

Sensoriamento Remoto e trabalho de campo na análise do uso do solo em áreas cársticas de Minas Gerais

Luiz Eduardo Panisset Travassos Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC Minas
luizepanisset@gmail.com

Bruno Durão Rodrigues
Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da PUC Minas, Bolsista CAPES
brunodurao@terra.com.br

Resumo

Os relevos cársticos possuem, por natureza, rochas conhecidas por serem grandes armazenadoras de água. Esta particularidade única confere ao carste a característica de principal fonte de água potável em muitas regiões do mundo. Além disso, tais aquíferos cársticos são especialmente suscetíveis à contaminação devido às características específicas da paisagem que permitem a rápida infiltração da água superficial potencialmente contaminada. 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. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo principal identificar os principais tipos de uso do solo em dois monumentos estaduais e um parque estadual no carste de Minas Gerais. O trabalho foi embasado em pesquisas de campo e análise de imagens de satélite para elaboração de mapas síntese das UCs e seu entorno, e os resultados apontam para a necessidade de atenção à paisagem cárstica regional.

Palavras-chave: Carste, Sensoriamento Remoto, Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato, Monumento Natural Estadual Peter Lund, Parque Estadual do Sumidouro, Minas Gerais.

Abstract

Karst landscapes are by nature large storers of water especially in the endokarst. This unique feature gives to the karst regions the role of main source of drinking water in many regions of the world. In addition, such karst aquifers are especially susceptible to contamination due to the specific characteristics of the landscape that allow rapid infiltration of potentially contaminated surface water. In order to preserve or use them in an environmentally friendly and sustainable manner, it is necessary proper planning that enables the minimization of the negative effects on the system. Thus, this study aims to identify the main types of land use in two state monuments and a state park in the karst of Minas Gerais. The work was based on field surveys and satellite image analysis to elaborate the maps of such protected areas and their surroundings. The results point to the attention needed to the regional karst landscape as a whole.

Keywords: *Karst, Remote Sensing, Gruta Rei do Mato Natural State Monument, Peter Lund Natural State Monument, Sumidouro State Park, Minas Gerais.*

Introdução

De acordo com o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG), o Sistema de Áreas Protegidas (SAP) do Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é composto por 20 áreas protegidas, conforme estabelecido pelo Decreto nº 45.233, de 3 de dezembro de 2009. Dentre estas áreas, 7 Unidades de Conservação (UCs) já foram criadas, os processos de criação de 3 já foram finalizados e as demais deverão ser criadas nos próximos anos. Além das 20 UCs mencionadas, muitas estão localizadas em outras duas áreas de proteção: a APA Carste Lagoa Santa (Área de Proteção Ambiental, sob responsabilidade do Governo Federal - ICMBio) e a APE aeroporto (Área de Proteção Especial, sob responsabilidade do Governo Estadual – IEF).

Mesmo que as iniciativas de criação e gestão dos parques sejam notáveis do ponto de vista legal, percebe-se, na prática, problemas em relação às pressões antrópicas no entorno destas Unidades de Conservação. Tais problemas são ainda mais visíveis naquelas que se desenvolvem em terrenos cársticos justamente devido à fragilidade e vulnerabilidade inerentes a esse tipo de paisagem.

Por esse motivo, o trabalho tem como objetivo principal a identificação dos principais tipos de uso do solo em dois monumentos estaduais e um parque estadual no carste de Minas Gerais. São eles: o Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato, o Monumento Natural Estadual Peter Lund e o Parque Estadual do Sumidouro.

Procedimentos metodológicos

A escolha das imagens de satélite para a classificação dos diferentes tipos de usos do solo é de fundamental importância, pois a partir destas, tem-se a possibilidade de identificar padrões e formas dos diferentes objetos (alvos) ali contidos, fornecendo importantes indícios quanto às atividades econômicas que marcam a paisagem.

Assim sendo, foram obtidas imagens do satélite indiano *RedesourceSat* no catálogo de imagens do sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este satélite faz parte do Programa Indiano de Sensoriamento Remoto de Recursos Terrestres e possui resolução espacial de 23,5 metros, sendo equipado com o sensor LISS-3 que opera em quatro comprimentos de ondas que vão da faixa do visível ao infravermelho médio (Tabela 1). O Satélite possui uma capacidade de revisita de 24 dias, fato que permite um constante acompanhamento das mudanças nos espaços analisados. Entretanto, como este trabalho trata da identificação dos diferentes padrões

de usos da terra, optou-se por escolher apenas os pares de cenas que cobrem as unidades foco do estudo. As cenas (órbita-ponto) obtidas, 332-91 e 333-91, são datadas de 10 de agosto de 2010 e 09 de setembro de 2010, respectivamente (Figura 1), época do início da pesquisa.

Tabela 1 - Bandas Espectrais do Satélite ResourceSat-1, Sensor LISS-3

| Banda Espectral | Resolução Espectral |
|---------------------------|---------------------------|
| Verde (B2) | 0,52 – 0,59 μm |
| Vermelho (B3) | 0,62 – 0,68 μm |
| Infravermelho Próximo(B4) | 0,77 – 0,86 μm |
| Infravermelho Médio (B5) | 1,55 – 1,70 μm |

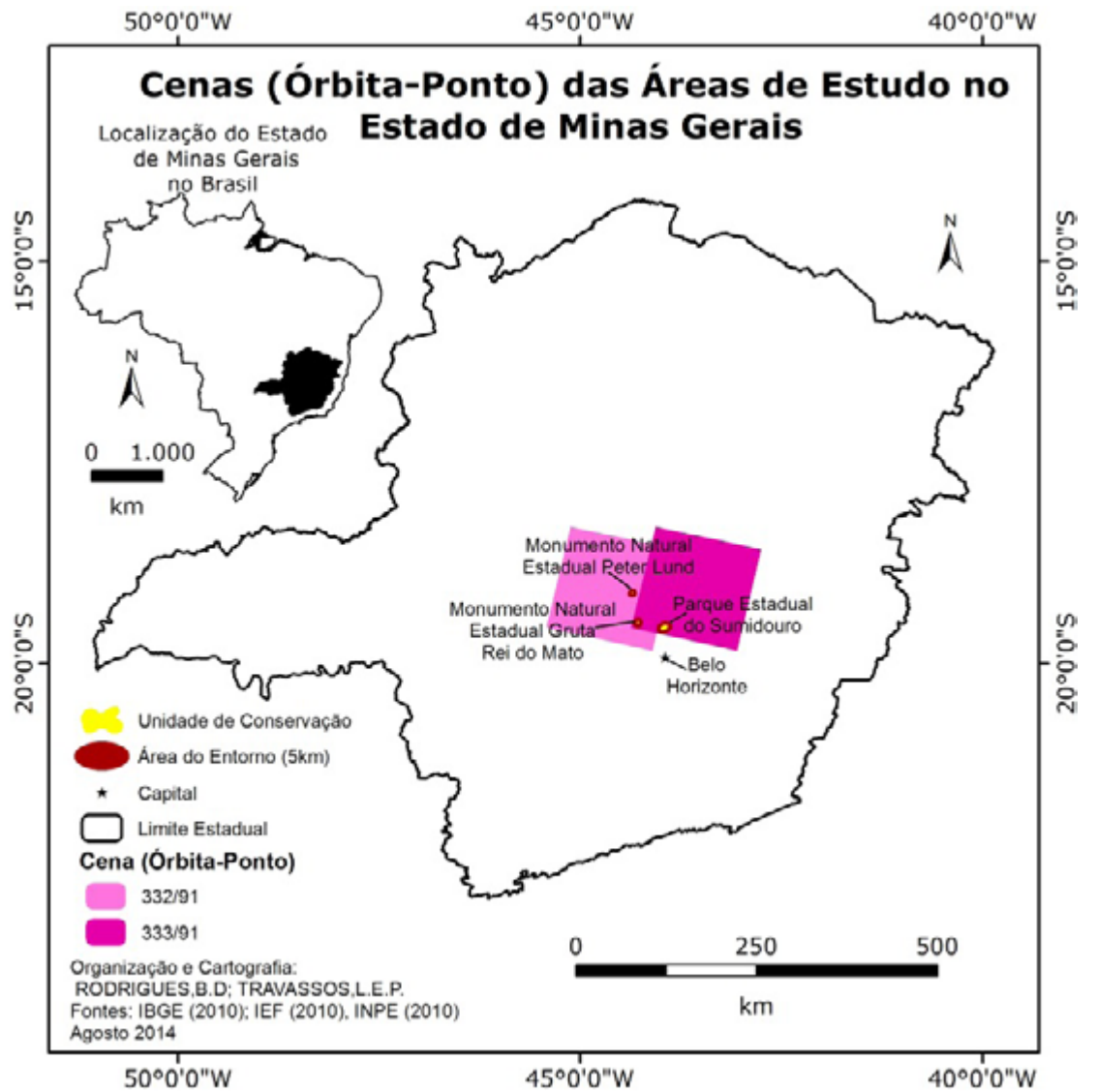
Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/ir-p6.html>

De posse das imagens, a próxima etapa foi realizar a correção geométrica das imagens. Para isso utilizou-se o *software* gratuito REGEEMY v.0.2.43. Este *software* faz a correção das imagens tomando-se como referências aquelas que já possuam um nível de processamento do tipo L1, ou seja, com todas as correções de posicionamento. A imagem selecionada foi a do satélite *Landsat 7*, obtida no sítio eletrônico do *United States Geological Survey* (USGS), no catálogo *EarthExplorer*.

Ainda que as imagens tenham diferenças de resolução espacial (*Landsat 7*, 30m), o produto final apresentou-se com muito boa qualidade. Dentre as opções de correção geométrica disponíveis no REGEEMY, foi utilizada a correção com o lançamento de “nuvens de pontos” com o máximo de 512 pontos. À medida que os pontos foram sendo lançados ao longo da imagem, os mais discrepantes (maiores que 1,41 *pixels*) foram sendo descartados. Ao final foram lançados em todos os setores da imagem 1.245 pontos, sendo 996 pontos (80% do total) posicionados em 0,0 (sem desvios do *pixel*) e 249 pontos (20% do total) com desvio de 1,0 *pixels*, ou seja, o desvio contido no mesmo valor da resolução espacial. Para a escala de mapeamento adotada (1:100.000 ou menores), não ocorreram maiores problemas visto que o objetivo era identificar os padrões de usos da terra.

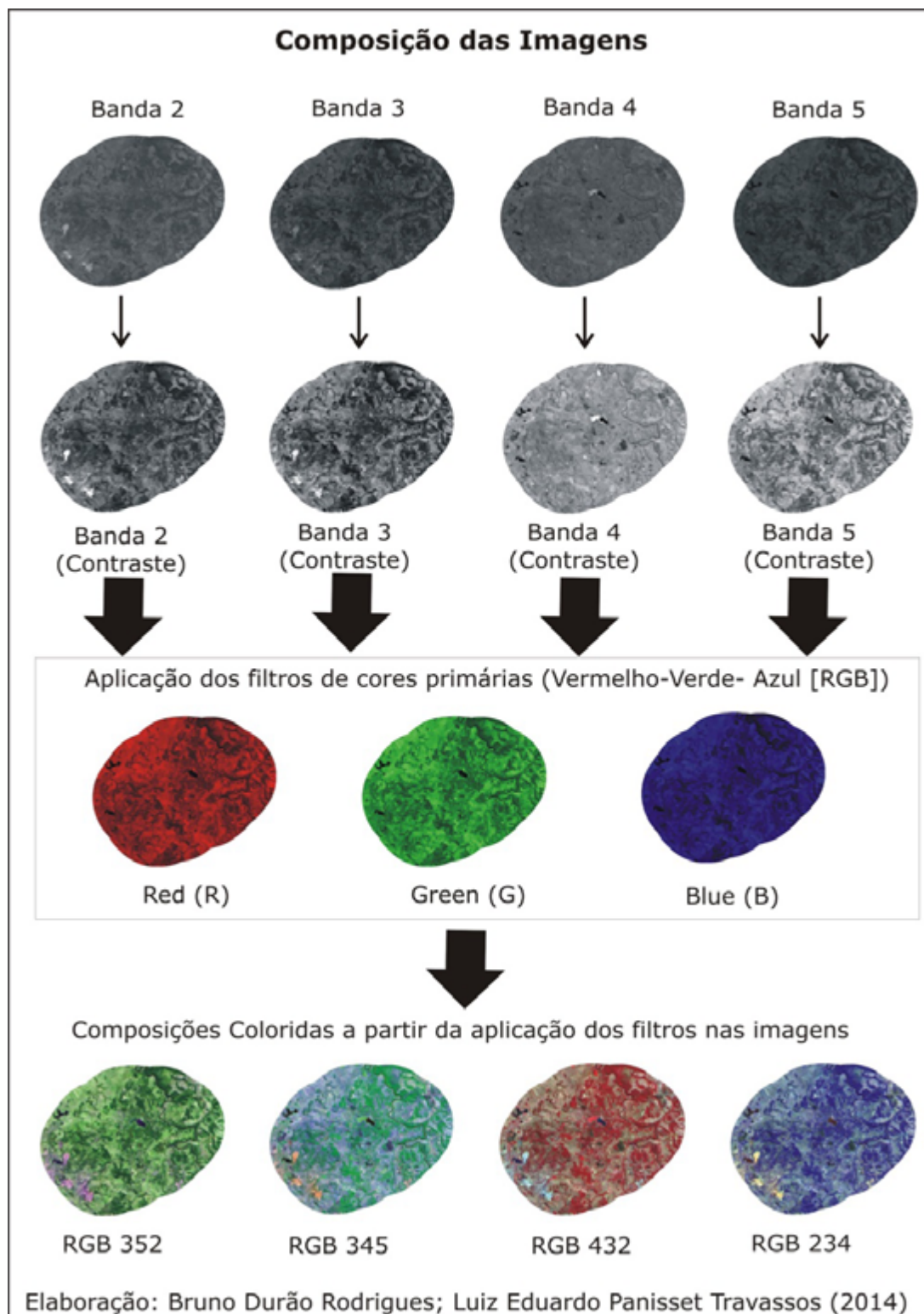
Elaborada a correção geométrica das imagens, os procedimentos do pré-processamento das imagens foram realizados no *software* SPRING/INPE, aplicando-se o contraste linear para que fosse possível a melhora visual das imagens através do espalhamento dos diferentes níveis de cinza. Foram mantidos os arquivos originais e gerados novos arquivos de imagens com o realce de contraste aplicado. Por fim, foi utilizado um filtro linear nas imagens para destacar as feições representativas facilitando, assim, o processo de classificação das imagens. Realizou-se algumas composições coloridas, dentre elas as RGB352, RGB345, RGB432 e RGB234 conforme figura 2.

Figura 1 - Cenas das Áreas de Estudo no Estado de Minas Gerais



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2 - Composições coloridas, RGB352, RGB345, RGB432 e RGB234.



Fonte: Dados da pesquisa.

A composição colorida selecionada para a classificação foi a RGB 432, cujos alvos como a vegetação ficam em tons vermelhos, as manchas urbanas em tons azuis-acinzentados, os corpos de água em tons azuis marinhos e as pastagens e solos expostos em tons marrons mais claros. A partir da composição escolhida foi realizado um trabalho de fotointerpretação para identificação das diferentes classes de mapeamento conforme os usos da terra ali representados. Buscou-se as classes comuns às três unidades de conservação e o seu entorno que foram alvos do mapeamento. As classes escolhidas foram: (1) Água, (2) Floresta Estacional (“Mata Seca”), (3) Urbano, (4) Mineração, (5) Pastagens (naturais ou não), (6) Solo Exposto e (7) Cerrado e as suas fitofisionomias. Devido à própria limitação quanto à resolução espacial da imagem, optou-se por reunir o conjunto de fitofisionomias do Cerrado em uma única classe. Já a classe de Floresta Estacional Decidual (FED) foi contida em uma classe separada devido a sua importância e relativa facilidade de classificação.

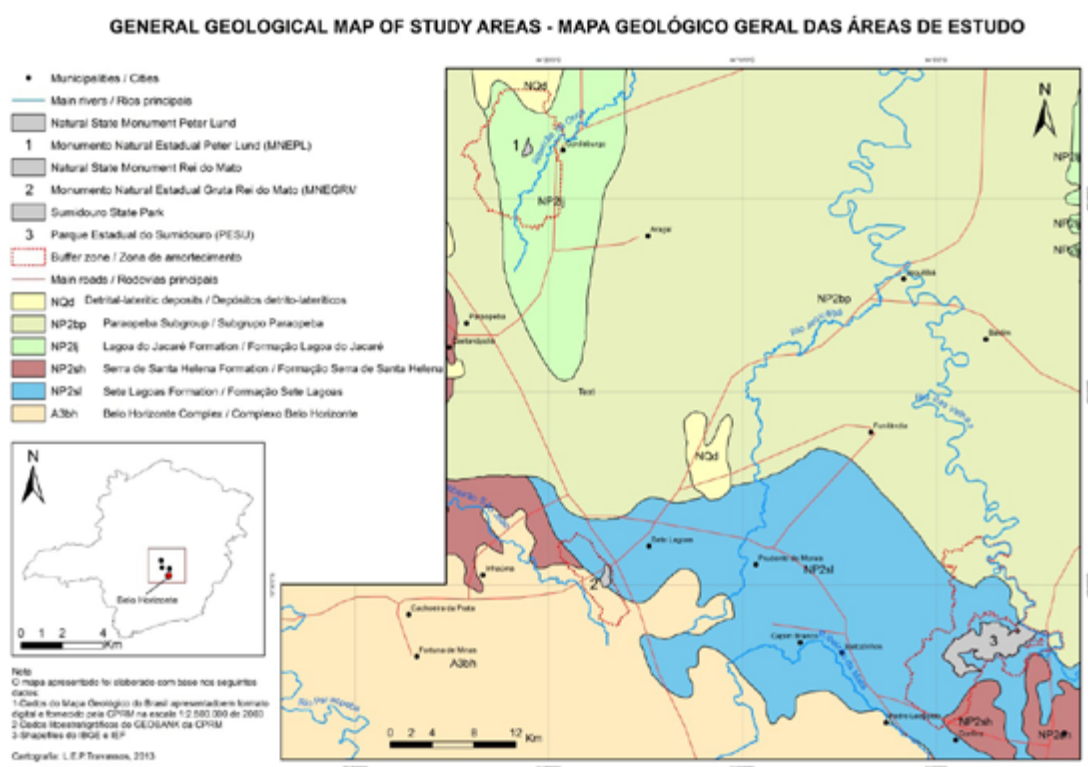
Foi realizada a classificação supervisionada no SPRING/INPE do tipo MAXVER (Máxima Verossimilhança) com o limiar de 95%. Os resultados obtidos neste mapeamento foram posteriormente corrigidos, uma vez que confusões ocorrem na classificação no âmbito do próprio *software*, justamente pelo fato de diferentes alvos conterem respostas espectrais muito próximas (e.g.: mineração de calcário e áreas urbanas). Além disso, tem-se a questão relacionada ao tamanho do pixel que ocasiona o chamado efeito do pixel de mistura. Neste primeiro mapeamento, o desempenho médio geral para as 3 UCs foco do estudo foi de 88,43%, com um erro médio percentual de 11,57% e abstenção de 0,0%. Na correção da classificação, amparada no conhecimento de campo dos autores, algumas áreas classificadas equivocadamente pelo algoritmo do *software* foram eliminadas e realizou-se o recálculo da chamada matriz de confusão. O novo desempenho médio das áreas estudadas foi de 93,4%, 6,6% de confusão (*pixels* classificados em classes duvidosas ou errados) e 0,0% de abstenção.

Caracterização geológica regional

A região de estudos se localiza no Cráton do São Francisco que, definido por Almeida (1977), é considerada uma unidade geotectônica que ocupa grande parte do território de Minas Gerais. Apresenta-se delimitado pela Faixa Brasília (a oeste) e pelo Orógeno Araçuaí/Ribeira (a sul e a leste), e considera-se que o final do processo de cratonização teria ocorrido no Ciclo Orogênico Transamazônico (ALMEIDA, 1977; BAPTISTA et al., 2010).

Toda a região se desenvolve sobre rochas do Grupo Bambuí que foi originalmente definido por Costa e Branco (1961) e apresenta em sua estratigrafia atual de acordo com a proposta de Dardenne (1978). São ao todo seis Formações, da base para o topo, assim denominadas: Jequitaí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. De acordo com Machado e Silva (2010), o Mapa da Geodiversidade da CPRM (2010) e Baptista et al. (2010), as áreas de estudo compreendem (principalmente) os Domínios Geológico-Ambientais números 22 e 28. Apresentam, portanto, predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações subordinadas de rochas calcárias e predomínio de metacalcários com intercalações subordinadas de metassedimentos siltico-argilosos e arenosos, respectivamente (Figura 3).

Figura 3 – Mapa de localização e geologia simplificada das áreas de estudo.



O Monumento Natural mais ao norte da capital mineira é o Monumento Natural Estadual Peter Lund (MNEPL), em Cordisburgo, e os limites da UC e de sua Zona de Amortecimento englobam rochas carbonáticas da Formação Lagoa do Jacaré (NP2lj) que se caracteriza pela alternância de calcários oolíticos e pisolíticos, de cor cinza-escura, com intercalações de siltitos e margas. Ao norte do Monumento Natural, dentro dos limites da Zona de Amortecimento, tem-se as coberturas detrito-lateríticas (NQd), sendo caracterizado por Baptista et al. (2010) e pela CPRM (2010) como sendo o

Domínio Geológico-Ambiental 5. Os materiais existentes neste Domínio são de baixa erodibilidade natural, boa estabilidade em taludes de corte e alta capacidade de suporte que ainda podem atuar de forma favorável na concentração e/ou minimização de processos erosivos de camadas subjacentes com alta erodibilidade (BAPTISTA et al., 2010; MACHADO; SILVA, 2010). Esse é justamente o caso do município de Cordisburgo e Curvelo que apresentam um carste ora encoberto, ora exumado.

Já o Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato (MNEGRM) e o Parque Estadual do Sumidouro (PESU) apresentam predominância das rochas da Formação Sete Lagoas (NP2sl). Nesta Formação tem-se as rochas carbonáticas em lentes de diversas dimensões, com intercalações margosas e pelíticas que formam um horizonte contínuo nas regiões cratônicas de Januária, Itacarambi, Montalvânia e Serra do Ramalho, onde recebe o nome de Formação Januária (DARDENE, 1978; BAPTISTA, 2010; MACHADO; SILVA, 2010). Uma pequena parcela do MNEGRM e grande parte da Zona de Amortecimento em direção sudoeste apresentam rochas do Complexo Belo Horizonte. Para Noce, Teixeira e Machado (1997), os trabalhos existentes sobre o Complexo Belo Horizonte são originalmente os da equipe do *United States Geological Survey*-Departamento Nacional de Produção Mineral (USGS-DNPM, mais especificamente os de Gair (1962), Pomerene (1964) e Herz (1970) que identificaram granitos e gnaisses como rochas do embasamento. Já em relação à geologia da Zona de Amortecimento do PESU, tem-se pequenas porções ao sul da UC compostas por rochas da Formação Serra de Santa Helena (NP2sh) e porções ao N-NE compostas por rochas do Subgrupo Paraopeba. Dardene (1978), Baptista (2010) e Machado e Silva (2010) destacam que a Formação Serra de Santa Helena é um nível-chave para a estratigrafia do Grupo Bambuí, pois é composta por folhelhos e siltitos acinzentados que separam os níveis carbonáticos das formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré. Sobre o Subgrupo Paraopeba, Braun, Mello e Della Piazza (1990) e Porsani e Fontes (2001) destacam que o Subgrupo Paraopeba está subdividido em 4 formações, a saber: Formação Serra da Saudade, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra de Santa Helena e Formação Sete Lagoas. Tais conjuntos litológicos se caracterizam, basicamente, por serem compostos de siltitos e folhelhos intercalados com calcários e dolomitos.

Aspectos da Geomorfologia regional

Baptista et al. (2010) destacam que o Estado de Minas Gerais apresenta um relevo que difere do de outras regiões do país pela diversidade de quadros morfológicos presentes. Tal diversidade é resultante da complexa atividade tectônica atuante nas

rochas constituintes do escudo brasileiro a partir do Mesozoico que acabou arqueando, falhando e fraturando tais rochas. Embora afirmem que sejam raros na literatura os estudos que abordam exclusivamente o conjunto do relevo do estado de Minas Gerais, uma alternativa de descrição de boa qualidade nesse domínio seria o trabalho proposto por Saadi (1991). Para o escopo deste artigo, buscou-se uma classificação mais regional com base no mapa de geomorfologia de Minas Gerais (CETEC, 1982). Assim sendo, a área dos Monumentos Naturais e Parque estão localizadas regionalmente na Depressão Sanfranciscana e regiões do Planalto do São Francisco apresentando, nas duas Unidades Geomorfológicas, formas fluviais de dissecação, bem como de aplainamento.

Resultados e discussões

Um dos primeiros problemas identificados no trabalho foi o fato de que a não observância dos decretos de criação, em especial do Parque Estadual do Sumidouro, bem como a tardia criação do Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato, causaram problemas relativos à pressão antrópica nestes espaços. Não se tem, portanto, a efetiva proteção mesmo com o estabelecimento de Zonas de Amortecimento no entorno.

É importante destacar que Ferreira e Pascuchi (2009) afirmam que no Brasil, o primeiro documento legal que esboça uma pequena preocupação quanto ao entorno de áreas especiais, foi a Lei nº 5197/67. No art. 10, alínea f, a lei estabelecia a distância de 5 km nos terrenos adjacentes a estabelecimentos oficiais e açudes de domínio público, onde a utilização, perseguição, destruição, caça ou apanha de espécimes da fauna silvestre era proibida. Anos depois, em 1981, com a Lei nº 6.902 estabeleceu-se, em seu art. 3º, que nas áreas vizinhas às estações ecológicas, deveriam ser observados cuidados a serem propostos em regulamentos específicos visando a proteção da biota local.

Nota-se que em nenhum momento o carste ou o meio abiótico era levado em consideração mesmo sendo responsável pelo suporte à biodiversidade. Andrade (2005) e Ferreira e Pascuchi (2009) destacam que, posteriormente, o Decreto nº 99.274/90, em seu art. 27, estabeleceu um raio de 10 km no entorno das Unidades de Conservação. Assim, de acordo com a lei, qualquer atividade com a potencialidade de afetar a biota ficaria subordinada às normas editadas pelo CONAMA. Ainda no mesmo ano, regulamentando o referido Decreto, a Resolução CONAMA 13 de 6 de dezembro de 1990, passou a estabelecer normas relativas ao entorno das Unidades de Conservação mencionando que, num raio de 10 km, qualquer atividade que afete a biota deve obter licença ambiental, a qual só será concedida mediante a autorização do órgão ambiental

responsável pela administração da unidade de conservação.

Observa-se, portanto, uma flexibilização da proteção de 10 km, mas pelo menos, com a exigência de licenciamento ambiental. Entretanto, o CONAMA, em reunião ordinária, aprovou em 24 de novembro de 2010 uma resolução que regulamentou os procedimentos de licenciamento ambiental de empreendimentos que afetem Unidades De Conservação (UC) ou suas Zonas de Amortecimento (ZA). Assim sendo, a ZA das UCs sem plano de manejo passou dos originais 10 km para apenas 3 km quando da existência de empreendimentos de significativo impacto ambiental (necessário EIA/RIMA), se assim considerados pelo órgão ambiental licenciador. Já para os casos de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos à elaboração de EIA/RIMA, a ZA a ser considerada para as UCs que ainda não possuam plano de manejo passa a ser de somente 2 km.

Para compreender melhor o conceito de Zona de Amortecimento deve-se recorrer ao art. 2º da Lei nº 9.985/2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). No documento ficou estabelecido que uma Zona de Amortecimento é o “entorno das unidades de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade”. Para Ferreira e Pascuchi (2009), as zonas de amortecimento se inserem no Sistema Nacional de Unidades de Conservação com o objetivo de contribuir para a manutenção da estabilidade e equilíbrio do ecossistema garantindo a integridade da área protegida. Assim, as ZAs configuram-se como espaços territoriais que, em virtude de sua proximidade e contiguidade em relação às áreas protegidas, são afetados pelo regime especial de conservação da natureza que rege esta região passando a possuir, também, um regime diferenciado de fruição que estabelece controle e restrições a determinadas atividades.

Dessa forma, neste trabalho, devido a todas as particularidades em relação à criação das UCs no Estado de Minas Gerais, buscou-se elaborar os mapas de uso do solo em um raio de pelo menos 5 km no entorno das mesmas. Os detalhes de cada um são descritos a seguir:

PARQUE ESTADUAL DO SUMIDOURO

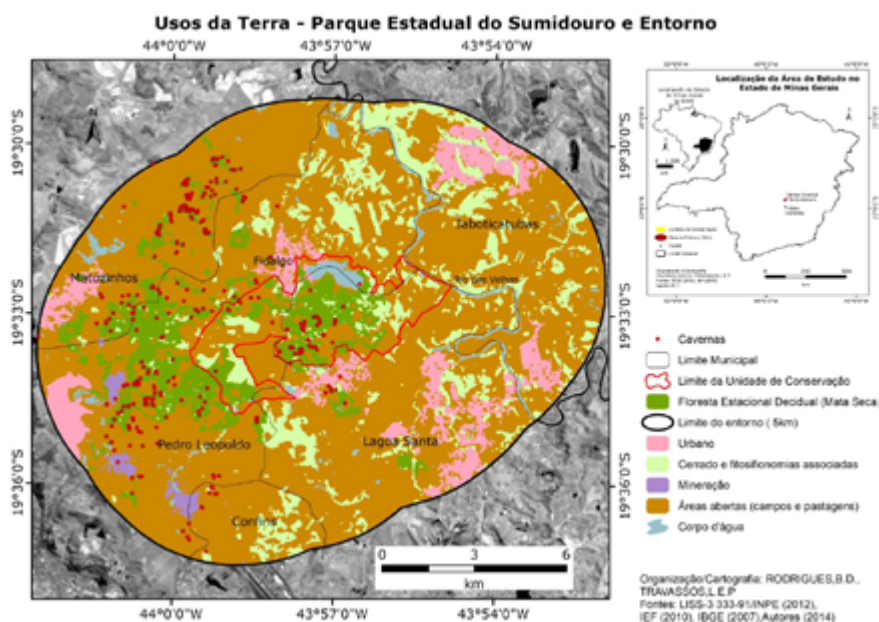
Dos Parques e Monumentos Naturais existentes no carste, destaque deve ser dado ao Parque Estadual do Sumidouro, UC criada na década de 1980 pelo Decreto 20.375, mas somente implementada efetivamente décadas depois, a partir do ano 2000. Por esse motivo, ressaltam-se os problemas advindos de seu tardio estabelecimento.

Com base nas visitas de campo no Parque, foi possível chegar ao mapa de uso do solo da UC e entorno (Figura 4).

Nota-se pela análise da imagem que a maior parte do entorno é composta por campos e pastagens em todos os municípios envolvidos. Na escala analisada, as áreas de mineração estão presentes sobretudo na porção SW do Parque, no município de Pedro Leopoldo. Entretanto, destaca-se o fato de que em Lagoa Santa e em Fidalgo é possível identificar pequenas minerações “artesaniais” da conhecida “Pedra de Lagoa Santa”. Em comparação com a área de entorno do Parque, poucos fragmentos de Mata Seca ainda existem, concentrando-se na porção sudoeste e central da UC. Destaca-se que em função de seu caráter de lito dependência aos carbonatos, tais fragmentos de mata abrigam afloramentos e cavidades naturais subterrâneas. Manchas de Cerrado e suas fitofisionomias ocorrem em menor proporção, estando mais espalhadas por toda área entre fragmentos de mata seca, áreas abertas e mais ao N-NE da área de estudo.

Em relação às áreas urbanas é importante destacar o fato de que o Parque sofre pressão de dois distritos de Lagoa Santa ao norte e ao sul da UC, bem como de Pedro Leopoldo e Matozinhos a oeste e Jaboticatubas, a nordeste. Devido à demora em efetivar o manejo da UC, nota-se que a Zona de Amortecimento ou área de entorno do Parque foi criada levando-se em consideração os mais de 20 anos de ocupação da UC e do entorno. O distrito de Fidalgo encontra-se densamente povoado e muito próximo ao limite norte do Parque na Lagoa do Sumidouro. Tal fato leva a crer que a qualidade da água na região pode ser facilmente comprometida. Outra área que merece destaque são as nascentes do córrego Samambaia que se localizam na porção sul do Parque.

Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo no Parque Estadual do Sumidouro e entorno.



Fonte: Dados da pesquisa.

Com o campo e a classificação das imagens foi possível perceber que uma área urbana significativa está próxima às nascentes aumentando, assim, o risco de contaminação. Além do risco às águas superficiais é preciso lembrar que todo o carste é sensível e as atividades agropecuárias sem controle ou o uso de agrotóxicos podem comprometer excessivamente a qualidade da água subterrânea. Além disso, a disponibilidade de água para consumo humano deve ser cuidadosamente pensada. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (Tabela 2) apontam para um cenário cada vez mais preocupante de pressão antrópica pouco controlada, bem como do surgimento de novas fontes potenciais de poluição no carste de maneira geral e no entorno da UC. Muitas residências e condomínios apresentam fossas coletoras de esgoto doméstico que podem causar problemas. Em relação às indústrias, destaca-se o fato de que devem atentar cada vez mais para os procedimentos mais corretos possíveis de coleta, tratamento e destinação de resíduos sólidos e de efluentes.

Tabela 2 – Aspectos demográficos dos municípios do entorno do PE do Sumidouro

| Município / Distrito | Área da unidade territorial (km ²) | População 2010 | População estimada 2014 |
|----------------------|--|----------------|-------------------------|
| Matozinhos | 252,280 | 33.955 | 36.382 |
| Jaboticatubas | 1.114,972 | 17.134 | 18.785 |
| Pedro Leopoldo | 292,947 | 58.740 | 62.473 |
| Confins | 42,355 | 5.936 | 6.409 |
| Lagoa Santa | 229,267 | 52.520 | 58.702 |

Fonte: IBGE Cidades, 2014.

Em relação às cavidades naturais subterrâneas, levando-se em consideração o conjunto amostrado nos 5 km de raio de entorno, apenas uma pequena parcela é efetivamente protegida dentro dos limites do Parque Estadual do Sumidouro. Outras muitas cavidades naturais subterrâneas encontram-se na porção NW-W-SW da UC, sendo que em Pedro Leopoldo muitas estão próximas a empreendimentos minerários. Outras encontram-se ao sul do parque, muito próximas a área urbana.

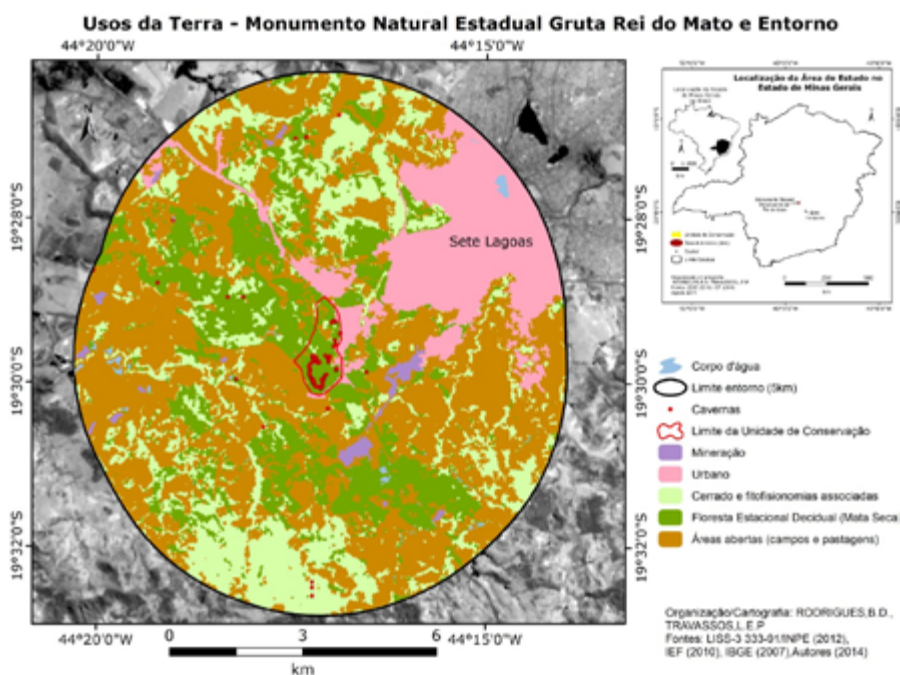
MONUMENTO NATURAL ESTADUAL GRUTA REI DO MATO

A área denominada Gruta Rei do Mato, localizada no Município de Sete Lagoas, foi declarada como sendo de proteção especial pela Lei nº 8.670, de 27 de setembro de 1984, recebendo visitantes de forma mais sistemática a partir de 1989. Cerca de uma década depois, passou a ser definida como Unidade de Proteção Integral, na categoria Monumento Natural Estadual, nos termos do art. 55 da Lei Federal nº 9.985 de 18 de julho de 2000, e do art. 40 do Decreto Federal nº 4.340, de 22 agosto de 2002. Entretanto, a Gruta Rei do Mato e entorno somente passaram a ser efetivamente protegidos por legislação mais restritiva em 25 de agosto de 2009 quando se estabeleceu o Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato (MNEGRM) por meio da Lei Estadual nº 18.348/2009. De acordo com a Lei, a UC tem como objetivo principal a proteção do “sítio histórico Gruta Rei do Mato, seus ecossistemas cársticos de grande beleza cênica, sua flora e fauna, valorizando os patrimônios espeleológico, arqueológico e paleontológico”. A exemplo do PESU foi possível elaborar o mapa de uso do solo da UC e entorno (Figura 5).

Nota-se pela análise da imagem que a maior parte do entorno é composta por campos e pastagens, seguido pela Floresta Estacional Decidual (Mata Seca) e pelo Cerrado e as fitofisionomias associadas. Na escala analisada e nesta primeira aproximação, as áreas de mineração estão presentes ao redor de toda a UC, com

destaque àquelas de maiores proporções localizadas a S-SE dos limites do Monumento Natural. O espaço urbano é representado, sobretudo, pela cidade de Sete Lagoas, cidade média de cerca de 214.152 habitantes com projeção para 2014 de cerca de 229.887 hab (IBGE, 2014).

Figura 5 – Mapa de uso e ocupação do solo no Monumento Natural Estadual Gruta Rei do Mato e entorno.



Nota-se que o Monumento Natural é coberto quase totalmente pela Mata Seca, apresentando poucas manchas de campos e/ou pastagens, além de poucas manchas de Cerrado e suas fitofisionomias. Seu valor como local de proteção de cavernas da região é inegável, pois abriga a maioria daquelas que são conhecidas. O maior problema em relação às fontes de poluição do carste aqui são, justamente, a cidade, minerações, siderúrgicas e seus bairros industriais a E-NE. Outra importante fonte provável de poluição do carste é a BR-040, importante rodovia federal que liga Belo Horizonte à Capital Federal. Um acontecimento lamentável foi registrado quando da duplicação da estrada. Estruturas que apresentavam estromatólitos que se encontravam próximas à barreira da Polícia Rodoviária Federal (Km 470) foram destruídas sem chance de serem levadas a museus ou universidades. Além disso, não se observa cuidados em relação à prevenção de contaminação dos aquíferos cársticos ao longo da rodovia, a exemplo daqueles identificados em estradas Europeias.

Assim como observado no PESU, é possível perceber que o risco apresentado pela cidade de Sete Lagoas e seus bairros próximos ao Monumento é visível. Além do

risco às águas superficiais é preciso lembrar que todo o carste é sensível e as atividades antrópicas devem ser pensadas com cuidado. Historicamente a cidade vem sofrendo com a falta de água em função do excessivo desconhecimento do carste regional por parte das gestões públicas.

MONUMENTO NATURAL PETER LUND

A região de Cordisburgo, Minas Gerais, muitas vezes é esquecida e deixada de lado nas pesquisas científicas sobre o carste. Talvez a razão disso seja o fato da região estar mais ao norte da capital mineira e devido ao fato de apresentar um carste mais encoberto que nas demais regiões estudadas. Entretanto, Travassos (2010) destaca que região de Cordisburgo se apresenta como um dos mais belos exemplares de carste tropical, palco das importantes descobertas científicas de Peter Wilhelm Lund, na segunda metade do século XIX. Além disso, nos anos 1950, a paisagem foi o cenário das obras literárias de João Guimarães Rosa, importante escritor mineiro.

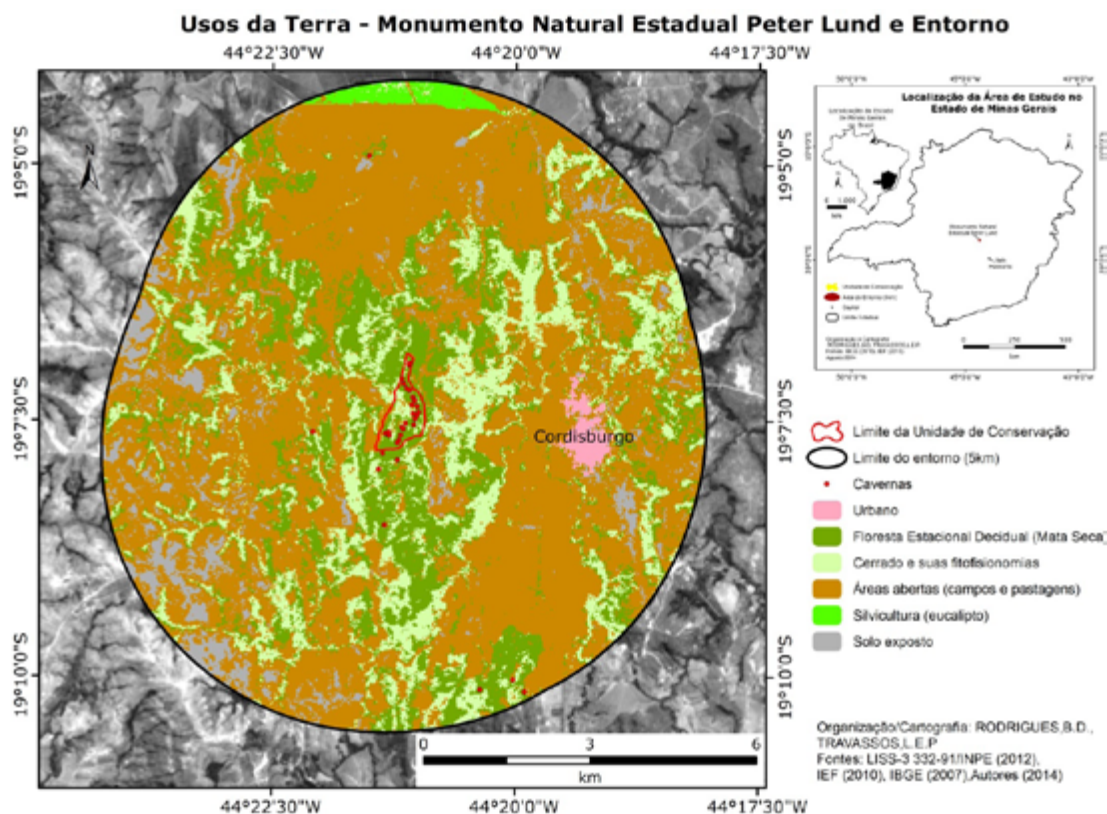
Além dos trabalhos científicos pioneiros de Lund, o naturalista europeu já se mostrava preocupado com a conservação dos solos e das florestas de Minas Gerais. Citado por Piló (2002), Lund afirmava que a agricultura “praticada pelos brasileiros fazia com que, a cada ano, as mais belas e férteis regiões do país fossem transformadas em desertos”. Assim, já fazia referência às práticas agropecuárias e extrativistas que causavam e ainda causam impactos indiretos, diretos e irreversíveis ao carste. Assim sendo, a figura 6 comprova a afirmação, pois é possível verificar a existência de vastas áreas compostas por campos e pastagens, bem como uma área mais ao norte destinada à silvicultura de eucalipto.

A Lapa Nova do Maquiné, ou Gruta do Maquiné (como é mais conhecida), talvez seja a principal razão de criação do Monumento Natural Estadual Peter Lund (MNEPL), em 2005. O Decreto Estadual nº 44.120 de 29 de setembro de 2005, que criou MNEPL afirma que seu objetivo principal é a proteção e conservação do 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, com zona de amortecimento a ser definida pelo Instituto Estadual de Florestas - IEF, quando da elaboração do plano de manejo da UC do grupo de proteção integral.

A área urbana de Cordisburgo parece não apresentar perigo iminente ou grave ao carste, pois apresenta uma população de 8.667 habitantes e projeção estimada para 2014 de 8.981 habitantes. Entretanto, é sempre desejável a compreensão dos processos

que levam a formação do carste e armazenamento de água subterrânea para que fontes potenciais de contaminação sejam evitadas.

Figura 6 – Mapa de uso e ocupação do solo no Monumento Natural Estadual Peter Lund e entorno.



Acredita-se que a maior ameaça à água subterrânea venha da agropecuária e da silvicultura de eucalipto. 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. Desde 1976 a região de Cordisburgo é abastecida pela água do endocarste por meio 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 (TRAVASSOS, 2010).

Assim como no MNGRM, nota-se que o Monumento Natural Estadual Peter Lund é coberto quase totalmente pela Mata Seca, apresentando poucas manchas de campos e/ou pastagens e de Cerrado e suas fitofisionomias. Assim como no Monumento de Sete Lagoas, seu valor como local de proteção de cavernas da região é inegável,

pois abriga a maioria daquelas conhecidas na região. Entretanto, a gruta da Morena (4.620 m) e a gruta do Tobogã (1.000 m) encontram-se fora dos limites da UC e sua Zona de Amortecimento.

Considerações finais

As análises do presente trabalho tiveram como objetivo principal destacar as principais atividades desenvolvidas no âmbito do Projeto CNPq [490259/2011-1], “*O uso de Sensoriamento Remoto na identificação de fontes de poluição no carste da região centro-norte de Minas Gerais (Brasil) em comparação com a região do carste clássico (Eslovênia)*”.

De maneira geral, o projeto financiado pelo CNPq permitiu aos envolvidos uma melhor compreensão dos complexos fenômenos que envolvem os sistemas cársticos carbonáticos, sendo possível o aprimoramento pessoal e coletivo dos envolvidos sobre a temática. Percebeu-se que o maior problema nestes sistemas, seja na Eslovênia, Brasil ou outras partes do mundo, é a busca pela qualidade e quantidade das águas de abastecimento tanto para a população, quanto para outras atividades industriais ou de agropecuária.

A 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 e as atividades que ocorrem em superfície vão ditar os problemas futuros.

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 as 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).

Assim sendo, conclui-se que foi possível perceber de que forma o uso do Sensoriamento Remoto pode se tornar uma das principais estratégias no planejamento do desenvolvimento em áreas cársticas em Minas Gerais e no Brasil e que mais pesquisas devem ser buscadas a fim de se atingir um melhor equilíbrio com a paisagem cárstica.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido pelo CNPq por meio do Projeto 490259/2011-1, “O uso de Sensoriamento Remoto na identificação de fontes de poluição no carste da região centro-norte de Minas Gerais (Brasil) em comparação com a região do Carste Clássico (Eslovênia)”. Além disso, agradecem todo o apoio fornecido pelos pesquisadores do Inštitut za raziskovanje krasa (Karst Research Institute), durante as missões de campo.

Referências

- ALMEIDA, F. F. M. de. O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v.7, n.4, p.349-364, 1977.
- ANDRADE, A. de L. A problemática do licenciamento ambiental em Zona de Amortecimento de Unidades de Conservação. 2005. 64f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.
- BAPTISTA, M.C.; SILVA, S.F. DANTAS, M.E.; DUARTE, K. da S.; ALMEIDA, B. F. de; MURICY FILHO, A. de F.; COUTINHO, C. I.; PEDROSA, L. Aspectos gerais do meio físico. In: MACHADO, M. F; SILVA, S. F. da. Geodiversidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, 2010. p. 17-34.
- BRAUN, O.P.G, MELLO, U.; DELLA PIAZZA, H. Bacias proterozóicas brasileiras com perspectivas exploratórias para hidrocarbonetos: Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Petrobrás: Rio de Janeiro, 1990.
- CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Geomorfologia. Belo Horizonte: COPAM/CETEC, 1982. 1 mapa: color. Escala 1:1.000.000.
- COSTA, M.T.; BRANCO, J. J. R. Roteiro da excursão Belo Horizonte-Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 14, 1961, Belo Horizonte. Roteiro de excursões... Belo Horizonte: SBG, 1961. 25 p. (Publicação 15).
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa da Geodiversidade do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, 2010. 1 mapa: color. Escala 1:1.000.000.
- DARDENNE, M. A. Síntese sobre a estratigrafia do grupo Bambuí no Brasil central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. Anais... Recife: SBG, 1978. v. 2, p. 597-610.
- FERREIRA, G. L. B. V.; PASCUCHI, P. M. Zona de Amortecimento: A proteção ao entorno das unidades de conservação. *Âmbito Jurídico*, Rio Grande, XII, n. 63, abr 2009. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=5917>. Acesso em set 2014.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@, 2014. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>> Acesso em set 2014.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Imagens do Satélite Resource Sat LISS-3 – órbita-ponto 332-091. De 12.06.2012. Disponível em: <www.inpe.br>. Acesso em: 10 ago. 2014.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Imagens do Satélite Resource Sat LISS-3 – órbita-ponto 333-092. De 12.06.2012. Disponível em: <www.inpe.br>. Acesso em: 10 ago. 2014.
- I N S T I T U T O ESTADUAL DE FLORESTAS. Unidades de Conservação do SAP Vetor Norte, 2014.

Disponível em <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/sap-rmbh/1645-unidades-de-conservacao-do-sap-vetor-norte>> Acesso em set 2014.

I N S T I T U T O
ESTADUAL DE FLORESTAS.
Parque Estadual do Sumidouro,
2014. Disponível em <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/215?task=view>>
Acesso em set 2014.

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.

MACHADO, M. F.;
SILVA, S. F. da. Geodiversidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, 2010.

NOCE, C.M.;
TEIXEIRA, W.; MACHADO, N. Geoquímica dos gnaisses TTGS e granitóides neoarqueanos do Complexo Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 27, n.1, p. 25-32, 1997.

PORSANI, J.L.;
FONTES, S.L. O método magnetolúrgico aplicado à Bacia do São Francisco, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.19, n.2, São Paulo, 2001.

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.

TRAVASSOS, L.E.P.
Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010. 89p.

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