

## **Análise de Multicritério aplicada ao diagnóstico do risco ambiental do transporte rodoviário de produtos perigosos: um estudo de caso sobre a BR-381**

Tatiana Aparecida Rodrigues de Souza<sup>1 2</sup>  
Letícia de Barros Viana Hissa<sup>1 2</sup>  
Roberto Ferreira Machado Michel<sup>2</sup>  
Angelina Maria Lanna de Morais<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais/ Departamento de Geografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 - 31270-901 - Belo Horizonte – MG, Brasil  
Tatiana\_geo@yahoo.com.br  
Leticiabhissa@gmail.com

<sup>2</sup>Fundação Estadual do Meio Ambiente  
Rua Espírito Santo, 495 - 30160-030 – Belo Horizonte – MG, Brasil  
roberto@michel.com  
angelinam@meioambiente.gov.br

**Abstract:** The increasing road movimentation of chemical products classified as dangerous because for offering risks to human health, environment and to patrimony, has created a demand for environmental studies that can lead to preventive and corrective actions from the public and private sector, in the search to decrease the risk and minimize the damages of accidents involving such goods. In this context, the state of Minas Gerais has a lot of importance, for owning the biggest set of highways of the country e for being a corridor of connection between the two most active regions in Brazil (southeast and northeast). Therefore, the present study, intends, trough the application of the geoprocessing methodology *Multicriteria Analysis*, to offer a diagnostic of the risk of the movimentation of dangerous products in the highway BR-381 (from Betim To Ipatinga/ MG), and also, to open precedents for this kind of research in the state of Minas Gerais. The paper was developed inside a scientific initiation research financed by FAPEMIG and due to a demand from the Environmental Foundation from the State of Minas Gerais (FEAM).

**Palavras-chave:** Spatial Analysis, Geoprocessing, Environmental Management, Chemical Products, Análise Espacial, Geoprocessamento, Gestão Ambiental, Produtos Químicos.

### **1. Introdução**

Com o advento das sociedades industriais, e, especialmente após o início do século XX, a fabricação de produtos químicos (principalmente aqueles derivados do petróleo) vem ocorrendo em uma escala crescente. Dentre estes produtos, utilizados nos mais variados setores da economia (agricultura, indústria, mineração, etc.), tem-se aqueles denominados de *produtos perigosos*, por apresentarem perigo potencial quando expostos ao meio ambiente, podendo causar danos imediatos à vida humana, ecossistemas e bens materiais. É importante destacar que de toda a produção química mundial, 95% representam substâncias que apresentam perigo significativo para o meio ambiente físico, biológico e socioeconômico (REAL, 2000). Os produtos perigosos podem ainda ser divididos em várias classes, como por exemplo, em corrosivos,

explosivos, radioativos ou inflamáveis, separações que se dão em função do perigo que um dado produto representa, conforme proposta da ONU adotada pela Legislação Brasileira específica (REAL, 2000).

O aumento da demanda e da produção dos produtos considerados perigosos implica também em uma maior movimentação deste tipo de carga no território. De fato, em função desta movimentação crescente, algumas pesquisas têm indicado uma tendência ao aumento da frequência dos acidentes envolvendo o transporte destes materiais (OGGERO *et al*, 2006). As conseqüências sócio-ambientais deste tipo de acidente podem ser desastrosas, dependendo das variáveis envolvidas, podendo ser citadas como mais frequentes a contaminação de solos, de águas superficiais e subterrâneas e do ar. Ou seja, os acidentes envolvendo produtos perigosos além de possuírem um potencial de degradação elevado, apresentam impactos associados que constantemente ultrapassam o seu local de ocorrência.

No caso do Brasil, tem-se que o modal rodoviário é o maior responsável pelo transporte de produtos perigosos no território (DNIT, 2005), como conseqüência natural da estrutura da matriz de transportes do país, bastante dependente do setor rodoviário. Neste contexto, o estado de Minas Gerais ganha destaque, por ser detentor da maior malha rodoviária do país e corredor de ligação entre duas regiões bastante ativas economicamente (sudeste – com destaque para o estado de São Paulo e nordeste – com destaque para o Pólo industrial de Camaçari no estado da Bahia).

Entretanto, as deficiências na infra-estrutura viária das rodovias nacionais e estaduais vêm agravar ainda mais o risco já associado ao transporte de produtos perigosos. Segundo dados do Centro de Controle e Emergências Ambientais da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil de Minas Gerais<sup>1</sup> do ano de 2000 a 2003 foram registrados 202 acidentes com veículos transportadores de produtos perigosos nas rodovias mineiras, com uma média de 67 acidentes por ano. A mesma modalidade de ocorrência foi registrada pelo Corpo de Bombeiros Militar<sup>2</sup> no período de 2005 a 2007, totalizando 403 acidentes nas rodovias de Minas Gerais, com uma média de 134 por ano.

Dessa forma, emerge uma demanda por estudos ambientais que possam direcionar ações preventivas e corretivas do setor público e privado, buscando reduzir o risco e minimizar os danos de acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos, por permitirem uma otimização no atendimento, por exemplo. Contudo, o estado de Minas Gerais ainda não possui experiências na identificação ou gestão do risco desta atividade, ao contrário de alguns outros estados, como Santa Catarina (PORATH *et al*, 2005) que possui um mapeamento do risco do transporte rodoviário de produtos perigosos para todas as suas rodovias principais, ou de São Paulo, que vem apresentando estudos avançados liderados pela CETESB (CETESB, 2008). Tendo visto o panorama exposto, o presente estudo, busca, então, propor uma pesquisa que desenvolva e aplique uma metodologia específica e eficaz para obtenção de um diagnóstico espacial do risco desta atividade, conforme será melhor explicitado nos itens seguintes.

---

<sup>1</sup> DEFESA CIVIL. *Sistema Nacional de DC e o atendimento a acidentes com produtos perigosos*. Palestra cedida pelo Ten. Cel. Lucas no II Seminário Estadual de Acidentes com Produtos Perigosos. Belo Horizonte. 18/09/2007.

<sup>2</sup> CORPO DE BOMBEIROS MILITAR. *Atendimento a acidentes com produtos perigosos*. Palestra cedida pelo Cel. Teixeira no II Seminário Estadual de Acidentes com Produtos Perigosos. Secretaria Estadual de Saúde: Belo Horizonte. 19/09/2007.

## 2. Objetivos

De modo geral, o objetivo deste artigo consiste em apresentar os resultados preliminares de uma pesquisa que pretende, através da aplicação da metodologia *Análise de Multicritério* em ambiente SIG, orientada por metodologia proposta pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, [s.d.]) e pelo DNIT (2005) e de outras análises associadas, ofereça um diagnóstico do risco ambiental da movimentação rodoviária de produtos considerados perigosos.

A área de estudo escolhida para aplicação da metodologia consiste na rodovia BR-381 (Betim-Ipatinga). A análise foi aplicada em um *buffer* de 2 km a partir de cada margem da rodovia, segundo as recomendações do DNIT (2005)<sup>3</sup>. A escolha desta rodovia e respectivo trecho se deu em função do elevado número de acidentes nela ocorrido de acordo com dados da Gerência de Emergência Ambiental – GEAMB da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (2002-2007).

Finalmente, é importante destacar que a pesquisa, que ainda se encontra em andamento (com previsão de término em março de 2009), foi desenvolvida com o apoio (técnico e em infra-estrutura) da FEAM, instituição que está sendo responsável pelo desenvolvimento de uma proposta específica para o estado de Minas Gerais para o P2R2 – Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos do Ministério do Meio Ambiente<sup>4</sup>.

## 2. Metodologia

Para desenvolvimento da pesquisa realizou-se inicialmente uma revisão bibliográfica, buscando na literatura especializada, o conceito de risco que foi aplicado, metodologias de análise espacial de risco, envolvendo variáveis estáticas e não estáticas como as que estão inseridas neste contexto de análise, e estudos similares realizados em outras regiões.

Após a revisão de literatura, teve início a etapa envolvendo a aplicação da metodologia que originou o diagnóstico do risco ambiental pretendido. Como mencionado anteriormente, o mapeamento do risco ambiental do transporte de produtos perigosos foi gerado a partir da *Análise de Multicritério*, “procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito no campo das análises espaciais” (MOURA, 2007, p 2901) e recomendada pela proposta do Ministério do Meio Ambiente para identificação, caracterização e mapeamento de áreas de risco ambiental (MMA, [s.d.]).

A aplicação da metodologia *Análise de Multicritério* envolve as seguintes etapas, como recomendado por Moura (2007):

- **Identificação das variáveis envolvidas** no risco do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos para definição dos planos de informação que serão utilizados na análise. Conforme indicação do DNIT (2005) a análise de identificação do risco conta com informações sobre o meio (características ambientais e sociais na rodovia e sua área de influência), a rodovia (p.ex. geometria – sinuosidade, declividade) e as características do transporte (p.ex. classes, periculosidade e frequência dos produtos transportados).
- **Construção do Banco de Dados** referente aos planos de informação definidos na etapa anterior. Esta etapa contou com a coleta de dados

---

<sup>3</sup> Pretende-se considerar também, na análise, os limites das microbacias que excederem a área de influência de 2 km determinada pelo DNIT.

<sup>4</sup> Disponível em <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=106>>. Último acesso em 31 out 2008.

secundários, e, quando viável, com a aquisição de novos dados através de trabalhos de campo – (com apoio da estrutura da FEAM);

- **Definição dos pesos para cada plano de informação** em função da sua menor ou maior influência na determinação do risco, para a posterior álgebra de mapas.

- **Cruzamento dos Planos de Informação** pré-estabelecidos, em formato raster, em ambiente SIG para geração do mapa de risco/ fragilidade ambiental advinda do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. No caso foi utilizado o software Arc Gis 9.2.

- **Validação** do resultado obtido através de estatísticas (verificação da coincidência entre áreas indicadas como de risco e dados de ocorrência espacial dos acidentes junto aos órgãos responsáveis pelas operações de atendimento) e trabalho de campo (a ser realizada em segunda etapa da pesquisa).

Os planos de informação escolhidos para o cruzamento de mapas e geração do mapa final de risco ambiental advindo do transporte rodoviário de produtos perigosos estão representados na Figura 1, a seguir. É importante destacar, contudo, que devido à inexistência de dados georreferenciados e adequados sobre planos de informação considerados importantes para a análise, não foi possível em um primeiro momento incluí-los no cruzamento de mapas (p.ex. frequência do transporte dos produtos perigosos por classe na BR-381). Dessa forma, o estudo se concentrou bastante na fragilidade ambiental como fator determinante para o risco ambiental do transporte de produtos perigosos.

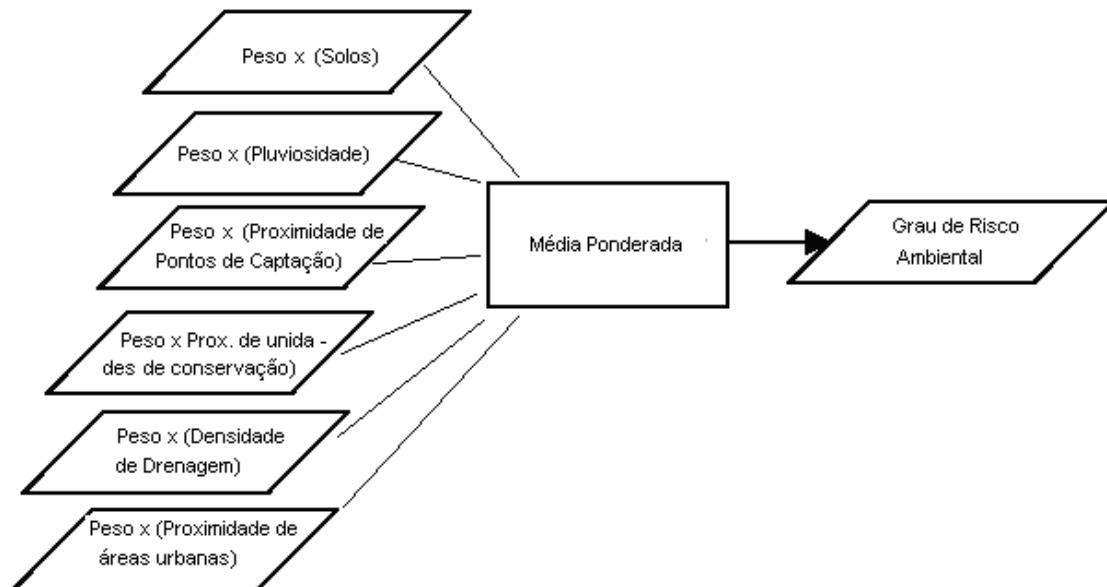


Figura 1 – Definição dos Planos de Informação para cruzamento dos dados

Em uma segunda etapa da pesquisa, pretende-se também cruzar os dados de sinuosidade e declividade da rodovia, já colhidos em campo para se obter uma percepção, mais aproximada do risco ambiental envolvido no transporte.

A Tabela 1, na página seguinte, apresenta a definição dos pesos que cada plano de informação adquiriu no momento do cruzamento dos dados, bem como as classes de risco nas quais os dados de cada mapa temático se dividiu. Em geral, foram assumidas 5 classes, sendo elas Risco Muito Alto (código de 4 a 5 no raster), Risco Alto (código 3 a

4 no raster), Risco Moderado (código 2 a 3 no raster), Risco Baixo (código 1 a 2 no raster) e Risco Muito Baixo (código 0 a 1 no raster).

Tabela 1 – Definição dos Pesos e Classes de Risco para os Planos de Informação cruzados

<b>Tipo de Mapa</b>	<b>Peso do Mapa</b>	<b>Intervalo de Classe do Mapa</b>	<b>Classe de Risco</b>	<b>Código da Classe de Risco</b>
Pontos de Captação (distância em relação aos pontos de captação (COPASA, 2007))	4	2000 a 2500 (m) 1500 a 2000 (m) 1000 a 1500 (m) 500 a 1000 (m) 0-500 (m)	Muito Baixo Baixo Moderado Alto Muito Alto	0 a 1 1 a 2 2 a 3 3 a 4 4 a 5
Densidade de Drenagem (cursos d'água p/ km <sup>2</sup> ) (IBGE)	3	0 a 0,7 0,7 a 1,4 1,4 a 2,1 2,1 a 2,8 2,8 a 3,5	Muito Baixo Baixo Moderado Alto Muito Alto	0 a 1 1 a 2 3 a 4 3 a 4 4 a 5
Unidades de Conservação (distância em relação à BR-381) (IEF,2007)	2	2000 a 2500 (m) 1500 a 2000 (m) 1000 a 1500 (m) 500 a 1000 (m) 0-500 (m)	Muito Baixo Baixo Moderado Alto Muito Alto	0 a 1 1 a 2 2 a 3 3 a 4 4 a 5
Pluviometria (EMATER/ MG)	1	- < 1000 mm 1000 a 1200 mm 1200 a 1500 mm > 1500 mm	- Baixo Moderado Alto Muito Alto	- 1 a 2 3 a 4 3 a 4 4 a 5
Solos (EMATER/ MG)	1	Afloramento Rochoso Cambissolo Neossolo Litólico Argissolo Vermelho-Amarelo Latossolo Vermelho-Amarelo Latossolo Amarelo Latossolo Vermelho Típico Latossolo Perférico	Muito Alto Alto  Moderado  Baixo  Muito Baixo	4 a 5 3 a 4  2 a 3  1 a 2  0 a 1
Mancha Urbana (distância em relação à BR-381) (IEF, 2007)	5	2000 a 2500 (m) 1500 a 2000 (m) 1000 a 1500 (m) 500 a 1000 (m) 0-500 (m)	Muito Baixo Baixo Moderado Alto Muito Alto	0 a 1 1 a 2 2 a 3 3 a 4 4 a 5

Fonte: Desenvolvida pelos autores (2008).

Após as definições dos planos, pesos, classes de risco e da organização da base de dados, realizou-se então o cruzamento dos mapas temáticos, obtendo-se como resultado o mapa final exposto na Figura 2, página seguinte. É importante destacar que apesar do mapa estar representado em escala 1: 720.000, ele é fruto da combinação de dados que apresentam escala de trabalho máxima de 1:1.000.000.

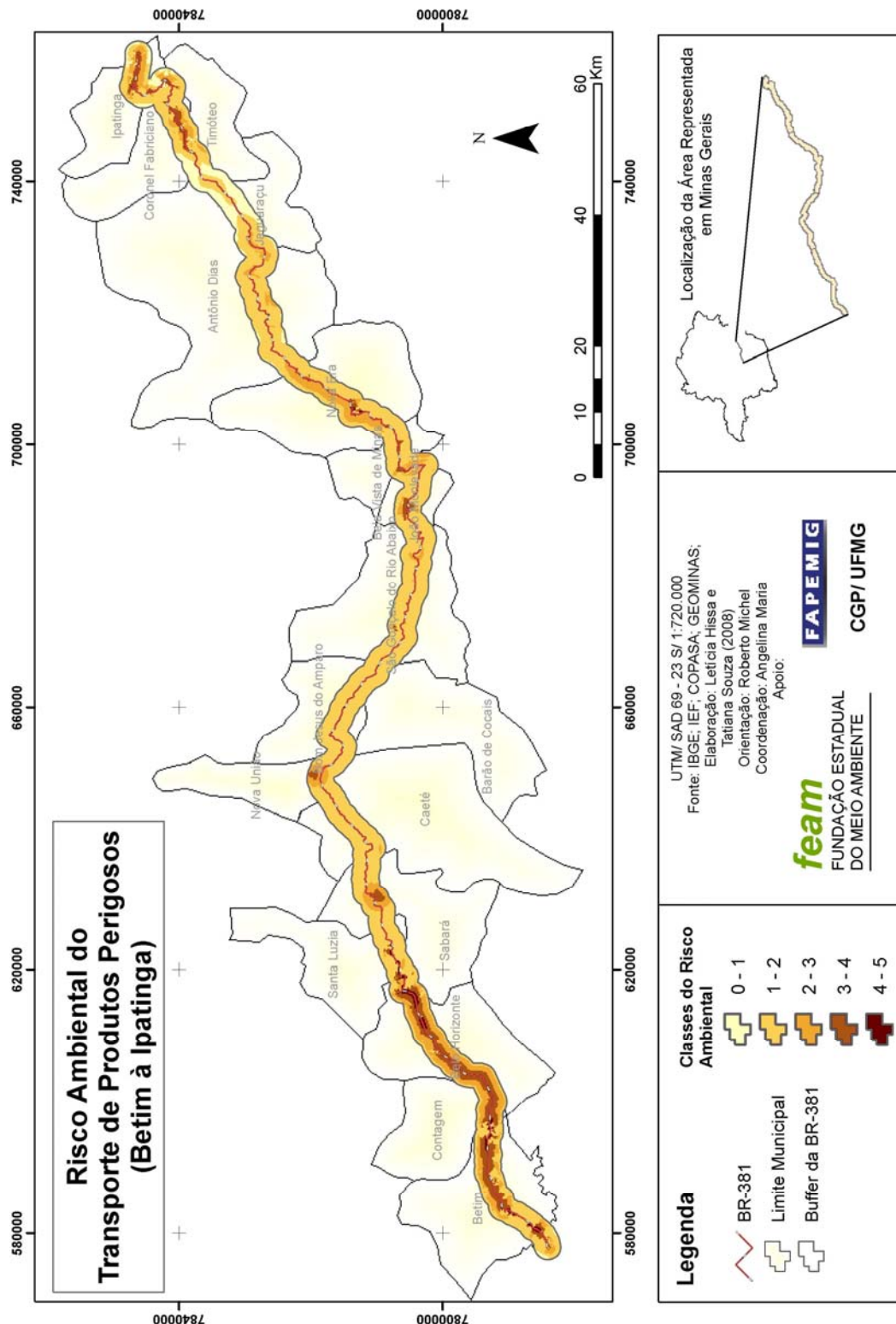


Figura 2 – Mapa de Risco Ambiental do Transporte de Produtos Perigosos (Betim à Ipatinga)

#### 4. Resultados e Discussão

A BR-381 é a rodovia do estado com maior ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos, conforme dados da Gerência de Emergência Ambiental da Fundação Estadual do Meio Ambiente e Defesa Civil. A maior frequência desses

acidentes está registrada justamente na região de mais elevado risco ambiental de toda a área, segundo o mapeamento realizado (Região Metropolitana de Belo Horizonte). O principal agravante ao risco nessa região corresponde à densa ocupação urbana, com ocupação lindeira em muitos casos. Este fator também está presente junto à rodovia em outras regiões da área, como no Vale do Aço e, em menores proporções, Bela Vista de Minas, São Gonçalo do Rio Abaixo e Nova Era, segundo dados do IEF. A existência da mancha urbana pode elevar consideravelmente a magnitude do evento ocorrido, uma vez que grande número de pessoas pode ser atingido em apenas um evento acidental.

Quanto à vulnerabilidade ambiental da área de estudo, o mapeamento realizado indicou a presença de várias áreas extremamente “sensíveis” à ocorrência de acidentes com produtos perigosos em sua proximidade. Além das manchas urbanas, essa região possui dois pontos de captação de água para abastecimento, e duas pequenas “Área Tampão” que contornam outros dois pontos, situados fora da área de influência da BR-381, mas susceptíveis a contaminações. Também se localizam no *buffer* onze Unidades de Conservação, dentre Áreas de Proteção Ambiental Estadual, Monumento Natural, Reserva Particular do Patrimônio Natural e Reserva da Biosfera. São áreas que devem ser preservadas de qualquer tipo de contato com produtos perigosos, uma vez que a contaminação poderia se dissipar por todo o ecossistema.

Além destes, outros fatores não considerados no cruzamento dos mapas merecem destaque e elevam o risco do transporte de produtos perigosos na BR-381, trecho Betim-Ipatinga, como a ausência de estabelecimentos hospitalares com unidade de atendimento toxicológico em grande parte da área de estudo; a ausência de fiscalização a essa atividade do transporte, que representa uma condição indispensável para minimizar a periculosidade gerada pelo não-cumprimento por parte dos condutores e expeditores desses produtos ao estabelecido no decreto regulamentador. Outro aspecto importante diz respeito a uma importante causa dos acidentes na área de estudo: a falta de atenção dos motoristas, o que remete a um alerta para a questão dos treinamentos e capacitação dos condutores que transportam produtos perigosos, bem como para a jornada de trabalho desses profissionais, que muitas vezes ultrapassa o máximo desejável à saúde dos mesmos.

## **5. Conclusões**

O diagnóstico do risco no transporte rodoviário de produtos perigosos demonstrou que o trecho de estudo da BR-381 reúne um conjunto expressivo de fatores de risco, associados à aspectos ambientais fortemente presentes na área, além do intenso fluxo do transporte de produtos perigosos em suas pistas, que ocorre devido ao fato desta representar um importante eixo de ligação do país. Todos esses fatores contribuem para uma conjuntura de alto risco potencial no transporte desses materiais, e, portanto, não devem ser negligenciados. Obviamente, a simples identificação dos fatores de risco não reduz, por si só, as probabilidades de ocorrências de acidentes ou das suas conseqüências. O risco do transporte rodoviário de produtos perigosos, portanto, necessita ser gerenciado e monitorado por autoridades competentes, não apenas na BR-381, como também em todas as rodovias do estado. Apenas assim a segurança dessa atividade poderá ser provida. Neste contexto, pode-se afirmar que a *Análise de Multicritério*, se mostrou uma poderosa ferramenta na identificação do risco ambiental do transporte de produtos perigosos, podendo ser utilizada futuramente pelos órgãos de gestão ambiental com esta finalidade.

## 6. Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio financeiro da Fundação Mineira de Amparo à Pesquisa – FAPEMIG, e com apoio em infra-estrutura da Fundação Estadual do Meio Ambiente. Agradecemos também ao apoio laboratorial oferecido pelo Centro de Geoprocessamento do Instituto de Geociências da UFMG.

## 7. Referências Bibliográficas

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Plano de Ação de Emergência.** Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/rodoviaros/prevencao\\_plano.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/rodoviaros/prevencao_plano.asp)> Último acesso em 31 out. 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual para implementação de planos de ação de emergência para atendimento a sinistros envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos.** Rio de Janeiro, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Relatório do Grupo de Trabalho: Proposta de Termo de Referência para Identificação, Caracterização e Mapeamento de Áreas de Risco Ambiental.** [s.l.], [s.d.].

MOURA, Ana Clara Mourão. Reflexões Metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise de multicritério. In **Anais do XIII SBSR**, Florianópolis, 27 a 26 de abril de 2007, INPE. p. 2.899 a 2.906. Disponível em <<http://www.cgp.igc.ufmg.br/#>> Último acesso em 20 out. 2008.

OGGERO, A., et al. A survey of accidents occurring during the transport of hazardous substances by road and rail. **Journal of Hazardous Materials**, n. 133, p. 1–7, 2006.

PORATH, Reginaldo, *et al.* Modelo de análise de risco para a classificação da periculosidade de rotas de transporte de produtos perigosos com uso de procedimentos de MCDA. In: **10º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária - ENACOR**. Joinville/SC, 2005.

REAL, Márcia Valle. **A informação como fator de controle de riscos do transporte rodoviário de produtos perigosos.** 2000. 228 f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.