

# CONSIDERAÇÕES SOBRE O CARSTE DA REGIÃO DE CORDISBURGO, MINAS GERAIS, BRASIL



Luiz Eduardo Panisset Travassos

  
tradição  
planalto



CONSIDERAÇÕES SOBRE O CARSTE  
DA REGIÃO DE CORDISBURGO,  
MINAS GERAIS, BRASIL



# CONSIDERAÇÕES SOBRE O CARSTE DA REGIÃO DE CORDISBURGO, MINAS GERAIS, BRASIL

Luiz Eduardo Panisset Travassos



Capa: Luiz Eduardo Panisset Travassos

Imagem da capa: Lapa Nova do Maquiné, Cordisburgo, MG

Projeto gráfico e editoração: Luiz Eduardo Panisset Travassos  
Bruno Durão Rodrigues  
Rose Lane Guimarães

Revisão do texto: Ana Luiza Libânio Dantas

Editor executivo: Ricardo S. Gonçalves

T779c Travassos, Luiz Eduardo Panisset

Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil / Luiz Eduardo Panisset Travassos. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010.

il. (mapas e fotos).

Publicado em formato eletrônico. Disponível em: <[www.tradicaoplanalto.com.br](http://www.tradicaoplanalto.com.br)>.

Originalmente apresentado como dissertação de mestrado, 2007 (Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais).

Premiado, em 2009, pela Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia (ANPEGE) como a melhor dissertação em Geografia entre 2007 e 2009.

ISBN 978-85-99361-17-7

1. Carste - Cordisburgo (MG). 2. Cartografia. 3. Mapeamento geológico. I. Título.

CDD: 551.4

CDU: 551.4

Informação bibliográfica deste livro, conforme a NBR 6023:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

Travassos, Luiz Eduardo Panisset. *Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil*. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010. 102 p. Disponível em: <[www.tradicaoplanalto.com.br](http://www.tradicaoplanalto.com.br)>. ISBN 978-85-99361-17-7.



Tradição Planalto Editora e Distribuidora Ltda.

[www.tradicaoplanalto.com.br](http://www.tradicaoplanalto.com.br)

[contato@tradicaoplanalto.com.br](mailto:contato@tradicaoplanalto.com.br)

Telefone: (31) 3226-2829

Dedico esse trabalho principalmente à minha família.  
Aos meus avós, ao meu pai, à minha mãe e ao meu irmão  
pelos belos exemplos deixados que espero ter sempre seguido.  
À minha companheira Isabela que soube me ajudar  
e compreender nos momentos de conflito e ao meu  
“filho por escolha”, Bruno, pelas horas de  
descanso em frente ao Playstation !



## **AGRADECIMENTOS**

O presente livro é o resultado da colaboração direta ou indireta de instituições e profissionais, as quais agradeço profundamente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais pela concessão de uma bolsa de estudos ao autor.

Ao Prof. Dr. Heinz Charles Kohler, por sua orientação e amizade, bem como pelos preciosos ensinamentos sobre o carste.

Aos Professores Dr. Andrej Kranjc, Dra. Metka Petrič e Dr. Franci Gabrovšek do Instituto de Pesquisas do Carste da Eslovênia o reconhecimento pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos jovens Doutores do Instituto de Pesquisa do Carste, Dr. Janez Mulec e Dra. Nataša Ravbar e ao pesquisador Mitja Prelovšek, meu reconhecimento pelo apoio quando de minhas visitas ao país.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Geografia-Tratamento da Informação Espacial pela formação, em especial ao Prof. Dr. Oswaldo Bueno Amorim Filho pelos constantes ensinamentos e aconselhamentos profissionais.

Ao Prof. Dr. José Flávio meu reconhecimento pela inestimável ajuda no ramo da cartografia e por seu entusiasmo acadêmico.

À minha amiga, Prof<sup>ª</sup> Ana Luiza Dantas, meu reconhecimento pela ajuda na correção e revisão de português.

À secretária Fátima, ao Francisco, ao Kennedy e ao Délio pelo pronto atendimento às nossas solicitações.

Aos amigos do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas e da Redespelo, à Sociedade Excursionista Espeleológica de Ouro Preto–SEE e ao Núcleo de Atividades Espeleológicas-NAE por fornecerem os mapas digitais das cavernas topografadas na região.

À Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA pelo fornecimento de dados relativos ao abastecimento de água do município de Cordisburgo, principalmente às minhas ex-alunas Alteci Maria Costa e Magda Luisa Santos Ferreira e ao Engenheiro Celso Gomes Ribeiro, responsável pelo abastecimento de Cordisburgo.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, especialmente à Célia Froes e Joselaine Filgueiras por disponibilizar os arquivos digitais, formato MapInf.

À Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG na pessoa da Bibliotecária Dilma pelo empréstimo das fotografias aéreas utilizadas no trabalho.

Ao IBAMA/CECAV, na pessoa da Sra. Ubaldina Maria da Costa Isaac pela concessão de licença para pesquisa nas cavernas da região de Cordisburgo.

Aos guias da MaquinéTur, ao Sr. Mário Lúcio e ao Sr. Gilson Bruno pelo apoio às pesquisas na região, bem como à população de Cordisburgo, aos fazendeiros e funcionários que me acolheram tão bem sempre que precisei de informações sobre a área.

Aos colegas do Laboratório de Estudos Ambientais, Jarbas, Rose e Igára pelas sugestões e constante apoio. Agradeço especialmente ao Geólogo, Mestre em Geografia, Jarbas Lima Dias Sampaio pelos valiosos e espontâneos ensinamentos relativos ao uso do ArcGIS e à Bolsista PBIC/CNPq Rose Lane Guimarães pela amizade e ajuda na confecção dos mapas do trabalho.

*Mestre não é quem sempre ensina, mas quem  
de repente, aprende*

*João Guimarães Rosa*

## APRESENTAÇÃO

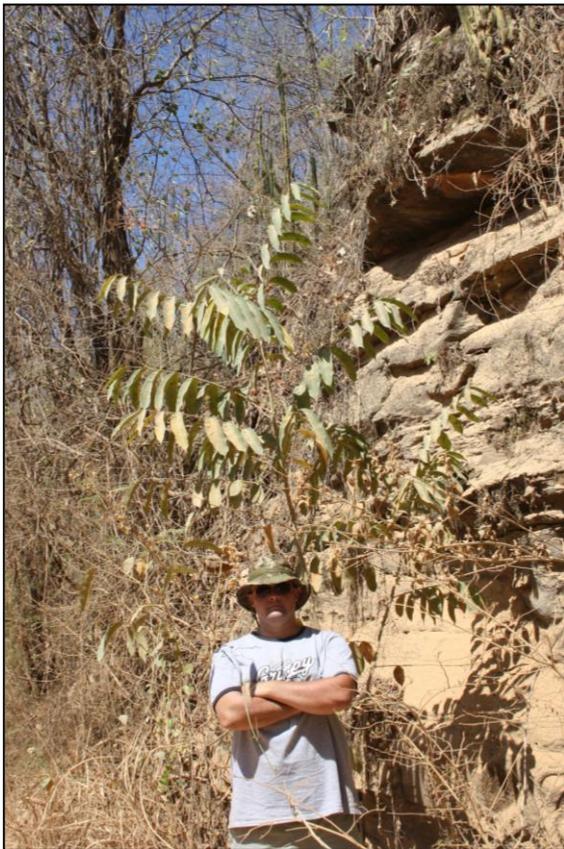
O presente trabalho tem como objetivo principal, a caracterização geográfica do carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, a partir da aplicação de conceitos consolidados do “carste clássico” adaptados à realidade do carste intertropical. Por meio da caracterização do carste da Bacia do Ribeirão da Onça, Sub-Bacia do Rio das Velhas, realizou-se um mapeamento exploratório das principais feições cársticas, via o cruzamento das informações levantadas em imagem LANDSAT 7, imagens do GoogleEarth, interpretação de mapas topográficos (1:100.000), fotografias aéreas (1:60.000) e controle de campo.

O produto final, apresentado na forma de um mapa de fenômenos cársticos da região de Cordisburgo, partiu da utilização da metodologia da Comissão de Fenômenos Cársticos do Comitê Nacional de Geografia (Paris, 1965) e adaptada por Kohler (1989). A escolha dessa metodologia cartográfica justifica-se pela existência de inúmeras cartas do carste dinário e intertropical, facilitando a análise comparativa. Tal carta sintetizou, pela primeira vez nessa região, a distribuição das feições cársticas, fornecendo informações para a compartimentação geoambiental da região de Cordisburgo, importante subsídio para uma gestão ambiental sustentável.

Por suas características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e geográficas, o carste dessa região é um expressivo exemplo do carste intertropical brasileiro, cuja evolução superficial e subterrânea deve ser compreendida como um fenômeno complexo. A Formação Lagoa do Jacaré foi pouco estudada quanto ao teor de  $\text{CaCO}_3$  frente às intercalações de filitos, veios de quartzo, etc. Sendo assim, é prematuro afirmar que o carste de Cordisburgo apresenta baixo índice de carstificação em todo o seu pacote carbonático, sendo possível a ocorrência de sítios com calcários puros, associados a outros com intercalações não carbonáticas. Contudo, estudos sobre a magnitude e o fluxo subterrâneo no endocarste ainda são pouco explorados.

Na região de estudos, tudo indica que o fluxo endocárstico é comandado pela Bacia do Ribeirão da Onça, tendo como seu nível de base o Rio das Velhas. Ao norte da região estudada, o fluxo endocárstico também parece estar associado à drenagem do Rio das Velhas, ainda que em cotas mais baixas, nas quais predominam as formas de um carste mais evoluído (planícies e lagoas).

## **SOBRE O AUTOR:**



O autor, graduado em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais no ano 2000, iniciou sua carreira acadêmica como professor e diretor brasileiro da Escola Americana de Belo Horizonte de 2001 a 2005. Durante esse tempo, continuou seus estudos em espeleologia que haviam se iniciado em 1996 ao ingressar no Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.

Em 2006, decidiu se dedicar aos estudos de pós-graduação *stricto sensu* ingressando no mestrado em Geografia da PUC Minas defendendo sua dissertação em 2007. Em 2010, finalizou seu doutorado em Geografia na mesma Instituição. Desde 2006 estabeleceu bons contatos com o Instituto de Pesquisas do Carste (*Inštitut za Raziskovanje Krasa*) da Eslovênia, região no mundo onde o estudo do carste em carbonatos teve início. Tal fato veio a contribuir, significativamente, para sua formação geral em Carstologia com o início do Doutorado em Carstologia da Universidade de Nova Gorica/Instituto de Pesquisas do Carste.

Atualmente, o autor é professor Adjunto III do Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC Minas e coordena a Seção de História da Espeleologia da Sociedade Brasileira de Espeleologia.

Também é membro da Comissão de Carste da União Internacional de Geografia e seus interesses científicos englobam os aspectos físicos e humanistas da paisagem cárstica.



# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	18
Objeto de Estudo .....	18
O Início dos Estudos em Áreas Cársticas no Brasil .....	21
Objetivos e Justificativa do Trabalho .....	24
Importância e Localização da Área de Estudo .....	25
Materiais, Métodos e Técnicas .....	30
Capítulo 1	
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	34
O enfoque Geossistêmico .....	36
Geomorfologia Cárstica .....	38
Hidrologia Cárstica .....	45
Capítulo 2	
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	52
Geologia .....	52
Geomorfologia .....	55
Clima .....	59
Hidrografia .....	62
Vegetação .....	64
Uso e Ocupação da terra .....	66
Capítulo 3	
CARACTERIZAÇÃO DO CARSTE DA REGIÃO DE CORDISBURGO	72
O Exocarste .....	73
O Endocarste .....	79
O Mapa Exploratório de Fenômenos Cársticos .....	82
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
REFERÊNCIAS .....	93
ANEXO .....	102





# Introdução





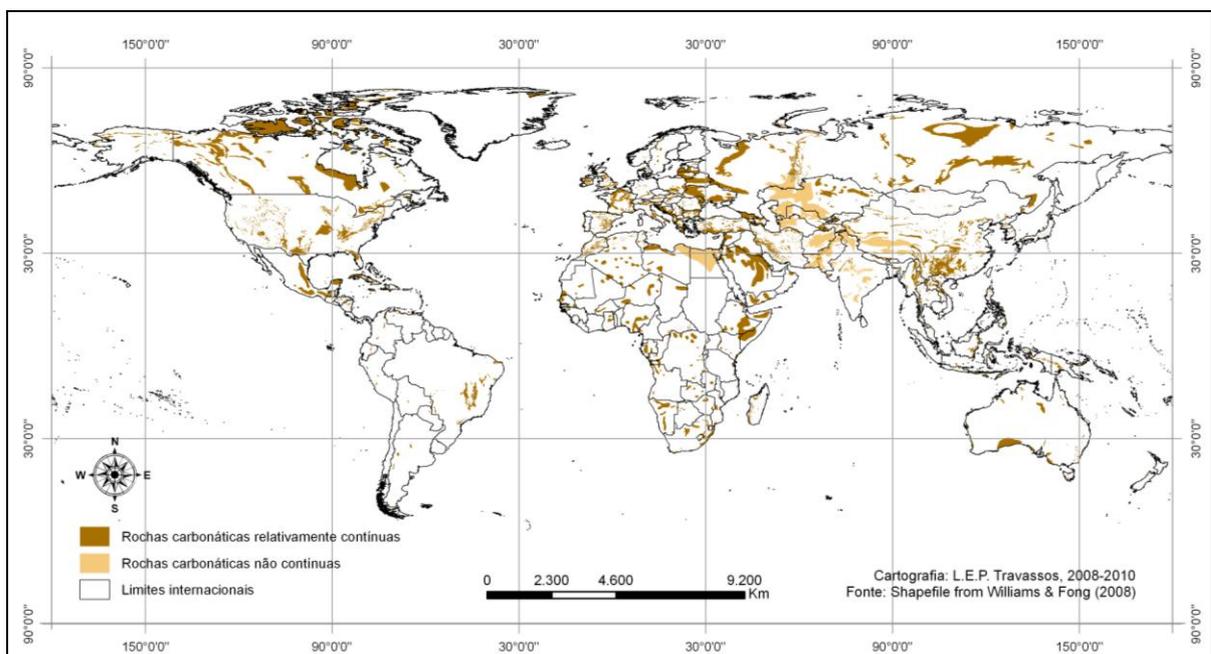
## INTRODUÇÃO

*“De início, o amor da Geografia me veio pelos caminhos da poesia – da imensa emoção poética que sobe da nossa terra e das suas belezas: dos campos, das matas, dos rios, das montanhas; dos capões e chapadões, alturas e planuras, ipuêiras e capoeiras, caatingas e restingas, montes e horizontes; do grande corpo, eterno, do Brasil. Tinha que procurar a Geografia, pois”*

*João Guimarães Rosa*

### **Objeto de Estudo**

As áreas cársticas (Figura 1) compreendem cerca de 10 a 15% da superfície terrestre, principalmente, as desenvolvidas em rochas carbonáticas como, por exemplo, o calcário e o dolomito (Ford & Williams, 2007). Tais regiões vêm sendo utilizadas desde os primórdios da humanidade como fontes de alimentos e abrigo. Foram locais para o estabelecimento dos primeiros assentamentos humanos devido à disponibilidade tanto de água potável como de alimentos. Por todo o mundo é possível constatar que populações inteiras são abastecidas por mananciais cársticos e, em várias culturas, as cavernas ainda são utilizadas como locais para a prática de cultos religiosos.



*Figura 1 – Distribuição da cobertura de rochas carbonáticas na superfície terrestre. A precisão na representação depende da escala e do mapeamento. Generalizações ocorreram em áreas onde a cobertura carbonática era demasiadamente pequena ou encoberta (Ford & Williams, 2007, p.2).*

O estudo deste tipo de relevo iniciou-se com as observações dos antigos filósofos gregos e romanos, formalizadas cientificamente na região do Planalto de *Kras*, na Eslovênia. Através das pesquisas sistemáticas que levaram a uma melhor compreensão dos processos que originavam esse tipo de paisagem, Jovan Cvijić (1893) internacionalizou esse sistema ambiental através de sua obra *Das Karstphenömen*.

Em função da rocha, mais do que qualquer outra variável, o *carste* é fortemente condicionado por processos hidrogeoquímicos através da água rica em CO<sub>2</sub> e naturalmente acidulada. Assim, a corrosão das rochas superficiais e subterrâneas favorece os processos morfogenéticos responsáveis pela dinâmica e evolução do relevo. Dessa forma, sua gênese deve ser compreendida como a complexa consequência do fato de que o carbonato tende a ser dissolvido por águas naturais, transformando a paisagem em um cenário fascinante tanto na superfície quanto em profundidade (Sweeting, 1973; Kohler, 1989; Gabrovšek, 2002; Ford & Williams, 2007).

As feições características do relevo cárstico são originadas por fenômenos que precisam ser entendidos como resultado de processos dinâmicos que vão desde o surgimento de rochas carstificáveis, até sua fase final de desenvolvimento (Gabrovšek, 2002), sendo necessária a compreensão dos estágios e processos de sua evolução sob a ótica multidisciplinar da carstologia e da espeleologia, em harmonia com os diversos ramos das chamadas Ciências da Terra.

Para Hardt (2004), “*os fenômenos cársticos*” que definem a paisagem, apresentam feições similares em todo o mundo, desde que tais áreas possuam hidrologia tipicamente subterrânea e ativa sobre rochas solúveis e com porosidade secundária desenvolvida (Jennings, 1985; Ford & Williams, 2007). Para Kohler (1989), o teor de carbonato de cálcio da rocha, sua estrutura de acamamento e fraturamento, volume das águas e o clima, constituem-se nas principais variáveis que contribuem para a corrosão do relevo sobre as rochas carbonáticas.

Sendo assim, os processos hidrológicos e químicos existentes devem ser compreendidos sob a ótica da Teoria dos Sistemas. Ford e Williams (2007) consideram tais paisagens como grandes sistemas abertos compostos de dois subsistemas integrados (o hidrológico e o geoquímico) operando sobre rochas suscetíveis à corrosão. Dessa forma, esse tipo de paisagem, no caso de Cordisburgo, inserida em um sistema intertropical, distingue-se de outros sistemas geomorfológicos. Kohler (1989) ainda

afirma que não existe um relevo cuja gênese e evolução ocorra sem a interação dos processos endógenos e exógenos.

No caso das regiões cársticas tropicais, notáveis exemplos são desenvolvidos no sul da China, no sudeste asiático, no norte da Austrália, no Oriente Médio, na América Central, Caribe e América do Sul perfazendo cerca de 750.000 km<sup>2</sup>. Tais áreas apresentam rochas carbonáticas de idades que variam do Paleozoico ao Holoceno. Sua dissolução favorece o desenvolvimento de paisagens peculiares altamente influenciadas por mudanças tectônicas e climáticas (Day, 2002; Ford & Williams, 2007).

Além de sua complexidade natural, a paisagem cárstica apresenta recursos naturais abundantes (água e rocha), mas não inesgotáveis, que precisam ser preservados. No carste, a indústria de cimento torna-se principal fator de risco ao cenário ambiental. Tal necessidade de preservação se faz ainda mais importante pela presença dos aquíferos utilizados como mananciais para o abastecimento de inúmeras cidades.

Terrenos desenvolvidos em rochas carbonáticas tendem a apresentar uma diversidade de formas topográficas ocasionada, sobretudo, pelo intemperismo químico através de variações climáticas no tempo geológico. Por essa razão, feições topográficas como poljés, dolinas, humes, sumidouros, ressurgências, vales cegos e afloramentos rochosos (maciços) são condicionados por controles litológicos, estruturais, tectônicos e pelo grau de solubilidade da rocha. Portanto, o carste deve ser entendido como um sistema de formas positivas e negativas que se desenvolvem em perfeita harmonia.

Os relevos cársticos são por natureza grandes armazenadores de água, sobretudo no endocarste. Esta particularidade única confere ao carste a característica de principal fonte de água potável. De acordo com Kovačič (2003) e Ford e Williams (2007), em extensas áreas do globo, especialmente em regiões cársticas, os aquíferos são a única fonte de água potável.

Cerca de ¼ da população mundial e 50% das regiões alpinas são supridas por esse tipo de manancial. Para Forti (2002) é possível que, no ano 2025, cerca de 80% da população mundial utilize água do carste. Embora essa estimativa pareça exagerada, o estudo e conservação dessas áreas são de vital importância para a sobrevivência das comunidades associadas.

Alguns autores afirmam que as feições cársticas superficiais e subterrâneas que formam a paisagem cárstica foram, em sua quase totalidade, desenvolvidas durante o

Quaternário, embora a rocha carbonática já estivesse sendo trabalhada desde sua exposição em épocas anteriores. Entretanto, pode-se dizer que as rochas carbonáticas, no geral, datam do Pré-Cambriano, do Cretáceo ou até mesmo de épocas de formação recentes como nas regiões litorâneas. No endocarste, a afirmação deve ser feita em torno de sua constante evolução desde o Quaternário.

### ***O Início dos Estudos em Áreas Cársticas do Brasil***

O estudo das áreas cársticas no Brasil teve um desenvolvimento lento durante pelo menos os últimos 160 anos, desde os primeiros trabalhos de Peter W. Lund. Dessa forma, em comparação com a antiguidade dos estudos do carste no mundo, pode-se afirmar que são relativamente novos. A maioria dos trabalhos acadêmicos sobre as regiões cársticas nacionais foi produzida do final da década de 50 à década de 90. Maior destaque deve ser dado ao trabalho pioneiro de Kohler (1989) sobre a *“Geomorfologia Cárstica na Região de Lagoa Santa, MG”* por ter sido a primeira tese de Doutorado sobre o tema.

Após esse marco nos estudos da temática, surgem outros trabalhos acadêmicos de graduação, mestrado e doutorado relativos a esse sistema complexo, como *“consequência da participação e formação de grupos de exploração espeleológica dentro das universidades, como a Universidade de São Paulo e a Universidade Federal de Minas Gerais”* (Hardt, 2004, p.3).

Contudo, pode-se dizer que existem evidências de que as regiões cársticas brasileiras já eram utilizadas pelo homem pré-histórico. Tais indícios se fazem presentes pelas pinturas rupestres encontradas em abrigos sob rocha ou vestígios arqueológicos tais como cerâmicas e instrumentos de caça e pesca. Cavernas foram utilizadas como abrigos sob rocha, servindo inclusive, como painéis de pinturas rupestres. É interessante ressaltar que a conservação das pinturas nessas áreas é favorecida, principalmente, pela própria natureza da rocha (microporosidade e alcalinidade). Nas dolinas e lagoas, quando alagadas, o homem primitivo pescava.

Desde o início do Período Colonial a fins do século XVII as áreas cársticas foram utilizadas principalmente para exploração do salitre, elemento necessário para a fabricação de pólvora. Ainda que o salitre tenha sido utilizado na conservação de carnes, o uso mais comum foi o militar.

Destaca-se também nesse período o uso religioso. Nos fins do século XVII (1691), o peregrino Francisco de Mendonça Mar estabeleceu-se em uma gruta às margens do Rio São Francisco, dando origem ao Santuário de Bom Jesus da Lapa, registro mais antigo de uso religioso de cavernas no Brasil. Em outras regiões, já no século XVIII, ocorreriam aparições de imagens de Nossa Senhora, a exemplo da Lapa de Antônio Pereira e as Lapas de Vazante, em Minas Gerais.

No entanto, pode-se afirmar que o uso das cavernas no período colonial brasileiro não se restringiu somente à exploração de salitre, ao uso religioso ou a utilização como fontes de água, visto que tal época estendeu-se da descoberta do Brasil a chegada da corte de D. João. A partir desse momento, houve abertura dos portos e a consequente abertura do país aos naturalistas estrangeiros em 1810, iniciando uma fase de uso voltado para as descobertas científicas e estratégicas. Para Noce e Renger (2005), tal acontecimento teve profunda influência nas pesquisas da Colônia. No caso da capitania de Minas Gerais, pode-se dizer que foi uma das que mais se beneficiaram cientificamente com a visita desses viajantes estrangeiros, entre eles, Peter Wilhelm Lund.

Sobre o domínio português em terras brasileiras, Ferraz (2000) destaca que as orientações dos governantes portugueses a seus representantes coloniais, ressaltavam a importância do envio das descrições dos materiais que poderiam ser explorados para o lucro da Metrópole. Tal atitude é intensificada a partir da Reforma da Universidade de Coimbra, quando se introduziu formalmente o estudo das ciências naturais.

Até 1822, tinham permissão para tais explorações somente os portugueses e os nascidos na colônia. Dessa forma, nomes como Ricardo Franco Serra (1786), Alexandre Rodrigues Ferreira (1790), Martim Francisco de Andrada (1803) e José Vieira Couto (1803) merecem destaque. Esses precursores do estudo das cavernas reúnem entre seus feitos, a descrição de algumas cavernas como a Gruta do Inferno (por Serra em 1786) no Mato Grosso do Sul. Tal feito pode ser interpretado como o reflexo do interesse por conhecer e guardar as fronteiras da colônia (Auler, 2004). Pela primeira vez, buscava-se algo mais do que a simples submissão ao mundo desconhecido das cavernas.

Um dos mais importantes naturalistas brasileiros do século XVIII foi o baiano Alexandre Rodrigues Ferreira. Coube a ele o primeiro mapeamento conhecido de uma caverna no Brasil (Gruta da Onça, MS) e aos seus auxiliares, a tarefa de primeiramente representar através de gravuras a Gruta do Inferno (MS) em 1791. Entre os anos de

1803 e 1805, Martim Francisco de Andrada realizou as primeiras descrições de algumas cavernas de São Paulo e Paraná, com destaque provável à Gruta dos Jesuítas (PR) e à Gruta de Santo Antônio (atual Casa de Pedra) em Iporanga, São Paulo. Em 1803, José Vieira Couto estudou as jazidas de salitre da colônia produzindo um interessante estudo sobre o salitre onde várias cavernas são mencionadas (Auler, 2004; Auler & Zogbi, 2005).

O século XIX foi extremamente propício ao desenvolvimento das ciências em geral e, com o tempo, “teorias catastróficas” ou somente a explicação divina para a ocorrência dos fenômenos naturais perdiam espaço entre os naturalistas. Por consequência, a lista dos naturalistas que palmilharam nosso território reúne os nomes de Spix, Martius, Pohl, Rugendas, Riedel, Lagsdorff, Walsh, Burton, Fountain, Saint Hilarie e Castelnau, entre outros (Auler, 2004). O próprio Imperador Dom Pedro II é citado pelos autores por seu entusiasmo pela ciência.

Para Auler (2004), a importância que deve ser atribuída ao Padre Casal está na publicação da “*Chorographia Brasílica*” em 1817, que reunia diversas referências a cavernas em vários pontos do país, indicação de que muitas grutas já eram então conhecidas. Entretanto, acreditamos que tais estudos devem ser considerados como precursores da espeleologia e não da carstologia.

Entre os naturalistas que viajaram pelo Brasil e que se dedicaram a um estudo mais sistemático do interior das cavernas estão o dinamarquês Peter Wilhelm Lund (1801-1880) e o alemão Richard Krone (1861-1917). Para Dequech (2000), escolher entre Lund e Krone como fundador da Espeleologia nacional é tarefa delicada. Para tanto, não seria correto comparar os valores científicos dos trabalhos de cada um, critério que resultaria em Lund como o precursor, mas sim deve-se comparar a natureza e a diversidade científica de suas atividades nas cavernas. Dessa forma, destaque seria dado a Krone.

Vale a pena ressaltar que nessa etapa não ocorria o estudo sistemático do Carste, mas sim de parte integrante dessa paisagem: as cavernas.

A partir de 1840, o termo *karst* passa a figurar os estudos científicos com o objetivo de identificar genericamente um tipo específico de relevo. Para Kranjc (2001; 2006), na segunda metade do século XIX, surgem importantes trabalhos sobre o carste, favorecendo o debate e a organização dos conhecimentos até então adquiridos, aparecendo os primeiros modelos evolutivos do carste nesse período.

Discussões sobre a evolução do modelado terrestre ocorreram com mais frequência após a Segunda Guerra Mundial, o que favoreceu o aprimoramento de conceitos e modelos antigos. Surgiram a partir desse momento novos trabalhos sobre geomorfologia e hidrologia cárstica. Estudos específicos realizados nas cavernas valorizaram os aspectos climáticos da dinâmica cárstica propiciando reconstituições paleogeográficas. Na década de 80, intensa teorização sobre a geoquímica do relevo e a descrição dos processos morfológicos do carste foram marcas dos trabalhos de Bögli (1980) e Pfeffer (1981).

No Brasil, o caráter descritivo e regional do relevo cárstico cede espaço, a partir da década de 90, a temários mais específicos como estudos quantitativos no campo da geomorfologia, hidrologia e hidroquímica. O desenvolvimento da geomorfologia cárstica se deu a partir dos bons resultados de estudos realizados sobre aspectos espeleogenéticos das cavidades brasileiras .

Para Piló (2000) merecem destaque os trabalhos de Tricart (1956), Coutard, Kohler e Journaux (1978) e Kohler (1989) sobre o carste de Lagoa Santa; Baborsa (1961) em Pains (MG); Auler e Basílio (1988) sobre a geologia e a geomorfologia de Santana do Riacho (MG); Piló (1989) sobre a morfologia do Vale do Peruaçu (MG), entre outros. O autor ainda destaca o início da década como o começo de um período onde os temas passaram a ser mais específicos e dotados de forte conteúdo técnico e teórico; além do surgimento do enfoque da espeleogênese de cavernas brasileiras e estudos do Quaternário no Brasil.

### ***Objetivos e Justificativa do Trabalho***

O presente trabalho tem como objetivo geral a identificação do carste da região de Cordisburgo, através da caracterização do carste da Bacia do Ribeirão da Onça, Sub-Bacia do Rio das Velhas. Suas feições serão identificadas e descritas através do cruzamento das informações levantadas em uma imagem LANDSAT 7, imagens do GoogleEarth, interpretação de cartas topográficas (1:100.000), fotografias aéreas (1:60.000) e controle de campo.

O produto final será representado no mapa de fenômenos cársticos mais expressivos da região a partir da utilização da metodologia estabelecida pela Comissão de Fenômenos Cársticos do Comitê Nacional de Geografia (Paris,1965) e adaptada por

Kohler (1988). A escolha desta metodologia cartográfica justifica-se pela existência de inúmeras cartas do carste dinário e intertropical, facilitando a análise comparativa. Tal carta deverá sintetizar a distribuição das feições cársticas principais fornecendo informações para a compartimentação geoambiental da região, importante subsídio para uma gestão ambiental sustentável.

O objetivo geral foi subdividido nos seguintes tópicos:

- Análise das questões relativas ao desenvolvimento das feições cársticas do “carste clássico” e sua tradução para a realidade do carste tropical;
- Levantamento dos aspectos históricos e físicos do carste de Cordisburgo;
- Utilização da simbologia específica do carste para a elaboração da Carta Exploratória dos Fenômenos Cársticos da Região de Cordisburgo, Minas Gerais.

### ***Importância e Localização da Área de Estudo***

O Carste da região de Cordisburgo apresenta-se como um dos mais belos exemplares de carste tropical, palco de importantes descobertas científicas por parte de Peter Wilhelm Lund, na segunda metade do século XIX. São conhecidas e exploradas na região, cerca de dezesseis cavernas, com maior destaque à Gruta da Morena (4.620m), à Lapa Nova do Maquiné (1.312m), à Gruta do Salitre (1.098m) e à Gruta do Tobogã (1.000m).

Na década de 50, o município foi também cenário para as obras literárias de João Guimarães Rosa. Conforme Bezerra e Heidemann (2006) o município é retratado nas obras “Sagarana”, “Primeiras Estórias”, “Corpo de Baile” e “Grande Sertão Veredas”, cuja publicação completou 50 anos em 2006 e é considerada por muitos como a obra-prima do autor.

Peter Lund, considerado o “pai” da paleontologia brasileira é também tido como o precursor da espeleologia nacional, junto a Richard Krone, devido ao pioneirismo de seus estudos sobre a geomorfologia e a gênese das cavernas brasileiras. Em dois de seus trabalhos Lund (1837; 1844) apresenta hipóteses sobre a gênese das cavernas e

também faz referência aos sedimentos a elas associados. Dessa forma, pode-se considerar Lund como o primeiro carstólogo do Brasil.

Lund chegou ao Brasil em 1825 e dedicou-se aos estudos da fauna e flora tropicais nos arredores do Rio de Janeiro até os idos de 1829. Após três anos de pesquisa, retornou à Europa a fim de estreitar relações com importantes pesquisadores de seu tempo, entre eles, Alexander von Humboldt e o renomado paleontólogo, Cuvier (Dequech, 2000).

Regressou definitivamente ao Brasil em 1833 com a ambiciosa intenção de organizar uma expedição pelos Estados de São Paulo e Goiás. Vencido pelo cansaço e pelas doenças, permaneceu em Paracatu. Finalmente chegou a Santo Antônio de Curvelo onde encontrou casualmente seu compatriota, o paleontólogo Peter Claussen. Decidiu então mudar o foco de seus trabalhos centrando na paleontologia. De Curvelo dirigiu-se a Cordisburgo e, posteriormente, a Lagoa Santa onde consolidou seu pioneirismo na descrição da paisagem cárstica (Cartelle, 1994; 2005).

Em relação ao endocarste da região de Cordisburgo, Rubbioli e Auler (2002) apontam que os mapas foram feitos por Andréas Brandt a pedido de Lund. Constituíram-se assim, o registro pioneiro das cavernas da região, sendo representadas em planta e perfil com norte e escala gráfica. Foram eles os mapas da Lapa Nova do Maquiné, a Gruta da Onça, a Gruta de Santo Amaro e a Lapa da Lagoa da Pedra.

De acordo com Cartelle (1994;2005), em Cordisburgo Lund recomendou especial atenção do Governo local para a preservação e conservação da imponente Lapa Nova do Maquiné. Afirmou que dificilmente existiria algum lugar de tamanha beleza em todo o continente americano e que infelizmente já havia sofrido estragos significativos. Para Piló (2002) a paisagem cárstica era descrita por Lund a fim de introduzir o leitor para o estudo do material paleontológico associado aos sedimentos das cavernas.

Além dos trabalhos científicos pioneiros, Lund já se mostrava preocupado com a conservação dos solos e das florestas de Minas Gerais. Citado por Piló (2002), Lund afirma que a agricultura *“praticada pelos brasileiros fazia com que, a cada ano, as mais belas e férteis regiões do país fossem transformadas em desertos”*. Assim, fazia referência às práticas agropecuárias e extrativistas que causavam e ainda causam impactos indiretos e irreversíveis ao carste.

O município de Cordisburgo localiza-se a cerca de 110 km a noroeste da capital mineira. A região é servida pelas rodovias BR-040 e a MG-231, acesso à sede municipal,

próxima a áreas de crescente expansão urbana. A apenas 47 km da cidade média de Sete Lagoas está sob constante risco de exploração desordenada de seus recursos naturais. Estima-se que sua população seja de cerca de 8.574 habitantes (IBGE, 2000) distribuídos irregularmente em uma área de 823 km<sup>2</sup>.

A região de estudo localiza-se na porção central de Minas Gerais, que ocupa posição de destaque no cenário internacional pela ocorrência de extensas áreas de calcário, matéria-prima da indústria cimenteira. Estima-se que cerca de 5 a 7% da superfície do país (aproximadamente 420.000 a 595.000 km<sup>2</sup>) se desenvolva sobre rochas carbonáticas. Minas Gerais possui cerca de 3 a 5% do território (17.651 a 29.419 km<sup>2</sup>) constituído por esse tipo de rocha (Karmann, 1997; Piló, 1997; 1999). A figura 2 identifica as principais províncias espeleológicas do país e localiza o município de Cordisburgo.

Historicamente, o município foi desbravado pelos *Bandeirantes* quando da penetração pelos sertões de Sete Lagoas. Posteriormente, pequenos fazendeiros se apossaram das terras que hoje pertencem ao município, cabendo ao padre João de Santo Antônio a tarefa de fundar o povoado. Seu trabalho começa a partir de 1883 com a construção da capela dedicada a São José. Com o crescimento do arraial, em 1885 o padre João iniciou a construção da Igreja do Sagrado Coração de Jesus. Em 1890 o arraial Coração de Jesus de Vista Alegre passou a ser denominado distrito de Cordisburgo da Vista Alegre e em 1923, Cordisburgo – homenagem ao seu padroeiro Sagrado Coração de Jesus – o que reforçou o caráter religioso de sua fundação (IBGE, 2007).

Seus municípios limítrofes são Araçaí, Curvelo, Jequitibá, Santana de Pirapama e Paraopeba (Figura 3). Destaque deve ser dado aos municípios de Curvelo e Paraopeba que apresentam maior população do entorno ao norte e a oeste, respectivamente (Tabela 1). Entretanto, não deve ser esquecido o destaque preponderante de Sete Lagoas. Tal fato leva a crer que uma pressão populacional futura ao município será orientada por Sete Lagoas, sendo a urbanização, a maior causa dos problemas ambientais.

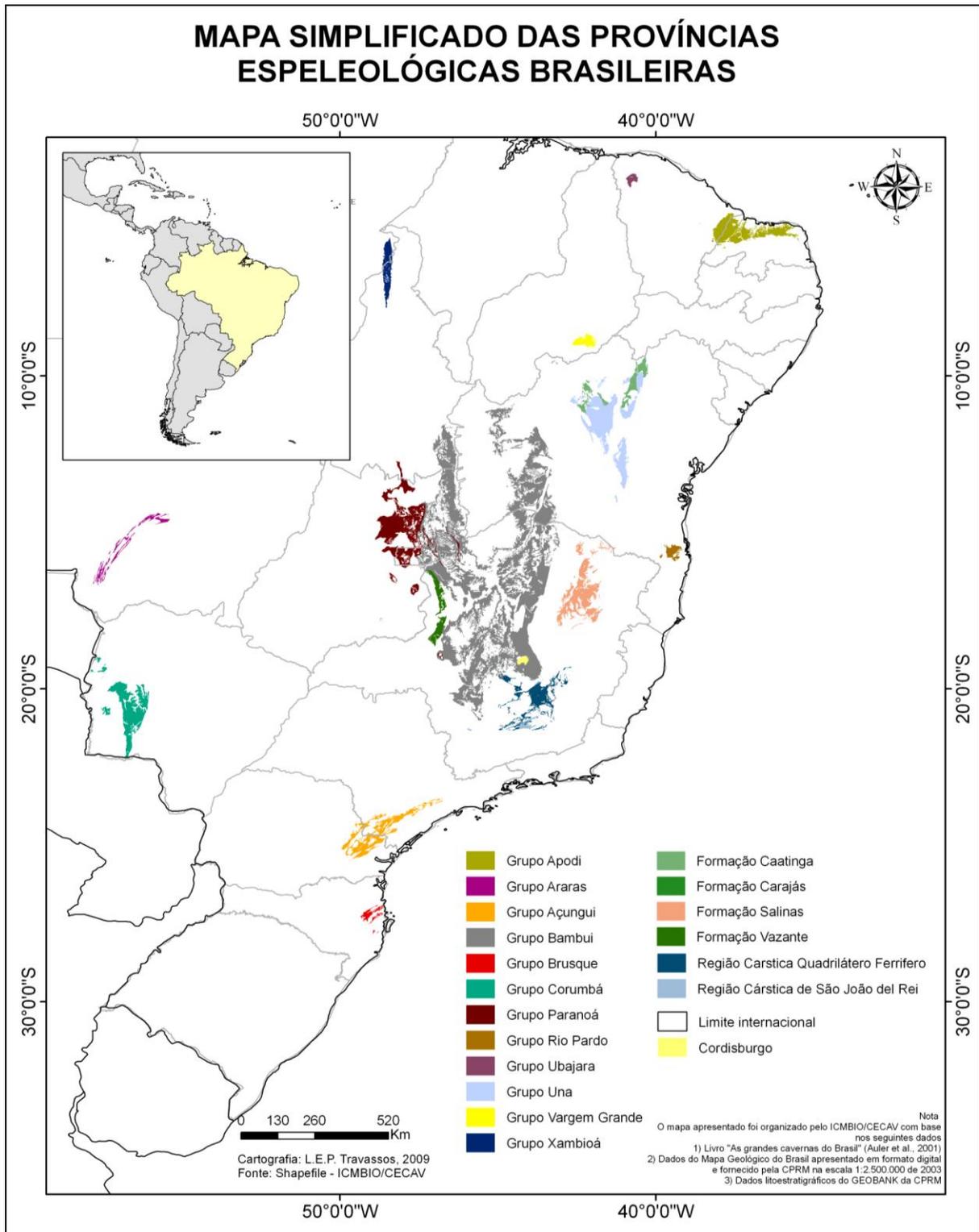


Figura 2 – Mapa de localização das principais províncias espeleológicas do Brasil e a localização do município de Cordisburgo.

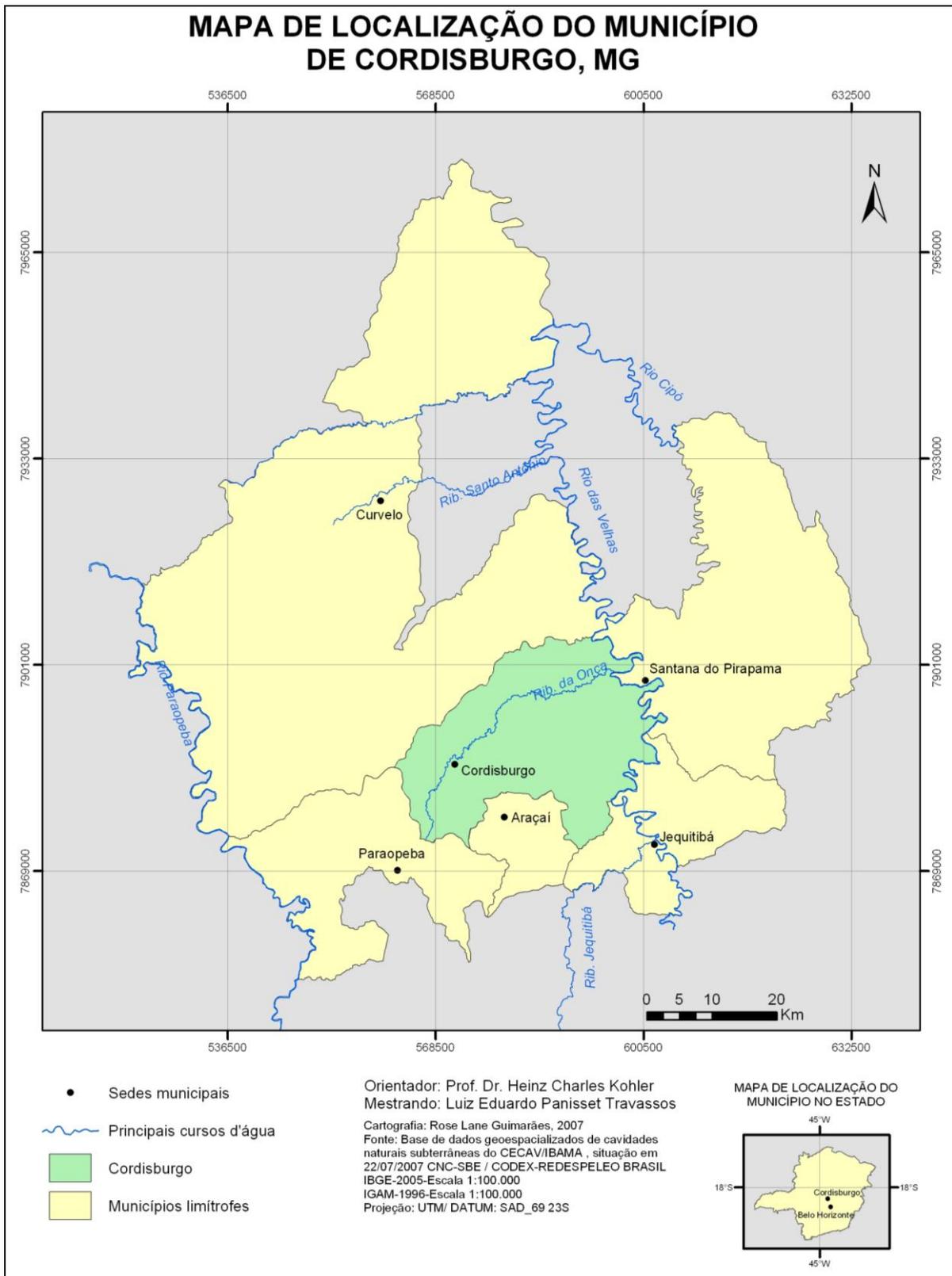


Figura 3 – Mapa de Localização do município de Cordisburgo, MG e seus municípios limítrofes.

**TABELA 1**  
**MUNICÍPIOS E POPULAÇÃO DO ENTORNO DA ÁREA DE ESTUDO**

<b>Município</b>	<b>População (hab.)</b>
Araçai	2.250
Caetanópolis	9.303
Curvelo	72.835
Jequitibá	5.248
Sete Lagoas	210.468
Santana de Pirapama	8.243
Paraopeba	22.493
Presidente Juscelino	4.336

Fonte: IBGE, 2000

### ***Materiais, Métodos e Técnicas***

O encaminhamento metodológico segue as linhas gerais adotadas pela Comissão de Fenômenos Cársticos do Comitê Nacional de Geografia da França (1965), adaptada por Nicod (1965) e por Kohler (1989) ao cenário intertropical. Em um primeiro momento, partiu-se da análise de cartas do carste dinário e do carste intertropical para a comparação entre a simbologia existente.

Realizou-se um extenso levantamento bibliográfico sobre os estudos do carste entre autores nacionais e internacionais, para o cruzamento de informações e a aplicação dos princípios consolidados para a realidade do carste tropical.

O trabalho foi embasado em cartas topográficas de Sete Lagoas (IBGE, escala 1:100.000), de Curvelo (Serviço Geográfico Brasileiro, escala 1:100.000) e de Cordisburgo (IGA, escala 1:100.000). A geologia e a geomorfologia foram embasadas sobre as cartas do CETEC (1983) em escala 1:250.000 para posterior digitalização. Foram utilizadas ainda fotografias aéreas (USAF, escala 1:60.000), uma imagem de satélite (LANDSAT 7 órbita-ponto 218-73 de 1998) e o programa Google Earth.

Elaboraram-se os mapas de localização, de potencial espeleológico nacional e regional, mapas de relevo e hidrografia regional, bem como o modelo de elevação do terreno (MDT). Estes mapas foram elaborados com as bases digitais fornecidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas de Minas Gerais (IGAM) em formato MapInfo (\*.tab). As conversões para arquivos \*.dxf e, posteriormente, para arquivos \*.shp foram necessárias para a utilização no programa ArcGis 9.0 do Laboratório de Estudos Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação

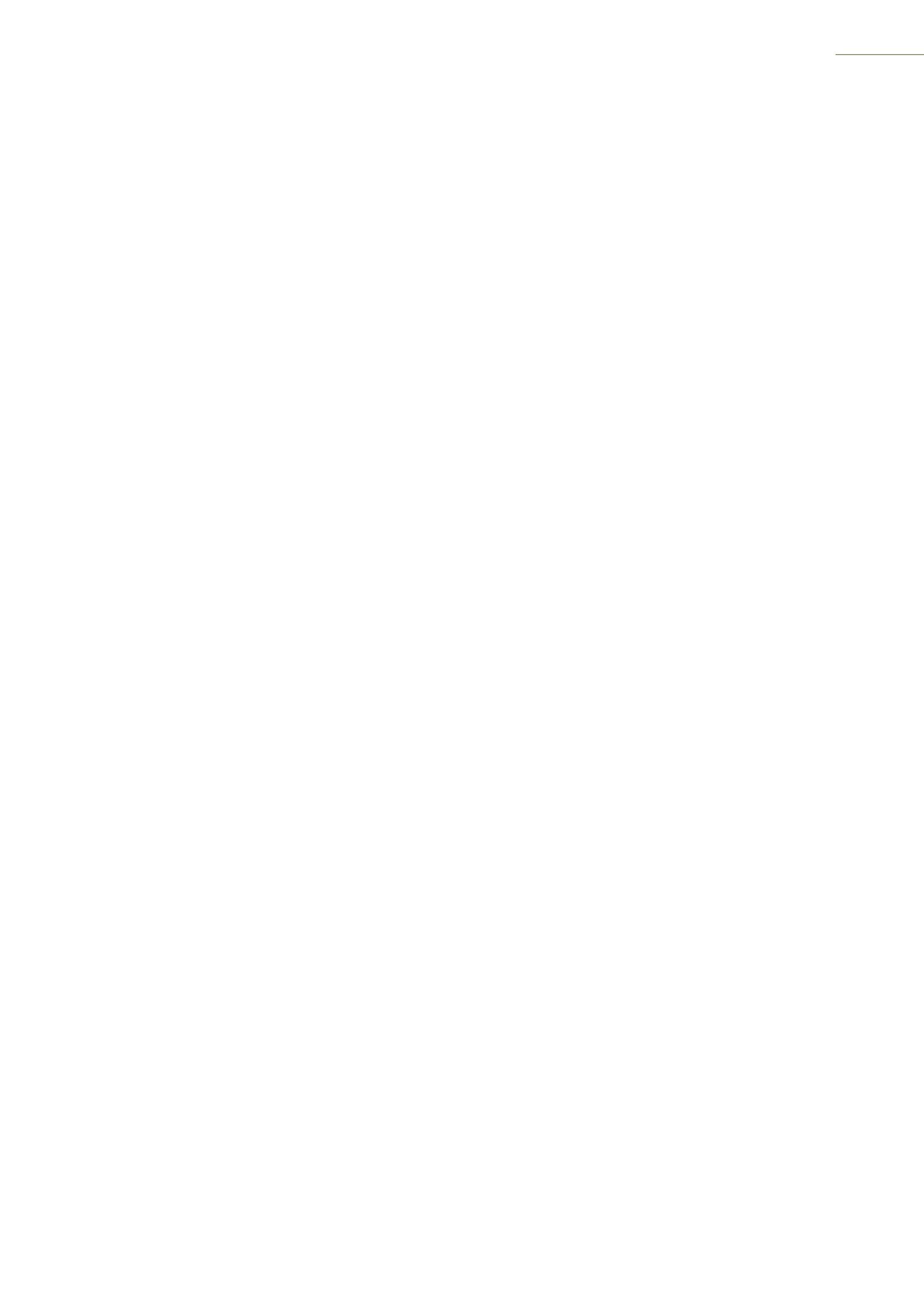
Espacial. Através de controle de campo, os dados secundários obtidos puderam ser comprovados, favorecendo a elaboração da Carta Exploratória dos Fenômenos Cársticos da Região de Cordisburgo, Minas Gerais.

Foram realizados 15 trabalhos de campo durante os anos de 2006 e 2007, em estação seca e chuvosa. Os trabalhos tiveram duração aproximada de 8 horas cada e tiveram o objetivo de comprovar as informações levantadas através da interpretação das cartas, fotos aéreas e imagens de satélite.

A photograph of a dirt road winding through a green field under a blue sky. The road is reddish-brown and curves to the left. The field is lush green with some brown patches. The sky is clear blue with a few small clouds. A dark green horizontal bar is overlaid on the middle of the image, containing the chapter title in white text.

# Capítulo 1

## Fundamentação teórica



## 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

*“Dois dias depois, estava eu visitando, em Cordisburgo – meu torrão inesquecível – a maravilha das maravilhas, que é a Gruta do Maquiné. E aqui, confesso, muita coisa se revelou a mim, pela primeira vez. Certo eu já pensava conhecer, desde a infância, os feéricos encantos da Gruta e suas deslumbrantes redondezas: morros, bacias, lagoas, sumidouros, monstruosos paredões de calcário, com o raizame lacônico das gameleiras priscadas, e o róseo florir das cactáceas agarrantes”*

*João Guimarães Rosa*

Muito se comenta sobre o que venha ser realmente a Geografia. Tal confusão não se restringe somente ao Brasil. Aqui, parte significativa dos geógrafos dedica-se com maior ênfase aos trabalhos de natureza física do que à integração das variáveis humanas (Ross, 2006). Entretanto, acredita-se que as variáveis humanas e físicas não podem ser negligenciadas, pois em uma abordagem geossistêmica ambas encontram-se interligadas, mesmo que não estejam em perfeita harmonia.

Devido ao advento das tecnologias antes limitadas aos meios acadêmicos ou militares, agora de fácil acesso aos não geógrafos, *“cada vez mais se vive em um mundo mais geográfico”* (Thrift, 2002, p. 291). O GPS, as imagens de satélite, os *softwares* de tratamento de imagens e o *Google Earth*, são alguns exemplos dessa nova Era. Dezenas de livros com enfoque em aspectos físicos e humanos da paisagem são lançados a cada mês sobre famosos viajantes do século XVIII, ou sobre os mais modernos e anônimos aventureiros dos Himalaias, de Machu Picchu ou da Estrada Real.

Para os franceses, a geografia não é somente física, humana ou técnica, mas sim o estudo da Terra como morada do homem. Dessa forma, os excessos de especialização dentro da disciplina devem ser vistos com cautela (Amorim Filho, 2005). Um geógrafo deve, portanto, buscar a integração desses três pilares. Ao refletir sobre a evolução do pensamento geográfico é possível constatar que a Geografia sempre foi fundamentalmente não reducionista e holística.

Para Pitman (2005) a Geografia sempre se inclinou a focalizar áreas específicas do conhecimento, porém nunca se esquecendo de sua complexidade. Enquanto outras disciplinas desenvolveram uma relativa capacidade reducionista durante os séculos, a Geografia sempre (ou na maioria das vezes) esteve ciente de que a Terra é um *Sistema Complexo* detentor de propriedades emergentes que não podem ser explicadas apenas entendendo individualmente suas partes.

Sobre o surgimento ou o resgate da noção de Sistemas, Troppmair (2004) afirma que a partir da década de 30 ocorreu a incorporação do pensamento sistêmico e integrado através da afirmação da visão de relação, de contexto e de dinâmica entre os diversos elementos do globo; perspectiva rapidamente incorporada aos diferentes campos científicos.

Já Christofolletti (1999) afirma que esse conceito de “*sistema*” foi primeiramente introduzido na Geografia por Chorley (1962) sendo incorporado por vários outros pesquisadores com abordagens diversas. Tal visão passa, portanto, a direcionar os estudos para a sistematização e integração do meio ambiente com seus elementos, conexões e processos, sejam eles naturais ou antrópicos. Para Chorley e Kennedy (1971), citados por Troppmair (2004), o mundo real passa a ser compreendido como um conjunto constituído de sistemas interligados e organizados em várias escalas e complexidades de forma hierarquizada.

Para Grigoriev (1968), citado por Ross (2006), seria impossível estudar o todo sem compreender suas partes. A Geografia física geral necessariamente se apoiaria nas ciências físico-geográficas especializadas e se dedicaria a investigar os fenômenos naturais interligados que compõe o “*estrato geográfico*”, local onde os seres humanos têm seu habitat.

Dessa forma, pode-se dizer que mesmo com enfoque predominantemente físico em estudos russos, resultado de programas de planificação de seus territórios, as relações antrópicas eram levadas em conta, mesmo que de forma incipiente. Mais à frente, o interesse de integração entre as variáveis físicas e humanas ganhou força. Ross (2006) afirma que Gerasimov introduziu o conceito “*enfoque ecológico*”. Para o pesquisador russo, tal enfoque deveria revelar e investigar as relações entre os meios abióticos, bióticos e sócio-econômicos (antrópicos).

A tendência natural da evolução desse enfoque a partir da década de 70 repousa na “*contradição entre a necessidade crescente de explorar os recursos naturais, de um lado, e, de outro, a necessidade de proteger a natureza*” (Ross, 2006, p.16), pois a Geografia deve estudar, entre outras questões, os aspectos naturais do meio e as sociedades nele inseridas.

## ***O Enfoque Geossistêmico***

Para Monteiro (2001) e Ross (2006), é no contexto da aplicação da geografia no desenvolvimento do Estado Soviético que surge o conceito de “*geossistema*”, proposto por Sotchava (1962). Como pioneiro desses estudos, demonstrou preocupação antiga com o estudo do geossistema (integração de vários elementos) na análise integrada da paisagem. Para ele, seria necessário o estudo das conexões entre os componentes naturais e não somente sua morfologia.

Lembremos que, de certa forma, tal abordagem já era utilizada por Alexander Von Humboldt no século XIX. Afirmava que tudo estaria interligado e que o conhecimento ocorre quando da compreensão das conexões e da dependência mútua entre os fenômenos. Humboldt preferia, sob a ótica geossistêmica ainda não formal, ligar os fatos já sabidos a descobrir outros novos e isolados. Dessa forma, a ciência só poderia avançar reunindo os diversos fenômenos naturais em uma grande sequência de causa e efeito indissociáveis. Somente a descrição de rochas e minerais, por exemplo, não lhe interessava. Sua busca era pelo estabelecimento de relações desses com o solo e a vegetação (Humboldt, 1844; Helferich, 2005) sendo, portanto, possível considerá-lo holista, sistêmico e cientificista.

A abordagem geossistêmica nos estudos geográficos deve então ser entendida como forma de integrar diferentes variáveis de sistemas abertos e dinâmicos. Sotchava, citado por Ross (2006), caracteriza os geossistemas como fenômenos naturais, embora todos os fatores econômicos e sociais afetem sua estrutura e peculiaridades espaciais. Assim, conclui-se que sua análise somente pode ocorrer sob enfoque holístico para compreensão de um sistema dinâmico. Os estudos de geografia, portanto, não mais poderiam ocorrer sem a busca pela compreensão das inter-relações entre as variáveis naturais e antrópicas.

No Brasil, o conceito de “*geossistema*” foi introduzido por Bertrand em 1971 quando falava da “*ciência da paisagem*”. Na verdade, para Ross (2006), o autor apoiava-se na Teoria Geral dos Sistemas e no aporte das informações geradas por biólogos e ecólogos da mesma forma que o modelo soviético. A importância da contribuição da escola russa nos estudos geossistêmicos é resgatada por Monteiro (2001) através de uma bem elaborada revisão acerca dos trabalhos existentes. Com a leitura de seu trabalho, pode-se concluir que a questão antrópica foi insuficientemente abordada

durante a evolução do conceito (Ross, 2006) e que a integração da variável humana deve ser considerada pelo trinômio espaço, tempo e dinamismo (Monteiro, 2001).

Esse trinômio já estava implícito em Bertrand (1972) quando da definição da paisagem. Para o autor, não seria a simples adição de elementos geográficos diferentes, mas sim o resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e humanos em uma determinada porção do espaço. Tal interação instável e dialética transforma a paisagem em um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. De acordo com Tricart (1977), o conceito de *sistema* surge como o melhor instrumento lógico de que um pesquisador dispõe para o estudo do ambiente.

Essa combinação dinâmica pode ser traduzida como o resultado da combinação de variáveis geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climáticas, hidrológicas e de vegetação, influenciando ou sofrendo influência das variáveis sociais e econômicas. Assim, por serem fatores dinâmicos, podem ou não gerar unidades homogêneas internas associando-se à ideia de organização do espaço com a evolução da natureza (Ross, 2006).

Dessa forma, os estudos integrados devem fornecer a base teórica para o suporte necessário à questão da interação dos *sistemas naturais* e dos *sistemas antrópicos* (socioeconômicos) nas relações intersistêmicas. Para Monteiro (2001), a análise integrada nos estudos ambientais deve seguir quatro etapas primordiais: a *Etapa Análise* que deve integrar no tratamento geossistêmico as variáveis “naturais” e “antrópicas”; a *Etapa de Integração* que deve fundir os “recursos”, “usos” e “problemas”; *Etapa Síntese* que integra as variáveis em “unidades homogêneas” com função destacada na estrutura espacial e a *Etapa Aplicação* em que o esclarecimento do estado real do ambiente deve ser buscado.

Assim como a divisão do estudo do geossistema em quatro etapas de Monteiro (2001), Troppmair (2006) ressalta a existência de quatro aspectos básicos: 1) a *morfologia* traduzida pela expressão física do arranjo dos elementos e sua estrutura espacial; 2) a *dinâmica* imposta pelo fluxo constante de energia e matéria no sistema, variáveis no tempo e no espaço; 3) a *inter-relação dos elementos* e 4) a *exploração biológica* por parte dos elementos da biosfera.

Por esse motivo, Monteiro (2001) afirma que nas regiões onde as ações antrópicas já estão impregnadas na paisagem, além de interferirem no jugo de relações entre as variáveis naturais, podem assumir o papel de “força condutora” dos processos

e, portanto, refletir nas formas ou estruturas naturais, suas ações. Sendo assim, os estudos do carste devem embasar-se em um *enfoque geossistêmico*.

Assim, Kohler (2003) apresenta o geossistema como o estudo integrado do ambiente a partir dos trabalhos do “geoecossistema” da escola alemã. Em analogia a uma peça teatral, a ciência geográfica forneceria o *script* da peça a ser representada no espaço (geosfera) e em determinado momento (tempo) pelo homem, sendo a geosfera o palco das atividades e diferentes cenários espaço-temporais. Sob a ótica dos estudos integrados, os processos físicos, químicos e biológicos atuam por determinado espaço de tempo, compondo assim, a paisagem contemporânea.

### ***Geomorfologia Cárstica***

Para Sweeting (1983) e Kranjc (2001), o termo “*kras*” originou-se na região do Planalto de Kras, na Eslovênia. Acredita-se em sua origem pré-indo-europeia pela raiz *kar/gar* ou *kara/gara*, significando *rocha* ou *rochoso*, respectivamente. O termo *kras* é amplamente utilizado na Eslovênia para designar regiões rochosas ou não favoráveis à agropecuária, sendo aplicado para identificar algumas regiões do Carste Dinárico caracterizado por campos de lapiás e dolinas.

Gillieson (1996) afirma que esse tipo peculiar de paisagem é comumente caracterizado por possuir depressões fechadas, drenagem subterrânea e cavernas, formadas principalmente pela dissolução da rocha. Os estudos desenvolvidos por Jovan Cvijić (1893) acerca dos processos ocorridos no Planalto de Kras contribuíram para a popularização do termo. De acordo com Sweeting (1972) e Ford (2007), sua forma germânica, *karst*, foi introduzida em estudos científicos com a obra *Das karstphenömen*. Posteriormente, no Brasil, a palavra evoluiu para o termo *carste*. Assim, os termos são amplamente utilizados para designar processos de dissolução da rocha e sistemas subterrâneos derivados desse processo.

Desde o início de seus estudos, Cvijić se mostrou interessado quanto à natureza e origem dos lapiás (*karren*), abundantes e proeminentes no carste exposto do Planalto de Kras. Jovan Cvijić foi um dos primeiros a entender que detalhes da litologia seriam importantes na compreensão da ocorrência ou não dessas formações; concluiu que as dolinas são o diagnóstico da paisagem cárstica. Caso existam, algum tipo de *carste* ou *pseudocarste* se desenvolve no local.

Sobre o termo *pseudocarste*, pode-se afirmar que abrangem as regiões desenvolvidas em rochas silicosas passíveis de desenvolver formas características similares ao “*carste clássico*” como dolinas, drenagem subterrânea e cavernas. No entanto, sua gênese ocorre por diferentes processos; nessas áreas a dissolução da rocha ocorre de forma subordinada a processos mecânicos. Desenvolvem-se tipicamente em lavas consolidadas, sedimentos inconsolidados ou cinza vulcânica, gelo, ou em solos permanentemente congelados (*permafrost*). No Brasil, exemplos podem ser encontrados em quartzitos e arenitos.

A paisagem cárstica, para melhor entendimento, foi didaticamente dividida por Lino (1989; 2002) em dois grandes grupos: o *carste primário*, correspondente às formas destrutivas subterrâneas (cavernas) e superficiais (dolinas, lapiás, torres, etc.) e o *carste secundário*, correspondente às formas construtivas, não exclusivamente subterrâneas (espeleotemas como as estalactites, estalagmites, cortinas e outras formas de deposição).

A gênese da paisagem cárstica ocorre, predominantemente, pelo intemperismo químico do ácido carbônico sobre as rochas carbonáticas. Em um primeiro momento, a água da chuva, ao passar pela atmosfera e pelo solo, reage com o gás carbônico existente, formando assim uma solução ácida.

Em um segundo momento, após percorrer a superfície do carbonato, essa solução ácida penetra por fendas ou fraturas da rocha. A rocha matriz começa então a ser quimicamente atacada, resultando em sua corrosão e na produção de bicarbonato de cálcio; este, solúvel e facilmente transportado pela água em seu movimento descendente, precipitando na forma dos espeleotemas.

Já em estágios mais avançados do processo de dissolução dos calcários, podemos nos deparar com formas mais salientes como as torres de pedra, as pontes e arcos, que geralmente ocorrem isoladamente (formas remanescentes), as dolinas, as ressurgências, os sumidouros, os abrigos, as lagoas cársticas e as cavernas (formas reentrantes).

Olhando mais profundamente os processos, Plummer, Parkhurst e Wigley (1978) descreveram a dissolução do calcário, sendo as informações posteriormente reproduzidas por vários autores a exemplo de Dreybrodt e Gabrovšek (2002). Sob condições onde o carste apresenta uma solução com *pH* igual a 7, o calcário se dissolve pela reação:



Se nenhum dióxido de carbono está presente na solução, a saturação será de cerca de  $10^{-4}$  mmol/cm<sup>3</sup>. Se o CO<sub>2</sub> está presente, a lenta reação favorecerá a dissolução da calcita:



Esse processo fornece um próton que remove o carbonato do mineral pela reação



sendo as reações I e III resumidas por:



Após os processos de dissolução, a precipitação é representada por:



Para Moore e Sullivan (1997) esses processos de dissolução podem continuar por milhares de anos. Somente duas coisas podem interrompê-los: um abaixamento do nível de base hídrico, ou a exposição do sistema de cavernas ao ar atmosférico devido à erosão de superfície. O abaixamento do nível de base da água subterrânea seca a caverna, o que significa que a dissolução cessa ou continua em nível menos intenso. A abertura de uma entrada, ou de outras passagens, normalmente marca o fim do processo de formação das cavernas, pois a entrada permite que a ventilação comece, e a pressão parcial de gás carbônico já não pode mais ser mantida nas cavidades sobre o nível de base. O gás carbônico em excesso é dissipado, a água é rapidamente saturada de calcita e a dissolução dá lugar à deposição de material.

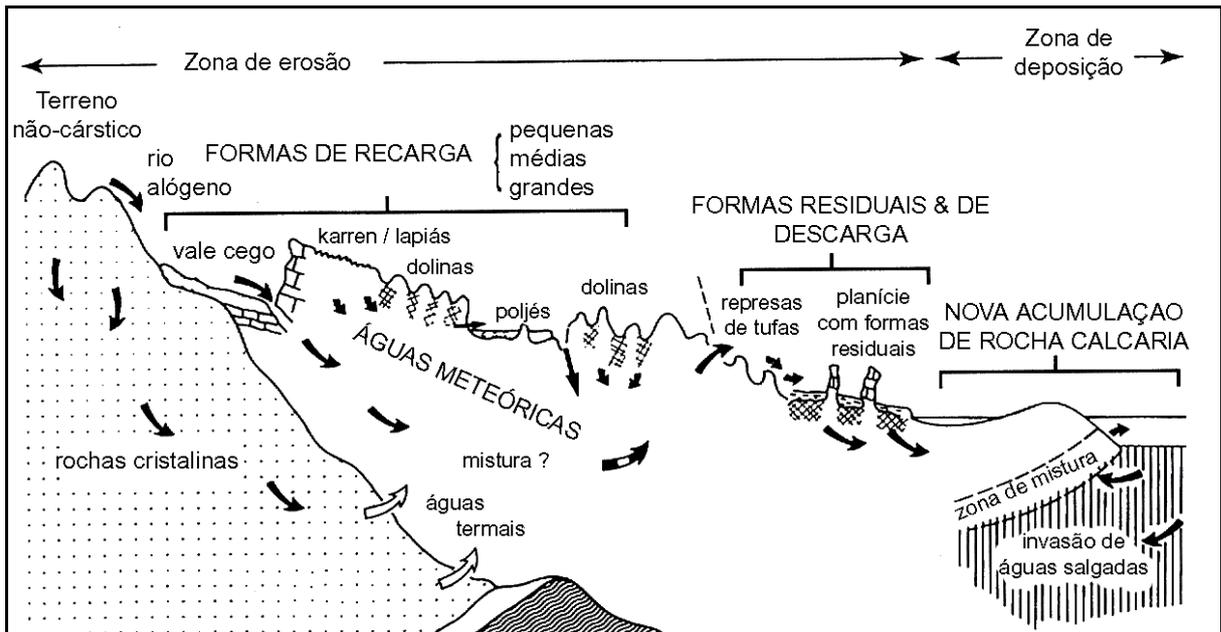


Figura 4 – Aspectos gerais de um Sistema Cárstico (Adaptado de Ford & Williams, 2007, p. 3).

Desse processo resultam edifícios rochosos ruiformes, lapiás, torres, dolinas, sumidouros e ressurgências, entre outras. Na região do estudo existem os maciços e paredes calcários, os lapiás, as dolinas, as uvalas, as lagoas temporárias, os poljés, e as cavernas:

- Maciços e paredes calcários: São relevos positivos, testemunhos de uma complexa história evolutiva. Para Kohler (1998), os maciços são grandes planaltos de centenas de quilômetros de extensão. Apresentam paredes aflorantes, considerados como as porções do exocarste onde ocorre o desenvolvimento preferencial dos *lapiás*.

- Verrugas calcárias: São as formas residuais encontradas sobre maciços calcários de ordem centimétrica a métrica, aflorantes como resultado da erosão diferencial. Foram citadas pela primeira vez no Brasil por Coutard, Kohler e Journaux (1978) ao estudarem a região de Lagoa Santa.

- Lapiás ou lapiés: Formas de dissolução de pequena escala, indo desde a ordem milimétrica ao tamanho máximo de 5 m (Lundberg, 2005). Denominadas *karren*, segundo terminologia alemã indica preferencialmente as formas de dissolução de pequena escala no carste. São encontradas nas porções do exocarste, bem como no epicarste, identificados no terreno como pequenos sulcos ou canalículos na rocha.

Várias tentativas de classificação foram feitas desde a metade do século XX, especialmente após os trabalhos pioneiros de Eckert (1902) e Civijić (1924). Outras classificações recentes, a exemplo de Bögli (1980) e Ford e Williams (2007), incluem os

processos que originam cada tipo, seu tamanho, padrão de distribuição na rocha, presença ou ausência de solo e ação da água na rocha. Para Kohler (1998), o estudo de tais formas faz-se necessário para a compreensão dos processos recentes de corrosão de uma superfície cárstica, bem como a de fornecer importantes dados sobre a gênese e a evolução da paisagem.

- *Poljes*: Para Sweeting (1972) o termo *polje*, cujo significado em eslavo é campo, tem sido amplamente utilizado na literatura cárstica. Possui dois significados: um referente às largas depressões fechadas da costa do Mar Adriático e outro para designar qualquer depressão larga e fechada com um piso mais plano e horizontal em comparação com o relevo adjacente.

Consideradas como importantes unidades da paisagem cárstica, ao longo do tempo tais feições adquiriram significado científico maior do que o simples fato de serem regiões planas cercadas por maciços calcários (Sweeting, 1972). Assim, de acordo com Bonacci (2004), tais fenômenos cársticos podem ser caracterizados como as maiores depressões geralmente elípticas dentro de uma região cárstica. Para Nicod (2003), uma definição usual do termo *polje* afirma que essa forma é caracterizada por ser uma grande depressão de base plana, drenagem cárstica e vertentes abruptas na periferia, entendidas como formas negativas do terreno originadas pela dissolução de centenas de quilômetros. Podem variar de 0,5 a 500 km<sup>2</sup>.

Frelih (2003) afirma que embora existam definições acadêmicas claras, em alguns casos é difícil diferenciar claramente uma *uvala* de um *polje*, por serem depressões cársticas relativamente grandes e com características similares. No entanto, acredita-se que tal dificuldade de diferenciação ocorra pouco.

Para sua classificação e identificação, Gams (1973) aponta alguns aspectos que devem ser levados em conta. São eles: 1) aspecto da estrutura geológica; 2) hidrologia; 3) forma; 4) posição em relação à topografia da vizinhança; 5) origem: tectônica, erosão, corrosão, etc.; 6) clima: mediterrâneo, tropical, etc.; 7) relação entre sedimentos permeáveis e impermeáveis; 8) idade aluvionar ou bacia aluvionar; 9) homogeneidade e; 10) uso econômico que se faz do *polje*.

Tais feições devem ser consideradas como uma grande planície de corrosão que pode alcançar centenas de quilômetros quadrados (Kohler, 1998). Assim, pode-se concluir que os *poljes* não são formas elementares e não podem ser definidos por apenas um ou dois critérios, mas sim, pela integração de algumas condições e processos

existentes nos geossistemas cársticos como topografia, condições estruturais, herança morfoclimática, hidrologia recente e presente, bem como morfologia característica (Nicod, 2003).

Geralmente os *poljes* são planícies alongadas e fechadas, com exceção dos *poljes* semi-abertos que normalmente têm sua origem em planos de falha, anticlinais ou sinclinais formados antes do Pleistoceno e normalmente preenchidos por sedimentos de acordo com episódios morfoclimáticos.

- Sumidouros e Ressurgências: Nesses locais a água passa a circular subterraneamente e reaparece a jusante, respectivamente. Rodrigues et al. (2007) consideram os sumidouros como pontos de infiltração que podem ter seu início em depressões fechadas de dimensões variadas como uma dolina ou um vale cego, ou até mesmo em uma região onde não exista qualquer depressão (perda difusa). Por outro lado, os autores identificam as ressurgências como locais onde o caudal da água subterrânea, correspondente às infiltrações do carste, aflora em determinado ponto. Dessa forma, seu fluxo pode ser perene, intermitente ou irregular. Sumidouros e ressurgências também recebem o nome de *ponor* ou *swallow-holes* e podem ter as funções trocadas dependendo do fluxo da água.

- Dolinas e Uvalas: As dolinas apresentam-se como as formas de maior relevância no estudo da relação homem x carste. Os princípios da origem e evolução foram exaustivamente discutidos em diversas obras, tais como os trabalhos de Sweeting (1972), Jennings (1985) e Ford e Williams (2007). São amplamente aceitos na comunidade científica, especialmente àquela dedicada à geomorfologia cárstica.

No século XIX, a identificação de depressões fechadas mais ou menos circulares em uma superfície cárstica não dava margem a erros para defini-las como dolinas. Além disso, levantaram-se questões relativas a sua gênese e ideias como o abatimento súbito do teto de uma caverna foram aceitas como uma explicação plausível. No entanto, à medida que os estudos avançavam, ficou claro que existiam dois tipos básicos de dolinas: *dolinas de abatimento*, que iniciava pelo colapso súbito da rocha e *dolinas de dissolução*, cuja formação se dava pela gradual dissolução da superfície rochosa subjacente (Šušteršič, 2000).

Sauro (2003) afirma que é possível considerar as dolinas a partir de inúmeros pontos de vista principais: 1) analogia a formas de objetos (bacia, funil, abismo) ou formas geométricas (esféricas, cônicas, cilíndricas); 2) tamanho (pequena, média,

grande); 3) gênese (dissolução, abatimento, etc.); 4) estrutura hidrológica; 5) funcionalidade e 6) litologia e tectônica.

Consideradas como as feições mais características da paisagem cárstica, o termo deriva da palavra eslava *dolina*, indicando qualquer depressão fechada em uma superfície. Possuem forma circular ou elíptica, atingem desde alguns metros de diâmetro a centenas de metros e, na maioria dos casos, é mais larga do que profunda. Sua gênese inicia-se quando a dissolução ocorre em maior escala em pontos mais suscetíveis da rocha formando pequenas depressões no terreno. Em seguida, as águas superficiais podem convergir para a área central de absorção, aumentando a dissolução (Sauro, 2003).

Para Šušteršič (2000), as dolinas de abatimento podem ser consideradas como as feições cársticas mais facilmente identificáveis e definidas. Portanto, são caracterizadas pelo abatimento de tetos e paredes de uma caverna, formando vazios na área de contato entre o solo e a rocha remanescente. Com o contínuo alargamento dessas áreas pela dissolução pode ocorrer perda de sustentação e conseqüente colapso.

Assim, a categoria das dolinas de abatimento compreende inúmeras formas diferentes em tipo e tamanho, oriundos basicamente do colapso do teto de uma caverna. Entre essas, estão as “janelas do carste”, amplas aberturas entre o mundo subterrâneo e o ambiente externo. Algumas definições dentro da carstologia tendem a ser bastante voláteis, com exceção do termo “*dolinas de abatimento*” que continuam com significado essencialmente intocável por mais de um século.

As *uvalas* ou *dolinas compostas*, como o próprio nome sugere, são formas que apresentam a união de duas ou mais dolinas; são depressões de fundo irregular, com um ou mais sumidouros (Kohler, 1989; 1998). Segundo White (1988) são uma conseqüência natural da dinâmica de um conjunto de dolinas de dissolução que, com o tempo, vão se desenvolvendo e coalescendo.

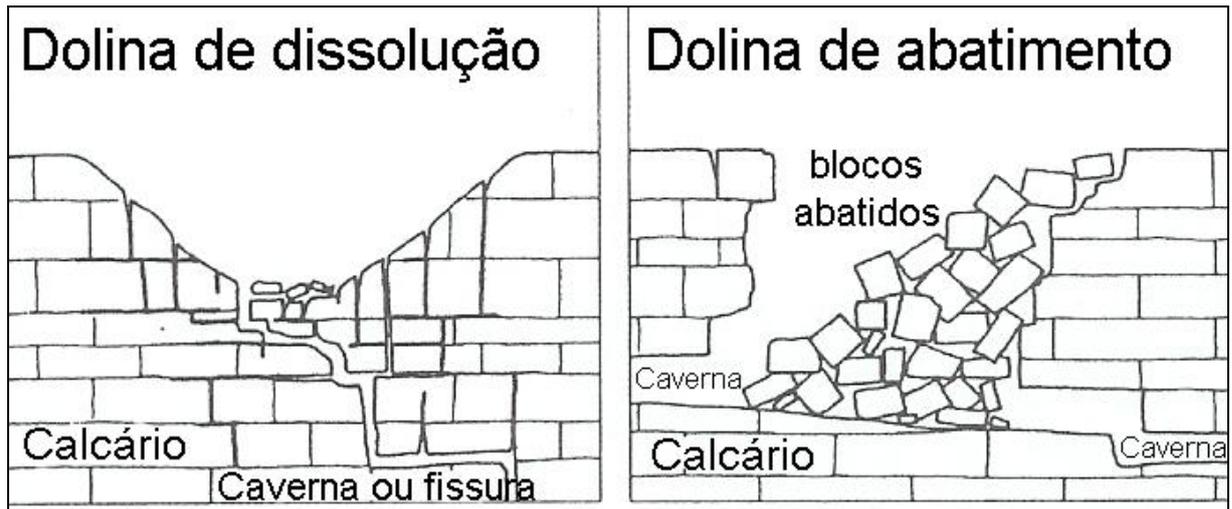


Figura 4 – Exemplos de dolinas de dissolução e abatimento.  
(Adaptado de Ford & Williams, 2007, p. 341).

### **Hidrologia Cárstica**

De acordo com a definição padrão da literatura, um aquífero é uma rocha capaz de armazenar e transmitir água. Assim, para definirmos um aquífero essas duas características são necessárias. Dentro da rocha, os espaços (poros, fraturas e condutos) propiciam perfeitos locais de armazenamento e a comunicação entre os espaços, favorece a transmissão da água (White, 2005).

Assim, os aquíferos cársticos abrigam uma imensa quantidade de água subterrânea; apresentam-se como recursos naturais de importância considerável. Com o objetivo de preservá-los ou utilizá-los de forma ambientalmente correta e sustentável, faz-se necessário um planejamento adequado que possibilite a minimização dos efeitos negativos no sistema.

Os aquíferos cársticos são caracterizados por uma baixa capacidade de depuração (remediação natural e neutralização) e são particularmente vulneráveis à poluição. Cada sistema cárstico é único e possui suas próprias características estruturais altamente heterogêneas. De forma mais simples, os aquíferos cársticos podem ser considerados como uma rede de condutos de alta permeabilidade cercada por um imenso volume de rochas de baixa permeabilidade, onde a água só é capaz de passar por uma rede de condutos, fraturas e planos de acamamento.

A água do carste pode ser armazenada tanto pelas águas de infiltração (forma difusa) ou pela concentração em pontos de recarga como cursos d'água e dolinas. As camadas que recobrem a água subterrânea (cobertura pedológica, subsolo e rochas não

carbonáticas) propiciam certa proteção, mas por causa de sua ausência comum, muitos contaminantes podem ser carregados diretamente ao aquífero. Nesse caso, os condutos podem servir como dispersores de poluição sem os processos normais de atenuação dos contaminantes, sendo por vezes impossíveis os processos de remediação. Dessa forma, faz-se necessário um cuidadoso planejamento quando da ocupação de áreas cársticas (Kovačič, 2003; Ravbar, 2004; 2007).

Para Ford e Williams (2007), determinar a estrutura e as propriedades dos aquíferos cársticos representa severos problemas práticos devido à sua heterogeneidade e a escassez de informações sobre tais sistemas. Portanto, é essencial para a estimativa, planejamento e manejo dos recursos hídricos a capacidade de responder a algumas questões. Estas se traduzem na origem e quantidade de água que pode ser utilizada, bem como nos parâmetros físicos que caracterizam o aquífero. Entretanto, ainda assim, é difícil a generalização a respeito dos aquíferos cársticos devido à vasta gama de contextos geológicos, armazenamento e condições de fluxo.

Petrič (2002) afirma que os esforços realizados para minimizar os impactos antrópicos nesse sistema somente serão efetivos se forem levados em conta suas propriedades específicas e particulares. A estrutura heterogênea e funcionamento complexo tornam sua caracterização extremamente difícil e, em alguns casos, fatores como pouca população e agricultura menos intensiva podem contribuir para certa proteção.

Os aquíferos cársticos representam uma formação geológica com porosidade secundária desenvolvida e boa permeabilidade, circundados por outras variáveis que recebem água e mais contribuições oriundas de outros sistemas. Sua estrutura incorpora fluxos preferenciais por onde a água flui até ser capturada. Podem também aflorar posteriormente. (Chow, Maidment & Mays, 1988; Petrič, 2002).

Com o exposto, conclui-se que as relações entre os diversos parâmetros são complexas, podendo ser representadas através do “modelo conceitual dos aquíferos” descrito na figura 5.

Sua interpretação é feita através da identificação didática de dois subsistemas independentes: o *Fluxo Superficial* e o *Fluxo Subterrâneo*. No entanto, tais subsistemas apresentam-se inter-relacionados e agindo como um todo no aquífero. Cada subsistema apresenta variáveis que, para melhor compreensão, podem ser estudadas separadamente sem que se esqueça de suas relações de dependência.

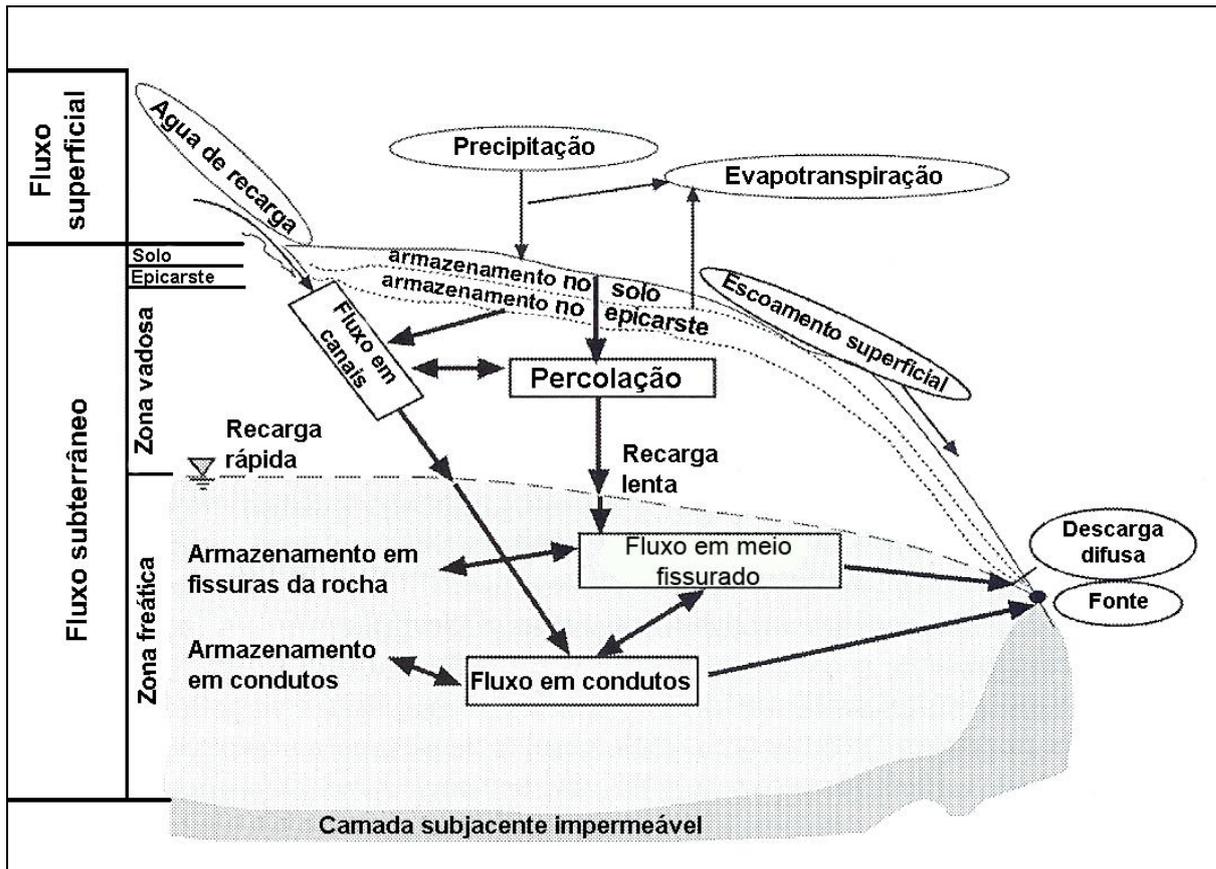


Figura 5 – Modelo conceitual do fluxo da água em um aquífero cárstico. (Adaptado de Ford & Williams, 2007 ; Petrič, 2002).

O *fluxo superficial* inclui dois componentes principais de recarga e um terceiro não tão destacado: 1) os cursos d'água oriundos de áreas não carbonáticas vizinhas os quais, quando em contato com o carbonato, podem ser capturados como pontos de recarga do aquífero; e 2) a precipitação difusa ao longo de toda região cárstica que permite a formação do escoamento superficial pelo excesso de água que não consegue percolar completamente pelo solo. O terceiro componente é identificado na literatura como a evapotranspiração. Tal variável configura o processo pelo qual a água, próxima à superfície, se torna vapor d'água e retorna ao sistema em forma de precipitação (Petrič, 2002).

O *fluxo subterrâneo*, por sua vez, engloba a zona vadosa (não-saturada) e a zona fréatica (saturada). Nesse subsistema o solo é representado como a porção superior da zona não-saturada de água onde a água precipitada pode, dependendo da profundidade e propriedades hidrológicas, ser armazenada temporariamente ou simplesmente percolar em direção ao epicarste. Tal variável desempenha importante papel como regulador temporal da distribuição da recarga. Em períodos chuvosos, a água pode se

rapidamente transferida para a rede de condutos subjacentes enquanto a outra parte pode ser armazenada na base do epicarste e, posteriormente, recarregar lentamente o aquífero através de zonas menos permeáveis (Petrič, 2002).

Zhou (2007) afirma que a presença do epicarste é um fenômeno único nas áreas cársticas; é normalmente separado do nível de base da água por rochas relativamente menos permeáveis. Assim, quando o volume de água de recarga o atinge e começa a exceder a capacidade de drenagem da zona, um gradiente hidráulico pode se desenvolver com uma drenagem subcutânea agindo como o menor ponto de recarga, similar a um poço artesiano. Fluxos laterais e transporte a drenos subcutâneos podem exceder várias centenas de metros e permitir altas taxas de fluxo. Quando tais canais de drenagem excedem a capacidade de carga, descargas podem ocorrer.

As múltiplas porosidades de um aquífero cárstico geralmente levam a uma flutuação dinâmica no nível de base, também conhecida como zona de transição. Após a saturação das zonas ocorre a elevação do nível de base e, conseqüentemente, o aumento do fluxo nos cursos d'água. Zhou (2007) afirma que a conexão hidráulica da água superficial ao aquífero é evidenciada não somente pelas recargas, mas também pelas descargas. Ressurgências são reconhecidas como pontos de descarga do aquífero que por vezes podem fornecer água para os cursos superficiais. Se o canal do rio superficial não é adequado a receber a quantidade de água descarregada, enchentes podem ocorrer.

Acredita-se que solução de problemas relacionados à dinâmica hídrica do carste requer o conhecimento das características únicas do sistema e do controle das atividades antrópicas na área. Uma dolina alagada não é por si só um fenômeno isolado, por exemplo. Dolinas podem agir como sumidouros de água superficial ou ressurgências de águas subterrâneas.

Para Zhou (2007), ao se estudar um aquífero faz-se necessária uma análise do balanço hídrico através da identificação da bacia de drenagem subterrânea. Diferente de uma bacia de drenagem superficial, que pode ser facilmente delimitada por divisores de água, uma bacia subterrânea requer a identificação de seus limites através da utilização de técnicas específicas de traçadores, análises hidrogeológicas e monitoramento de longo prazo, configurando-se assim em uma pesquisa complexa.

O conceito recente de vulnerabilidade intrínseca da água subterrânea se baseia na afirmação de que as propriedades físicas do ambiente proporcionam certo grau de proteção natural contra a atividade humana, levando-se em consideração

condicionantes geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas da área em questão. Assim, a sensibilidade dos aquíferos cársticos à poluição é muito alta. A proteção fornecida por cada camada existente entre a superfície (ponto de liberação do contaminante) e a água subterrânea é de grande importância na análise da capacidade de depuração intrínseca do carste. Nesse tipo de relevo é comum a variação da cobertura pedológica ou até mesmo a sua ausência, fato que favorece o transporte dos poluentes e a contaminação do aquífero (Kovačič, 2003; Ravbar, 2007).

Na área de estudo, a maior ameaça à água subterrânea provém da agropecuária e do desmatamento. O crescimento populacional dos municípios limítrofes leva a crer que as alterações nos níveis hídricos das lagoas cársticas da região e, conseqüentemente, do aquífero sejam alteradas.

A região de Cordisburgo é abastecida desde 1976 pela água do endocarste, através de poços tubulares da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA. A vazão média do sistema é de 22,47 l/s e o município conta com uma unidade produtora de água com capacidade média de 1,9 milhão de litros por dia (COPASA, 2007). As profundidades variam de 67 a 102 metros entre os poços ativos e os reservas.



## Capítulo 2

# Caracterização da área





## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

*“Bafio quaternário. O preto da imensa noite, anterior ao mundo, com pesadelos agachados e pavores dormindo pelos cantos, vem comprimir o peito e os olhos. E ao acendermos as velas e lanternas, a treva se retrai, como um enorme corvo, das paredes paleozoicas salitradas”*

*João Guimarães Rosa*

### **Geologia**

Com exceção das bacias sedimentares terciárias do pantanal mato-grossense, da Amazônia e trechos do litoral, o território nacional desenvolve-se sobre estruturas geológicas antigas com idades que variam do Paleozoico ao Mesozoico para bacias meta-sedimentares, e do Pré-Cambriano (Arqueano/Proterozoico) para os terrenos cristalinos da Plataforma Sul-Americana. Entre esses, destacam-se as áreas cratônicas, os cinturões de dobramentos antigos e as bacias sedimentares (Schobbenhaus & Brito Neves, 2003).

Da área continental brasileira de 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, Karmann (1994) afirma que cerca de 5 a 7% é constituído por terrenos cársticos. As principais unidades localizam-se no Cráton São Francisco na região de Minas Gerais, Goiás e Bahia, sobre litologias carbonáticas e dolomíticas do Proterozoico Superior.

Minas Gerais destaca-se no cenário nacional por importantes ocorrências de carbonatos e, conseqüentemente, expressivas áreas cársticas a ela associadas. Para Karmann (1994) e Piló (1997; 1998; 1999), estima-se que a extensão nacional seja de aproximadamente 5 a 7%, cabendo ao Estado 3 a 5% ou 17.600 a 29.419 km<sup>2</sup> desse total.

Em termos geológicos, a área investigada insere-se no contexto da unidade geotectônica do Supergrupo São Francisco, Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba (Pedrosa Soares, 1994), composta por compartimentos rochosos de idades diversas. Para Almeida (1977) a província geotectônica do Cráton São Francisco é limitada pelo bloco arqueano/paleoproterozoico do Quadrilátero Ferrífero, pelo bloco do Espinhaço (Proterozoico Médio) e pela extensa bacia metassedimentar do Grupo Bambuí (Proterozoico Superior).

As unidades do Grupo Bambuí ocupam aproximadamente a extensão da atual Bacia do Rio São Francisco. São limitadas a leste pelas frentes de empurrão do Espinhaço e ao sul pelos migmatitos (granito-gnaisses) do embasamento cristalino. Ao norte, as sequências do Bambuí prolongam-se até o extremo norte de Minas Gerais e a oeste são limitadas pelas Chapadas das Vertentes Ocidentais do São Francisco (IGA, 1983; Magalhães, 1988; Piló, 1998).

Para Grossi Sad e Quade (1985), o Grupo Bambuí, Subgrupo Paraopeba, por sua vez, pode ser dividido em três unidades principais: a primeira composta por um conglomerado basal discordante carrancas-samburá associado a calcoxistos e calcofilitos; uma outra camada intermediária composta por calcários de até 95% de carbonatos e sedimentos finos e; um outro nível composto por carbonatos intercalados por sedimentos finos (Kohler, 2007). Para Noce e Renger (2005, p. 253), *“as formações que constituem o Subgrupo Paraopeba, da base para o topo são a Formação Sete Lagoas, a Formação Serra de Santa Helena e a Formação Lagoa do Jacaré”*.

Na região de estudo predominam rochas pelito-carbonáticas agrupadas no Subgrupo Paraopeba, Formação Lagoa do Jacaré, do Proterozoico. São comuns as ardósias, os calcários, os filitos, folhelhos e metassiltitos depositados sobre a superfície irregular do embasamento cristalino da unidade primária composta por granitos e gnaisses (Noce & Renger, 2005). Acredita-se ser possível a ocorrência de calcários da Formação Sete Lagoas.

A sedimentação dos carbonatos ocorreu em um mar epicontinental de águas rasas sobre o embasamento cristalino irregular e impermeável que permitiu o desenvolvimento das extensas plataformas carbonáticas brasileiras. Datações radiométricas e análises de estromatólitos identificam a deposição do carbonato entre 900 e 600 milhões de anos. Ainda em relação a essa plataforma, é possível afirmar que na região centro-sul de Minas Gerais, devido à irregularidade do embasamento, as profundidades das rochas do Grupo Bambuí vão de 50 a 250m (Kohler, 1989; Auler, 1994; Piló, 1998; Noce & Renger, 2005).

Em Cordisburgo, região recoberta por filitos da Serra de Santa Helena e calcários da Formação Lagoa do Jacaré (Figuras 6 e 7), são encontradas poucas referências de modelados cársticos comparado às regiões de Lagoa Santa e Sete Lagoas. No entanto, esse conjunto paisagístico revela importantes feições cársticas de grande significado no âmbito histórico, cultural e ambiental sendo dignas de preservação.



Figura 6 – Aspecto do calcário da Formação Lagoa do Jacaré, representada como um pacote de intercalações rítmicas de calcários e rochas de baixo teor carbonático. A tampa da máquina possui 6cm (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).



Figura 7 – Filito intercalado aos calcários da Formação Lagoa do Jacaré, Cordisburgo, Minas Gerais (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).

## **Geomorfologia**

A região de estudo é limitada a leste pelo Rio das Velhas e a oeste pelo divisor de águas do Rio das Velhas e do Rio Paraopeba. Ao sul, até Sete Lagoas, a região é limitada por um relevo monoclinal em função das diferentes faces de erosão diferencial. Nas partes mais altas da Serra de Santa Helena ocorrem mármore, indicativos de alto grau de metamorfismo. Ao norte, tem-se o prolongamento das unidades cársticas de Cordisburgo, com índices altimétricos decrescentes.

A geomorfologia do Planalto de Cordisburgo inicialmente apresenta três compartimentos distintos que, do mais elevado ao mais baixo, apresentam maciços alongados, afloramentos, cavernas, dolinas, lagoas temporárias e *poljes*.

No geral, devido à litologia e à erosão diferencial, o relevo da região apresenta-se na forma de colinas suavemente arredondadas formadas sobre as ardósias, folhelhos e filitos interrompidas por afloramentos calcários (IGA, 1983).

O IGA (1983) identificou três compartimentos, ou unidades principais, a partir da forma, altitude e declividade. O *primeiro compartimento* (Figuras 8 e 9), a oeste, destaca-se pela presença dos maciços, ou serras, desenvolvidos sobre o terreno carbonático. Corresponde ao compartimento mais elevado e de maiores índices de declividade (entre 12 a 45%), onde se destacam as Serras do Barreirão, do Funil, do Maquiné, do Palmital (ponto mais elevado do município – 1.055 m) e a Serra da Onça.

Nos locais onde o calcário aflora, predominam as escarpas abruptas e a existência de cavernas com projeção horizontal variada. Entre os afloramentos há predominância de relevo ondulado com ravinamentos acentuados e algumas depressões.

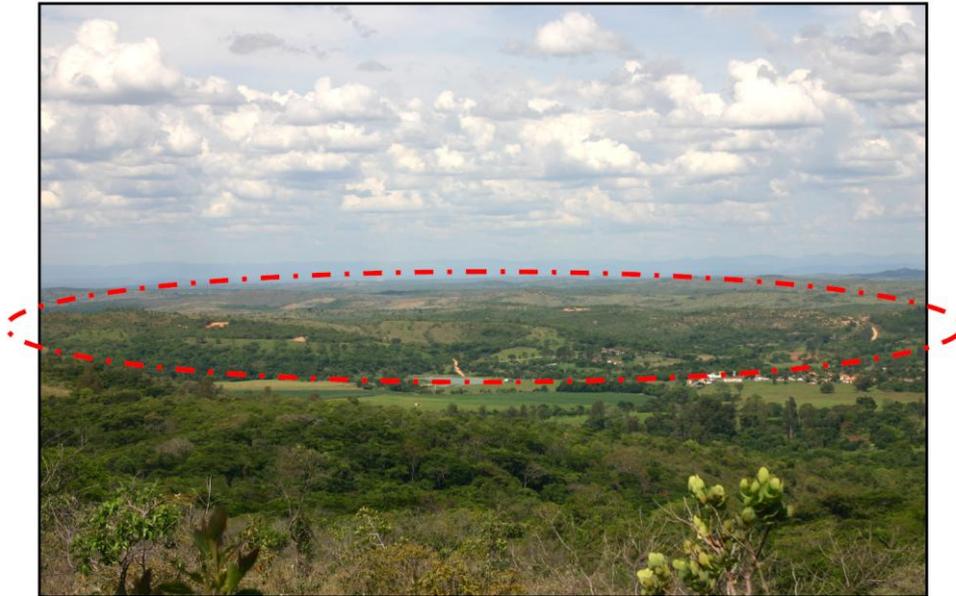
O *segundo compartimento* (Figura 10) ocorre na região leste do município caracterizada por chapadas tabuliformes com vertentes bastante erodidas pela densa drenagem fluvial. Seus topos são geralmente largos e pouco convexos com médias altimétricas menores que a região oeste. As vertentes possuem inclinações baixas; predominam classes de declividade em torno de 0 a 12%. A região apresenta a menor cota altimétrica (580m) próxima à várzea do rio das Velhas (IGA, 1983).



*Figura 8 – Vista da Serra da Onça, direção E-W, ilustrando aspectos do primeiro compartimento identificado a Oeste do município Cordisburgo (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).*



*Figura 9 – Vista da Serra do Palmital, direção E-W; ilustra aspectos do primeiro compartimento identificado no município Cordisburgo. É fácil perceber a presença das lentes de calcário cobertas por vegetação (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).*



*Figura 10 – Vista geral das formas do segundo compartimento, W-E. O detalhe assinala o início da região das chapadas tabuliformes de topos geralmente largos e pouco convexos com médias altimétricas menores que a porção oeste (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).*

O *terceiro compartimento* (Figura 11) apresenta cobertura terciária que se estende até o município de Curvelo com altitudes decrescentes em direção ao norte. A declividade também é pequena, com classes que variam de 0 a 12%. A porção mais abrupta, com 850 metros, encontra-se no extremo noroeste do município próximo à Lagoa dos Currais (IGA, 1983).



*Figura 11 – Vista geral das formas do terceiro compartimento, direção S-N, partindo de Cordisburgo à Curvelo, Minas Gerais (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).*

O carste da região encontra-se instalado em domínio de planalto, denominado por Kohler (1989) de Planalto de Cordisburgo. Sua altitude varia entre as cotas de 700 a 1.055 metros. As morfologias mais comuns são os maciços calcários alongados, as dolinas (por vezes lagoas cársticas) e os poljes. Os topos dos maciços podem atingir cotas até 950 metros e os fundos das lagoas e dolinas, cotas altimétricas de até 650 metros. Para Kohler (1989), os topos planálticos devem ser considerados o testemunho da superfície de aplainamento sul-americana, ponto de partida da elaboração da paisagem cárstica.

Com base no Mapa de Relevos Regional e com o desenvolvimento dos trabalhos na área foi possível propor uma nova compartimentação geomorfológica do Carste de Cordisburgo, em quatro compartimentos principais: 1) *Compartimento Serrano*, 2) *Planalto Cárstico*, 3) *Planalto da Onça* e 4) *Planalto de Araçaí*, conforme o Mapa de Compartimentação Geomorfológica em anexo.

A Serra da Onça e a Serra do Palmital, parte integrante do *Compartimento Serrano* apresenta-se composta por filitos da Formação Serra de Santa Helena. Desenvolvem-se em cotas altimétricas a partir dos 850 m. Em níveis hipsométricos inferiores é possível observar seixos de quartzo de 1 a 20 cm com indícios de ferruginação. Encontram-se distribuídos de forma homogênea ao longo da superfície, como indicativo da decomposição química dos filitos intercalados por veios de quartzo.

O *Planalto Cárstico* desenvolve-se predominantemente sobre os carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré, com altitudes que variam dos 850 metros até a cota de 720 metros, decrescendo em direção ao norte. Neste compartimento, predominam as formas exocársticas e endocársticas mais significativas da região como os maciços, dolinas, lagoas, humes, sumidouros, ressurgências e cavernas.

Com cotas altimétricas dos 720 aos 580 metros, é possível identificar o terceiro compartimento: *Planalto da Onça*. Neste compartimento, é possível observar terreno ondulado decrescente em direção ao nível de base do Rio das Velhas. Neste compartimento, a visão do observador é facilmente interrompida por baixas colinas alongadas onde se encaixam as drenagens do Ribeirão da Onça em direção à sua confluência com o Rio das Velhas (cota 580 m).

Ao quarto compartimento, com cotas altimétricas que variam dos 720 aos 600 metros, foi atribuído o nome de *Planalto de Araçaí* (Figura 12). Caracterizado por baixas colinas tabuliformes, a ocorrência de feições cársticas é muito limitada. Matas de galeria

circundam os cursos d'água que são drenados pelo Ribeirão do Melo, fluindo em direção ao Rio das Velhas (cota 600 m).



*Figura 12 – Vista geral das formas Planalto de Araçaí, direção SE-NW, partindo de Araçaí à Cordisburgo, Minas Gerais (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).*

### **Clima**

Por ser o ácido carbônico o agente principal de elaboração do relevo cárstico, os elementos climáticos como temperatura e precipitação exercem uma influência direta na dissolução da rocha (Kohler, 1989; Piló, 1998).

Quanto mais fria a água, maior quantidade de gás carbônico é absorvida, tornando-a mais agressiva ao carbonato. Sendo assim, o clima influencia diretamente a elaboração do relevo. No caso do relevo cárstico, destaca-se o caráter pretérito dessa influência na elaboração da paisagem. Estas, portanto, são o reflexo de um passado climático diferente do atual, embora a dissolução continue. em escala global, o IGA (1983) identifica o clima regional como sendo mesotérmico (Cwa), caracterizado por verões quentes e chuvosos e invernos secos.

Os dados pluviométricos demonstram que o clima local pode ser incluído no regime tropical com duas estações bem definidas, característica do Domínio do Cerrado. A estação chuvosa ocorre de outubro a março e a seca coincide com os meses mais frios, indo de junho a setembro. A temperatura média anual é de 22°C e a pluviosidade média anual varia entre 1250 mm a 1500mm. As condições climáticas são monitoradas por uma estação convencional em Sete Lagoas e outra automática em Curvelo. Os dados podem ser mais bem visualizados através das figuras 13 e 14.

Em relação à precipitação média anual observou-se que o período de Outubro a Março apresentou os maiores valores de precipitação. Sendo assim, considerou-se este o período chuvoso. No período seco, os meses de menor precipitação vão de Abril a Setembro.

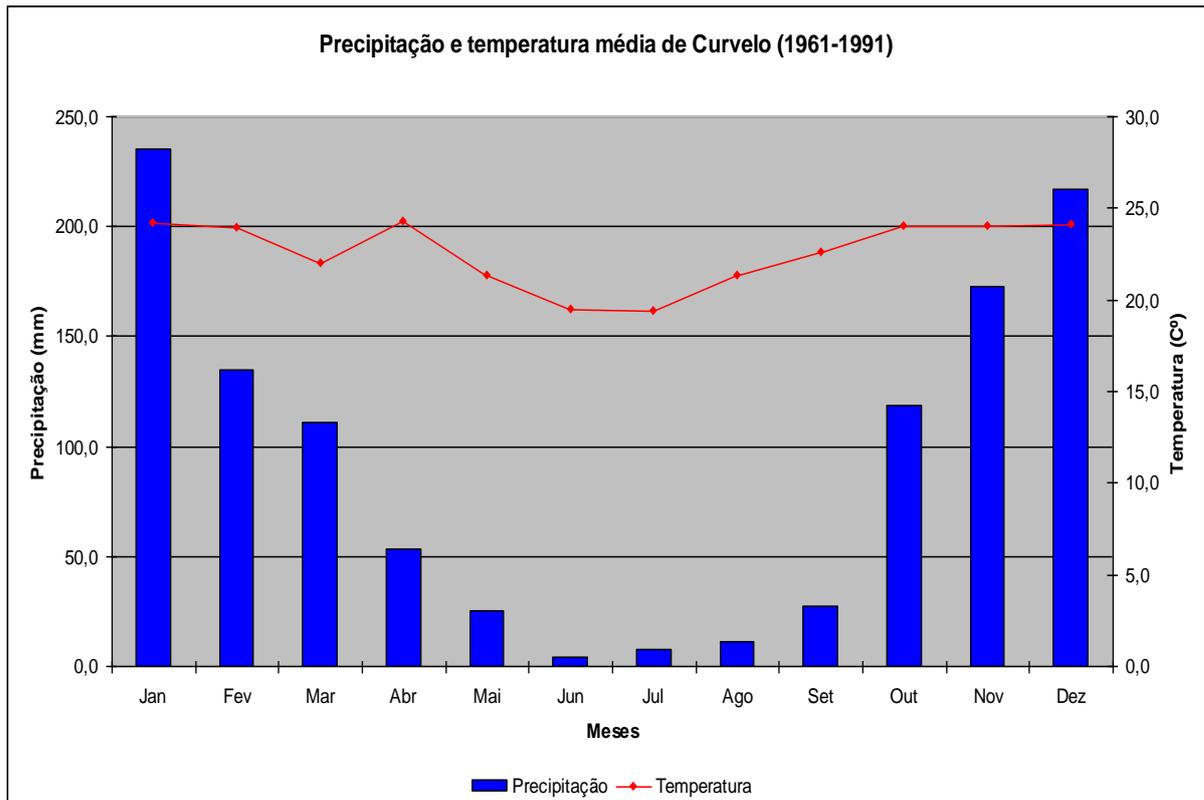


Figura 13 – Gráfico de precipitação e temperatura média registradas em Curvelo (1961-1991).  
 FONTE: INMET; MG Tempo/CEMIG/PUC Minas.

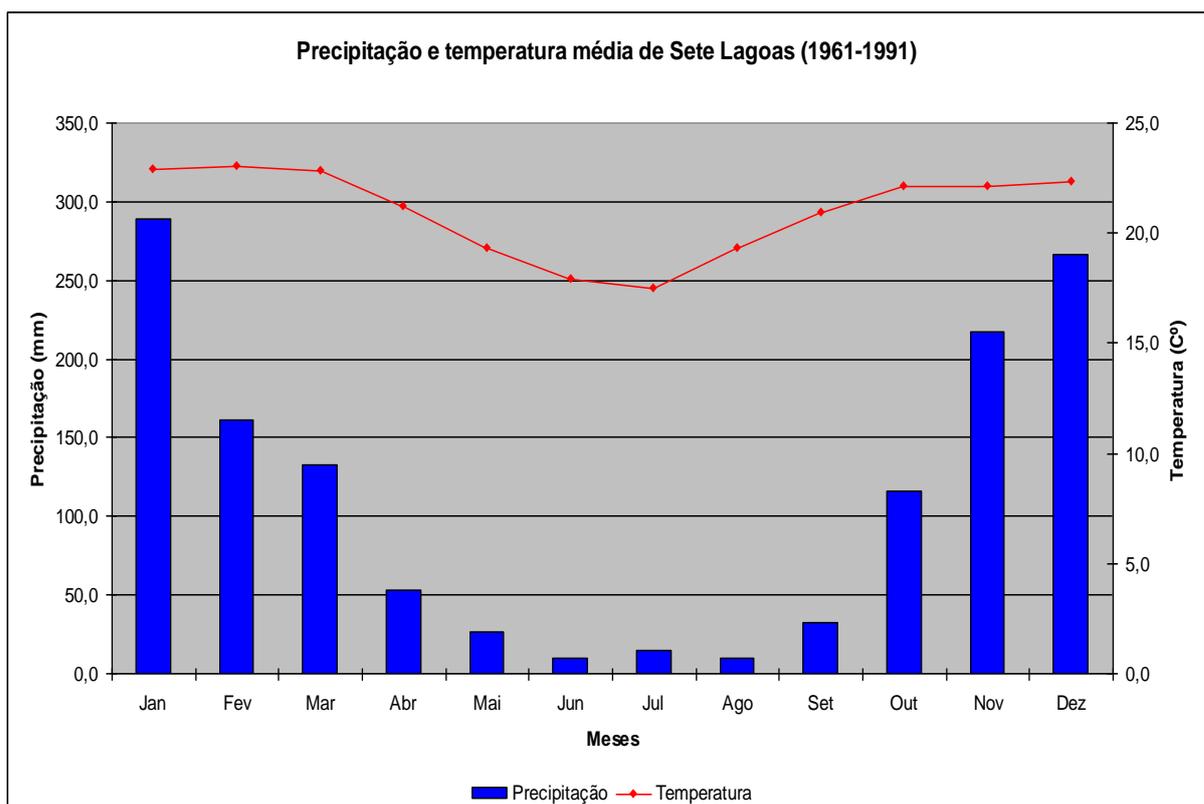


Figura 14 – Gráfico de precipitação e temperatura média registradas em Sete Lagoas (1961-1991).  
 FONTE: INMET; MG Tempo/CEMIG/PUC Minas.

O balanço hídrico da região pode ser avaliado pela diferença entre os dados de precipitação média anual e evaporação média anual (Figuras 15 e 16), sem a utilização dos valores de evapotranspiração. Deste modo, a área em questão mostra um déficit hídrico entre os meses de Abril a Setembro, compensado pelo excedente de água nos meses de Outubro a Março, o que possibilita a recarga dos aquíferos.

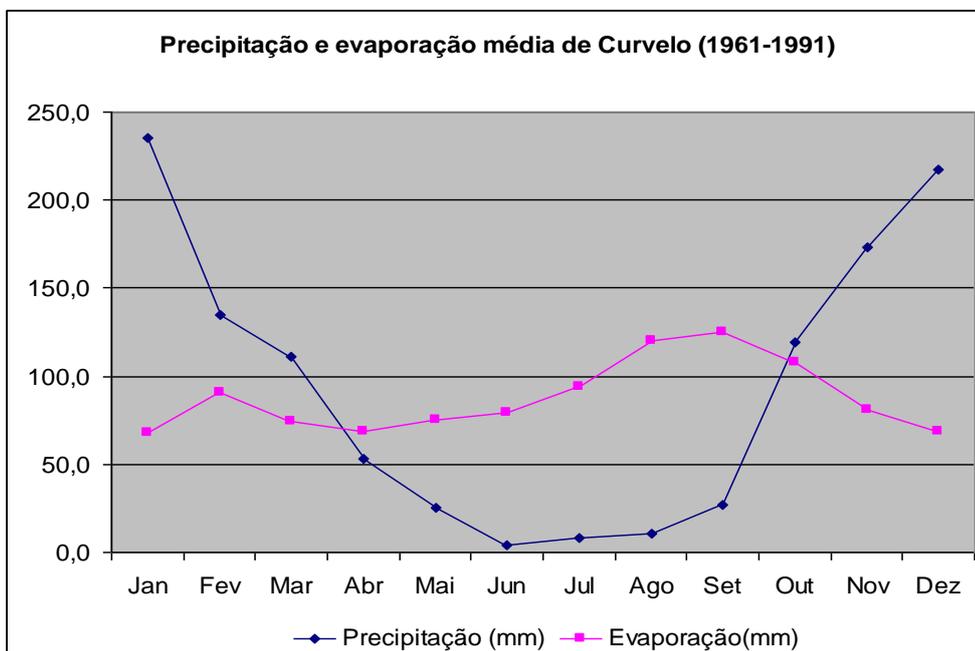


Figura 15 – Gráfico dos valores de precipitação e evaporação média em Curvelo (1961-1991). FONTE: INMET; MG Tempo/CEMIG/PUC Minas

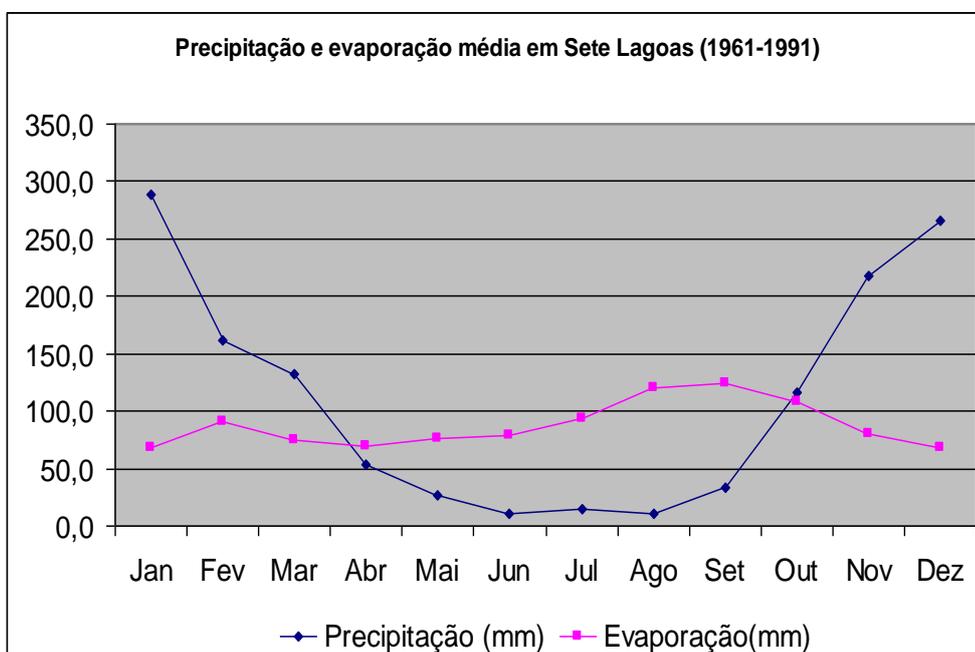


Figura 16 – Gráfico dos valores de precipitação e evaporação média em Sete Lagoas (1961-1991). FONTE: INMET; MG Tempo/CEMIG/PUC Minas.

## ***Hidrografia***

A bacia mais importante é a do Ribeirão da Onça que tem suas nascentes na Serra da Onça, divisor de águas a oeste que separa a drenagem do Rio Paraopeba e do Rio das Velhas. A maior parte da drenagem é recebida por esse ribeirão, constituindo-se importante fonte de recarga autóctone ou autogênica do aquífero.

Sob a ótica regional, o carste de Cordisburgo encontra-se inserido na Bacia do Ribeirão da Onça (nascente a 880m), Sub-Bacia do Rio das Velhas (cota de 580m), sendo o nível de base da área de estudos e limite leste do município. Seus principais tributários são o Ribeirão da Onça e o Ribeirão do Melo, importantes micro-bacias na área de estudo. A hidrologia da região compreende um aquífero carbonático limitado pelo embasamento cristalino impermeável.

Conforme o Mapa da Hidrografia Regional e da Localização do Carste de Cordisburgo, MG (em anexo), a região apresenta rede de drenagem desenvolvida, com cursos d'água intermitentes (Figura 17 a-b) e perenes.



*Figura 17 a-b – Trechos do Ribeirão da Onça em Maio de 2007. Caráter intermitente dos cursos d'água que são capturados para um fluxo subterrâneo são as características do carste. Em b, é possível identificar blocos calcários no leito deste trecho (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).*



*Figura 18 – Ressurgência identificada na Fazenda Campo Limpo (Foto: L.E.P.Travassos, 2007).*

Capturados para um sistema subterrâneo, deixam de fluir sobre a superfície em determinada época do ano. Dessa forma, as sub-bacias do Ribeirão da Onça são de pequeno porte e caracterizadas por apresentarem drenagem superficial e criptorréica, em função do sistema de fluxo subterrâneo do aquífero cárstico regional. Ressurgências e sumidouros podem ser identificados (Figura 18), especialmente concentrados nas lagoas ao norte da região de estudos.

Através da análise de imagens de satélite e controle de campo é possível comprovar que a água subterrânea segue os sistemas de acamamento do calcário, contribuindo principalmente para a gênese das lagoas ao norte do município. Tendo como base as altitudes dos sumidouros e ressurgências, a rede hidrográfica, os mapas das cavernas e a comprovação dos fluxos no

interior das cavernas (*scallops*), é possível inferir as direções prováveis dos fluxos subterrâneos. Entretanto, tais ligações só podem ser efetivamente comprovadas através da aplicação de métodos hidrológicos com a utilização de traçadores.

O sistema de lagoas da região é considerado parte integrante da morfologia cárstica. Apresentam-se nas grandes dolinas e uvalas ao norte do município. São a Lagoa da Pedra em Cordisburgo e em Curvelo, a Lagoa Grande, a Lagoa do Cupim, a Lagoa do Defunto, a Lagoa do Jacaré, a Lagoa do Castanho Gordo e a Lagoa do Curral. Possuem índices altimétricos que vão dos 600 aos 690 metros.

De acordo com o Mapa de Hidrografia e de Localização das Cavernas de Cordisburgo, é possível identificar padrões dendríticos diversos. Destaca-se o lineamento estrutural ao longo do curso do Ribeirão da Onça, de direção SW-NE.

## ***Vegetação***

Historicamente a atividade agropecuária vem destruindo a vegetação original regional, desconfigurando o caráter do Domínio Fitogeográfico Brasileiro dos Cerrados. Tais unidades apresentam-se relativamente homogêneas do ponto de vista fisiográfico e ecológico, através da combinação de fatores físicos, ecológicos e bióticos (Ab'Saber, 2003).

Ainda segundo Ab'Saber (2003), em escala nacional, os Cerrados (Figura 19), que ocuparam uma área de cerca de 18 milhões de Km<sup>2</sup>, atualmente ocorrem em área mais reduzida devido a ocupação agrícola. Quanto às idades, Troppmair (2006) afirma que as matas de galeria e, especialmente as veredas, são de idade recente remontando ao Holoceno.



*Figura 19 – Aspectos da vegetação do cerrado na região de Cordisburgo (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*

Em escala local, na área de estudos, a vegetação original do cerrado apresenta-se ora densa, ora esparsa. Grande parte da vegetação deu lugar à agropecuária e à silvicultura de eucalipto além do limite norte do município, já em Curvelo. Nos arredores e nos afloramentos, observa-se a floresta estacional semidecídua (Figuras 20 e 21) condicionada pelo tipo de rocha e clima. Ao longo das drenagens principais é possível a identificação de matas ciliares e de galeria, mesmo com a captura de alguns cursos d'água para o endocarste.



*Figura 20 – Aspectos da vegetação dos afloramentos de calcário da região em Março de 2007. Durante o período chuvoso, os maciços calcários são escondidos pela vegetação (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*



*Figura 21 – Aspectos da vegetação dos afloramentos de calcário da região em Agosto de 2007, período da seca. A floresta estacional semi-decídua está condicionada pelo regime pluviométrico, perdendo parcialmente suas folhas no período de seca (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*

## ***Uso e Ocupação da terra***

A agropecuária em Minas Gerais é uma atividade tradicional iniciada na primeira metade do século XVIII com o processo de desbravamento dos sertões do país. Barbosa (1978), citado por Kohler (1989), afirma que a natureza específica do carste favoreceu boa ocupação do solo e muitos são os lugarejos e fazendas localizadas próximas a dolinas cuja principal atividade foi a atividade agrícola. Entretanto, tais locais entraram em decadência quando a Estrada de Ferro Central do Brasil atingiu Sete Lagoas, então considerada a “boca do sertão”. Quando ocorreu a instalação das grandes indústrias de aproveitamento do calcário, a partir da década de 50, tal decadência foi acentuada.

Assim, as peculiaridades do carste sempre influenciaram o uso da terra pelo mundo, principalmente o uso agrícola devido às suas formas positivas e negativas. No carste tropical brasileiro é comum a ocorrência de solos de baixa fertilidade devido ao alto grau de lixiviação do calcário. Entretanto, no fundo das dolinas, onde os sedimentos são acumulados, é possível encontrar solos com certo grau de fertilidade.

Para o IGA (1983), a atividade rural na região é tradicionalmente relacionada à pecuária de corte onde o “*sertão das gerais*” marcava a especialização de uma pecuária extensiva em meio aos campos cerrados do município. Atualmente, com o processo evolutivo desencadeado na década de 50, a vocação pecuarista desenvolve-se em direção à exploração leiteira e de corte ao lado da criação de raças nobres de bovinos, equinos e granjas.

Além da pecuária, também ocorre o cultivo agrícola e a atividade florestal de plantio do eucalipto para extração produção de carvão vegetal. Para Gillieson (1996), independentemente da espécie, as raízes podem penetrar profundidades de 30 a 50 metros na procura por água, especialmente em climas úmidos sazonais. Sendo assim, nas grandes plantações de eucalipto, o regime hídrico pode ser drasticamente alterado.

Segundo Carvalho (2005), do ponto de vista pedológico, a Formação Serra de Santa Helena fornece solos litólicos, micromicáceos pobres em propriedades de interesse agrônomo, principalmente nas porções onde a erosão laminar atuou intensamente. Na região de Cordisburgo, o uso agropecuário ocorre nas superfícies onduladas geralmente para pecuária. Os solos rasos sobre o calcário são utilizados para agricultura, desde que eficientemente calados para sua correção.

Quanto à produção mineral a região de Cordisburgo não se destaca no cenário Nacional como as regiões de Lagoa Santa e Sete Lagoas.

Outra vocação do município é a exploração do turismo rural e de aventura. Tais atividades impõem profundas modificações na paisagem, especialmente por exercerem uma significativa pressão no ambiente podendo causar erosão acelerada do solo, exploração e contaminação da água subterrânea. Gillieson (1996) afirma que em muitas regiões cársticas exploradas para o turismo, sistemas de esgoto ou fossas sépticas transbordam e percolam por fissuras ou condutos do endocarste.

Cordisburgo pode ser considerada uma região emblemática nas regiões cársticas mineiras com considerável valor científico, recreacional e cultural a exemplo das pesquisas de Lund, da Gruta do Maquiné e as obras de Guimarães Rosa. Devido à sua fragilidade inerente e presente distúrbio antrópico, a paisagem cárstica necessita de crescentes cuidados quanto a sua proteção. Áreas de proteção ambiental precisam ser estabelecidas e parcerias público-privadas devem surgir como importantes estratégias de conservação e uso sustentável.

Hamilton-Smith (2006) afirma que para o desenvolvimento do turismo deve-se permitir acesso ao meio ambiente, porém com paralela proteção. Lima e Morais (2006) realizaram um estudo para contribuir no desenvolvimento do plano de manejo para a Gruta do Maquiné, a fim de minimizar os impactos advindos da visitação turística e nortear a implementação de atividade turística sustentável.

O ambiente cavernícola é facilmente influenciado por fatores naturais e antrópicos. Geralmente, os impactos naturais não podem ser evitados, mas resultam da evolução normal do sistema. Os impactos antrópicos, no entanto, devem ser mantidos a níveis aceitáveis, levando-se em conta os fatores sociais e econômicos.

Principalmente em relação a visitação do endocarste, Villar, Fernandez e Gutierrez (1986) afirmam que uma única pessoa é capaz de emitir calor equivalente a uma única lâmpada incandescente a taxas de 82 a 116 watts, causando significativos impactos no microclima cavernícola. Gillieson (1996) ainda afirma que o aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> emitidos pelos visitantes pode afetar o equilíbrio químico dos espeleotemas. Dessa forma, um estudo de monitoramento desses impactos deve conter, no mínimo, os parâmetros de temperatura do ar (°C), temperatura da água (se aplicável), umidade relativa (%) e concentração de CO<sub>2</sub> (ppm).

Tais parâmetros devem ser estudados em relação a outras variáveis que atribuam significados a eles. Dessa forma, deve-se buscar os efeitos que as variações de temperatura do ar e concentração de CO<sub>2</sub>, por exemplo, causam no ambiente cavernícola ou à fauna associada.

Com semelhante abordagem, Azevedo e Kohler (2003) afirmam que, principalmente em regiões cársticas, o turismo utiliza a paisagem na concepção geográfica do espaço, seja ele o ambiente ou o meio formado pelas variáveis bióticas e abióticas da geosfera. Essa utilização surge da necessidade do homem moderno em buscar espaços fora dos centros urbanos para seu lazer e recreação. Ao se utilizar o espaço, o homem se torna consumidor das paisagens, e causa impactos na maioria das vezes negativos.

No caso das cavernas adaptadas ao turismo, uma série de modificações como instalação de passarelas, telas e iluminação (Figura 22) causam impacto negativo no meio. Passarelas danificam a rocha, mas orientam e disciplinam o fluxo de turistas



*Figura 22 – Salão da Lapa Nova do Maquiné, em Cordisburgo. Os impactos antrópicos neste caso referem-se à iluminação artificial que favorece o crescimento de organismos externos ao ambiente cavernícola e causa danos àqueles especializados a esse tipo de ambiente (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*

impedindo o pisoteamento de espeleotemas. As telas colocadas nos portões e outras aberturas na caverna impedem a entrada de morcegos ou aves, limitando os depósitos de guano em seu interior e, conseqüentemente, a fauna a eles associada. Em relação à iluminação artificial, o maior impacto faz-se presente por favorecer o crescimento de algas e fungos que, além de serem esteticamente negativos, podem corroer os espeleotemas.

Entretanto, mesmo com tais problemas, acredita-se que seja necessária a orientação do turismo especialmente em cavernas de alto valor cultural, histórico e paisagístico para controle de visitação e sua conseqüente conservação.





# Capítulo 3

## Caracterização do carste da região de Cordisburgo





### 3. CARACTERIZAÇÃO DO CARSTE DA REGIÃO DE CORDISBURGO

*“Que Cordisburgo era o lugar mais formoso, devido ao ar e ao céu, e pelo arranjo que Deus caprichara em seus morros e suas vargens; por isso mesmo, lá, de primeiro se chamara Vista-Alegre. E, mais que tudo, a Gruta de Maquiné – tão inesperada de grande, com seus sete salões encobertos, diversos, seus enfeites de tantas cores e tantos formatos de sonho, rebrilhando risos na luz...”*

*João Guimarães Rosa*

Como assinalado anteriormente, o carste da região de Cordisburgo foi palco de importantes descobertas científicas, especialmente aquelas relacionadas à paleontologia e à espeleologia. Sua descrição, portanto, faz-se necessária a fim de fornecer informações que ajudem na elaboração de planos de manejo ambiental regionais, ou aqueles mais pontuais relacionados ao aproveitamento turístico das cavernas. Recentemente, Lima e Morais (2006) realizaram um estudo na Gruta do Maquiné que apontou para a importância dos estudos do microclima de cavernas turísticas.

Para Fonseca e Kohler (2003) as paisagens cársticas devem ser consideradas como um importante indicador ambiental capaz de retratar, em suas macro e micro feições, as mudanças ambientais ocorridas durante sua evolução. Sendo assim, além de ter seu comportamento alterado pelas variáveis ambientais que nortearam e ainda norteiam sua evolução, o carste também responde rapidamente às alterações impostas pelo homem, geralmente relacionadas às perturbações de natureza hídrica inundando áreas e secando outras.

Em regiões cársticas, são comuns modificações antrópicas no nível de base dos aquíferos para o abastecimento ou irrigação, acarretando abatimentos e escassez água. Em outros casos, pontos de recarga podem ser bloqueados pelo assoreamento e causar inundações. Modificações antrópicas podem também favorecer o vazamento de esgotos sanitários e industriais, poluindo significativamente a água subterrânea.

Na porção leste de Cordisburgo, próximo ao povoado de Lagoa Bonita, foi registrado através de entrevistas com os moradores que a Lagoa Grande teve seu regime sazonal alterado pelo menos desde os últimos 9 anos atrás. Na imagem LANDSAT 7 (órbita-ponto 218-73) de 1998 foi possível constatar a presença de água àquela época. Já a figura 23 comprova os indícios da mudança no regime hídrico.

Entretanto, Kohler (1989) identificou comportamento similar na Lagoa do Sumidouro, Lagoa Santa, comprovando uma sazonalidade de cerca de 12 anos. Sendo

assim, não é possível afirmar que o comportamento hídrico da Lagoa Grande tenha sido alterado somente pela pressão antrópica sem que se faça um estudo hidrológico na área.

Para minimizar tais efeitos é preciso que se busque o conhecimento prévio e profundo das condicionantes associadas à evolução e dinâmica do carste, bem como a adoção de políticas públicas que auxiliem na gestão do espaço. Sobre a poluição em áreas cársticas, Davis, Long e Wireman (2002) propõem uma metodologia de estudos que levem em conta as seguintes variáveis: 1) o desenvolvimento de feições cársticas e fraturas; 2) o meio aquífero; 3) a recarga; 4) o meio pedológico; 5) a topografia e 6) a condutividade hidráulica.



*Figura 23 – Aspecto geral da Lagoa Grande, próxima ao povoado de Lagoa Bonita. A foto foi tirada em outubro, durante o período chuvoso. É possível identificar os níveis hídricos pela diferença de vegetação (Foto: L.E.P. Travassos, 2007)*

### ***O Exocarste***

Para Kohler (1989) e Kufmann (2002) a evolução da paisagem cárstica é basicamente orientada pelo balanço entre as forças endógenas e exógenas atuantes em determinada região. Sendo assim, processos tectônicos organizam o arcabouço geológico que será responsável pela abertura de fraturas e diáclases através das quais a água do carste penetra com maior ou menor agressividade em função das condições físicas e climáticas locais.

Na superfície exocárstica de Cordisburgo, rios perenes e intermitentes elaboram feições similares as de regiões não cársticas. Para McDonald (2002) é normal a existência de terraços, várzeas e meandros, por exemplo. Entretanto, vales cegos ou semicegos e drenagem parcialmente ou totalmente capturada para sistemas subterrâneos o diferem dos sistemas não cársticos.

O exocarste da região de Cordisburgo é caracterizado pela presença de grandes maciços calcários alongados em direção SE-NW (Figura 24). Tais maciços apresentam planos de acamamento predominantemente horizontalizados, onde se desenvolvem as cavernas e outras formas de dissolução. Os paredões existentes apresentam cerca de 30m de altura, na forma de afloramentos.

A presença de microformas de dissolução (*karren*) foi detectada nos paredões próximos às cavernas já conhecidas (Figura 25 a-b). Em muitos dos afloramentos, especialmente na Gruta de Santo Amaro II, foram identificados indícios característicos de um fluxo subterrâneo turbulento ("*scallops*"). Paredões inteiros são sulcados por essas marcas, atestando a direção do significativo passado hidrológico (Figuras 26 e 27).

O carste da região de Cordisburgo apresenta material de cobertura superficial de natureza e espessura variáveis. Tal fato favorece a formação de dolinas de dissolução e de abatimento de pequeno porte, embora em alguns casos apresentem-se mais expressivamente.



Figura 24 – Ao fundo, afloramento calcário próximo ao trevo de Araçaí, ao sul do município de Cordisburgo. É possível observar a mata semidecídua e verrugas (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).



Figura 25 a-b- Lapiás alveolares indicativos de dissolução sob o solo. Exemplos encontrados nos maciços a Leste e a Oeste, respectivamente (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).

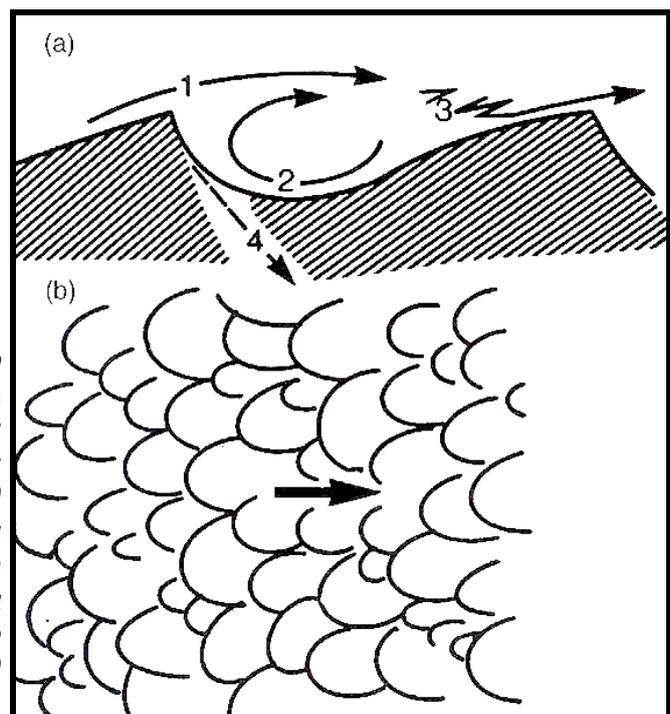


Figura 26 – Scallops. A) Seção longitudinal de um scallop: 1, limite de saturação da água ou nível de água. 2, turbilhonamento; 3, dispersão, mistura e reinício. B) Aparência característica de uma superfície com scallops bem desenvolvidos. A seta indica a direção de fluxo hídrico (Adaptado de Ford & Wiliams, 2007, p.258)

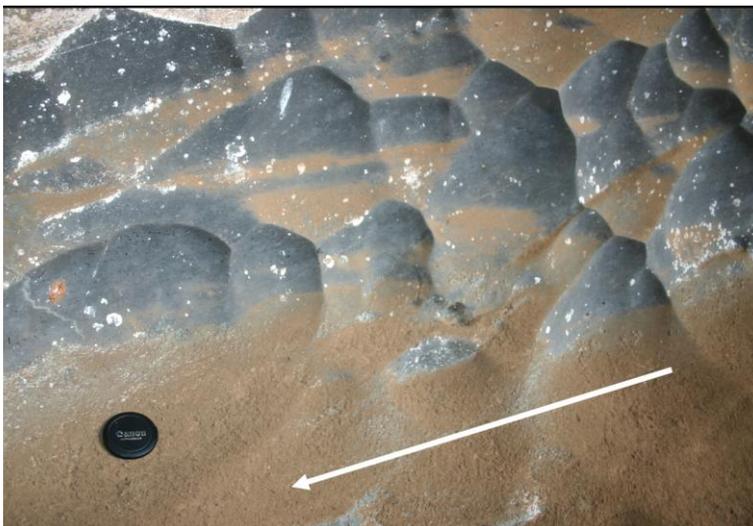


Figura 27 – Scallops na Gruta do Santo Amaro II, Cordisburgo. A tampa da lente representa uma escala de 6cm e a seta indica a direção do fluxo hídrico. (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).

Através da classificação proposta por Jennings (1985), tais feições negativas puderam ser identificadas na região sem, no entanto, constituírem-se como as formas predominantes da área. Algumas das dolinas assinaladas no mapa de fenômenos cársticos foram identificadas próximas a afloramentos com cavernas, geralmente apresentando-se como pontos de recarga do aquífero ou associadas ao lineamento estrutural. No entanto, a leste do município, em direção a Araçaí, duas dolinas de dissolução expressivas foram identificadas em área de carste encoberto (Figura 28 e 29).



*Figura 28 – Dolina de dissolução próxima ao município de Araçaí. O caráter sazonal do carste pode ser observado nesta foto e na imagem a seguir (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*



*Figura 29 – Alinhamento de dolinas próximo à Araçaí. Ao fundo da foto encontra-se mata ciliar do Córrego Barreirinha. No campo e nas imagens de satélite é possível inferir que a direção o fluxo subterrâneo é o córrego (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*

Alinhamentos de dolinas (Figura 30) são identificáveis a oeste em um pequeno *polje*, bem como nas lagoas cársticas ao norte do município. A dolina da Lapa da Lagoa da Pedra (Figura 31) possui provável ligação subterrânea com o córrego Mombuco de Cima, em Curvelo, e a uma dolina alongada à nordeste (Figura 32).



*Figura 30 – Alinhamento de dolinas de abatimento próximas à Gruta da Onça. No detalhe, à esquerda, observa-se a entrada da Gruta e, a direita, uma dolina não mostrada na foto maior devido à rugosidade do terreno (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*



*Figura 31 – Dolina em frente à Lapa da Lagoa da Pedra. No detalhe, a entrada da Lapa encoberta pela vegetação (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).*

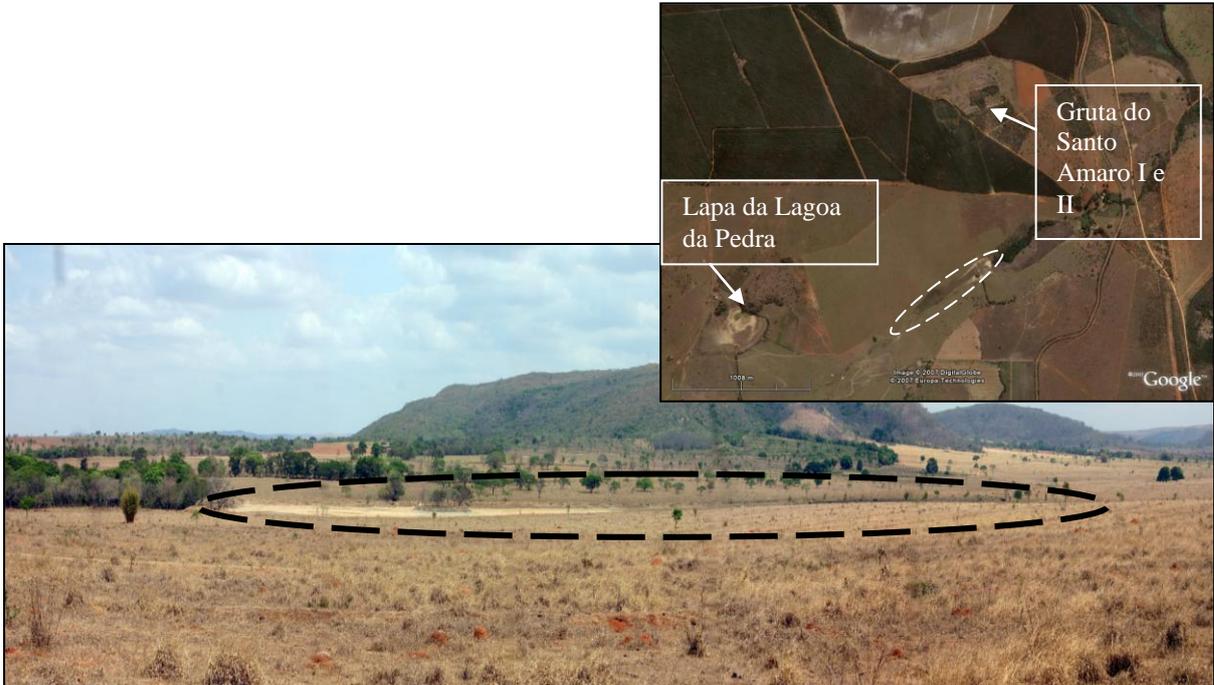


Figura 32 – Dolina assimétrica próxima à Lapa da Lagoa da Pedra. No detalhe, a imagem do GoogleEarth correspondente (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).

As lagoas assinaladas no mapa exploratório dos fenômenos cársticos localizam-se ao norte do município. Correspondem às depressões fechadas mais complexas e que apresentam mais de um ponto baixo em sua base: as uvalas. Entretanto, outras podem ser consideradas dolinas de dissolução simétricas e alongadas. As lagoas apresentam *ponors* ou *swallow-holes* em sua base, responsáveis pela recarga ou descarga do aquífero (Figura 33).

Também ao norte do município foi possível a identificação de um hume encoberto, especificamente na Lagoa do Defunto. Apesar de pouco utilizado, o termo *hume* indica uma forma de relevo residual em uma dolina, uvala ou um *polje*.

É comum afirmar que os calcários com mais de 20 a 30% de argila e silte formam “pouco carste” ou menos feições cársticas. Sendo assim, teores superiores a 70% de carbonatos favorecem a formação de um carste desenvolvido aliados, obviamente, ao clima. Além disso, muito da erosão diferencial dos calcários ocorre devido a variações de sua natureza, escala e distribuição das fraturas no interior do pacote rochoso (Ford & Williams, 2007.).

Sendo assim, é possível inferir que a composição do calcário da região de Cordisburgo interfere na distribuição e variedade dos fenômenos cársticos. Além disso, para Király (2002), o grau de carstificação de uma região ainda é dependente da direção e magnitude do fluxo subterrâneo.



Figura 33 – Dolina de dissolução na porção noroeste da Lagoa. No detalhe, um dos sumidouros/ressurgências da Lagoa. Os mourões de mais ou menos 1,5 m atestam a sua localização e o risco de queda de animais quando da cheia (Foto: L.E.P. Travassos, 2007).

### **O Endocarste**

A porção conhecida do endocarste de Cordisburgo é composta por 16 cavernas ou, como em termos legais, *cavidades naturais subterrâneas*. Tal definição, no entanto, não reflete necessariamente a realidade quando as definem como “*todo e qualquer espaço subterrâneo penetrável pelo homem com ou sem abertura identificada, popularmente conhecida como caverna*” (Decreto nº 99.556 de 1º de Outubro de 1990).

Embora tal definição tenha mérito quando se leva em conta o fato de que as investigações científicas ocorrem nessas cavernas, tal visão antropocêntrica pode levar a erros conceituais significativos, principalmente quanto à sua gênese; deve, portanto, ser vista com cautela.

Em Cordisburgo, as descobertas espeleológicas foram feitas inicialmente por Peter W. Lund no século XIX, e pelos grupos SEE (Sociedade Excursionista Espeleológica), NAE (Núcleo de Atividades Espeleológicas) e GBPE (Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas) nos anos 70, 80 e 90. As descobertas formais interromperam-

se, embora a região apresente potencial para o cadastramento de pequenas outras cavernas. Um exemplo disso foi a identificação, durante o estudo, de uma pequena caverna com indícios de elementos utilizados em práticas da Umbanda, especificamente imagens de São Cosme e Damião e de uma pomba de gesso alusiva ao Espírito Santo, junto à garrafas de bebidas alcoólicas.

Lund (1837) acreditava que as cavernas foram formadas quando o calcário ainda estava encoberto por um mar ou lago e que as cavernas poderiam ter sido geradas pela ação das ondas. Em um trabalho posterior (1844), Lund apresentou uma nova hipótese para a espeleogênese. Nesse modelo afirmava que as cavernas haviam sido formadas através da percolação da água pela cobertura filítica através das fissuras até o calcário, seguido pela deposição destes sedimentos nas cavernas.

Na geomorfologia cárstica, o termo *caverna* é utilizado para designar os espaços existentes dentro da rocha calcária na zona vadosa (porção situada acima do nível de base parcialmente preenchida por água, exceto quando temporariamente alagada) desde os primeiros momentos da espeleogênese. Para Palmer (1991; 2002) e Ford e Williams (2007), uma caverna cárstica deve ser definida como abertura originada pela dissolução da água e com diâmetro suficiente para a produção de energia cinética para a fase de escoamento da água. Tal fase consiste na formação de vazios de 5 a 15 mm que permitem a mudança do fluxo de lento para turbulento e, conseqüentemente, o favorecimento da dissolução.

Assim como em Lagoa Santa, a profundidade potencial das cavernas da região é altamente limitada pela espessura do calcário e do nível de base hídrico. Cavernas com mais de 100m de desnível dificilmente serão descobertas (Auler, 1994) visto que os desníveis conhecidos na região variam de 5 a 68m, somente. Tal fato se deve ao pequeno desnível do planalto cárstico em relação ao Rio das Velhas, drenagem principal da região.

A importância de se estudar o endocarste para a carstologia ou a espeleologia reside no fato de que tais locais apresentam informações da própria paisagem exocárstica além de serem depositários das ossadas do homem pré-histórico e da megafauna extinta. Além disso, a fauna atual apresenta-se altamente especializada, peculiar e vulnerável.

Para Kohler (2007), sucessões de assoalhos estalagmíticos refletem, entre outros fatores, as mudanças climáticas ocorridas. Além disso, Ford e Williams (2007) afirmam

que as cavernas podem fornecer dados gerais sobre o comportamento do aquífero. Assim, observações diretas no campo podem ser realizadas nestes locais, mesmo que se apresentem como uma pequena parcela penetrável do carste. No entanto, determinar a estrutura e o comportamento dos aquíferos cársticos representa severos problemas práticos devido à sua heterogeneidade e escassez de informações.

Para realizar uma análise correta do aquífero, Ford e Williams (2007) argumentam ser necessária a determinação de itens tais como: 1) extensão horizontal e vertical do sistema; 2) condições de borda ou limites (com outras litologias não carbonáticas); 3) locais e volume de recarga/descarga; 4) estrutura interna de conexões e armazenamento; 5) a capacidade e as características físicas dos reservatórios; 6) a importância relativa dos fluxos preferenciais e 7) a resposta do sistema em função das diferentes condições de fluxo. Todos os itens devem ser comprovados pela estimativa de balanço hídrico, análise de poços tubulares, análise hidrográfica das áreas de recarga, uso de traçadores e modelagem dos aquíferos.

Além disso, a parcela conhecida do endocarste é frequentemente aproveitada turisticamente em diversas partes do mundo, comprovando-se também, significativos impactos ambientais negativos. Entretanto, não se pode negar que em muitos países a receita financeira total é altamente incrementada pelo turismo em cavernas; por isso sua exploração faz-se ainda mais necessária.

Nos países desenvolvidos o problema da preservação das cavernas e da geração de renda é solucionado através de controles específicos que podem acarretar, inclusive, fechamento das cavernas ou de salões e condutos específicos. Em casos especiais de extremo valor cultural, podem ocorrer construções de réplicas artificiais para serem visitadas como a Caverna de Lascaux (França), por exemplo. No Brasil, tais mecanismos de controle ainda encontram-se em desenvolvimento e as cavernas têm se destacado no setor do “turismo de aventuras” como importantes monumentos do geoturismo.

Azevedo e Kohler (2003, p. 207) afirmam que *“qualquer empreendimento turístico em áreas cársticas deve ser projetado para evitar o lançamento de substâncias tóxicas na água subterrânea, além de serem monitoradas para prevenção e controle da poluição”*. Variáveis geológicas, hidrológicas, biológicas, geográficas, arqueológicas e culturais devem ser levadas em conta separadamente em relação à caverna e ao contexto regional na qual está inserida (Azevedo & Kohler, 2003). Dessa forma, após a avaliação individual de cada caverna, categorias de uso são propostas. Para Worboy, Davey e Stiff (1982), as

cavernas podem ser classificadas em categorias de uso dependendo de seu valor e importância científica. Assim, podem ser consideradas cavernas fechadas à visitação, cavernas de referência científica, cavernas de acesso limitado, cavernas de acesso espeleológico, cavernas de aventura e cavernas de acesso público.

Somando-se a esse comportamento, a exploração turística deve sempre buscar soluções ambientalmente corretas que permitam o uso das cavernas. A introdução de programas de educação ambiental é importante tanto na conservação de cavernas, como para evitar sua associação às ideias relativas à lendas ou mitos negativos.

Em 2005, o Decreto Estadual nº 44120 de 29 de setembro de 2005, criou o Monumento Natural Estadual Peter Lund. Tal Unidade de Conservação (UC) objetiva proteger e conservar o sítio histórico-científico Gruta de Maquiné, sua flora e sua fauna. Em seu Art. 3º, fica declarada como área de preservação permanente para proteger os ecossistemas locais, especialmente a vegetação, a área do entorno do Monumento Natural Estadual Peter Lund, zona de amortecimento a ser definida pelo Instituto Estadual de Florestas - IEF, quando da elaboração do plano de manejo desta unidade de conservação do grupo de proteção integral.

### ***O Mapa Exploratório de Fenômenos Cársticos***

Para a elaboração do mapa de fenômenos cársticos (Figura 34) foi utilizado um mosaico georreferenciado de imagens em escala 1:25.000 do GoogleEarth. Sobre a imagem, as feições cársticas mais significativas foram identificadas e digitalizadas com base nas informações levantadas em trabalhos de laboratório e campo.

No mapa de fenômenos cársticos, as litologias acima do embasamento granito-gnaiss são assinaladas em cinza no fundo do mapa. O contorno das feições cársticas é assinalado no mapa em vermelho. Fluxos hídricos superficiais, perenes e temporários são assinalados em azul, tanto para rios, como para lagoas. Estruturas antrópicas como açudes e cacimbas também foram assinalados em azul.

Em relação aos fluxos subterrâneos conhecidos ou prováveis, estes são marcados em verde. Sumidouros e ressurgências foram representados em vermelho e, devido à escala, apresentam-se como pontos no mapa. Os lineamentos estruturais inferidos são assinalados em preto, e correspondem às direções SW-NE e SE-NW, correspondentes a estrutura da Superfície Sul Americana.

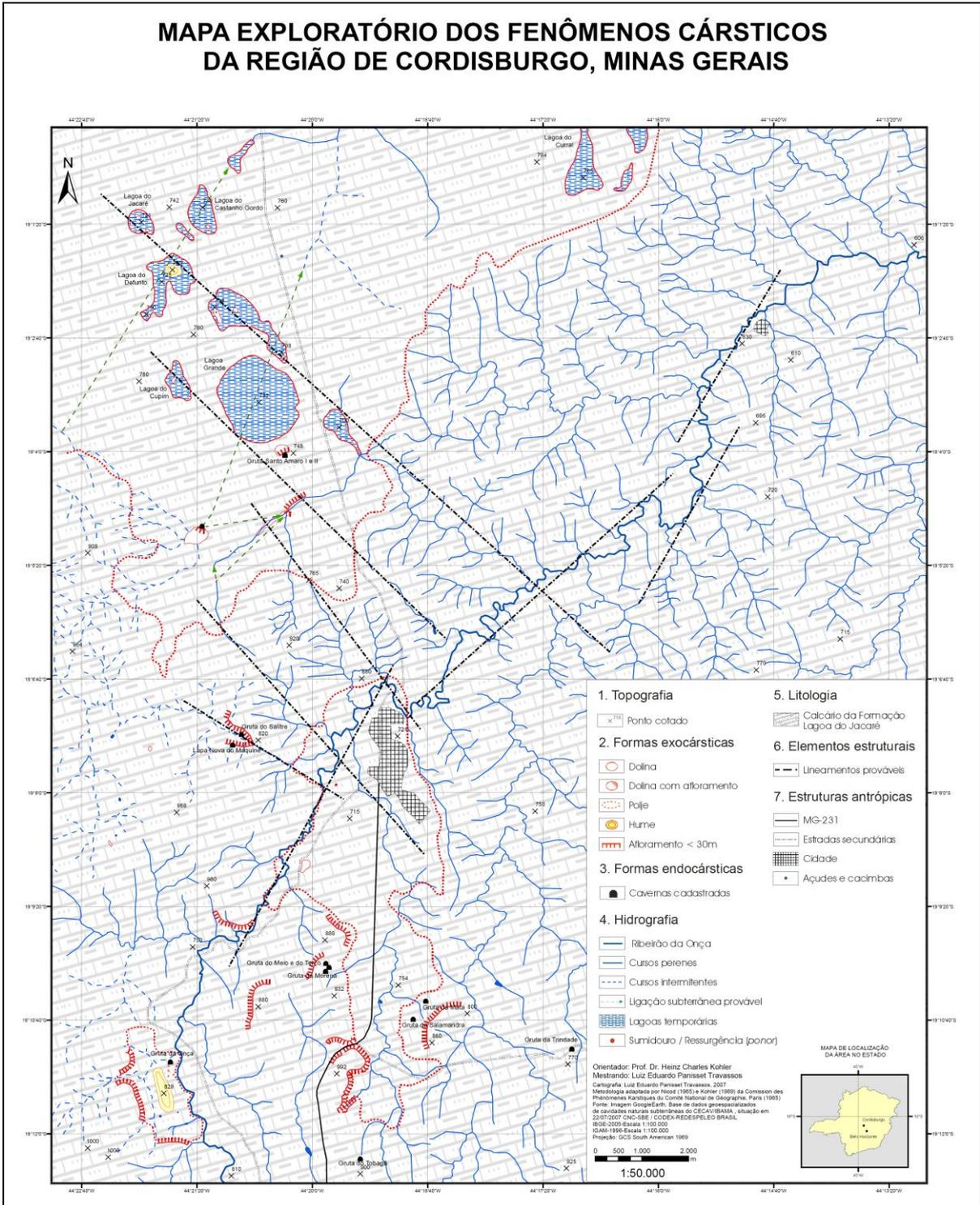


Figura 34 – Mapa exploratório de fenômenos cársticos da região de cordisburgo. O embasamento calcário representado no mapa apresenta-se ora exposto ora encoberto.

A área mapeada corresponde, principalmente, ao compartimento geomorfológico nomeado de *Planalto Cárstico*. Durante o desenvolvimento dos trabalhos, foi possível a identificação de três planícies cársticas expressivas: uma menor a oeste, uma central e outra ao norte. O *polje* a oeste foi considerado como uma planície “suspensa” por

apresentar um nível altimétrico superior ao das demais planícies (cerca de 820m). Nessa área, é possível identificar alinhamentos de dolinas, afloramentos calcários nas bordas e um campo de verrugas.

O sítio urbano encontra-se no *polje* central, na cota dos 720m. Essa planície é bem limitada por maciços calcários e apresenta base mais regular e plana. A maioria das cavernas conhecidas da região, bem como os afloramentos mais significativos da área, encontra-se ao sul da cidade de Cordisburgo.

Ao norte, onde se localizam as lagoas da região, encontra-se a maior planície cárstica da região e a concentração das lagoas cársticas da área. Por ser área plana é extensivamente aproveitada para o plantio de eucalipto. Apresenta níveis altimétricos que vão dos 790 aos 720 m e cotas abaixo dos 700m nas lagoas.

Em relação à ligação endocárstica entre os sistemas hidrogeológicos dos *poljes* em questão, não se possui nenhuma informação a respeito devido à ausência de estudos na área sobre esta temática.





## Considerações finais





## CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“Mas, era que, desta vez, eu trazia comigo um instrumento precioso – bússola, guia, roteiro, óculo de ampliação: o trabalho que devemos à minuciosa operosidade, ao sentimento poético, à capacidade científica e ao trabalho artístico do meu saudoso Afonso de Guairá Heberle: o reconhecimento topográfico A Gruta de Maquiné e os seus Arredores. Deu-se a valorização da estesia paisagística, graças às lições da ciência e da erudição. Prestígio da Geografia!”*

*João Guimarães Rosa*

Cordisburgo pode ser considerada um ícone das regiões cársticas mineiras com considerável valor científico, recreacional e cultural. Devido à sua fragilidade inerente e presente distúrbio antrópico, tal paisagem necessita de crescentes cuidados quanto à sua proteção. Outras áreas de proteção ambiental além do Monumento Natural Estadual Peter Lund (Decreto nº 44.120 de 29/09/2005) precisam ser estabelecidas, e parcerias público-privadas tornam-se indispensáveis estratégias de conservação e uso sustentável do carste.

O cenário dos fenômenos cársticos mais expressivos da região de Cordisburgo foi representado sobre imagens georreferenciadas do GoogleEarth em escala 1:25.000, dando origem ao Mapa Exploratório de Fenômenos Cársticos em escala 1:50.000.

O carste da região por suas características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e biogeográficas é um expressivo exemplo do carste intertropical brasileiro. Sua evolução superficial e subterrânea deve, portanto, ser compreendida como um fenômeno complexo. Algumas formas de dissolução podem se formar durante ou minutos após um evento pluvial enquanto outros podem levar vários anos.

A Formação Lagoa do Jacaré foi pouco estudada quanto ao teor de  $\text{CaCO}_3$  frente às intercalações de filitos, veios de quartzo, etc. Sendo assim, é prematuro afirmar que o carste de Cordisburgo apresente baixo índice de carstificação em todo o seu pacote carbonático. É possível a ocorrência de sítios com calcários puros associados a outros com intercalações não carbonáticas.

Estudos sobre a magnitude e fluxo subterrâneo no endocarste também foram pouco explorados. Na região de estudos, tudo indica que o fluxo endocárstico seja comandado pela bacia do Ribeirão da Onça como seu nível de base no Rio das Velhas. Já ao norte da região estudada, o fluxo endocárstico também parece estar associado à drenagem do Rio das Velhas, porém em cotas mais baixas, onde predominam as formas de um carste mais evoluído (planícies e lagoas).

As atividades humanas podem impor profundas modificações na paisagem, especialmente por causa da mineração, erosão acelerada do solo, poluição do ar e exploração da água subterrânea. Assim, a combinação do crescimento urbano e aumento do turismo exercem uma significativa pressão sobre carste (Figura 38). Sob a ótica interdisciplinar da Carstologia, o pesquisador deve estar atento para o fato de que o desenvolvimento das feições inerentes à paisagem cárstica é particularmente importante no que se refere a qualquer modificação antrópica, principalmente à poluição potencial dos aquíferos.

Assim, o tipo do aquífero deve ser estudado em relação ao tipo e composição da rocha matriz. A água subterrânea preenche poros, fraturas e cavernas na rocha carbonática. Composições físicas e químicas do meio aquífero determinam a quantidade de adsorção do contaminante, troca iônica, dispersão e taxa de movimento no aquífero. A dispersão de um contaminante é controlada pelas características físicas da rocha matriz, como a permeabilidade, orientação de fraturas ou planos de acamamento e as cavernas. Grandes permeabilidades apresentam taxas potenciais de poluições altíssimas por permitirem a rápida propagação dos contaminantes por grandes distâncias.

No carste, certa porcentagem de precipitação infiltra pelo solo, servindo de recarga ao aquífero. A quantidade é dependente da taxa, duração e frequência das chuvas. Outros fatores como índices de evaporação e transpiração, topografia, cobertura pedológica, características da rocha e vegetação determinam o quanto de água pode infiltrar e o quanto irá compor o escoamento superficial. Portanto, a recarga deve ser estudada e estimada baseando-se nessas variáveis.

Sobre essa estrutura, o meio pedológico diz respeito à composição física e química do solo por onde a água precisa infiltrar para chegar ao nível de base. Fatores que controlam a poluição potencial de um solo incluem textura, profundidade, argilas e organismos diversos. Tais variáveis influem na absorção ou depuração de um poluente, principalmente no tocante ao tamanho dos grãos existentes no solo. Solos de granulometria muito fina restringem o movimento vertical propiciando trocas iônicas e a diminuição da contaminação potencial. Em relação à topografia do carste, pode-se dizer que influencia se o contaminante vai ou não infiltrar, ou ser dispersado pela ação do escoamento superficial (*runoff*). Vertentes suaves possuem alto grau de poluição potencial por permitirem elevadas taxas de infiltração tanto das águas pluviais quanto dos contaminantes presentes. Vertentes abruptas propiciam altas velocidades de

escoamento superficial, diminuindo a infiltração. *Poljes* cultivados e dolinas favorecem o movimento vertical dos poluentes, apresentando-se como locais-chave para o controle da poluição no carste.

A condutividade hidráulica de um aquífero consiste no volume de água presente pela viscosidade cinética existente. A condutividade hidráulica é controlada pelo tamanho dos poros e seu grau de espaçamento, bem como às fraturas e condutos associados. Condutos maiores possuem menores velocidades e, por consequência, favorecem a contaminação.

Dessa forma, ter como base dos estudos do carste o conceito de vulnerabilidade intrínseca da água subterrânea faz-se extremamente necessário. O conceito baseia-se na suposição de que as propriedades físicas do ambiente proporcionam certo grau de proteção natural contra a atividade humana, levando em consideração condicionantes geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas da área em questão.

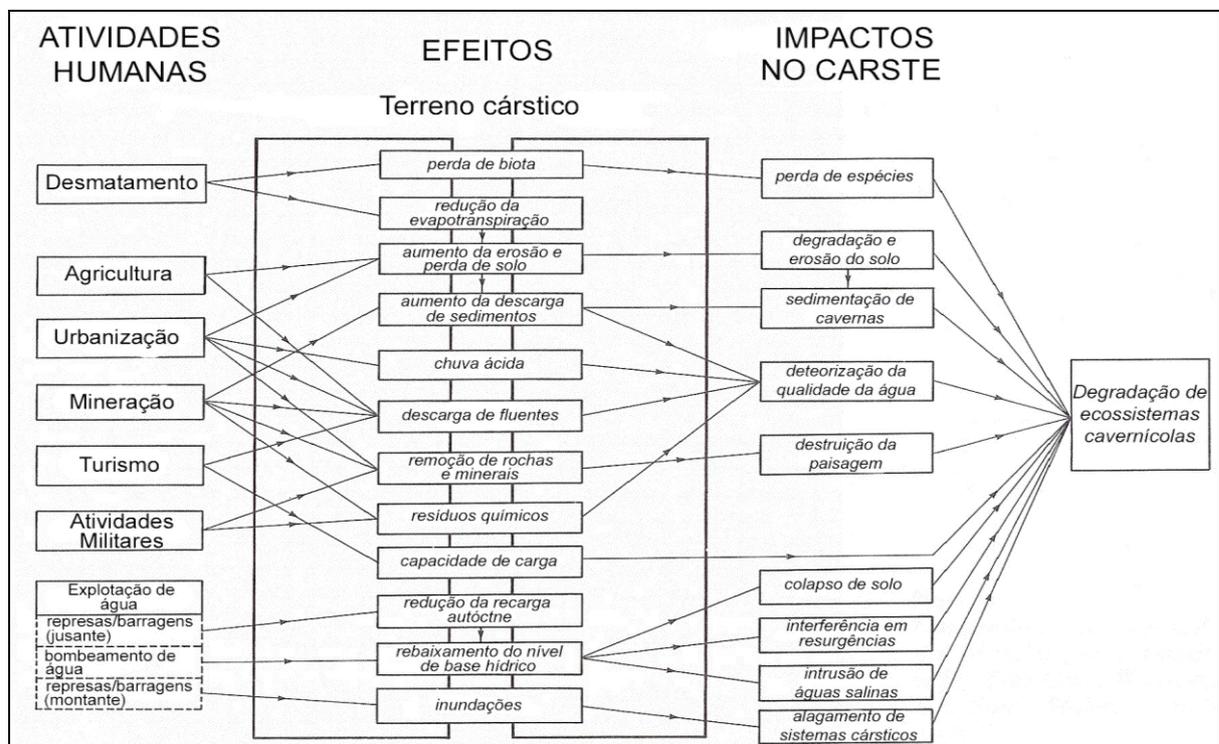


Figura 35 – Gama de impactos ambientais passíveis de ocorrer no carste (adaptado de Gillieson (1996) e Ford & Williams (2007)).

Assim, a sensibilidade dos aquíferos cársticos à poluição é muito alta. A proteção fornecida por cada camada existente entre a superfície (ponto de liberação do contaminante) e a água subterrânea é de grande importância na análise da capacidade de depuração intrínseca do carste. Nesse tipo de relevo é comum a variação da

cobertura pedológica ou até mesmo a sua ausência, fato que favorece a contaminação e seu transporte.

A gestão racional dos cenários cársticos é altamente condicionada pelo relevo e pelo sistema hidrológico. Nos afloramentos, em função da macroporosidade das rochas e ausência de cobertura pedológica (filtro natural), a água subterrânea pode ser facilmente poluída. No caso da região mapeada, as áreas de recarga autóctone principais são as lagoas cársticas (ao norte) e os *poljes*.

Por fim, espera-se que com o presente livro, trabalhos interdisciplinares possam ocorrer na região de Cordisburgo, especialmente devido ao crescimento regional que a duplicação da BR-040 venha causar. Modelagens do aquífero regional são importantes bem como aqueles estudos à conservação e o uso sustentável dos recursos naturais.



## REFERÊNCIAS

- Ab' Saber, A.N. *Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- Almeida, F. F. M. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v.7, n.4, p.349-364, 1977.
- Amorim Filho, O.B. Entrevista. *Geosul*. Florianópolis, v.20, n.49, p.191-209, jul./dez. 2005
- Anson, C. *Cavidades Naturais Subterrâneas, Patrimônio Espeleológico e Ambientes Cársticos: Proteção e Implicações Jurídicas*. 2006. 131f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Direito.
- Anson, C. Aspectos jurídicos concernentes à proteção do patrimônio espeleológico brasileiro. *O Carste*, v.16, n.4, p.126-132, 2004
- Auler, A. *Histórico da espeleologia brasileira - O Brasil colonial e a época dos naturalistas*. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2004. Disponível em: < <http://www.redespeleo.org/artigos.php?ID=16>>. Acesso em 16 Out. 2006.
- Auler, A.; Basilio, M. Geologia da região leste de Santana do Riacho com ênfase no estudo das feições cársticas. 1988. 80p. Monografia de Graduação - Universidade Federal de Minas Gerais.
- Auler, A.; Zogbi, L. *Espeleologia: noções básicas*. São Paulo: Redespeleo Brasil, 2005.
- Auler, A.; Piló, L.B.; Saadi, A. Ambientes cársticos. In: SOUZA, C.R.de G.; SUGUIO, K.; Oliveira, A.M. dos S.; Oliveira, P.E. de (Ed.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 2005. p.321-342
- Azevedo, U.R.de; Kohler, H.C. Planejamento turístico em áreas cársticas. In: AMORIM Filho, O.B.; Kohler, H.C.; Barroso, L.C.. *Epistemologia, cidade e meio ambiente*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 199-216.
- Barbosa, G.V. Notícia sobre o Karst na mata de Pains. *Boletim Mineiro de Geografia*, Belo Horizonte, n.2 e 3, p.3-21, 1961.
- Bertrand, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. In: *Cadernos de ciências da terra*. São Paulo, v.13, p.1-27, 1972.
- Bezerra, M. da C.; Heidemann, D. Viajar pelo sertão roseano é antes de tudo uma descoberta! *Estudos Avançados*, v.20, n.58, p. 7-17, 2006.
- Bögli, A. *Karst hydrology and physical speleology*. Berlin/New York: Springer, 1980.

Bonacci, O. Poljes. In: Gunn, I. (Editor). *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Deaborn: New York, 2004. p.599-600.

Brasil. Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934. In: Medauar, O. (Org.). *Coletânea de Legislação de Direito Ambiental*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2003, p.293-319.

Brasil. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. In: Medauar, O. (Org.). *Coletânea de Legislação de Direito Ambiental*. São Paulo. Revista dos Tribunais, 2003, p.485-497.

Brasil. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. In: Medauar, O. (Org.). *Coletânea de Legislação de Direito Ambiental*. São Paulo. Revista dos Tribunais, 2003, p.671-680.

Brasil. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. In: Medauar, O. (Org.). *Coletânea de Legislação de Direito Ambiental*. São Paulo. Revista dos Tribunais, 2003, p. 319-330.

Brasil. Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000. In: Medauar, O. (Org.). *Coletânea de Legislação de Direito Ambiental*. São Paulo. Revista dos Tribunais, 2003, p.339-349.

Brasil. *Código Civil – Lei nº 10.406 de 10 de janeiro de 2002*. 54ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

Brasil. *Código Civil – Lei nº 3.071 de 01 de janeiro de 1916*. 4ªed. São Paulo. Revista dos Tribunais, 2002.

Brasil. *Código Penal*. 41ªed. São Paulo: Saraiva, 2003.

Brasil. *Constituição Federal (1988)*. 40ªed. São Paulo: Saraiva, 2007.

Cadastro Nacional De Cavernas – Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2007. Disponível em: <<http://www.sbe.com.br>>. Acesso em: 02 Fev. 2006.

Cartelle, C. Lund, o coletor do passado. In: Goulart, Eugênio Marcos Andrade (Org.) *Navegando o Rio das Velhas das Minas Gerais*. Belo Horizonte: Instituto Guaiacuy-SOS Rio das Velhas/Projeto Manuelzão-UFMG, 2005. p.135-151.

Cartelle, C. *Tempo passado: mamíferos do Pleistoceno em Minas Gerais*. Belo Horizonte: Editora Palco, 1994.

Carvalho, E.T. de. A plataforma geológica e o desenvolvimento sustentável. In: Goulart, Eugênio Marcos Andrade (Org.) *Navegando o Rio das Velhas das Minas Gerais*. Belo Horizonte: Instituto Guaiacuy-SOS Rio das Velhas/Projeto Manuelzão-UFMG, 2005. p.291-315.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico De Minas Gerais. *Mapa de solos do Projeto de estudos integrados da Bacia do Alto São Francisco e parte central da área mineira da SUDENE*. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 1 mapa: p&b. Escala 1:250.000

CETEC – Fundação Centro Tecnológico De Minas Gerais. *Mapa geológico do Projeto de estudos integrados da Bacia do Alto São Francisco e parte central da área mineira da SUDENE*. Belo Horizonte: CETEC, 1983. 1 mapa: p&b. Escala 1:250.000

Christofoletti, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1999.

Christofoletti, A. *Geomorfologia*. 2.ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1980.

Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. *Applied hydrology*. New York: McGraw Hill Book Company, 1988.

CODEX – Cadastro Nacional de Cavernas da Redespeleo, 2007. Disponível em: <<http://www.redespeleo.org>> Acesso em: 02 Fev. 2006.

Coleman, J.C. An indicator of water flow in caves. *Proc. University of Bristol Speleological Society*, v.6, n.1, p.57-67, 1949

COPASA - Companhia De Saneamento De Minas Gerais. *Informações sobre a qualidade da água para consumo humano fornecida por Sistema de Abastecimento Publico*. Relatório Anual de Controle de Qualidade. COPASA: Belo Horizonte, 2007.

Coutard, J.P.; Kohler, H.C.; Journaux, A. Comentário do Mapa do Carst. Região de Pedro Leopoldo-Lagoa Santa, MG, Brasil. Laboratoire D'analyse et de Cartographie des Formations Superficielles de l'université de Caen, et le Centre de Geomorphologie du CNRS à Caen – France. Escala 1:50.000. 1978.

Davis, A.D.; Long, A.J.; Wireman, M. Karstic: a sensitive method for carbonate aquifers in karst terrain. *Environmental Geology*, Ljubljana, v.42, n.1, p.65-72, 2002.

Day, M. The role of valley systems in the evolution of tropical karst areas. In: Gabrovšek, Franci (Ed.). *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Postojna/Ljubljana: Institut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU, 2002. p. 235-241.

Dreybrodt, W. ; Gabrovsek, F. Basic processes and mechanisms governing the evolution of karst. In: Gabrovsek, F. (Ed.). *Evolution of karst: from prekarst to cessation*. Postojna-Ljubljana: ZRC-SAZU, 2002. p. 115-154.

Dequech, V. O Fundador da Espeleologia no Brasil. *O Carste*, v.12, n.2, p.84-87, 2000.

Eckert, M. Das Gottesackerplateau. Ein Karrenfield im Allgau. Studien zur Lösung des Karrenproblems. *Zeitschrift des D.U.O. Alpenvereins, Wissenschaftliche Ergänzungshefte*, v.1, n.3, p.1-108, 1902.

Ferraz, M.H.M. A produção do salitre no Brasil Colonial. *Química Nova*, São Paulo, v.23, n.6, p.845-850, 2000.

Frelih, M. Geomorphology of karst depressions: polje or uvala – a case study of Lučkega Dola. *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.32, n.2, p.105-119, 2003.

Fonseca, M.C.G. da.; Kohler, H.C. Sistema cárstico de Lagoa dos Mares, município de Confins, Minas Gerais: reflexões a partir da caracterização ambiental integrada. In: Amorim Filho, O.B; Kohler, H.C.; Barroso, L.C. *Epistemologia, cidade e meio ambiente*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 165-198.

Ford, D.C.; Williams, P.W. *Karst geomorphology and hidrology*. United Kingdom: Wiley, 2007.

Ford, D.C. Jovan Cvijić and the founding of karst geomorphology. *Environmental Geology*, v.51, n.5, p.675-684, Jan. 2007.

Ford, D.C. From pre-karst to cessation: the complicating effects of differing lithology and geologic structure on karst evolution. In: Gabrovšek, Franci (Ed.). *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Postojna/Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU, 2002. p.31-42.

Forti, P. Speleology in the Third Millennium: achievements and challenges. *Theoretical and Applied Karstology*, n.15, p.7-26, 2002.

Gabrovšek, F. Introduction. In: Gabrovšek, F. (Ed.). *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Postojna/Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU, 2002.

Gams, I. *Slovenska kraška terminologija*. Oddelka za geografijo, Filozofska fakulteta, Ljubljana, 1973.

Gillieson, D. *Caves: processes, development, management*. Oxford: Clackwell Publishers, 1996.

Hamilton-Smith, E. Management assessment in karst areas. *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.31, n.1, p.13-20, 2002.

Hardt, R. *Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário, Cocalinho, MT*. 2004. 98f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista.

Hardt, R. Formas Cársticas em Rochas Siliciclásticas: Exemplos no Estado de São Paulo. In: IV SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP, 2004, Rio Claro. IV SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP, Rio Claro: Ageteo, 2004. p. 495-511.

Hardt, R. Carste em Arenito: Considerações Gerais. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 2003, Januária. *Anais...*, Januária: SBE, 2003.

Helferich, G. *O Cosmos de Humboldt*. São Paulo: Objetiva, 2005.

Humboldt, A.V. *Quadros da natureza*. Rio de Janeiro: W. M. Jackson Editores, 1970. Tradução de Assis Carvalho.

Humboldt, A.V.. *Cosmos: a sketch of a physical description of the universe*. New York: harper & Brothers, 1850. 4v. Tradução do Alemão por E.C. Otté.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sete Lagoas*. Belo Horizonte: IBGE, 1986. 1 mapa: color. Escala 1:100.000

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades@*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 14 dez. 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Documentação territorial do Brasil*. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualização/dtbs/minas gerais/cordisburgo.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2007.

IGA - Instituto de Geociências Aplicadas. *Cordisburgo*. Belo Horizonte: IGA, 1983. 1 mapa: p&b. Escala 1:100.000

Jennings, J.N.. *Karst geomorphology*. New York: Basil Blackwell, 1985.

Karmann, I. *Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do Alto Vale do Ribeira de Iguape, sudoeste do estado de São Paulo*. 1994. 228p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

Király, L. Karstification and groundwater flow. In: Gabrovšek, Franci (Ed.). *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Postojna/Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krása, ZRC SAZU, 2002. p.155-190.

Kohler, H.C. *Estudos orientados*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2007.

Kohler, H.C. Aspectos geoecológicos da Bacia Hidrográfica do São Francisco (primeira aproximação na escala de 1:1.000.000). In: Godinho, H.P.; Godinho, A.L. *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p.25-35

Kohler, H.C. Geomorfologia cárstica. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. da. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.309-334.

Kohler, H.C. *Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa*. 1989. 113p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo

Kovačič, G. The protection of karst aquifers: the example of the Bistrica Karst Spring (SW slovenia). *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.32, n.2, p.219-234, 2003.

Kovačič, G.; Ravbar, N. Karst aquifers vulnerability or sensitivity? *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.32, n.2, p.307-314, 2003.

Kranjc, A. Kras - Classical Karst (Slovenia-Italy) In: 6<sup>th</sup> SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 2006, Goiânia. *Proceedings...* Goiânia: IAG/UGB, 2006. p.6.

Kranjc, A. About the name Kras (Karst) in Slovenia In: 13<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY, 2001, Brasília. *Proceedings...* Brasília: Sociedade Brasileira de Espeleologia/União Internacional de Espeleologia, 2001. 1 CD ROM.

Kufmann, G. Karst landscape formation. In: Gabrovšek, F. (Ed.). *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Postojna/Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU, 2002. p.243-258.

Lima, T.F.; Morais, M.S. de. Contribuições para o desenvolvimento de plano de manejo em ambiente cavernícola – Gruta do Maquine: um estudo de caso. *Geonomos*, v.14, n.1/2, p.45-53, 2006.

Lino, C.F. *Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo*. 2.ed. São Paulo: Global, 2002.

Lino, C.F. *Cavernas: o fascinante Brasil subterrâneo*. São Paulo: Editora Rios, 1989.

Lundberg, J. Karren. In: Culver, D.C.; White, W.B. (Editors). *Encyclopedia of caves*. Elsevier Academia Press: New Cork, 2005. p. 315-321.

Lund, P.W. Terceira memória sobre a fauna das cavernas (1838). In: Paulacouto, C. de. *Memórias sobre a Paleontologia Brasileira*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1950. Cap. IV, p.131-206.

Lund, P.W. Notícias sobre ossadas humanas fósseis achadas numa caverna do Brasil (1840). In: Paulacouto, C. de. *Memórias sobre a Paleontologia Brasileira*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro, 1950. Cap. XIII, p.465-488.

Mcdonald, R. Rivers in karst geomorphology. In: Gabrovšek, F. (Ed.). *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Postojna/Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krasa, ZRC SAZU, 2002. p.267-273.

Magalhães, L. *Análise estrutural qualitativa dos sedimentos do Grupo Bambuí, região sudeste da Bacia do São Francisco (Faixa Sete Lagoas – Serra do Cipó)*. 1988. 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto.

Minas Gerais. Decreto nº 44.120, de 29 set. 2005. Cria o Monumento Natural Estadual Peter Lund, no município de Cordisburgo. *Diário do Executivo*, Belo Horizonte, 29 set. 2005. p.2.

Monteiro, C.A. de F. *Geossistemas: a história de uma procura*. 2.ed. São Paulo: Contexto, 2001.

Moore, G.W.; Sullivan, N. *Speleology: caves and the cave environment*. 3.ed. Missouri: National Speleological Society, 1997.

Nicod, J. *Carte de phénomènes des Plans du Verdon*. Paris, Institut de Géographie, CNRS, 1:50.000, 1965.

- Noce, C.M.; Renger, F.E. A história ecológica da bacia hidrográfica. In: Goulart, E.M.A. (Org.) *Navegando o Rio das Velhas das Minas Gerais*. Belo Horizonte: Instituto Guaiacuy-SOS Rio das Velhas/Projeto Manuelzão-UFMG, 2005. p.241-263
- Palmer, A. N. Speleogenesis in carbonate rocks. In: Gabrovšek, F. (Ed.). *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Postojna/Ljubljana: Inštitut za raziskovanje krása, ZRC SAZU, 2002. p.43-60.
- Palmer, A.N. Origin and Morphology of Limestone Caves. *Geological Society of America Bulletin*, v.103, p.1-21, 1991.
- Pedrosa Soares, A.C. *Mapa geológico metalogenético e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Secretaria de Recursos Minerais e Energéticos-SEME/COMIG, 1994. 1 mapa: color. Escala 1:1.000.000
- Petrič, M. *Characteristics of recharge-discharge relations in karst aquifers*. Postojna/Ljubljana: ZRC SAZU, 2002.
- Pfeffer, K.H. Relics of tropical karst features in the Albian of Franconia of the pegnitz region, *Sonderveröffentlichungen d. Geol. Inst. der Universität Köln*, n. 41, p.155-172, 1981.
- Philippi Jr., A.; Bruna, G.C.; Silveira, V.F. Políticas públicas e desenvolvimento sustentável. In: Philippi Jr. ; Alvez, A.C. (Eds.). *Curso interdisciplinar de Direito Ambiental*. São Paulo: Manole, 2005, p. 789-810.
- Piló, L.B. Peter W. Lund e a geomorfologia cárstica de Lagoa Santa. *O Carste*, v.13, n.1, p.12-17, 2002.
- Piló, L.B. Geomorfologia Cárstica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.1, n.1, p.88-102, 2000.
- Piló, L.B. Ambientes Cársticos em Minas Gerais: valor, fragilidade e impactos ambientais decorrentes da atividade humana. *O Carste*, v.11, n.3, p.50-58, 1999.
- Piló, L.B. *Morfologia cárstica e materiais constituintes: dinâmica e evolução da depressão poligonal Macacos-Baú, Carste de Lagoa Santa, MG*. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo
- Piló, L.B. Rochas Carbonáticas e relevos cársticos em Minas Gerais. *O Carste*, v.9, n.3, p.72-78, 1997.
- Piló, L.B. A morfologia cárstica do baixo curso do rio Peruacu, Januária-Itacarambi, MG. 1989. 80p. Monografia de Graduação – Universidade Federal de Minas Gerais.
- Pitman, A.J. On the role of Geography in Earth System Science. *Geoforum*, v.36, n.2, p.137-148, 2005.

Plummer, L.N., Parkhurst, D.L., Wigley, T.M.L. The kinetics of calcite dissolution in CO<sub>2</sub> systems at 25°C to 60°C and 0.0 to 1.0 atm CO<sub>2</sub>. *American Journal of Science*, n.278, p.179-216, 1978

Ravbar, N. *The protection of karst waters: a comprehensive Slovene approach to vulnerability and contamination risk mapping*. Karst Research Institute ZRC-SAZU: Postojna/ Ljubljana, 2007.

Ravbar, N. Drinking water supply from karst water resources (The example of the Kras Plateau, SW Slovenia). *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.31, n.1, p.73-84, 2004.

Renger, F.E. Recursos minerais, mineração e siderurgia. In: Goulart, Goulart, E.M.A. (Org.) *Navegando o Rio das Velhas das Minas Gerais*. Belo Horizonte: Instituto Guaiacuy-SOS Rio das Velhas/Projeto Manuelzão-UFMG, 2005. p.265-289.

Rodrigues, M.L.; Cunha, L.; Ramos, C.; Pereira, A.R.; Teles, V.; Dimuccio, L. *Glossário ilustrado de termos cársticos*. Lisboa: Edições Colibri, 2007.

Ross, J. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208p.

Rubbioli, E.L.; Auler, A. Peter Andread Brandt e os levantamentos topográficos das grutas pesquisadas por Lund. *O Carste*, v.14, n.1, p.18-23, 2002.

Grossi SAD, J.H.; Quade, H. Revisão estratigráfica do Grupo Bambuí (Bloco Oriental) em Minas Gerais. In: III SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 1985, *Anais...* Belo Horizonte, p. 68-83, 1985.

Sauro, H. Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification. *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.32, n.2, p.41-52, 2003.

Schobbenhaus, C; Brito Neves, B.B. de. A geologia do Brasil no contexto da plataforma sul-americana. In: Bizzi, L.A.; Schobbenhaus, C.; Vidotti, R.M.; Gonçalves, J.H. (Ed.). *Geologia, Tectônica e recursos minerais do Brasil: Textos, mapas e SIG*. Brasília: CPRM, 2003. p.5-54.

SGEx - Serviço Geográfico do Brasil. *Curvelo*. Belo Horizonte: SGEx, 1969. 1 mapa: color. Escala 1:100.000

Šušteršič, F. Are collapse dolines formed only by collapse? *Acta Carsologica*, Ljubljana, v.29, n.2, p.213-230, 2000.

Sweeting, M. M. *Karst landforms*. London: Mackmillan, 1972

Thrift, N. The future of geography. *Geoforum*, v.33, n.3, p.291-298, 2002.

Tricart, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

Tricart, J. O karst das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte (Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, n.4, p.3-20, 1956.

Troppmair, H. *Biogeografia e meio ambiente..* 7.ed. Rio Claro: Divisa, 2006.

Troppmair, H. *Sistemas, geossistemas, geossistemas paulistas, ecologia da paisagem.* Rio Claro: [S.I.], 2004.

Villar, E. Fernandez, P.L.; Gutierrez, I. Influence of visitors on carbon concentrations in Altamita Cave. *Cave Science*, v.13, n.1, p.21-21, 1986.

White, W.B.; Culver, D.C. Definition of cave. In: Culver, D.C.; White, W.B. (Ed.). *Encyclopedia of caves.* London: Elsevier Academic Press, 2005. p.81-85.

White, W.B. *Geomorphology and hydrology of karst terrains.* Oxford University Press: New York, 1988. 464 p.

White, W.B. Hidrology of karst aquifers. In: Culver, D.C.; White, W.B. (Ed.). *Encyclopedia of caves.* London: Elsevier Academic Press, 2005. p.293-300.

Worboy, G.; Davey, A.; Stiff, C. Report on cave classification. *Cave Management in Australia*, n.4, 1982, p.11-18.

Zhou, W. Drainage and flooding in karst terranes. *Environmental Geology*, Berlim, v.51, n.6, p. 963-973, 2007.

## TABELA SIMPLIFICADA DO TEMPO GEOLÓGICO

ÉON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA			
FANEROZOICO	CENOZOICO	Quaternário	Holoceno		0,01	
			Pleistoceno		1,8	
		Terciário	Neógeno	Plioceno		5,3
				Mioceno		24
			Paleógeno	Oligoceno		33
				Eoceno		54
				Paleoceno		65
		MESOZOICO	Cretáceo		142	
	Jurássico		206			
	Triássico		248			
	PALEOZOICO	Permiano		290		
		Carbonífero		354		
		Devoniano		417		
		Siluriano		443		
		Ordoviciano		495		
		Cambriano		545		
	<b>PROTEROZOICO</b>				2.500	
	<b>ARQUEANO</b>				3.800 (Ma)*	

\*Milhões de anos

Adaptado de: The Geological Society of America

Disponível em: < <http://www.geosociety.org/science/timescale/>>



*As áreas cársticas compreendem cerca de 10 a 15% da superfície terrestre, principalmente, as desenvolvidas em rochas carbonáticas como o calcário e o dolomito, por exemplo. Tais regiões vêm sendo utilizadas desde os primórdios da humanidade como fontes de alimentos e abrigo. Foram locais para o estabelecimento dos primeiros assentamentos humanos devido à disponibilidade tanto de água potável como de alimentos. Por todo o mundo é possível constatar que populações inteiras são abastecidas por mananciais cársticos e, em várias culturas, as cavernas ainda são utilizadas como locais para a prática de cultos religiosos. As feições características do relevo cárstico são originadas por fenômenos que precisam ser entendidos como resultado de processos dinâmicos que vão desde o surgimento de rochas carstificáveis, até sua fase final de desenvolvimento, sendo necessária a compreensão dos estágios e processos de sua evolução sob a ótica multidisciplinar da carstologia e da espeleologia, em harmonia com os diversos ramos das chamadas Ciências da Terra.*

*Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar uma importante região cárstica carbonática brasileira, berço dos estudos de Peter W. Lund no século XIX.*

ISBN 978-85-99361-17-7



9 788599 361177