

## Áreas de risco ambiental por barragens no Estado de Minas Gerais

Guilherme Fernando Gomes Déstro<sup>1</sup>  
Fernanda Cunha Pirillo Inojosa<sup>2</sup>  
Jailton Dias<sup>1</sup>  
Giovana Bottura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA  
Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO  
Coordenação de Zoneamento Ambiental - COZAM  
SCEN Trecho 2, Ed. Sede, Caixa Postal nº 09870, CEP 70.818-900 - Brasília/DF  
{guilherme.destro, jailton.dias}@ibama.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA  
Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO  
Coordenação Geral de Emergências Ambientais - CGEMA  
SCEN Trecho 2, Ed. Sede, Caixa Postal nº 09870, CEP 70.818-900 - Brasília/DF  
fernanda.pirillo@ibama.gov.br

**Abstract.** Environmental risk mapping is an interesting tool to assist government agents, considering that it's technical and scientific approach can provide a guide to public policies formulation. Besides bringing dynamism to the decision making process, such tool involves a great variety of disciplines and knowledge areas. However, easily applicable methodologies, aimed specifically to environmental risk mapping, are still scarce. In this context, the present work is focused on the development of a risk mapping method based on geographic information system – GIS. For this pilot project, mining dams in Minas Gerais state, Brazil, were chosen as potential causes of environmental accidents. The environmental risk map proposed is the result of the intersection of a sensitivity map and a threat map, caused by mining dams and associated hazards. A multi-criteria approach was used in GIS (ArcGis 9.2), achieved by an analytic hierarchy process (AHP), and weighted linear combination – which means summing different variables calculated by Euclidean distance, with estimated values according to the variable's relative importance. Threat, sensitivity and risk levels were categorized in: “extremely high”, “high”, “medium”, “low” and “extremely low”. It was possible to verify that Belo Horizonte metropolitan area was considered the most risky concerning mining dams; which can be explained by environmental sensitivity (due to intrinsic characteristics) and dams concentration. In conclusion, the method proposed by this work has been proved effective to risk mapping, if there are previous environmental information available, such as topology and drainage maps.

**Palavras-chave:** environmental risk, dam, ArcGis, environmental sensibility, Minas Gerais state, risco ambiental, barragem, ArcGis, sensibilidade ambiental, Minas Gerais

### 1. Introdução

As medidas referentes à prevenção e combate ao uso indevido dos recursos naturais vêm ganhando destaque nas ações governamentais. Tais medidas ganham força quando regiões amplamente urbanizadas, ou com grande importância biológica, estão sujeitas a acidentes ambientais de grandes proporções, como derramamento de óleo ou rompimento de barragens.

Nesse contexto, é de fundamental importância para uma gestão ambiental eficaz o mapeamento das áreas de risco ambiental, que são entendidas como:

“Áreas com risco de ocorrência de acidentes ambientais cujos potenciais danos diretos ou indiretos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger estão relacionados com as atividades potencialmente impactantes e com a vulnerabilidade dos sítios frágeis associados” (MMA, \_\_\_\_\_)

No âmbito federal, o mapeamento de áreas de risco faz parte das ações de controle de emergências ambientais previstas no Decreto N° 6.099, de 26 de abril de 2007 (Brasil, 2007), que aprovou a estrutura regimental do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Assim, pretende-se que o Instituto tenha uma atuação voltada para a prevenção de acidentes, superando a postura normalmente reativa dos órgãos governamentais. O mapeamento de áreas de risco, em nível federal, também passa a ser um produto importante na priorização dos trabalhos de fiscalização preventiva, licenciamento e orientações para elaboração de planos de emergência, dentre outras atividades.

Como afirmou Fatorelli (2005), os órgãos ambientais federais e estaduais, bem como as empresas que desenvolvem atividades com potencial impacto ambiental, devem motivar estudos e aplicações de avaliação de risco ecológico com a finalidade de melhorar a qualidade de vida da população humana e do meio ambiente, além de aprimorar as legislações ambientais.

O presente trabalho faz parte de um projeto-piloto iniciado pelo IBAMA para o mapeamento de áreas de risco ambiental no Brasil. Neste primeiro estudo, foram escolhidas como atividades impactantes, ou como ameaças, as barragens utilizadas para mineração no Estado de Minas Gerais, objetivando o mapeamento das áreas de risco ambiental relacionadas a tais empreendimentos. Tal escolha se justifica pelos grandes danos que podem ser causados por uma ruptura de barragem, a exemplo dos acidentes ocorridos em Cataguazes<sup>1</sup> e Mirai<sup>2</sup> nos últimos anos, e também pela quantidade significativa de acidentes relacionados com barragens no ano de 2008 em outras localidades do território nacional.

## 2. Metodologia

A realização deste estudo foi possível em virtude dos dados gerados pela Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM-MG, 2006), que conta com um cadastro georreferenciado de mais de 600 barragens no Estado, disponibilizados no endereço eletrônico da Fundação. Vale ressaltar que esse cadastro e sua classificação quanto ao Potencial de Dano Ambiental foram instituídos pela Deliberação Normativa Copam n° 87, de 17 de junho de 2005, que alterou e complementou a Deliberação Normativa Copam n° 62, de 17 de dezembro de 2002, que dispõe sobre os critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado.

Para a elaboração do mapa de risco ambiental empregou-se a abordagem multicriterial em ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG (ArcGIS 9.2), por meio do uso do Processo de Hierarquização Analítica (AHP) e da Combinação Linear Ponderada. Enquanto o AHP é utilizado para comparação e ponderação de critérios, a Combinação Linear Ponderada é a ferramenta pela qual os diferentes mapas temáticos representando critérios e restrições são combinados para gerar um mapa indicativo da adequação da superfície de estudo para determinado uso (Carvalho e Riedel, 2004; Jamel *et al*, 2007).

Para Araújo (1999), o Processo Analítico Hierárquico, por atribuir a devida importância a cada condicionante pela atribuição de pesos, propicia uma análise mais completa e se constitui em uma das formas de abordagem mais utilizadas dentro de um Sistema de Informação Geográfica.

Considerando o risco ambiental como uma função entre as ameaças a uma determinada área e sua sensibilidade ambiental, tem-se que o dano ambiental será maior quanto mais

---

<sup>1</sup> Derramamento de 1,2 bilhões de litros de dejetos químicos ocasionado por rompimento de barragem em 2003. (COSTA e PEDLOWSKU, 2004)

<sup>2</sup> Derramamento de 2 bilhões de litros de lama ocasionado por rompimento de barragem em 2007. (O GLOBO, 2007).

próximo da causa do acidente estiver a área analisada, quanto mais perigosa for a ameaça e quanto mais sensível for tal área. Assim, para cada variável envolvida na análise, construiu-se um mapa específico utilizando o cálculo da distância euclidiana de valores contínuos (crescente e decrescente), com uma posterior normalização na escala de 1 a 255, que possibilitasse a intersecção entre os mapas.

Para a elaboração do mapa de sensibilidade, foram utilizados os mapas temáticos das Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (MMA, 2006), a base de núcleos urbanos consolidados (IBGE, 2000), os assentamentos humanos voltados à reforma agrária (INCRA, 2008 – atualizado até o mês de agosto de 2008), as Unidades de Conservação federais, estaduais e municipais disponíveis (IBAMA/CGZAM, 2008), e o mapa de declividade, a partir dos dados de relevo obtidos no site da Nasa (SRTM/NASA, 2008).

Para o mapa de ameaças, foi utilizado o mapa de acumulação de fluxos, elaborado a partir dos dados de relevo fornecido pelo SRTM/NASA e o de localização de barragens (FEAM-MG, 2006), classificadas de acordo com seu Potencial de Dano Ambiental (I - baixo, II - médio e III - alto), e considerando-se a estabilidade estrutural das mesmas (que indica as maiores probabilidades de rompimento). O mapa de acumulação de fluxos foi utilizado por permitir relacionar um acidente ambiental ocasionado por barragem à informação topográfica regional, direcionando a área afetada de um possível acidente para áreas a jusante.

Cada tema utilizado recebeu um peso de acordo com sua importância na análise, com intersecção dos mapas pelo método da Soma Ponderada Ordenada (Moreira *et al.*, 2002; Carvalho e Riedel, 2004), resultando nos mapas de sensibilidade e ameaças, conforme detalhado na Tabela 1. Por fim, estes dois mapas foram intersectados para a elaboração do mapa final de risco ambiental.

Tabela 1. Pesos atribuídos aos temas analisados

<b>Tema</b>	<b>Peso</b>
<b>Sensibilidade Ambiental</b>	<b>1</b>
<i>Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade</i>	1
<i>Declividade</i>	2
<i>Rede de Drenagem</i>	3
<i>Assentamentos humanos voltados à reforma agrária</i>	3
<i>Unidades de Conservação de Uso Sustentável/ Terras Indígenas</i>	4
<i>Unidades de Conservação de Proteção Integral</i>	5
<i>Núcleos urbanos consolidados</i>	5
<b>Ameaças</b>	<b>5</b>
<i>Barragem com potencial de dano baixo</i>	2
<i>Barragem com potencial de dano médio</i>	4
<i>Barragem com potencial de dano alto</i>	6
<i>Barragem instável</i>	5
<i>Acumulação de fluxos</i>	8

Como forma de facilitar a interpretação e análise dos resultados, os mapas resultantes (sensibilidade, ameaças e riscos) foram classificados, de acordo com o gradiente, em 5 classes: “muito alto”, “alto”, “médio”, “baixo” e “muito baixo”, conforme sugerido por Valente e Vettorazzi (2005).

### 3. Resultados e Discussão

Pelo mapa de sensibilidade ambiental (Figura 1), observa-se que o maior contínuo de áreas sensíveis está na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, caracterizada como um grande aglomerado urbano e com relevo acidentado. As regiões norte e nordeste do Estado

também se destacaram por sua elevada sensibilidade ambiental, especialmente na região dos municípios de Januária, Porteirinha e Jequitinhonha, que reúne importantes unidades de conservação e áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade. As sub-bacias hidrográficas mais sensíveis incluem os vales do rio Jequitinhonha, rio São Francisco, rio das Velhas, rio Doce e rio Piracicaba.

As mesorregiões do Triângulo Mineiro e Noroeste do Estado foram caracterizadas como as de menor sensibilidade, principalmente por incluir comparativamente menos aglomerados urbanos e por possuir poucas unidades de conservação.

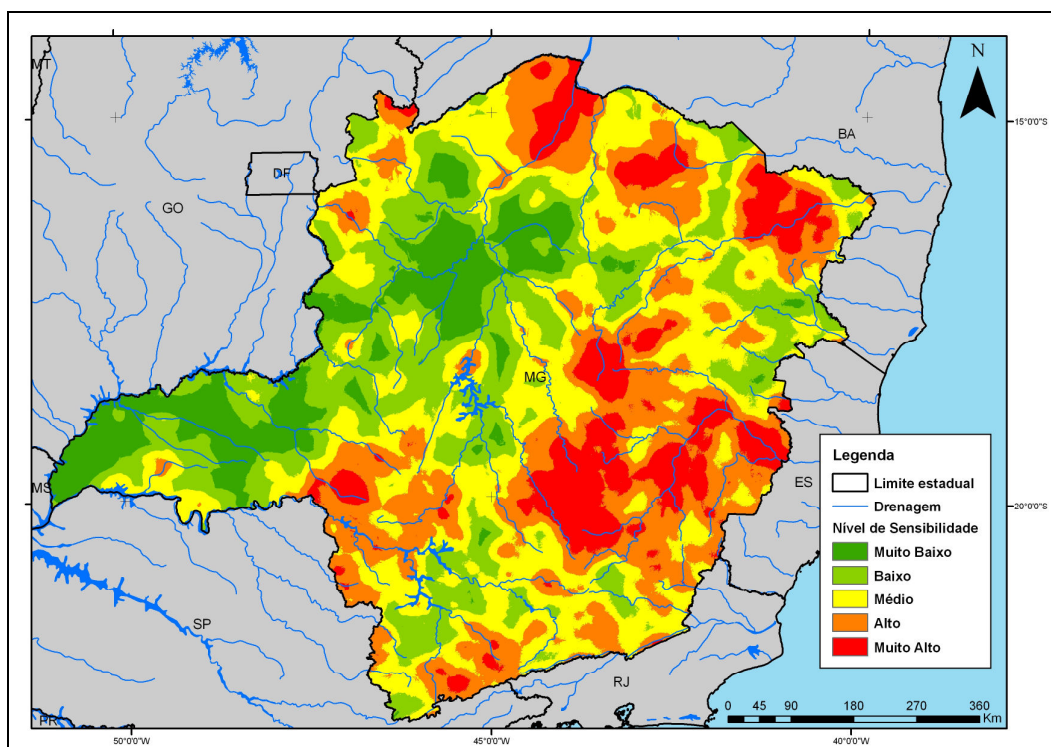


Figura 1. Sensibilidade ambiental do Estado de Minas Gerais.

Já os níveis de ameaça (Figura 2), pela estreita relação que possuem com a presença de barragens, são mais intensos na região sudeste do Estado, com destaque, novamente, para a Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e, pontualmente, com áreas ameaçadas nas mesorregiões da Zona da Mata, Triângulo Mineiro, Oeste e Sudoeste de Minas.

Vale ressaltar que o mapa de acumulação de fluxos teve grande importância no resultado do mapa de ameaças, uma vez que direcionou as áreas de influência das barragens para regiões de menor elevação, acompanhando preferencialmente a rede de drenagem.

O mapa de risco ambiental resultante da junção dos dois mapas anteriores passou por uma etapa de refinamento seguindo a topografia e hidrografia e com suavização dos contornos dos polígonos. Este refinamento teve como base a idéia de Malczewski (1999, *apud* Valente e Vettorazzi, 2005), quando afirma que nem sempre a melhor solução é aquela resultante unicamente do processamento por *softwares*, devendo-se avaliar criticamente as características da paisagem para determinar qual a melhor alternativa na definição das áreas de risco.

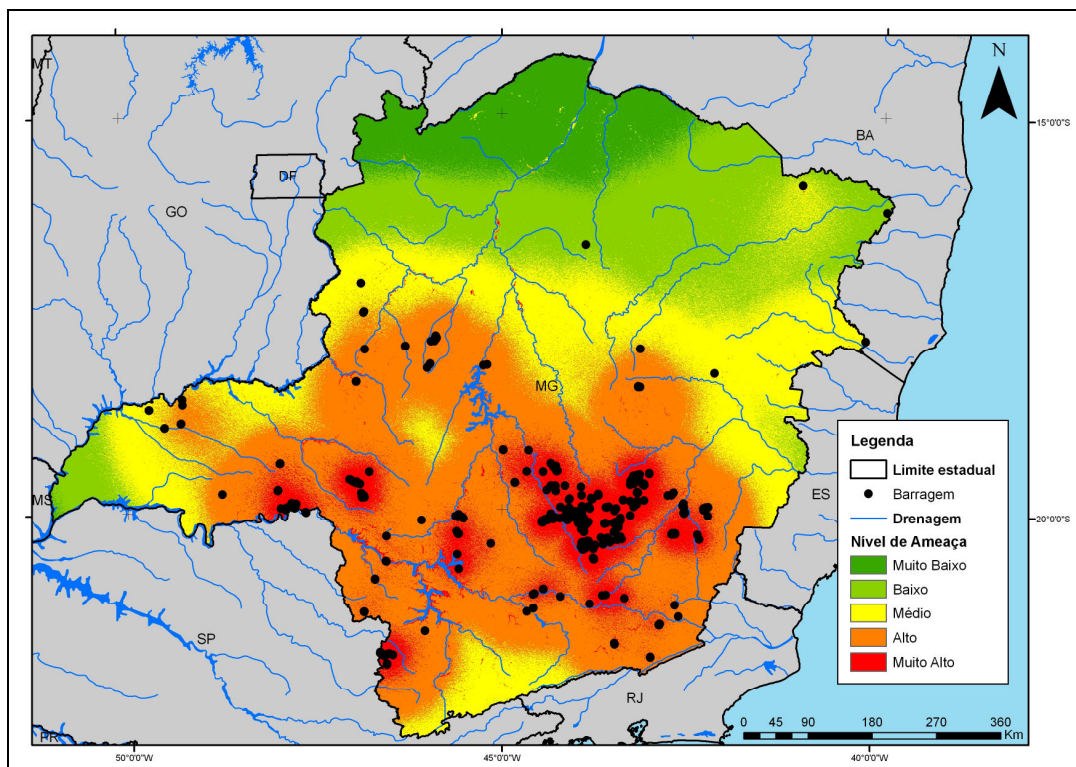


Figura 2. Ameaças ambientais causadas por barragens no Estado de Minas Gerais.

A Figura 3 apresenta o mapa de risco ambiental após a etapa de refinamento.

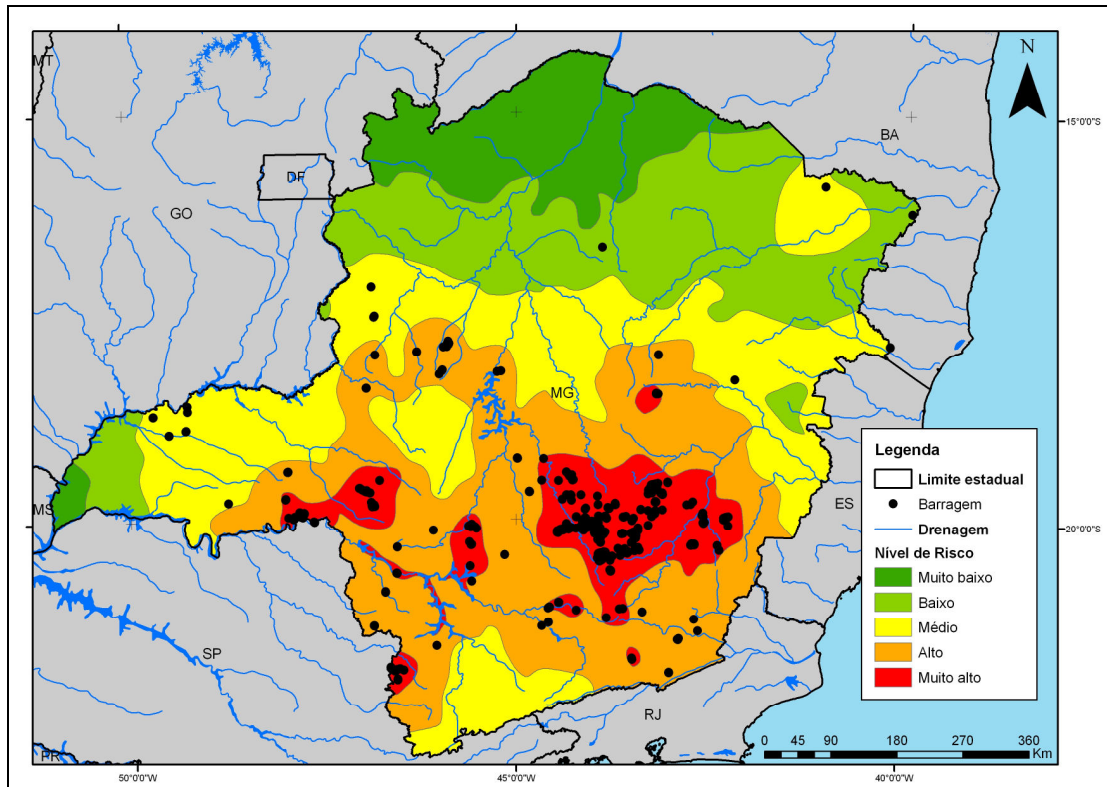


Figura 3. Risco ambiental relacionado com barragens no Estado de Minas Gerais.

Verificou-se que a região metropolitana de Belo Horizonte, por reunir grande fator de ameaça numa área bastante sensível, foi a que obteve maior nível de risco no Estado de Minas

Gerais como um todo. Tal fato pode ser explicado historicamente, tendo em vista que as áreas mineradoras foram fatores atrativos para o estabelecimento da população no seu entorno (Cunha e Godoy, 2003). Também se destacaram como de “muito alto risco”, pontualmente, as regiões dos municípios de Ritópolis, Juiz de Fora, Arcos, Santo Antônio do Itambé, Poços de Caldas, Passos, Uberaba e Araxá. Nota-se que, no entorno destas áreas, existe uma grande zona mapeada como de “médio risco”. A região norte, mesmo por possuir grande sensibilidade, foi caracterizada como de “muito baixo risco” devido à inexistência atual de barragens.

#### **4. Conclusões**

Com este trabalho, concluiu-se que a abordagem multicriterial, com o uso do processo de hierarquização analítica (AHP) e da combinação linear ponderada em ambiente SIG (ArcGis 9.2), é adequada para o mapeamento de áreas de risco relacionadas com barragens, de acordo com o projeto piloto desenvolvido para o Estado de Minas Gerais.

A importância de tal estudo se dá, no campo científico, pela consolidação de uma metodologia replicável em outros Estados da federação e para outros tipos de empreendimentos ou atividades potencialmente impactantes. No campo governamental, configura uma atitude pró-ativa e dá subsídios para ações orientadas à prevenção de acidentes ambientais.

Como resultado específico para o Estado de Minas Gerais, detectou-se uma grande sobreposição entre as áreas de maior ameaça com as de maior sensibilidade, principalmente influenciada pelo adensamento urbano na área central de Minas Gerais.

As ações governamentais para a prevenção de acidentes se devem dar, portanto, prioritariamente, nessas áreas, por meio da fiscalização preventiva, licenciamento ambiental criterioso e trabalho integrado entre os órgãos participantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente. Vale ressaltar que as áreas com grande sensibilidade, porém, sem presença de barragens, também devem ser observadas durante o licenciamento ambiental, para verificar a viabilidade específica de cada tipo de empreendimentos.

Por fim, é importante comentar a questão da escala geográfica deste trabalho, cujos resultados permitem que se tenha uma visão, sobretudo, regional do problema tratado. Outros trabalhos em escalas mais refinadas, aplicando esta mesma metodologia, deverão ser executados, utilizando, inclusive, outras informações compatíveis e tendo como recorte espacial as bacias ou micro-bacias hidrográficas.

#### **5. Agradecimentos**

Agradecemos aos técnicos da Coordenação Geral de Monitoramento e Zoneamento Ambiental – CGZAM e da Coordenação Geral de Emergências Ambientais – CGEMA, do IBAMA, que participaram da elaboração e execução deste trabalho.

#### **6. Referências Bibliográficas**

ARAÚJO, P. C. **Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica na escolha de áreas para disposição de resíduos sólidos no município de Americana – SP.** 1999. 91 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

BRASIL, Decreto nº 6.099 de 26 de abril de 2007. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>, 2007. Acesso em 17 setembro 2008.



CARVALHO, C. M.; RIEDEL, P. S. Análise da Suscetibilidade a Escorregamentos nos Entornos dos Polígonos de Cubatão-SP, através de Técnicas de Informação Geográfica. **HOLOS Environment**, Rio Claro, v.4, n.2, p. 157-73, 2004.

CGZAM. Base de Unidades de Conservação Federal, Estaduais e Municipais. In: Coordenação de Zoneamento Ambiental. 2008. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/zoneamento-ambiental>>. Acesso em: 15 maio 2008.

COSTA, T.; PEDLOWSKU, M. Um Estudo sobre os Impactos do Acidente Ambiental da 'Cataguazes de Papel' sobre as Comunidades de Pescadores do Delta do Rio Paraíba do Sul. IN: II Encontro da ANPPAS, 2004, Indaiatuba. **Anais...** 2a sessão: Ciência e impactos industriais: ANPPAS, 2004. On Line. Disponível em: <[http://www.anppas.org.br/encontro\\_anual/encontro2/GT/GT17/gt17\\_tanize\\_costa.pdf](http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT17/gt17_tanize_costa.pdf)> Acesso em 16 setembro 2008.

CUNHA, A; GODOY, M. O Espaço das Minas Gerais: Processos de Diferenciação Econômico Espacial e Regionalização nos séculos XVIII e XIX. In: Congresso Brasileiro de História Econômica e 6ª Conferência Internacional de História de Empresas – ABPHE, 2003, Caxambu. **Anais...** Sessão Temática 19 – Metodologia de Pesquisa em História Econômica – MHPE. On Line. Disponível em: <[http://www.abphe.org.br/congresso2003/Textos/Abphe\\_2003\\_07.pdf](http://www.abphe.org.br/congresso2003/Textos/Abphe_2003_07.pdf)>. Acesso em 17 setembro 2008.

EASTMAN, J.R. Decision support: decision strategy analysis. In: \_\_\_\_\_. **Idrisi 32 release 2: guide to GIS and image processing**, v. 2. Worcester: Clark University, Clark Labs, 2001. p. 1-22.

FATORELLI, L. **Proposta de Avaliação de Risco Ecológico para Contaminações de Petróleo e Derivados – Estudo de Caso**. 2005. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

FEAM, Gestão de Barragens 2006. In: Fundação Estadual de Meio Ambiente. 2006. Disponível em: <[http://www.feam.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=220&Itemid=128](http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=220&Itemid=128)>. Acesso em: 30 abril 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de Núcleos Urbanos Consolidados. Disponível em: <<ftp://geoftp.ibge.gov.br>>

JAMEL, C. A. G., et al. Utilização da técnica de avaliação multi-critério em ambiente SIG como apoio ao zoneamento e manejo de unidades de conservação - o caso do Parque Estadual dos Três Picos – RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 5., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: UFPR, 2007. CD-ROM

MINAS GERAIS. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL [COPAM]. **Deliberação Normativa nº 62/2002, de 17/12/2002**. [Dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais].

MINAS GERAIS. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL [COPAM]. **Deliberação Normativa nº 87/2005, de 17/06/2005**. [Altera e complementa a Deliberação Normativa COPAM n.º 62, de 17/12/2002, que dispõe sobre critérios de classificação de barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no Estado de Minas Gerais].

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. In: **Ministério do Meio Ambiente**. 2006. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/zoneamento-ambiental/>>. Acesso em: 07 abril 2008.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida em Emergências - Grupo Técnico de Trabalho de Caracterização e Mapeamento de Áreas de Risco Ambiental**. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_p2r2\\_1/arquivos/gt\\_mapeamento.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_p2r2_1/arquivos/gt_mapeamento.pdf)> Acesso em: 16 setembro 2008.

MOREIRA, F. R. da S., et al. Aplicação da abordagem de Importação Semântica (IS) para caracterização de contatos litológicos em modelos de inferência espacial. **REM - Revista Escola Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 4, p. 301-6, 2002.

NASA, Radar Topography Mission (SRTM). In: National Aeronautics and Space Administration. 2008. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 05 maio 2008.

VALENTE, R. de O.A.; VETORAZZI, C.A. A abordagem multicriterial na definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 1681-1683.

VETTORAZZI, C.A. **Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. 2006. 151 p. Tese (Livre Docência em Topografia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

GLOBO ONLINE. Vazamento em Mineradora não é tóxico, dizem IBRAM e órgãos de Minas. In. **Globo Online**. Disponível em <<http://oglobo.globo.com/rio/mat/2007/01/11/287374422.asp>>. Acesso em: 16 setembro 2008.