicar medidas para a proteção das feições cársticas da área;

- O Parque Nacional dos Campos Gerais apresenta suma importância para a proteção do sistema cárstico. É urgente a necessidade de efetiva implantação do PARNA, com a elaboração de estudos ambientais visando o seu manejo. Com a efetiva instalação do parque será possível explorar novas áreas, onde atualmente é proibido o acesso por parte dos proprietários rurais, ampliando o conhecimento sobre o carste da região e aumentando ainda mais sua projeção e importância no cenário nacional;

- As áreas denominadas neste estudo de “depressões no terreno” devem ser consideradas como APP’s (Áreas de Preservação Permanente), pois podem indicar a presença de cavidades subterrâneas, com risco de ocorrência de rebaixamentos e/ou abatimentos no terreno, bem como são locais que apresentam nível freático oscilante, gerando assim, riscos geoambientais diversos. Os Projetos de Lei Municipal nº 260/2013 e nº 132/2013 (anexos 1 e

2), ainda em trâmite na Câmara Municipal de Ponta Grossa, incluem como Área de Preservação Permanente (APP) a área de influência de cavidades naturais subterrâneas e depressões no terreno, no âmbito do município de Ponta Grossa e acrescenta detalhes sobre as cavidades naturais subterrâneas, dispondo sobre a realização de estudos espeleológicos e cársticos para licenciamento ambiental;

- A expansão urbana do município de Ponta Grossa deve ser controlada na área do relevo cárstico, devendo ser seguidas medidas que previnam a ocorrência de acidentes geoambientais ou impactos ambientais negativos. Estudos específicos deverão ser realizados antes da ocupação do referido território, atentando aos problemas referentes à presença de depressões no terreno e oscilação do nível freático, alertando para o fato de esta área ser responsável pela recarga do Aquífero Furnas, evitando obras que impermeabilizem o terreno. Com a existência de cavidades subterrâneas no relevo da Formação Furnas é possível a ocorrência de recalques no terreno, gerando riscos geoambientais para ocupação neste locais (figura 57). Para isso, os empreendimentos deverão passar por processo de licenciamento ambiental e conter nos estudos os aspectos cársticos do local, visando assegurar a qualidade do empreendimento/loteamento, segurança aos usuários e empreendedores e conservação do ambiente em questão;

- Criação de um fundo que banque estudos de potencial espeleológico e cárstico de detalhe, contemplando especialmente investigações geofísicas e real integração de dados de sondagens com produção de poços tubulares, expansão urbana e industrial;

- Segundo Melo (2009) o Aquífero Furnas, considerado cárstico e fraturado, deve ser amplamente monitorado. O uso das águas subterrâneas (através de poços tubulares profundos), também deve ser controlado, principalmente a quantidade de água extraída. A extração de água subterrânea deve seguir os padrões, técnicas e legislação igualmente exigidos em áreas de rochas carbonáticas, visando à preservação do referido manancial;

Figura 57: recalque no terreno em propriedade particular próximo à Escarpa Devoniana. A pequena depressão no terreno atingiu cerca de dois metros de profundidade e foi fechada com entulho e solo, mas o rebaixamento continua, indicando que o material pode estar sendo transportado para uma cavidade subterrânea. Locais como este são instáveis e devem ser isolados.



- Para fins de licenciamento ambiental, é de extrema importância que todo e qualquer empreendimento a ser instalado na área de ocorrência do carste arenítico de Ponta Grossa tenha obrigatoriedade na realização de estudos cársticos e espeleológicos. Os mesmos devem, obrigatoriamente, ser executados por profissionais habilitados e com experiência nestas áreas, cumprindo com as exigências presentes no Decreto nº 6.640/2008, na Portaria IBAMA 887 de 15 de julho de 1990 e Resolução CONAMA 347 de 10 de setembro de 2004;

- A área cárstica não deve ser utilizada para fins industriais. Empreendimentos impactantes e poluidores (como qualquer tipo de aterro, indústrias químicas, entre outros) não podem, em hipótese alguma, ser instalados nesta área. Parte do atual Parque Industrial de Ponta Grossa situa-se sobre relevo cárstico regional, sendo necessários estudos aprofundados quando da instalação de novos empreendimentos, principalmente no que se refere ao controle da exploração das águas do Aquífero Furnas, pelo risco de

ocasionar recalques no terreno (formação de dolinas), conforme apresentam os trabalhos de Araújo (2006), Maia, Dias Neto e Corrêa-Gomes (2010) e Furrier e Vital (2011);

- A maior parte do relevo cárstico de Ponta Grossa é utilizada para fins agropecuários. É importante haver um controle no uso de agrotóxicos, pois as características cársticas, com rocha permeável, geram riscos acentuados em relação à poluição dos mananciais subterrâneos. As plantações (qualquer tipo de cultivo) devem respeitar as áreas úmidas, depressões no terreno e qualquer tipo de cavidades subterrâneas (dolinas, furnas, abrigos, lapas, cavernas, abismos, fendas, etc.), classificando estes locais como Áreas de Preservação Permanente (APP's), deixando áreas de amortecimento entre as plantações e as referidas feições, respeitando a metragem exigida para cada caso, após a realização de estudos específicos;

- Todo e qualquer tipo de exploração mineral, incluindo a exploração de águas subterrâneas e, mais especificamente na região, a exploração de areia (principalmente através de hidrodessolamento) deve seguir as normas presentes no Decreto nº 6.640/2008, o qual exige a realização de estudo cársticos e espeleológicos em áreas de mineração e estabelece metodologias para atribuir relevância às cavidades subterrâneas e a Portaria IBAMA 887 de 15 de julho de 1990 e Resolução CONAMA 347 de 10 de setembro de 2004, as quais relatam sobre a distância mínima das cavernas e as áreas de mineração, obrigando a delimitação de zoneamento espeleológico. É importante que todos os projetos de mineração na área do Sistema Cárstico da Formação Furnas façam estudos cársticos e espeleológicos para obtenção das licenças ambientais. Mesmo não havendo registro de cavidades subterrâneas no local do empreendimento deve ser obrigatória a realização de levantamentos cársticos com o objetivo de investigação e confirmação da existência ou não de tais feições. Uma vez que é desconhecido o número exato de cavidades no município é possível que durante a realização de estudos para licenciamento ambiental sejam identificadas novas cavidades entre outras feições;

- Com relação ao uso do solo para fins de reflorestamento com espécies exóticas, deve ser obrigatório aos proprietários o cumprimento da área mínima de proteção das cavidades subterrâneas, depressões no terreno e demais feições cársticas, visando conservar áreas de campos e matas nativas e, consequentemente, a proteção dos mananciais superficiais e subterrâneos, as cavernas e os elementos biológicos existentes.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O relevo da Formação Furnas é classificado como um sistema cárstico não carbonático, com feições, formas e processos semelhantes aos terrenos carbonáticos, possuindo fragilidades ambientais diversas. A carstogênese das feições cársticas no sistema em questão está relacionada com um conjunto de processos, dentre eles o de alteração da rocha em ambiente subterrâneo (fantomização, especificamente no arenito a arenização), formada a partir de descontinuidades litológicas (estruturas sedimentares e tectônicas); o processo de erosão subterrânea em ambiente epifreático (de oscilação do nível freático) e; processo de remoção mecânica ocasionada pela ação das águas pluviais e fluviais. Com esta concepção, o carste da Formação Furnas passa por vários momentos de evolução, com presença de processos de dissolução e remoção mecânica, principalmente do cimento caulinítico.

No total, o presente estudo identificou 227 feições cársticas, sendo 186 depressões no terreno e 41 cavidades naturais subterrâneas, dentre elas 14 furnas. A distribuição espacial destas feições no relevo da Formação Furnas no município de Ponta Grossa está relacionada com os lineamentos estruturais. Nota-se que as cavidades subterrâneas e as depressões no terreno situam-se sobre falhas e *canyons* e, em alguns pontos, estas falhas ficam encobertas e o lineamento deixa de ser visível na superfície do terreno. O que identifica a continuidade destas estruturas tectônicas são as depressões no terreno alinhadas no eixo destes lineamentos.

Com a sobreposição dos dados da espacialização das feições cársticas com o mapa das estruturas tectônicas, é possível afirmar que não há relação de exclusividade na ocorrência das feições cársticas da Formação Furnas com a Depressão de Vila Velha. Mesmo confirmando que das 14 furnas apenas uma não está no interior da depressão (mas bem próximo ao seu limite), comprova-se que as feições cársticas estão distribuídas em todo o relevo arenítico estudado, independente das rochas carbonáticas do embasamento, pois em outros pontos da área de estudo (fora da Depressão de Vila Velha) o embasamento é representado por rochas metamórficas de composições não carbonáticas e plutônicas.

Observa-se que há uma conexão entre as feições cársticas estudadas, pois estão alinhadas umas com as outras, acompanhando grandes lineamentos, mostrando assim uma configuração espacial peculiar, com intrínseca relação entre cada feição. A partir da análise da distribuição espacial notou-se uma concentração de depressões ao longo de duas faixas de direção NW-SE (Conjunto de Lineamentos Rio Verde e Mariquinha), indicando novamente o controle geológico. Estas depressões presentes nas faixas acima citadas estendem-se ao perímetro urbano, indicando áreas de fragilidade ambiental, as quais devem ser evitadas para o uso civil geral, devido aos riscos geoambientais, relacionados principalmente com a oscilação do nível freático e o possível rebaixamento do terreno nestes locais.

Em uma análise visual, os terrenos da Formação Furnas são ideais para a construção civil, pois apresentam porções aplainadas que não exigem correções no nivelamento, fator que atrai empreendimentos diversos. Mas a presença de depressões no terreno, indicando recalques, cavidades subterrâneas e o comportamento do nível freático (extremamente raso em determinados locais) são fatores limitantes. O mapeamento visando o Zoneamento Ambiental Cárstico (ZAC) identificou seis zonas específicas do relevo em questão e apontou quais são as restrições de cada área. O mapa de uso do solo mostrou que mais de cinquenta por cento do relevo cárstico em questão apresenta uso com finalidade agropastoril, como também há uma grande porção de reflorestamento com exóticas. A área urbana apresenta tendência de expansão sobre o sistema cárstico e parte da zona industrial está sobre as rochas da Formação Furnas.

É importante dizer que independente da discussão teórica envolvendo enquadrar ou não o relevo da Formação Furnas como um sistema cárstico, o que não pode ser esquecido são as fragilidades ambientais presentes nesta área. Ignorar este fato implica em potencializar os riscos de acidentes geoambientais envolvendo empreendimentos diversos. Perdas econômicas e sociais podem acontecer se não forem adotadas medidas de disciplinamento do uso do solo neste sistema cárstico, pois o maior problema com relação aos desastres naturais é subestimar a possibilidade de sua ocorrência e ignorar ações de prevenção.

O presente estudo observou uma tendência de novas descobertas, sendo que a exploração contínua de novas áreas para a identificação de novas feições no sistema cárstico da Formação Furnas é de primordial importância. Tal ação possibilitará realizar aferições com maior precisão sobre como é sua distribuição na região, seus processos e suas dinâmicas, havendo necessidade de constante atualização do banco de dados sobre as feições do sistema cárstico em questão.

12. REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N.. **Geomorfologia e Espeleologia**. In: Espeleo-Tema Boletim Informativo. Sociedade Brasileira de Espeleologia, São Paulo, 1979. p. 24-31.

ARAÚJO, M.L.M.. **A influência do aquífero carste em Almirante Tamandaré**. Revista Eletrônica Geografar, Curitiba, v.1, n.1, p. 20-37, jul./dez. 2006.

ASSINE, M. L. **Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, São Paulo, 1996.

ASSINE, M. L. **Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas, no flanco sudeste da bacia do Paraná**. Rev. Bras. Geociências, São Paulo, v. 29, p. 357-370, 1999.

BAGATIM, H.Q. **Utilização das águas subterrâneas em Ponta Grossa, PR**. 2010. 75p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

BERTALANFFY, L.V.. **Teoria Geral dos Sistemas**. 2º Ed. Petrópolis, Vozes, 1975. p. 17-36.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; MARQUES FILHO, P.L.. 1966. **Estruturas e texturas da Formação Furnas e sua significação paleogeográfica**. Boletim da Universidade Federal Paraná. Geologia, 18, 114p.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. Ação do intemperismo químico sobre as rochas. In. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2º ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007. Cap. 3, p. 110 -190.

BLOOM, A.L. **Intemperismo das rochas**. In. Superfície da Terra. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo – 1970. Cap. 2. p 30-55.

BRUXELLES, L.; QUINIF, Y.; WIÉNIN, M.. **How can ghost rocks help in karst development?** 15th International Congress of Speleology. 2009 ICS Proceedings, p. 814-819.

CALTABELOTTI, F.P.. **Alojamento e deformação de plútons graníticos da extremidade nordeste da suíte intrusiva Cunhaporanga (Domínio Apiaí – Faixa Ribeira, PR)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geoquímica de Geotectônica. São Paulo, 2011. 98p.

CHRISTOFOLETTI, A. **A morfologia cárstica**. In. Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blücher, 1º ed, 1974. Cap. 6. p. 120-124.

CORRÊA NETO, A.V.; BAPTISTA FILHO, J.. **Espeleogênese em quartzitos da Serra do Ibitipoca, Sudeste de Minas Gerais**. Anuário do Instituto de Geociências – Volume 20 – p. 75-87 – 1997.

DECRETO DE LEI FEDERAL Nº 6.640/2008, acessado em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6640.htm

DEMATTEIS, G.. **Manual de la Espeleologia**. Editorial Labor S.A., Barcelona, 1975.

DERRUAU, M.. **Morfologia de las calizas**. In. Geomorfología. Ediciones Ariel – Espana. 1966. Cap. 4 – IV. p. 259-275.

DUBOIS, C.; QUINIF, Y.; BAELE, J.-M.; BARRIQUAND, L.; BINI, A.; BRUXELLES, L.; DANDURAND, G.; HAVRONI, C.; KAUFMANN, O.; LANS, B.; MAIRE, R.; MARTIN, J.; RODET, J.; ROWBERRY, M.D.; TOGNINI, P.; VERGARI, A.. **The process of ghost-rock karstification and its role in the formation of cave systems**. Earth-Science Reviews 131. 2014, p. 116–148.

FLÜGEL FILHO, J.C.; GUIMARÃES, G.B.; PONTES, H.S.. **Geossítio Sumidouro Córrego das Fendas, Ponta Grossa – Paraná**. Anais do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ponta Grossa – PR, 19 a 26 de Julho de 2011. Sociedade Brasileira de Espeleologia.

FLÜGEL FILHO, J.C.. **Geossítio Sumidouro Córrego das Fendas, Ponta Grossa (PR): geodiversidade cárstica de um sistema subterrâneo e seus valores**. 2012. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst geomorphology and hydrology**. London: Unwin Hyman, 1989.

FURRIER, M.; VITAL, S.R.O.. **A Formação de Dolinas em Áreas Urbanas: o Caso do Bairro de Cruz das Armas em João Pessoa-PB**. Revista Brasileira de Geografia Física 4 (1). 2011. p. 161-173.

GALAN, C; LAGARDE, J.. **Morphologie et evolution des caverns et forms superficielles dans les quartzites du Roraima (Venezuela)**. Karstologia, n. 11-12, 1988, p. 49 – 60.

GUIMARÃES, G. B.; MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F.; MELEK, P. R. **Geologia dos Campos Gerais**. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. 1. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2007. cap. 2. p. 23- 32.

HASUI, Y. **A grande colisão Pré-Cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 2, p. 141-169, 2010

HIRUMA, S.T.; FERRARI, J.A.; AMARAL, R.; HONÓRIO, R.F.. **Mapeamento e caracterização de feições cársticas de superfície na Faixa Itaiacoca nas regiões de Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé, SP/PR**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 27-28 (1/2), 1-12, 2007.

HARDT, R.. **Carste em arenitos: considerações gerais**. XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia. Januária MG. Anais. Sociedade Brasileira de Espeleologia. 2003.

HARDT, R.. **Sistema Cárstico e Impactos Antrópicos: Considerações Sobre O Manejo**. 1º SIMPGEO/SP, Rio Claro, 2008. p. 1295-1309

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S.A.F.; WILLEMS, L.. **Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP)**. SBE – Campinas, SP. Espeleo-Tema. v. 20, n.1/2, p.7-23. 2009.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S.A.F. **O carste. Produto de uma evolução ou processo? Evolução de um conceito**. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, Set. 2010, p. 110-124.

HARDT, R.. **Da carstificação em arenitos. Aproximação com o suporte de geotecnologias**. Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 2011. 224 p.

JENNINGS, J. N. 1983. **Sandstone pseudokarst or karst?** In: Young, R. W.; Nanson, G. C. Aspects of Australian Sandstone Landscapes. Wollongong: Australian and New Zealand Geomorphology Group Special Publication no.1.

KARMANN, I. **Caracterização geral e aspectos genéticos da gruta arenítica “Refúgio do Maroaga”, AM-02.** Espeleo-Tema 15: 9-18. 1986.

KARMANN, I. 1994. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do alto vale do rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 228 p.

KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C. **Types of karst and evolution of hydrogeologic Settings.** In: KLIMCHOUK, B. A.; FORD, D. C.; PALMER, A. N.; DREYBRODT, W. (Ed.) Speleogenesis: Evolution of karst aquifers. Huntsville: National Speleological Society, 2000.

KÖENE, R.. **Estrutura do relevo da Região de Piraí da Serra, PR.** 2009, 77 p.. Monografia (Graduação em Geografia Bacharelado). Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

LANGE, F. W. e PETRI, S. (1967). **The devonian of Paraná Basin.** Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba, 21:22 – 5-55, fig. 1-5.

LLADÓ, N. L.. **Fundamentos de hidrogeologia cárstica.** Editora Blume. 1970. 271p.

LAVERTY, M.. **Preparing the ground – new mechanisms for karst and speleogenesis: ‘altération’, fantomisation and replacement.** *Transactions of the British Cave Research Association.* CAVE AND KARST SCIENCE, Vol.39, No.2, 2012. p. 72-76.

LOBATO, G.; BORGHI, L. **Análise estratigráfica da Formação Furnas (Devoniano Inferior) em afloramentos da borda leste da Bacia do Paraná.** In: Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 3, 2005, Salvador. Anais. Salvador: IBP, p.1-6.

MAACK, R. 1956. **Fenômenos carstiformes de natureza climática e estrutural de arenitos do Estado do Paraná.** Arquivos de Biologia e Tecnologia 11: 151–162.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Curitiba: BADEP/UFPR/IBPT, 1968. 350 p.

MAGALHÃES, E.D., LINHARES, J.C.. **Curso prático de topografia. Espeleo Grupo de Brasília (EGB).** Brasília – DF, 6 de Dezembro de 1997. 43 p.

MAIA, P.H.P.; DIAS NETO, B.; CORRÊA-GOMES, L.C.. **Análise geológica e estrutural das fissuras e subsidências no carste de Lapão.** Cadernos de Geociências, v. 7, n. 2, 2010. p. 112-121.

MAINGUET, M. 1972. **Le modelé des grès: Problèmes Généraux.** Paris : Institut Géographique National. 228 p

MARESCAUX, M. G. 1973. **Les Grottes du Gabon nord-oriental : un Karst dans l'oxyde de fer et la silice.** Bulletin de l'Association de Géographes Français. Paris: 410, JuilletOctobre. p. 606-618.

MASSUQUETO, L.L. **O sistema cárstico do Sumidouro do Rio Quebra-Perna (Ponta Grossa - PR): caracterização da geodiversidade e de seus valores.** 2010. 81p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

MASSUQUETO, L.L.; GUIMARÃES, G.B.; PONTES, H.S. **Geossítio do Sumidouro do Rio Quebra-Perna (Ponta Grossa, PR, Brasil): relevante exemplo de sistema cárstico nos arenitos da Formação Furnas.** Espeleo-Tema: Campinas, SBE, v.22, n.1, 2011.

MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F.; PESSENDA, L.C.R.. **Gênese e evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 21 (1/2), 17-31,2000. p. 17-31.

MELO, M.S.; MEDEIROS, C.V.; GIANNINI, P.C.F.; GARCIA, M.J.; PESSENDA, L.C.R.; **Sedimentação quaternária no espaço urbano de Ponta Grossa, PR.** São Paulo, UNESP, Geociências, v. 22, n. 1, p. 33-42, 2003.

MELO, M.S.; LOPES, M.C.; BOSKA, M.A. 2005. **Furna do Buraco do Padre, Formação Furnas, PR - Feições de erosão subterrânea em arenitos devonianos da Bacia do Paraná.** In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S. (Edit.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet em 08/10/2005 no endereço <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio110/sitio110.pdf>.

MELO, M.S.. 2006. **Formas rochosas do Parque Estadual de Vila Velha.** Ponta Grossa: Editora UEPG, 145p.

MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F. **Sandstone dissolution landforms in the Furnas Formation, Southern Brazil.** *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 32, p. 2149- 2164, 2007.

MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; RAMOS, A . F.; PRIETO, C. C. **Relevo e Hidrografia dos Campos Gerais.** In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. *Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná*. 1. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2007. cap. 4. p. 49- 58.

MELO, M.S.; MORO, R.S.; GUIMARÃES, G.B. 2007. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná.** Ponta Grossa: Editora UEPG, 230p.

MELO, M.S.. **Aquífero Furnas - urgência na proteção de mananciais subterrâneos em Ponta Grossa, PR.** In.: *Anais do Seminário Internacional "Experiências de Agenda 21: Os desafios do nosso tempo"*. Ponta Grossa – PR – Brasil. 27 a 29 de Novembro de 2009. (sem paginas)

MELO, M.S.. **Processos erosivos superficiais e subterrâneos em arenitos da Formação Furnas na região dos Campos Gerais do Paraná.** Relatório Resumido. CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2010, 20p.

MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; FIGURIM, I.; BAGATIM, H.Q.; GIANNINI, P.C.F.. **Carste em rochas não-carbonáticas: o exemplo dos arenitos da Formação Furnas, Campos Gerais do Paraná/Brasil e as implicações para a região.** *SBE – Campinas, SP | Espeleo-Tema*. v.22, n.1. 2011. p. 81-97.

MERRITT, D.; BAKER, C.. **Australian Glow-worms in Caves.** *NEWCAVES CHRONICLES* No. 16, January 2001. p. 42-44.

NASCIMENTO, D. **Estudo químico do solo e lixiviado do Aterro Controlado do Botuquara**. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Programa de Pós Graduação em Química Aplicada (UEPG), 2008. 140p.

OLIVEIRA, E. P.. **O terreno devoniano do sul do Brasil**. IN: Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto, vol. 14, 1912. p. 31-41.

PETRI, S.. **Contribuição ao Estudo do Devoniano Paranaense**. Departamento Nacional de Produção Mineral -DGM, 1948. 125p.

FIGURIM, I. **Análise da qualidade da água subterrânea do Aquífero Furnas no município de Ponta Grossa - PR**. 2010. 80p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia), Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

PITANGUI CONSULTORES ASSOCIADOS LTDA.. **Estudo espeleológico na área da nova sede do Mosteiro Abadia da Ressurreição, Itaiacoca – Ponta Grossa – PR**. Relatório técnico de serviço de consultoria ambiental. 2013, p. 31.

PONTES, H.S.; MELO, M.S.. **Processos erosivos superficiais e subterrâneos em arenitos da Formação Furnas na região dos Campos Gerais do Paraná**. Anais do XVIII EAIC – 30 de setembro à 2 de outubro de 2009, Londrina – PR.

PONTES, H.S.; ROCHA, H.L.; MASSUQUETO, L.L.; MELO, M.S.; GUIMARÃES, G.B.; LOPES, M.C.. **Mudanças recentes na circulação subterrânea do rio Quebra- Pedra (furna do Buraco do Padre, Ponta Grossa, Paraná)**. SBE – Campinas, SP. Espeleo-Tema. v. 21, n.1, p.7-16. 2010.

PONTES, H. S. **Caverna da Chaminé, Ponta Grossa, Paraná. Exemplo de Relevo Cárstico na Formação Furnas**. Monografia (Graduação em Bacharelado em Geografia) – Setor de Ciências Exatas e Naturais. UEPG, 2010.

PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; FLÜGEL FILHO, J.C.; GUIMARÃES, G.B.; KÖENE, R.; MELO, M.S.. **Drenagem subterrânea em arenitos da Formação Furnas, Campos Gerais do Paraná, Brasil**. ANAIS do 31º Congresso Brasileiro de Espeleologia Ponta Grossa-PR, 21-24 de julho de 2011 – Sociedade Brasileira de Espeleologia. p. 147-153.

PONTES, H.S.; MELO, M.S.. **Caverna da Chaminé, Ponta Grossa, PR, Brasil: potencial espeleológico, recursos hídricos subterrâneos e riscos geoambientais.** SBE – Campinas, SP | Espeleo-Tema. v.22, n.1. 2011. p. 111-126.

PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; KÖENE, R.. **Aspectos gerais da Furna do Bugio, Município de Ponta Grossa: novo registro de dolina em arenitos quartzosos nos Campos Gerais do Paraná.** Anais do 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro / RJ. 2012a. (sem páginas).

PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; FLÜGEL FILHO, J.C; BARBOSA, T.A.. **Mapeamento morfoestrutural e características gerais das Furnas Gêmeas, Município de Ponta Grossa, Campos Gerais do Paraná.** Anais do 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia. Rio de Janeiro / RJ. 2012. (sem páginas).

PONTES, H.S.; MASSUQUETO, L.L.; MOSS, D.F.; GUIMARÃES, G.B.; ROCHA, H.L.; MOREIRA, J.C.; FLÜGEL FILHO, J.C.; KÖENE, R.; FERREIRA, R.L.; BARBOSA, T.A.. **Plano do uso e conservação do Patrimônio Espeleológico e Cárstico desenvolvido em rochas areníticas no Município de Ponta Grossa (PR).** Relatório Final de projeto de pesquisa. Grupo Universitário de Pesquisas Espeleológicas/Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza. 2013. 105p.

REIS NETO, J. M. **Faixa Itaiacoca: registro de uma colisão entre dois blocos continentais no Neoproterozóico.** 1994. 235 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

RODET, J.. **Une nouvelle organisation géométrique du drainage karstique des craies: le labyrinthe d'altération, l'exemple de la grotte de la Mansionnière (Bellou-sur-Huisne, Orne, France).** C. R. Acad. Sci. III 322, 1996. 1039–1045.

SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I.. **Dolinas em arenitos da Bacia Sedimentar do Paraná: evidência de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR).** Revista Brasileira de Geociências, volume 37 (3), 2007. p. 551-564.

SANTANA, A. C.; MELO, M. S. **Sumidouro do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa, PR: um complexo de informações geográficas.** In: JORNADA

CIENTÍFICA DE GEOGRAFIA, 3, Ponta Grossa, 2001. Boletim de resumos... Ponta Grossa, UEPG, p. 70-72, 2001.

SIGA JR., O.; BASEI, M. A. S.; SATO, K.; PRAZERES FILHO, H. J.; CURY, L. F.; WEBER, W.; PASSARELLI, C. R.; HARARA, O. M.; REIS NETO, J. M. **U-Pb (zircon) ages of metavolcanic rocks from the Itaiacoca Group: tectonic implications.** Geologia-USP. Série Científica, v. 3, p. 39-49, 2003.

SOARES, O.. **Furnas dos Campos Gerais (Paraná): depressões pseudocársticas.** Anais do 1º Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe, Instituto de Educação de Minas Gerais - Belo Horizonte, 1988. p. 40-54.

SOARES, O. **Furnas dos Campos Gerais, Paraná.** Curitiba: Scientia et Labor, 1989. XVII, 82 p.

SOTCHAVA, V.B.. **Método em questão: o estudo de geossistema.** Universidade de São Paulo – Instituto de Geografia, São Paulo, 1977. 51p

SOUZA, A. **Mapa Geológico na escala 1:50.000 e esboço da evolução tectônica e sedimentar do Grupo Itaiacoca, nas folhas Barra do Chapéu e Ouro Verde - SP/PR.** 1990. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SOUZA, C.R.G.; SOUZA, A.P.. **O Escarpamento Estrutural Furnas, SP/PR. Raro sítio geomorfológico brasileiro.** In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds.), **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – SIGEP.** 2004, p. 299-306.

SPINARDI, R.D.; LOPES, M.C. **Levantamento espeleológico da cavernas das Andorinhas – PR 052.** In: Anais do IV Seminário de Pesquisa. Guarapuava. UNICENTRO, p. 39-40, 1990.

SZABÓ, G. A. J.; ANDRADE, F. R. D.; GUIMARÃES, G. B.; MOYA, F. A.; CARVALHO, F. M. S. **Genesis of talc deposits and the metamorphic history of the Itaiacoca Group metadolomites, southern Brazil.** In: INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED MINERALOGY, 8., 2004, Águas de Lindóia. **Proceedings...** Águas de Lindóia: IMA, 2004. v. 1, p. 759-761.

SZABÓ, G. A. J.; ANDRADE, F. R. D.; GUIMARÃES, G. B.; CARVALHO, F. M. S.; MOYA, F. A. **As jazidas de talco no contexto da história metamórfica**

dos metadolomitos do Grupo Itaiacoca, PR. *Geologia USP. Série Científica*, v. 5, n. 2, p. 13-31, 2006.

THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A.M.G.. **Geodiversidade: adequabilidades e limitações ao uso e ocupação.** In. SILVA, C.R.. *Geodiversidade do Brasil. Conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro.* Rio de Janeiro: CPRM, 2008, p. 205-264

TRZASKOS, B.; VESELY, F.F.; ROSTIROLLA, S.P.. **Eventos tectônicos recorrentes impressos no arcabouço estratigráfico do Grupo Itararé na região de Vila Velha, Estado do Paraná.** *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 58, p. 89-104, 2006. Editora UFPR.

URBANI, F.. **Algunos comentarios sobre terminologia karstica aplicada a rocas silíceas.** *Bol. Soc. Venezolana Espel.* (24) 1990. p. 5 – 6.

VESTENA, L; KOBIYAMA, M; SANTOS, L.J.C.. **Considerações sobre Gestão Ambiental em Áreas Cársticas.** *RA' EGA (UFPR)*, v. 4, n. 6, p. 81-94, 2002.

WHITE, W. R.; JEFFERSON, G. L.; HAMAN, J. F.. **Quartzite karst in southeastern Venezuela.** *Speleology II*. 1966, p. 309 – 314.

WILLEMS, L. (2000). **Phénomènes karstiques en roches silicatées non carbonatées. Cas des grès, des micaschistes, des gneiss et des granites em Afrique sahélienne et équatoriale.** Thèse de doctorat, 257 p., 145 figs., 137 photos, Université de Liège, Belgique., Juillet 2000.

WRAY, R.A.L. **Quartzite dissolution: karst or pseudokarst?** In. *Cave and Karst Science* 24 (2), 1997, 81-8

WRAY, R. A. L. 2009. **Phreatic drainage conduits within quartz sandstone: Evidence from the Jurassic Precipice Sandstone, Carnarvon Range, Queensland, Australia.** *Geomorphology* 110 p. 203–211..

YOUNG, R. W. **Quartz etching and sandstone karst: Examples from the East Kimberleys, northwestern Australia.** *Zeitschrift fur Geomorphologie* 32: 409-423. 1988.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. **Bacia do Paraná.** In:

GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. Origem e evolução de Bacias Sedimentares. 2. ed. Rio de Janeiro: Gávea, 1990. cap. Bacia do Paraná. p. 135- 168.

ANEXOS

Anexo 1 – Projeto de Lei Municipal nº 132/2013



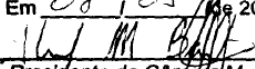
Câmara Municipal de Ponta Grossa
Estado do Paraná

DESPACHADO À LEITURA
Sessão de 08.05.13
PRESIDENTE

PROJETO DE LEI Nº
132/2013

AS COMISSÕES DE
CLIX-CFOT-COSPITM-A-CACTM

CMPS PROTOCOLO 08-MP/2013 13:21 800647205

Em 08.05.13 de 20 13

Presidente da Câmara Municipal

Acrescenta o inciso XIX no Art. 2º e inciso VIII no Art. 27º, altera o Art. 27º e acrescenta o Art. 56º e 109º da Lei nº 11.233, de 27/12/2012.

A CÂMARA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA, ESTADO DO PARANÁ, aprova:

Art. 1º - Acrescenta o inciso XIX no Art. 2º da Lei Municipal nº 11.233, de 27/12/2012, com a seguinte redação:

"Art. 2º - ...

XIX- Cavidades subterrâneas: todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo homem, independente do tipo de rocha formada, da extensão e do nível de presença de luz, incluindo seus elementos biológicos e abióticos, podendo ser chamadas de: cavernas, grutas, abrigos, furnas, dolinas, abismos, fendas, tocas, lapas, entre outras nomenclaturas.

..."

Art. 2º - Acrescenta o inciso VII no Art. 27º da Lei Municipal nº 11.233, de 27/12/2012, com a seguinte redação:

"VII - ...

VIII- PROJETOS DE ESTUDOS ESPELEOLÓGICOS E CÂRSTICOS

..."

Art. 3º - Altera a redação do Art. 27º da Lei Municipal nº 11.233, de 27/12/2012, passando a vigorar com a seguinte redação:



Câmara Municipal de Ponta Grossa

Estado do Paraná

"Art. 26 - ...

Art. 27. Os projetos de uso e ocupação do solo urbano, que implicarem em riscos potenciais ou efetivos à fauna, à cobertura vegetal, à atmosfera, aos recursos hídricos, **às cavidades subterrâneas** e ao controle de drenagem locais, sujeitar-se-ão a análise e licenciamento ambiental devendo ser exigido, ainda:

...

Art. 4º - Acrescenta o Art. 56º da Lei Municipal nº 11.233, de 27/12/2012, apresentando a seguinte redação:

"Art 55º - ...

Art. 56º - Todo e qualquer tipo de exploração mineral, incluindo a exploração de águas subterrâneas e, mais especificamente no município, a exploração de areia (envolvendo o uso de hidrodemonte) e rochas carbonáticas (calcários, metacalcários, dolomitos, metadolomitos, mármore) deve seguir as normas presentes no Decreto nº 6.640/2008, portaria IBAMA 887 de 15 de julho de 1990 e Resolução CONAMA 347 de 10 de setembro de 2004. Mesmo não havendo registro de cavidades subterrâneas no local do empreendimento deverá ser obrigatória a realização de levantamentos espeleológicos e cársticos com o objetivo de investigação e confirmação da existência ou não de tais feições.

...

Art. 5º - Acrescenta o Art. 109º da Lei Municipal nº 11.233, de 27/12/2012, apresentando a seguinte redação:

"Art 108º - ...

Art. 109º - Os corpos hídricos que apresentam drenagem subterrânea (com presença de rios que drenam no interior de cavidades subterrâneas) devem ser protegidos contra o processo de barramento, emissão de efluentes



Câmara Municipal de Ponta Grossa

Estado do Paraná

poluidores, canalização, lançamento de galerias pluviais e instalação de empreendimentos impactantes.

Art. 6º - Esta Lei entre em vigor na data de sua publicação.

07 de maio de 2013

Vereador ANTÔNIO AGUIEL FERREIRA BATISTA

Anexo 2 – Projeto de Lei Municipal nº 260/2013



Câmara Municipal de Ponta Grossa
Estado do Paraná

DESPACHADO À LEITURA
Sessão de 17/07/13
PRESIDENTE

PROJETO DE LEI Nº
260/2013

AS COMISSÕES DE

CLSR-CRUF-COPEITMU4-
C40, CTMA

Em 17/07 de 2013

ALJ M. R. R. -
Presidente da Câmara Municipal

Promove alterações na Lei 11.233, de 27/12/2012, que dispõe sobre a Política Municipal de Meio Ambiente.

A CÂMARA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA, ESTADO DO PARANÁ, aprova:

Art. 1º - A Lei nº 11.233, de 27 de dezembro de 2012, passa a vigorar com as seguintes alterações:

“Art. 2º - ...

...

VI - Áreas de Preservação Permanente (APP's): são áreas situadas em zonas rurais ou urbanas cobertas ou não por vegetação nativa (matas, florestas, campos e cerrados), com a função ambiental de preservar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. (NR)

...

CVII – Canyon: vale profundo com paredes abruptas em forma de penhascos, geralmente escavado por um rio, podendo ser chamados também de garganta, canhões e boqueirões; (AC)

CVIII – Depressões no terreno: são áreas rebaixadas na superfície do relevo que variam de uma dezena de metros a centenas de metros de diâmetro, podendo atingir mais de uma dezena de metros de desnível; (AC)

CIX – Escarpa Devoniana: é um degrau topográfico sustentado pelos arenitos da Formação Furnas, o qual marca o limite natural entre o Primeiro e o Segundo Planalto Paranaense, destacando que na região esta feição apresenta entre 100 e 200 metros de desnível; (AC)



Câmara Municipal de Ponta Grossa

Estado do Paraná

CX – Intermittente: refere-se a corpos hídricos que secam em determinado período do ano, sendo sua presença não constante; (AC)

CXI – Morro testemunho: são elevações no terreno situadas em frente à Escarpa Devoniana, geralmente de formato arredondado, que se destacam na topografia em função da ação erosiva circundante, que entalha e rebaixa o relevo nos vales, deixando sobressaliente uma porção do relevo; (AC)

CXII – Perene: relacionado com corpos hídricos que não secam em nenhum período do ano, sendo sua presença constante; (AC)

CXIII – Solo hidromórfico: é o solo que em condições naturais se encontra saturado por água, permanentemente ou em determinado período do ano, independente de sua drenagem atual e que, em virtude do processo de sua formação, apresenta, comumente, dentro de 50 (cinquenta) centímetros a partir da superfície, cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas e/ou cores pretas resultantes do acúmulo de matéria orgânica. (AC)

...

Art. 84 - ...

§ 1º - Todos os projetos de uso e ocupação do solo urbano, que implicarem em riscos potenciais ou efetivos às APP's, sujeitar-se-ão a análise e licenciamento ambiental, devendo ser apresentado Estudo de Impactos Ambiental (EIA) e Relatório de Impactos no Meio Ambiente (RIMA), Plano de Controle Ambiental (PCA), entre outros estudos ambientais, exigidos conforme a especificidade de cada caso. (NR)

§ 2º - Fica sobre a responsabilidade da Secretaria Municipal de Meio Ambiente a avaliação de projetos, estudos e relatórios e liberação de licenças ambientais municipais quando necessário, bem como realizar o acompanhamento, fiscalização e notificação de empreendimentos, obras, atividades e ações que ofereçam risco de impactos às Áreas de Preservação Permanente. (NR)



Câmara Municipal de Ponta Grossa

Estado do Paraná

Art. 84-A – São consideradas como Áreas de Preservação Permanente no Município de Ponta Grossa (áreas urbanas e rurais), conforme as características físicas e biológicas regionais e de acordo com as áreas apresentadas pelo Art. 4º da Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, os seguintes casos: (AC)

I – as faixas marginais de qualquer curso d'água natural, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

II – áreas no entorno das nascentes (perenes e intermitentes), no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

III – as depressões no terreno, tendo como limite da área de preservação os divisores de água da referida feição geomorfológica;

IV – as lagoas naturais (perenes e intermitentes), com faixa marginal de 50 (cinquenta) metros;

V – os campos úmidos, com presença de solo hidromórfico, com faixa marginal de 50 (cinquenta) metros;

VI – a área de influência de cavidades subterrâneas, em um raio de 250 metros de projeção em superfície a partir do desenvolvimento linear da cavidade, conforme especifica a Portaria IBAMA 887 de 15 de julho de 1990 e Resolução CONAMA 347 de 10 de setembro de 2004;

VII - as encostas ou partes destas que apresentem declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

VIII – o reverso imediato da Escarpa Devoniana e as bordas dos canyons e escarpas rochosas até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;



Câmara Municipal de Ponta Grossa

Estado do Paraná

IX – topo de morros testemunhos situados em frente à Escarpa Devoniana, desde que apresente vertentes escarpadas ou com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive.

Art. 85 - A Secretaria de Meio Ambiente do Município de Ponta Grossa implementará o cadastro das áreas de preservação permanente e reserva florestal legal e disponibilizará as informações na rede mundial de computadores. (NR)

...

Art. 93. Consideram-se de preservação permanente, no âmbito municipal, todas as áreas especificadas no art. 84-A desta lei. (NR)

Art. 94 - Ficam expressamente proibidas as seguintes ações em Áreas de Preservação Permanente no Município de Ponta Grossa: (NR)

I - supressão da vegetação; (NR)

II - ...

III - exploração mineral, incluindo a exploração de águas subterrâneas e, mais especificamente na região, a exploração de areia (principalmente através de hidrodessmonte); (NR)

IV - uso de agrotóxicos e biocidas diversos; (NR)

V - ...

VI – construção de drenos; (AC)

VII – ocupação urbana e industrial; (AC)

VIII – instalação de empreendimentos impactantes e poluidores (como qualquer tipo de aterro, indústrias químicas, etc.); (AC)

IX – reflorestamento com espécies exóticas; (AC)

X – desvio ou barragem de curso hídrico. (AC)



Câmara Municipal de Ponta Grossa

Estado do Paraná

§ 1º - Em caso de obras de saneamento ou outras de interesse social de relevante importância em áreas de preservação permanente, deverão os projetos ser analisados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, sendo que o impacto não poderá por em risco espécies raras da flora e fauna e feições geomorfológicas e geológicas consideradas únicas (comprovados através de estudos específicos). (NR)

§ 2º - A licença ambiental municipal não isenta o requerente de obter as licenças exigidas por órgãos ambientais estaduais e federais. (NR)

Art. 95 - ..."

Art. 2º - Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

JUSTIFICATIVA

A Seção Única da Política Municipal de Meio Ambiente de Ponta Grossa, Lei nº 11.233/2012, que trata sobre as áreas de preservação permanente e reservas florestais legais, apresenta diversas lacunas sobre a classificação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) no âmbito do Município de Ponta Grossa. Não há detalhamento sobre as APP's na política ambiental do município, ressaltando que há diversas áreas naturais, como os campos úmidos, depressões no terreno e cavidades naturais subterrâneas, as quais devem ser consideradas como áreas de preservação permanente, mas que no entanto, não recebem as devidas atenções.

A Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que trata sobre o Código Florestal Brasileiro, apresenta em seu Art. 4º sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP's), identificando o que são e suas respectivas áreas de preservação (representada em metros). A recente atualização do referido código deixou diversas áreas naturais desprotegidas, principalmente as nascentes e cursos hídricos intermitentes.