2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS À DEGRADAÇÃO DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA POR MEIO DE MAPEAMENTO E RANQUEAMENTO DE FATORES DETERMINANTES

PEREIRA, Marília Tanure Caram (1); MEDEIROS, Helder Gattoni (2); MAIRINK, Ana Júlia Maia (3); SCOTTI, Maria Rita (4); GONÇALVES, Willi de Barros (5); LOURA, Rejane Magiag (6)

(1) Universidade Federal de Minas Gerais, marilia.tanure.caram@gmail.com
(2) Universidade Federal de Minas Gerais, heldergattoni@gmail.com
(3) Universidade Federal de Minas Gerais, ana_julia_maia@hotmail.com
(4) Universidade Federal de Minas Gerais, mritascottimuzzi@gmail.com
(5) Universidade Federal de Minas Gerais, willidebarros@gmail.com
(6) Universidade Federal de Minas Gerais, rejaneml@gmail.com

RESUMO

As regiões cársticas ocupam cerca de 15% da superfície da terra e, no Brasil, o carste de Lagoa Santa-MG é uma das regiões mais ricas em recursos naturais, além de abrigar grutas, cavernas e exemplares de fósseis animais. O foco deste artigo é ranquear as áreas mais vulneráveis à degradação na região da APA da Carste de Lagoa Santa, com foco nos aspectos histórico-culturais de arqueologia e paleontologia, gerando um mapa síntese de vulnerabilidade dessa região para que auxiliem na tomada de decisão para sua preservação. Para isso, foi utilizado o método multicritério de ranqueamento, em que foram escolhidos os fatores determinantes. Eles foram ranqueados segundo ordem de importância e as informações foram cruzadas com cartografias representativas para determinar as áreas mais vulneráveis à degradação ambiental. O método de ranqueamento se mostrou válido para auxiliar na tomada de decisões para proteção ambiental. Porém alguns aspectos foram limitantes: os software para geração de dados específicos e a ausência de mapas base mais atuais, já que a APA Carste data de 1998.

Palavras-chave: *Áreas Vulneráveis à degradação. APA Carste Lagoa Santa. Regiões cársticas. Paisagem natural. Ambiente construído.*

ABSTRACT

The karst regions occupy about 15% of the earth's surface and, in Brazil, the karst of Lagoa Santa-MG is one of the richest regions in natural resources, in addition to housing caves and fossils of animal specimens. The focus of this article is to rank the areas which are at risk of degradation in the region of APA Carste in Lagoa Santa, focusing on the historical-cultural aspects of archeology and paleontology, generating a synthesis map of vulnerability of this region to assist in decision making for its preservation. For this, the multicriteria ranking method was used, in which the determining factors were chosen. They were ranked in order of importance and the information was crossed with representative cartography to determine the areas at the most risk of to environmental degradation. The ranking method proved to be valid to assist in decision making for environmental protection. However, some aspects were limiting: the software for generating specific data and the absence of more current and accurate base maps, since APA Carste dates back to 1998.

Keywords: *Areas at risk of degradation. APA Karst Lagoa Santa. Karst regions. Natural landscape. Built environment.*

1 INTRODUÇÃO

A mudança no uso e ocupação do território é um dos resultados mais visíveis sobre a modificação humana no ecossistema terrestre, tendo um impacto significativo no ambiente local, regional e global (WENG, 2001). A realidade ambiental é decorrente do processo de interação dos componentes físicos e bióticos do meio com o homem. Essa interação ocorre de acordo com o padrão de desenvolvimento desejado pela sociedade. O modo de ocupação, forma de apropriação dos recursos naturais e a organização social, demonstram como o homem percebe o meio e o padrão de consumo da sociedade. A gestão ambiental tem como função principal a condução em harmonia desses processos de interação, visando a sustentabilidade e o desenvolvimento (AGRA FILHO, 1994).

Regiões com características geomorfológicas cársticas proporcionam a formação de grutas que podem abrigar sítios arqueológicos e paleontológicos, além de restos paleoameríndios, sendo esse ecossistema protegido por normas legais (HERMANN et al. 1998). Os terrenos cársticos ocupam cerca de 15% de toda área terrestre do planeta, cerca de 2,2 milhões de km², sendo local de habitação para cerca de 1 bilhão de pessoas, o que corresponde a 17% da população mundial (YUAN e CHAI, 1988). Ford e Williams (1989) sugerem que 25% da população global é suprida na sua maioria ou exclusivamente por água das regiões cársticas, incluindo os aquíferos profundos de carbonato. Os estudos das mudanças nas regiões cársticas é importante devido a grande área e população envolvidas, ademais, é uma região extremamente frágil, comparável com a margem do deserto. Uma vez danificada, a sua recuperação é lenta. Um problema crítico em áreas cársticas é a "desertificação rochosa": a transformação de uma região cárstica coberta por solo e vegetação em uma paisagem rochosa, desprovida de solo e vegetação (YUAN, 1997). Ela geralmente é causada pela atividade humana, especialmente devido à retirada da vegetação natural, principalmente nas encostas íngremes. Isso torna difícil a restauração da vegetação, pois pode ter pouco ou nenhum solo remanescente (XIAO e WENG, 2007).

Fica visível a necessidade de proteção dessa paisagem que é tão vulnerável à ação humana. Na região cárstica de Lagoa Santa, uma maneira encontrada para a proteção foi a criação de uma "Área de Proteção Ambiental" (APA), que tem como função ordenar e normatizar o uso da terra, limitando ou proibindo atividades incompatíveis com a manutenção do ecossistema e bem-estar da população. Para isso os órgãos públicos utilizam o zoneamento ecológico-econômico e plano de gestão da APA, conforme previsto na legislação (HERMANN et al., 1998).

Seus maciços calcários, paredões, torres, dolinas, sumidouros e ressurgências tornam esta área de proteção um dos sítios espeleológicos mais importantes do país. Entretanto, somente com sua criação, sem a sua implantação efetiva, não está sendo possível deter as ações que impactam negativamente os bens culturais e ecológicos da área (HERMANN et al., 1998). Estudos detalhados sobre as mudanças no uso e ocupação de uma região ajudam a explicar a extensão espacial e o grau de mudança, e assim auxiliam no direcionamento das ações humanas que causam mudanças no ambiente (XIAO e WENG, 2007).

1.1 Área de estudo

A Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa foi criada pelo Governo Federal através do decreto 98.881 de 25 de janeiro de 1990, possuindo 35.600 hectares. A APA ocupa parte dos municípios de Confins, Funilândia, Lagoa Santa,

Matozinhos e Pedro Leopoldo situando-se na região cárstica de Minas Gerais. As rochas foram formadas da predominância do calcário e compõem o grupo da série do Bambuí. A Figura 1 apresenta o mapa da região (HERMANN et al., 1998).

Figura 1 - Mapa da APA Carste Lagoa Santa



Fonte: Hermann et al. (1998)

As características da região propiciaram a formação de muitas grutas que abrigam muitos sítios arqueológicos e paleontológicos e de restos paleoameríndios, formando um ecossistema protegido por normas legais específicas. Além de sua importância natural e espeleológica, possui também grande riqueza científica e cultural, bem como vocação turística. No complexo do carste de Lagoa Santa encontra-se um conjunto aquífero que pode ser considerado o principal responsável pela criação desse ecossistema único. Há ainda a possibilidade de existirem regiões que não foram exploradas pela ciência, que podem estar se perdendo devido à exploração não sustentável, o que justifica a criação de mecanismos de proteção para a região (HERMANN et al., 1998). A área da APA apresenta um dos calcários do grupo Bambuí, formando uma das Carstes de maior relevância do Brasil.

escalonamentos de dolinas, janelas, grutas e paredões, além de grande riqueza e palimpsestos paleontológicos e pré-históricos, que vêm sendo estudados desde Lund, a partir de 1836 (KOHLER, 1989).

2 MÉTODO

A análise de riscos pode ser feita de diversas maneiras, desde métodos informais de ranqueamento de riscos e matrizes de risco até análises quantitativas completas (HALL, 2010; HASSAN et al., 2006). Segundo Ganová et al. (2017), o planejamento territorial é uma das áreas de estudo em que os métodos multicritério são extensivamente utilizados. Os autores trabalharam uma região cárstica na Eslováquia e aplicaram dois métodos multicritério diferentes para determinar as áreas mais vulneráveis a sofrerem inundações, já que os eventos são bastante recorrentes no local. Um dos métodos foi o Ranqueamento, que foi escolhido para ser utilizado também neste estudo. Meyer (2009) explicou que se trata de um método onde as informações são ordenadas para auxiliar no processo de tomada de decisão, de acordo com os critérios considerados mais importantes. Num primeiro momento, as informações são ranqueadas conforme uma ordem de importância, isto é, uma escala. Depois, são atribuídos pesos numéricos a cada critério. Nesse método, a avaliação da ordem de importância dada aos critérios é subjetiva, mesmo que baseada em conhecimento científico (GANOVÁ et al., 2017).

Para a realização do método de ranqueamento, foram utilizadas as informações iniciais do Relatório de Gestão Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa (HERMANN et al., 1998). Depois, foi feita visita técnica para levantamento fotográfico e reconhecimento de campo, onde foram avaliados os impactos trazidos pela urbanização da região. A partir da pesquisa feita, a aplicação do ranqueamento se deu em duas etapas: a primeira de escolha dos fatores determinantes, ou seja, aqueles de maior relevância para a degradação ambiental; e a segunda de análise multicritério e sobreposição de mapas gerados para determinar as áreas mais vulneráveis à degradação ambiental.

2.1 Escolha dos fatores determinantes

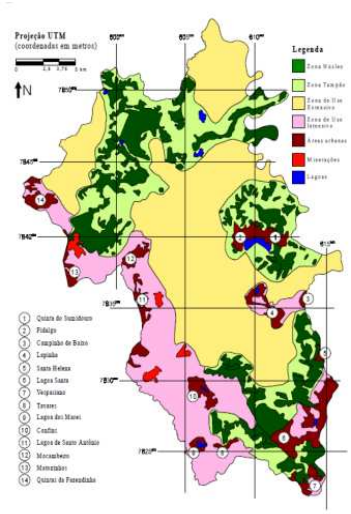
De acordo com o estudo de Ganová et al. (2017), o primeiro passo para entender a vulnerabilidade é identificar os fatores que afetam a região de estudo, por meio da análise de estudos existentes e pelo conhecimento técnico e científico. Dessa forma, foi possível identificar fatores hidrológicos e geográficos que são responsáveis pela maior degradação ambiental, selecionados devido a sua relevância. Na região cárstica de Lagoa Santa, o relatório de Gestão Ambiental da APA (HERMANN et al., 1998) já apresentou um estudo bastante completo sobre o meio biótico do local, conforme explicitado abaixo:

> Em função das características de uso atual da terra, foram consideradas como candidatas à zona-núcleo áreas que fossem compostas pelos remanescentes dos ambientes originais das matas nativas da região. [...] A partir destes resultados, acrescidos dos pesos dados a cada um dos critérios, foram gerados mapas com as zonas prioritárias para conservação dos grupos de flora (HERMANN et al., 1998, v.2, p.18).

Para o estudo do meio biótico a APA Carste levou em consideração diversos fatores, que também foram ranqueados, pesados e normalizados, tais como: riqueza de espécies, tamanho e formato da área, estado de conservação da área, estrutura da vegetação, proximidade de cursos d'água/lagoas; distância de cidades; nível de isolamento, distância das estradas principais e abundância de indivíduos.

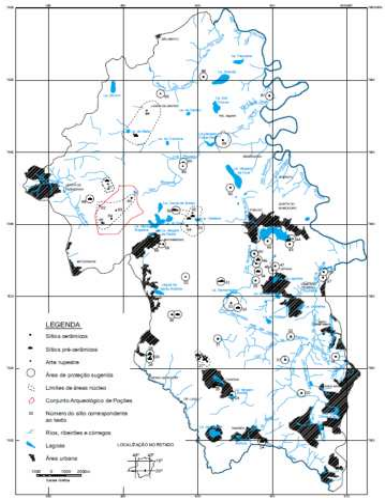
Assim, observa-se que o relatório de Hermann et al. (1998) foi bastante abrangente, permitindo a utilização dos dados para o desenvolvimento dessa pesquisa. Dessa maneira, as zonas de maior riqueza natural preservada foram agrupadas numa única classe, que envolve os núcleos de vegetação nativa, os corredores de amortecimento e as lagoas. O restante dos itens permaneceu os mesmos. O volume 3 do relatório da APA Carste de Lagoa Santa (HERMANN et al., 1998) traz um levantamento de sítios arqueológicos e paleontológicos, que foi utilizado na produção dos mapas base desse estudo. A seguir, tem-se nas figuras 2, 3 e 4 os mapas utilizados como referência na produção dos mapas base para a elaboração do mapa síntese de vulnerabilidades da APA Carste de Lagoa Santa.

Figura 2 - Mapa de Zoneamento do Meio Biotico



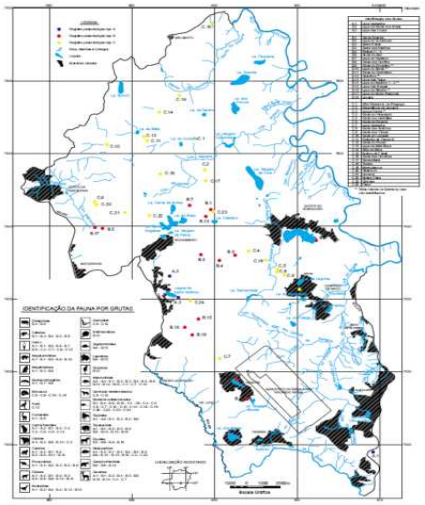
Fonte: Hermann et al. (1998)

Figura 3 - Mapa de Arqueologia da APA Carste Lagoa Santa



Fonte: Hermann et al. (1998)

Figura 4 - Mapa de Grutas com registro Paleontológico da APA Carste Lagoa Santa

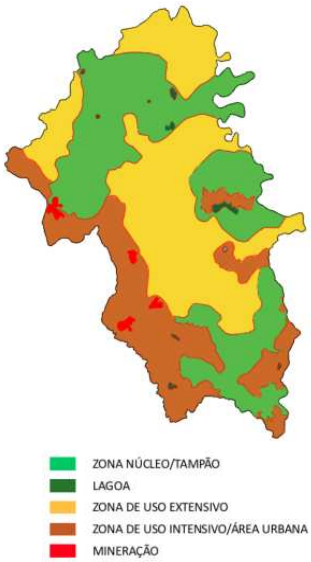


Fonte: Hermann et al. (1998)

2.2 Mapas base

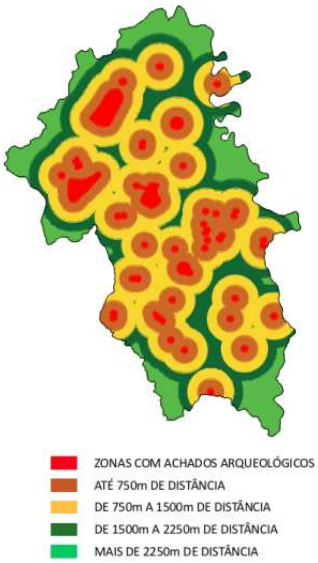
Com base nos mapeamentos do relatório de Hermann et al. (1998), foram gerados novos mapas base para a sobreposição. De acordo com as classificações realizadas, foram gerados mapas para o Meio Biótico (Figura 5), para os Sítios Arqueológicos (Figura 6) e Sítios Paleontológicos (Figura 7). Os mapas têm a função de cruzar as informações dos mapas originais encontrados no relatório de Hermann et al. (1998), apresentados anteriormente, com a escala de importância atribuída nessa pesquisa.

Figura 5 - Mapa Meio Biótico da APA Carste Lagoa Santa



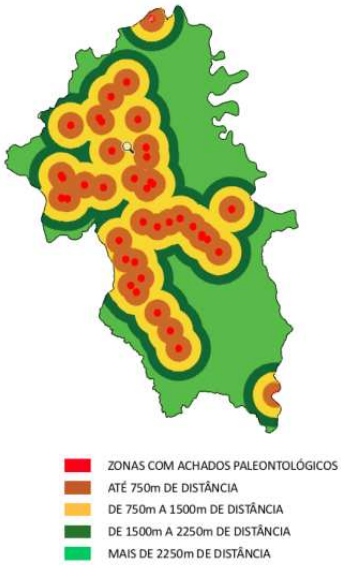
Fonte: Os autores

Figura 6 - Mapa de Sítios Arqueológicos da APA Carste Lagoa Santa



Fonte: Os autores

Figura 7 - Mapa de Sítios Paleontológicos da APA Carste Lagoa Santa



Fonte: Os autores

O mapa da Figura 5 agrupou algumas categorias do mapa de referência de uso do solo da APA, de forma que a zona núcleo (área com vegetação preservada) e o tampão (corredor de preservação) formassem uma única categoria. Da mesma forma, as zonas de uso intensivo e a zona urbana foram agrupadas. Utilizando as informações presentes no relatório de Hermann et al. (1998) como suporte, as áreas mais próximas dos sítios arqueológicos e paleontológicos foram consideradas de maior relevância para a proteção contra impactos ambientais, como mostrado nas Figuras 6 e 7.

2.3 Ranqueamento de vulnerabilidade

No Quadro 1 tem-se a classificação de importância de cada categoria, em que 5 é a mais importante e 1 é a menos importante. Para a análise do Meio Biótico, as áreas urbanizadas e de mineração, que causam a maior degradação ambiental, foram consideradas de maior relevância para a tomada de decisões em prol da preservação. Já em relação à Arqueologia e à Paleontologia, as áreas mais próximas dos sítios arqueológicos e paleontológicos foram consideradas mais pertinentes para a proteção contra impactos ambientais, como demonstrado nas tabelas abaixo.

Quadro 1 - Classificação dos critérios

MEIO BIÓTICO	
Mineração	5
Zona Uso Intensivo/Área Urbana	4
Zona Uso Extensivo	3
Lagoa	2
Zona Núcleo/Tampão	1
ARQUEOLOGIA	
Zonas com achados arqueológicos	5
Até 750m de distância	4
De 750m a 1500m de distância	3
De 1500m a 2250m de distância	2
Mais de 2250m de distância	1
PALEONTOLOGIA	
Zonas com achados paleontológicos	5
Até 750m de distância	4
De 750m a 1500m de distância	3
De 1500m a 2250m de distância	2
Mais de 2250m de distância	1

Fonte: Os autores

Quadro 2 - Classificação das categorias

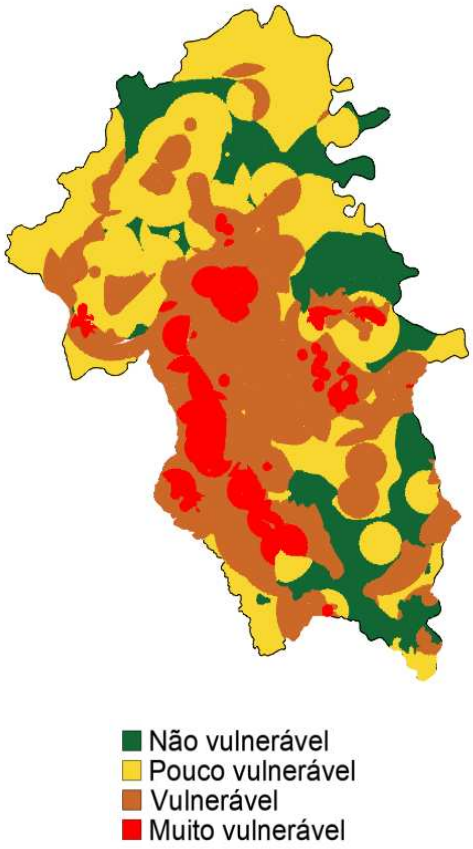
Critério	Ranque	Peso	Peso Normalizado	Peso (%)
Meio Biótico	1	3	0.5	50
Arqueologia	2	2	0.33	33
Paleontologia	3	1	0.17	17
Soma		6	1	100

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da sobreposição dos mapas gerados com base no estudo realizado por Hermann et al. (1998), criou-se um mapa síntese de vulnerabilidade da região da APA Carste de Lagoa Santa (Figura 8). Com relação à avaliação de vulnerabilidade das áreas, o resultado é uma categorização das áreas em relação ao seu nível de vulnerabilidade e, portanto, uma recomendação sobre onde são mais necessárias ações de mitigação. A vulnerabilidade foi classificada em quatro níveis: não

Figura 8 - Mapa síntese de vulnerabilidades da APA Carste Lagoa Santa



Fonte: Os autores

Quadro 3 - Escala de vulnerabilidade

Vulneabilidade	Escala de vulnerabilidade
Não vulnerável	1,00 - 1,88
Pouco vulnerável	1,88 - 2,75
Vulnerável	2,75 - 3,63
Muito vulnerável	3,63 - 4,50

Fonte: dos autores

vulnerável (verde), pouco vulnerável (amarelo), vulnerável (marrom) e muito vulnerável (vermelho).

Através do somatório dos pesos atribuídos às regiões mapeadas, chegou-se a uma escala de vulnerabilidade, com as faixas de peso de cada classificação: não vulnerável (1,00-1,88), pouco vulnerável (1,88-2,75), vulnerável (2,75-3,63) e muito vulnerável (3,63-4,50), conforme o Quadro 3.

Dentro da escala de vulnerabilidade, a área em marrom (vulnerável) e a área em vermelho (muito vulnerável) foram definidas como aquelas que requerem diretrizes de proteção especiais, em razão do alto grau de fragilidade. Através da comparação dos mapas de referência do relatório de Hermann et. al (1998) e o mapa síntese observa-se que as áreas consideradas como muito vulneráveis (em vermelho), equivalem a áreas próximas aos elementos Arqueológicos e Paleontológicos, apesar do maior peso atribuído ao Meio Biótico. Isso se dá pelo fato de que, muitas vezes, esses elementos se encontram em um mesmo local, equivalendo ao peso do Meio Biótico. Dentre eles, destacam-se os achados cerâmicos e arte rupestre das Grutas Cerca Grande e Lapa do Caetano, no Distrito de Mocambeiro, na região central do mapa.

4 CONCLUSÕES

Um mapa síntese pode ser uma ferramenta de suporte para a tomada de decisões e para o estudo dos impactos humanos planejados ou não planejados em regiões como a APA Carste de Lagoa Santa. Dessa forma, esse estudo visa contribuir na identificação das áreas mais vulneráveis para auxílio no desenvolvimento de diretrizes de preservação dos aspectos histórico-culturais da área.

O presente estudo utilizou as variáveis de Meio Biótico, Arqueologia e Paleontologia, visando focar na preservação desses elementos histórico-culturais. Ademais, não foram adicionadas mais variáveis devido a limitações de software para a geração dos dados. Outra limitação encontrada foi a data dos mapas utilizados como base

para o estudo, sendo de mais de 20 anos atrás. Portanto, para a ampliação da análise e futura atualização desses mapas, sugere-se a inclusão de aspectos referentes aos tipos de solo, declividade do terreno e localização de rios e lagoas. Esses elementos se mostram relevantes na região Cárstica visto a fragilidade do solo e influência da hidrologia no funcionamento do ecossistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pelos recursos financeiros aplicados no Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

AGRA FILHO, S.S. **Proposta de configuração dos planos de gestão do gerenciamento costeiro**. IBAMA. Brasília, MMA, 1994.

Ford, D., Williams, P., Karst Geomorphology and Hydrology. **Unwin Hyman**, London. 1989.

GAŇOVÁ, L; ZELEŇÁKOVÁ, M; PURCZ, P; DIACONU, D. C; ORFÁNUS, T; KUZEVIČOVÁ, Z. Identification of urban flood vulnerability in eastern Slovakia by mapping the potential natural sources of flooding: implications for territorial planning. **Urbanism, Arhitectură, Construcții**. Slovakia. v. 8, n°4, p. 365-376, 2017.

HALL, J. Journal of Flood Risk Management. **Journal Flood Risk Management**. s/l. v. 3, n 1, p. 1–2. 2010.

HASSAN, A. J., GHANI, A. A., ABDULLAH, R. Development of flood risk map using GIS for Sg. **Selangor basin**. 2006.

HERMANN, G; KOHLER, H. C; DUARTE, J. C; CARVALHO, P. G. S. **Gestão Ambiental**: APA Carste de Lagoa Santa. IBAMA e Fund. BIODIVERSITAS/CPRM, Belo Horizonte, 1998.

KOHLER, H. C. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa, MG**. Tese de Doutorado (Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas, Universidade de São Paulo, 1989.

MEYER, V.; SCHEUER, S., HAASE, D. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. **Natural Hazards**. Germany. v. 48, s/n., p. 17-39. 2009.

WENG, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **International Journal of Remote Sensing**. v. 22, n. 10, p. 1999–2014, 2001.

XIAO, H; WNG, Q. The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China. **Journal of Environmental Management**. v. 85, p. 245–257, 2007.

YUAN, D. Rock desertification in the subtropical karst of south China. **Zeitschrift fur Geomorphologie**. s/v, n. 108, p. 81–90.1997.

YUAN, D., Chai, G., The Science of Karst Environment. **Chongqing Press, Chongqing**, China. 1988.