

VULNERABILIDADE E GRAVIDADE AMBIENTAL DEVIDO A ACIDENTES COM TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE COMBUSTÍVEIS NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS - SP

Environmental Vulnerability and Gravity Due to Accidents on Highway Transportation of Combustible at Campinas, São Paulo State, Brazil

Fábio Giardini Pedro¹
Diógenes Cortijo Costa

¹**Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP**
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
Av. Albert Einstein, 951 – Cidade Universitária “Zeferino Vaz”
CEP 13083-852 – Campinas-SP
fgpedro@fec.unicamp.br

RESUMO

Os acidentes com Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos (TRPP) têm sido motivo de preocupação devido aos problemas que podem causar à população com respeito à segurança e à saúde e, sobretudo, ao meio ambiente, devido à vulnerabilidade ambiental de áreas, tais como cursos d'água, usos da terra e possibilidade de impactos pela infiltração de produtos perigosos no solo causando danos ao lençol freático. O município de Campinas por possuir um vasto parque industrial químico, localizar-se próximo a Refinaria de Paulínia e apresentar um intenso fluxo de veículos de transporte de cargas perigosas, principalmente combustíveis, na sua malha viária, potencializa, em caso de acidente, os danos à população e ao meio ambiente. Portanto este estudo tem como objetivo a utilização de um modelo conceitual para a identificação dos trechos críticos em função da gravidade e vulnerabilidade ambiental e populacional para combustíveis ao longo das rodovias no município de Campinas, implementado em Sistema de Informações Geográficas (SIG). A identificação de áreas críticas no sistema viário pode subsidiar decisões de mitigação do dano ambiental e escolha de rotas alternativas pelo uso de rodovias de menor risco pelos expedidores, transportadores e órgãos de fiscalização rodoviária.

Palavras chave: Sistema de Informação Geográfica (SIG), Modelo conceitual.

ABSTRACT

Highway accidents involving a vehicle transporting hazardous goods may cause extensive material, human and mainly environmental damage. Most of the areas crossed by highways are environmentally vulnerable due to the presence of creeks and rivers, different land use and possibility of the ground water being reached by the transported products. The county of Campinas, in the São Paulo State, Brazil is characterized by its large chemical industry area, where the Paulínia Refinery (REPLAN) is situated, showing an intense traffic of vehicles transporting hazardous materials (HAZMAT), mainly fuel, through the highways. This situation may induce, in case of an accident, severe damage to population and the environment. Therefore a conceptual model was used for analyzing the environmental vulnerability and gravity involved in transportation of combustible materials at Campinas, allowing to show the most critical highway stretches. The mathematical model was implemented in a geographical information system allowing to produce environmental gravity and vulnerability maps within vehicle transportation of combustible materials accidents showing the most dangerous areas aiming to help the actions involved in damage mitigation and route comparison of dangerous goods highway transportation.

Key words: Geographic Information System, Conceptual Model.

1. INTRODUÇÃO

A região metropolitana de Campinas, possui intenso tráfego rodoviário decorrente do transporte de produtos químicos e combustíveis que serve principalmente indústrias, resultando em um alto risco de impactos ambientais em caso de acidente rodoviário.

De acordo com TEIXEIRA (2005), em 27 anos de trabalho, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – São Paulo) já atuou em mais de seis mil ocorrências no Estado de São Paulo. A atividade de transporte rodoviário de produtos perigosos (TRPP) é a principal responsável pelas emergências químicas atendidas pela CETESB, com 37% do total de acidentes, seguida pelos postos e sistemas retalhistas de combustíveis, que representam 10% do total de acidentes. Ainda, relata que Campinas lidera as estatísticas de acidentes por dispor de um parque industrial com alta concentração de indústrias de grande porte; possuir setores industriais químico e petroquímico. Os acidentes ocorridos com TRPP têm sido motivo de grande preocupação face aos perigos intrínsecos a esses materiais – inflamabilidade, toxicidade, corrosividade, entre outros – representando riscos à segurança e à saúde da população e ao meio ambiente, devido à vulnerabilidade e sensibilidade ambiental das áreas impactadas.

Apesar de, no Brasil, o planejamento da prevenção de acidentes com o transporte de produtos perigosos ocorrer nas várias fases do processo, a saber: produção, transporte, transformações, utilização e disposição final, verifica-se que o maior risco encontra-se durante o transporte, pois este expõe a carga a situações em que não há como controlar as possíveis causas de acidentes que resultarão em efeitos adversos sobre a comunidade local e ao meio ambiente. (RAMOS, 1997)

O planejamento de ações visando à redução do risco de TRPP é importante na minimização da vulnerabilidade ambiental devido à diminuição da probabilidade de ocorrência de acidentes. Várias ações de planejamento foram tomadas no âmbito estadual, visando a eliminação dos problemas causados por acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos.

Alguns órgãos têm desenvolvido experiências no planejamento, controle e gestão das adversidades e implicações do incremento do tráfego e dos acidentes envolvendo o TRPP.

Um delas foi a criação do programa regional para gestão de emergências no transporte de produtos perigosos, desenvolvido com o objetivo de promover o conhecimento sobre a questão de transportes perigosos na região Sul, por meio de pesquisas voltadas aos problemas de prevenção e planejamento de ações frente às emergências, pressupondo a integração de diversos órgãos públicos dos estados da Região Sul: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 1996)

No Estado da Paraíba (CORONEL, 2003) desenvolveu o plano de contingência para atendimento a acidentes com produtos perigosos transportados por via

rodoviária. O plano contempla a integração entre os setores de defesa civil, meio ambiente e saúde, foi organizado a partir do banco de dados de planos anteriores, que deverão ser permanentemente atualizados e disponíveis para pronta utilização. Além disso, é necessário dispor de equipamentos, materiais e pessoal treinado para enfrentar uma emergência com produtos perigosos.

Ainda, em Santa Catarina (DEPARTAMENTO ESTADUAL DE DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA, 2005) foi desenvolvido um programa estadual de controle do transporte rodoviário visando a prevenção de acidentes com produtos perigosos e, principalmente, a redução do risco de acidentes rodoviários nas áreas de mananciais.

Avaliando o transporte de produtos perigosos no Brasil, REAL (2000) utilizou uma abordagem conceitual da aplicação de técnicas clássicas do gerenciamento de riscos evidenciando as estratégias e táticas de controle aplicáveis no âmbito das rodovias, para favorecer a redução de riscos de incidentes com produtos perigosos

Com o intuito beneficiar a informatização de dados e informações os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido uma das ferramentas mais utilizadas para aplicação dos modelos de cálculo de risco em planejamento regional, através da espacialização das áreas com potencial de risco para o meio ambiente.

Recentemente BUBBICO *et al.* (2004) desenvolveram uma metodologia para a Sicília (Itália), de análise de risco em TRPP por rodovia e ferrovia baseada na utilização do SIG como ferramenta para acoplar informações territoriais a banco de dados utilizados na avaliação de risco. Levavam em consideração na análise de risco: dados populacionais, taxas de acidentes e condições do tempo ao longo das rotas, permitindo identificar rapidamente o risco no transporte de produtos perigosos.

Posteriormente, BUBBICO *et al.* (2006) aplicaram a mesma metodologia pelo uso de SIG em rodovias entre Gela e Priolo, também na Sicília, e identificaram áreas de elevado nível de risco em TRPP, propondo alternativas para mitigação do problema.

Na Espanha, PÉREZ-RUEDA *et al.* (2002), MARTÍNEZ-ALEGRÍA *et al.* (2003) e MARTÍNEZ-ALEGRÍA (2005) criaram em ambiente SIG (Arc-View) um modelo de análise interativa de riscos associados a acidentes rodoviários com TRPP baseado em informações gráficas e alfanuméricas de volume de tráfego, acidentes e mapas de rodovias, geológicos e populacionais.

MARTÍNEZ-ALEGRÍA *et al.* (2003) relacionaram a vulnerabilidade ambiental associada ao transporte de produtos perigosos, utilizando como elementos da paisagem: áreas verdes e remanescentes florestais, cursos d'água, áreas de proteção ambiental, os solos e uso da terra, permitindo a identificação das rodovias com maior risco ambiental envolvido em acidentes com transporte de produtos perigosos.

A identificação de áreas de elevado potencial de dano ambiental no transporte de produtos perigosos,

principalmente nas rodovias que cortam as bacias hidrográficas (Atibaia, Quilombo e Capivari) de Campinas, requer a elaboração de mapas temáticos de risco ambiental que por sua vez, são elementos valiosos para análise e a gestão dos recursos naturais.

No Estado de São Paulo, 57% dos acidentes com TRPP ocorreram com produtos líquidos inflamáveis. (FERREIRA, 2003). Mais especificamente, no município de Campinas (SP) a maior frequência dos acidentes com TRPP envolveram o transporte de óleo diesel, álcool e gasolina. (FRICKE, 1992)

Portanto foi desenvolvido este trabalho visando identificar nas principais rodovias que cruzam o município de Campinas, as áreas de elevada vulnerabilidade e gravidade ambiental e populacional, em caso de ocorrência de acidentes com transporte rodoviário de combustível, por meio de modelo conceitual que leva em consideração o dano inerente ao transporte de combustíveis, o tipo de acidente e o dano ambiental cujos planos de informação são sobrepostos para geração de mapas temáticos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na utilização de modelo conceitual, para análise da vulnerabilidade e gravidade de dano ambiental devido ao transporte rodoviário de produtos combustíveis (TRPC), foram necessários diferentes tipos de informação na forma de mapas, a saber: localização de rodovias, tipo de solo, uso da terra e rede de drenagem. Para tanto, foram utilizadas cartas básicas disponíveis em publicações técnicas.

O mapa das rodovias do município de Campinas, foi extraído da base da região metropolitana de Campinas, em arquivo formato dwg (Auto CAD), fornecido pela EMLASA (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.). A base cartográfica fornecida, foi obtida através da digitalização das folhas 1:10.000 do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo - PCESP do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo – IGC-SP, restituídas a partir do recobrimento aerofotogramétrico realizado em 1978/79 e as informações foram atualizadas a partir do aerolevantamento na escala 1:30.000 realizado em 2000/01. A base está no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM); o elipsóide é o internacional de Hayford e *datum* horizontal Córrego Alegre, fuso 23°S, escala 1:25.000.

O mapa pedológico utilizado foi o publicado por OLIVEIRA *et al.* (1999), por abranger toda a região de estudo, tendo sido elaborado na projeção Cônica Conforme de Lambert e *datum* horizontal Córrego Alegre, fuso 23°S, escala 1:500.000.

O mapa de uso das terras do município de Campinas utilizado, foi obtido no *site* da EMBRAPA – Núcleo de Monitoramento Ambiental. Este mapa é proveniente da classificação de imagens de satélite, dos anos de 2001, 2002 e 2003: LANDSAT, multiespectral, resolução de 30 metros; SPOT V, multiespectral, resolução de 5 metros; Mosaico de imagens do satélite

EROS, pancromático, resolução de 1,8 metros; fotografias aéreas, coloridas, ortoretificadas, resolução de 30 cm. Este conjunto de imagens foi utilizado para um protótipo de sistema de informações de gestão ambiental estratégica e do conjunto de instrumentos para subsidiar a elaboração da Agenda 21 do Município de Campinas-SP e disponibilizar, de forma simples, informações sobre meio ambiente do município, na escala 1:50.000. (EMBRAPA, 2003)

O mapa da rede de drenagem, foi extraído da base cartográfica da região metropolitana de Campinas, em arquivo formato dwg (Auto CAD), fornecido pela EMLASA (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.). Esta carta está no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM); o elipsóide é o internacional de Hayford e *datum* horizontal Córrego Alegre, fuso 23°S, escala 1:25.000.

2.1 Modelo Conceitual

O modelo conceitual utilizado para análise da gravidade ambiental envolvida no transporte de combustíveis foi baseado no trabalho de MARTÍNEZ-ALEGRÍA *et al.* (2003) e MARTÍNEZ-ALEGRÍA (2005).

A gravidade (G), sendo a quantificação ponderada do dano, é condicionada principalmente pelo perigo (P_e) envolvido no acidente, pelo potencial de dano inerente ao produto (H_{hg}) e pela vulnerabilidade (V) do meio ambiente onde ocorreu o acidente, sendo expressa por:

$$G = P_e (H_{hg} + V) \quad (1)$$

A vulnerabilidade definida como o potencial de uma comunidade ou território em sofrer danos é uma função da presença, em seu entorno, de elementos, usos e/ou populações susceptíveis de sofrerem impactos em caso de acidente. (Hewitt, 1997 *apud* MARTÍNEZ-ALEGRÍA, 2005)

O perigo envolvido numa situação de emergência é função do tipo de acidente e para fins de estimativa do potencial de risco foi igualado a 6 (MARTÍNEZ-ALEGRÍA, 2003), valor correspondente à consequência do acidente em que o container é danificado e há vazamento de produto, ou ocorre incêndio. Esta suposição também pode ser feita, para Campinas, pois é a consequência do acidente de maior ocorrência. Teixeira Júnior (1998) verificou que, em análise das causas de acidentes com produtos perigosos, efetuada pela Polícia Rodoviária Estadual, a probabilidade do tipo de acidente com maior frequência, foi o tombamento (43,45%), seguida pela colisão (20,2%). Ainda, o mesmo autor, analisando ocorrências de acidentes envolvendo produtos perigosos, fornecidas pela CETESB, verificou que, no Estado de São Paulo, dos 368 acidentes analisados, em 79,9% deles ocorreu derrame do produto transportado.

2.1.1 Dano Inerente ao Produto (Hhg)

A quantificação dos índices de perigo intrínseco foi feita em função da magnitude da propriedade do produto considerado. O perigo médio associado ao produto perigoso transportado, ou seja, em relação ao dano inerente ao produto, foi estimado com base em índices relativos ao grupo ao qual pertence:

$$H_{hg} = (H_I + H_R + H_T) / 3 + H_{GO} \quad (2)$$

Onde : H_I = Flamabilidade; H_R = Tendência a reagir; H_T = Toxicidade/Corrosividade; H_{GO} = Oxidação.

Aos índices H_I , H_R e H_T , são assinalados números entre 0 e 4, onde os maiores valores representam os maiores potenciais de dano. H_{GO} é somente considerado quando indica uma propensão à emissão de oxigênio, sendo então igualado a 1. (MARTÍNEZ-ALEGRÍA *et. al.*, 2003)

Para o município de Campinas, como a maior porcentagem de produtos perigosos transportados pelo modal rodoviário, refere-se a combustíveis derivados de petróleo e álcool, a estimativa dos valores de danos inerentes ao produto foi feita levando em consideração suas características de flamabilidade, reatividade, toxicidade/corrosividade e oxidação. Portanto para H_{hg} , em função das características do produto transportado (combustíveis), foi atribuído o maior valor, sendo fixado em 5.

2.1.2 Estimativa da Vulnerabilidade (V)

A vulnerabilidade (V) é dada pelo somatório entre a vulnerabilidade ambiental (V_a) e a vulnerabilidade populacional (V_p).

$$V = V_a + V_p \quad (3)$$

A vulnerabilidade ambiental depende dos fatores: rede de drenagem, uso da terra e textura do solo sendo estimada por;

$$V = (V_{drenagem} + V_{uso da terra} + V_{textura do solo})/3 \quad (4)$$

A estimativa da vulnerabilidade ambiental foi feita, como sugerido por Martínez-Alegría *et. al.* (2003), construindo-se uma matriz ponderada de valores de 0 a 4, onde 0 indica baixa vulnerabilidade e 4, vulnerabilidade extremamente elevada. As classes de vulnerabilidade utilizadas estão apresentadas na tabela 1.

No caso da vulnerabilidade da rede de drenagem foram levados em consideração o volume de água e a extensão do impacto causado por combustíveis em caso de acidentes com vazamento e derramamento, onde os menores valores foram dados para lagos, represas e drenagem superficial e os maiores para rios.

Com relação ao uso da terra, as classes de vulnerabilidade, foram definidas em função da severidade do evento na biodiversidade. Neste caso os

menores valores foram para solo exposto, ou seja, um ambiente muito degradado, portanto, pouco vulnerável. Os maiores valores foram atribuídos às matas, mata de galeria e várzeas.

Para a textura do solo, considerou-se a maior probabilidade de atingir o lençol freático, definiu-se os solos argilosos com menores valores, pela sua menor velocidade de infiltração e o solo hidromórfico com maiores valores, visto estar próximo ao lençol freático.

Tabela 1. Classes de vulnerabilidade, variando na escala de 0 a 4, utilizadas para aplicação do modelo de Martínez-Alegría *et. al.* (2003) e adaptado de Martínez-Alegría (2005).

Classe de Vulnerabilidade	Fator		
	Drenagem	Uso da terra	Textura do solo
0	-	Solo exposto	-
1	Lagos e Represas Drenagem superficial	Eucalipto, cultura anual, cana de açúcar	Argilosa
2	Córregos	Pasto limpo, Pasto sujo Cultura Perene	Média
3	Ribeirões	Capoeira e Mata Urbana	Arenosa
4	Rios	Mata, Mata de galeria e Várzea	Hidromórfico

Para identificar os locais com vulnerabilidade dos diferentes elementos considerados foram desenvolvidos mapas para: rede de drenagem, uso da terra e textura do solo, por meio do SIG IDRISI identificando no entorno das rodovias de Campinas as diferentes classes de vulnerabilidades que compõe a vulnerabilidade ambiental.

A vulnerabilidade ambiental (V_a), foi obtida pela média entre as vulnerabilidades parciais: rede de drenagem, uso da terra e textura do solo. O cálculo foi feito por meio de sobreposição de mapas no SIG IDRISI.

A vulnerabilidade populacional (V_p) está relacionada à densidade populacional, pois em caso de acidente em locais densamente povoados, o problema torna-se mais significativo. Para sua estimativa foi considerada a densidade de população de cada área dentro do município sendo definidas geograficamente por polígonos que definem as zonas de densidade.

Os valores de vulnerabilidade populacional também, variam numa escala de 0 a 4, onde o valor 4 foi atribuído para regiões densamente urbanizadas e valores menores para áreas inabitadas. De acordo com a

terminologia utilizada por EMBRAPA (2003) foram atribuídos os seguintes valores de V_p : urbano denso: 4; urbano:3; em urbanização: 2 e inabitado: 0.

2.1.3 Determinação da Gravidade (G)

A seguir foi determinada a gravidade de dano ambiental por meio da superposição de mapas de vulnerabilidade e aplicação da equação 1 no SIG IDRISI que permite, além da superposição, a álgebra de mapas.

O mapa temático de gravidade ambiental foi obtido considerando apenas as áreas de gravidade alta e muito alta, segundo os critérios de Martínez-Alegría *et al.* (2003), que possibilitou ainda, a identificação do fator ambiental envolvido: rede de água, textura do solo, uso da terra e população, separadamente ou em combinação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados na forma de mapas de: vulnerabilidade, em caso de acidente com combustíveis, em função do tipo de solo, uso da terra, rede de drenagem e presença de população e gravidade ambiental.

3.1 Vulnerabilidade do solo

Os principais solos que ocorrem no município, são os Podzólicos Vermelhos Amarelos (PVA), seguido dos Latossolos (LV). Ainda deve-se ressaltar uma mancha de Gleissolo (solo hidromórfico) existente no norte do município acompanhando trecho do Rio Atibaia.

A seguir, foi desenvolvido o mapa de texturas dos solos necessário para a determinação da vulnerabilidade do lençol freático ser atingido em caso de acidentes com o transporte rodoviário de produtos combustíveis. Os tipos de solos foram agrupados de acordo com sua textura em: argiloso, textura média, arenosos e hidromórfico.

Os solos de textura argilosa predominam no município de Campinas, enquanto os arenosos que se situam ao sul, são de menor expressão em área ocupada. Em função da classe textural do solo, levando-se em conta o risco em ser atingido o lençol freático por produto perigoso, em caso de acidente, foi desenvolvido o mapa de vulnerabilidade do solo (Figura 1).

Os solos de vulnerabilidade muito alta, ou seja, os de classe textural arenosa e solos hidromórficos representam a menor parte do município. Localizam-se principalmente ao norte onde a mancha de solo hidromórfico é cortada pela SP-340, e ao sul, onde solos arenosos estão nas proximidades da SP-075 e SP-348.

3.2 Vulnerabilidade pelo uso da terra

O mapa de uso da terra utilizado foi o elaborado pela EMBRAPA, da área que compreende o município de Campinas, e é classificado para os diferentes usos a partir de imagens de satélites. O mapa de vulnerabilidade

ambiental, devido ao uso da terra, em caso de acidentes com o transporte rodoviário de produtos combustíveis está apresentado na Figura 2.

A região indicada como sendo de pouca vulnerabilidade, em relação ao uso da terra, é influenciada principalmente, por se tratar da mancha urbana e em urbanização, ou seja correspondendo à área já ambientalmente degradada pela ação do homem. Na rodovia SP-065, em alguns trechos, podem ser observados pontos em que a vulnerabilidade é muito alta pela existência de maciços florestais. O mesmo pode ser observado para a SP-332. Na SP-348 foram constatados pontos de vulnerabilidade muito alta, no trecho (km: 76-87) devido à existência de matas e matas de galeria. No trecho (km: 87-103) notou-se dentro de áreas de média vulnerabilidade alguns pontos em que a vulnerabilidade em função do uso da terra é muito alta, devido à existência de áreas de várzea, matas de galeria e matas.

3.3 Vulnerabilidade pela rede de drenagem

A rede de drenagem, entre os fatores ambientais considerados, pode representar um dos mais importantes componentes a ser impactado em caso de acidentes com TRPC. Foram identificados: rios, ribeirões e córregos, drenagem superficial e lagos e represas. Utilizando as determinações do código florestal, lei 4771/65, aliadas ao conceito de zonas de amortecimento, com um acréscimo da mesma área de preservação, foram determinadas faixas mais susceptíveis ao impacto devido a acidentes com TRPC no município de Campinas.

O mapa da vulnerabilidade da rede de drenagem está apresentado na Figura 3. O município de Campinas possui uma rede de drenagem composta por três bacias hidrográficas que é cortada pelo sistema rodoviário utilizado para transporte de combustíveis. A SP-075 cruza, no limite do município, o rio Capivari Mirim. A SP-348 acompanha no trecho (km: 76-87) o Rio Capivari e no trecho (km:87-103) cruza o mesmo rio. A SP-330 no trecho (km: 92-98) cruza o Rio do Piçarrão. A SP-065 acompanha o rio Atibaia no trecho (km: 120-126) e cruza o ribeirão Anhumas no trecho (km: 126-134). A SP-340 cruza o ribeirão Anhumas e no limite do município o rio Atibaia. Esses pontos representam as áreas de vulnerabilidade muito alta em respeito à rede de drenagem. Além disso, várias outras áreas de alta e média vulnerabilidade ocorrem nas proximidades das principais rodovias do município representando risco constante de poluição de cursos d'água.

3.4 Vulnerabilidade populacional

O mapa de vulnerabilidade populacional (Figura 4) foi adaptado da imagem disponível no site da EMBRAPA, onde se classificou os diferentes graus de urbanização. As áreas centrais do município de Campinas são caracterizadas por uma alta densidade populacional. As rodovias SP-330, SP-332 e SP-065 por atravessarem essas regiões populosas representam altos índices de

vulnerabilidade populacional em caso de acidentes com TRPC.

3.5 Gravidade de dano ambiental

Na Figura 5 é apresentado o mapa temático de gravidade do dano ambiental em caso de ocorrência de acidente com TRPC. Na obtenção deste mapa foram utilizadas as regiões consideradas de gravidade alta e muito alta segundo a escala de Martínez-Alegría *et al.* (2003). Observa-se na Figura 5 que em função do fator ambiental considerado (água, solo e uso da terra) e do fator população, grandes áreas do município com alta gravidade de dano ambiental são cortadas pelas rodovias.

Na área central do município, o fator população é o mais importante, pois as áreas urbanizadas e/ou em urbanização são cortadas, principalmente, pelas rodovias: SP-330 trecho (km: 92-98), SP-065 nos trechos (km: 134-138) e (km:138-146) e SP-332.

Em relação aos fatores ambientais, ou seja, presença de cursos d'água, tipo de solo e uso da terra, o mapa fornece informações sobre a gravidade do dano para cada fator separadamente ou em combinação quando da ocorrência no mesmo local.

A ocorrência da combinação dos fatores: uso da terra, solo e água foi observada nas proximidades da SP-348 no trecho (km: 87-103), indicando regiões de elevada gravidade ambiental.

O fator ambiental solo, representando a possibilidade de contaminação do lençol freático, foi observado no norte do município onde a área de gleissolo é cortada pela SP-340 e no sul do município onde solos de textura arenosa são entrecortados pelas rodovias SP-075 no trecho (km:61-70) e SP-348 no trecho (km: 87-103).

O fator uso da terra representando as áreas com presença de mata, mata de galeria e várzea foi identificado nas proximidades das rodovias: SP-065; SP-332; SP-340 e SP-348.

O fator ambiental que mais poderia ser influenciado em caso de ocorrência de acidente com TRPC seria a água, e várias áreas consideradas de elevada gravidade de dano ambiental são cortadas pelas rodovias: SP-075; SP-348; SP-083; SP-330 trecho (km: 92-98); SP-065 e SP-340.

4. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração a água superficial (rede de drenagem), a água subterrânea (lençol freático e textura de solo) e o uso da terra (presença de matas, áreas de várzeas) como indicadores da vulnerabilidade e gravidade de dano ambiental, causados por acidentes com transporte de combustíveis, avaliados pelo modelo conceitual e mapas temáticos gerados por meio de SIG pode-se concluir que o modelo, após terem sido criados os mapas básicos relativos aos parâmetros ambientais considerados, permite com rapidez e flexibilidade a geração de mapas temáticos de gravidade e risco de dano ambiental devido a acidentes com transporte de

combustíveis indicando os trechos críticos com a indicação do fator ou combinação de fatores ambientais envolvidos para as rodovias do município de Campinas, SP permitindo a composição de um plano de ações de mitigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUBBICO, R.; Di CAVE, S.; MAZZAROTTA, B. Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a GIS approach. **Journal of loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 17, p. 483-488, 2004.

BUBBICO, R.; MASCHIO, G.; MAZZAROTTA, B.; MILAZZO, M.F.; PARISI, E. Risk management of road and rail transport of hazardous materials in Sicily. **Journal of loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 19, p. 32-38, 2006.

CORONEL, A. **Plano de contingência para atendimento a acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos na Paraíba**. 2002. 14p. Disponível em: Curso Internacional para gerentes sobre saúde, desastres e desenvolvimento. <http://www.disaster-info.net/LIDERES/portugues/03/modelos/trabalhos/almir_o_coronel/plano%20de%20contingencia%202.doc> Acesso em 10 de outubro de 2004.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE DEFESA CIVIL – SANTA CATARINA (DEDC/SC). **Produtos perigosos**. Disponível em <www.defesacivil.sc.gov.br/perigosos.htm>. Acesso em 06 de março de 2005.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Agenda 21 do município de Campinas-SP**. Núcleo de Monitoramento Ambiental. 2003. Disponível em <www.agenda21cps.cnpemembrapa.br>. Acesso em março de 2004.

FERREIRA, C.E.C. Acidentes com motoristas no transporte rodoviário de produtos perigosos. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v.17, n.2, p. 68-80, 2003.

FRICKE, G. T. **Vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água de Campinas a acidentes com o transporte de produtos perigosos**. 1992. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R. **Riesgos ambientales en el tráfico de mercancías peligrosas por carretera**. 2005. 319p. Tesis Doctoral – Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Universidad de Vigo, Vigo, España.

MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R.; ORDÓÑES, C. & TABOADA, J. A conceptual model for analyzing the risks involved in the transportation of hazardous goods: implementation in a Geographic Information System. **Human and Ecological Risk Assessment**, Philadelphia, v. 9, n. 3, p. 857-879, 2003.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: Legenda ampliada. Campinas, EMBRAPA – SOLOS / IAC, 1999, 64p. e mapa.

PÉREZ-RUEDA, M.; MARTÍNEZ-ALEGRÍA, R.; LARA, A.; De La VIUDA, S. Desarrollo de una aplicación de sistema de información geográfica para el análisis interactivo de los riesgos asociados al transporte de mercancías peligrosas. Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, XIV (INEGAF). **Anais**. Santander. 2002.

RAMOS, F.B. **Metodologia para escolha de alternativas de rotas para o transporte de materiais perigosos**. 1997. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

REAL, M.V. **A informação como fator de controle de riscos no transporte rodoviário de produtos perigosos**. 2000, 195p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TEIXEIRA JÚNIOR, A.A. **Avaliação do risco potencial de danos à saúde pública devido a acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos no Estado de São Paulo, através do emprego da Árvore de Falhas**. 1998, 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Saneamento e Ambiente), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TEIXEIRA, M. S. **Relatório de atendimento a acidentes ambientais no transporte rodoviário de produtos perigosos: 1983 a 2004**. Série Relatórios, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, CETESB, São Paulo, 2005, 41p.

UDESC (Universidade do Estado de Santa Catarina). **Programa regional para gestão de emergências no transporte de produtos perigosos**. Disponível em <<http://pages.udesc.br/~dcb2adj/homepage/cetrem.htm>> Acesso em 10 de outubro de 2004.

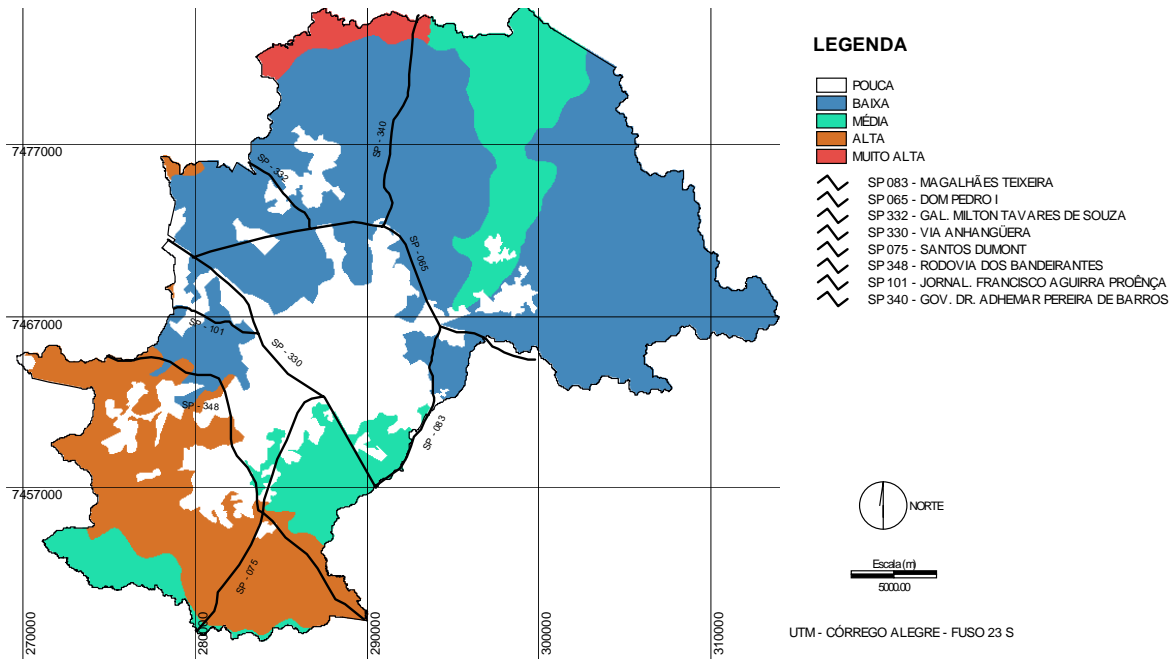


Fig. 1 - Mapa de vulnerabilidade devido à ocorrência de acidentes com o transporte rodoviário de combustíveis em função da textura dos solos, no município de Campinas.

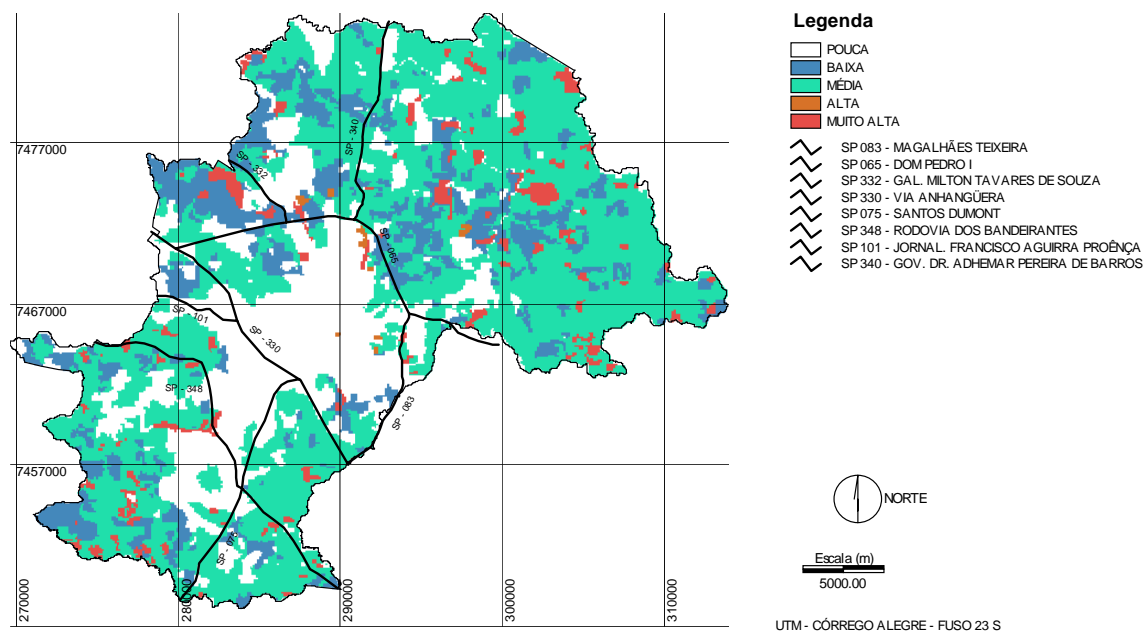


Fig. 2 - Mapa de vulnerabilidade devido à ocorrência de acidentes com o transporte rodoviário de combustíveis em função do uso da terra, no município de Campinas.

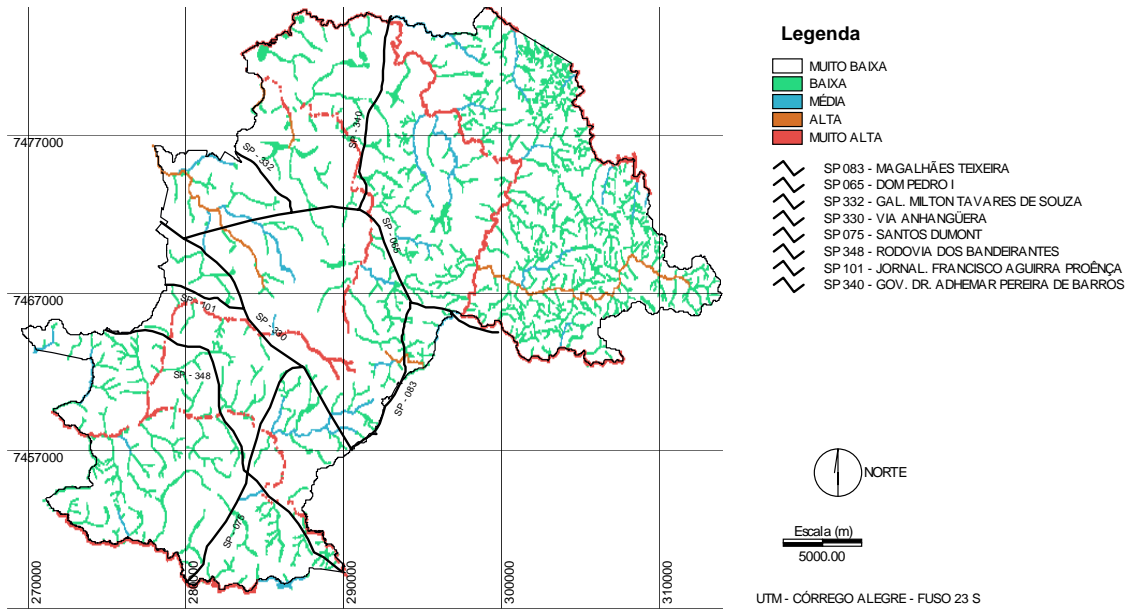


Fig. 3 - Mapa de vulnerabilidade da rede de drenagem devido à ocorrência de acidentes com o transporte rodoviário de combustíveis considerando a rede de drenagem, para o município de Campinas

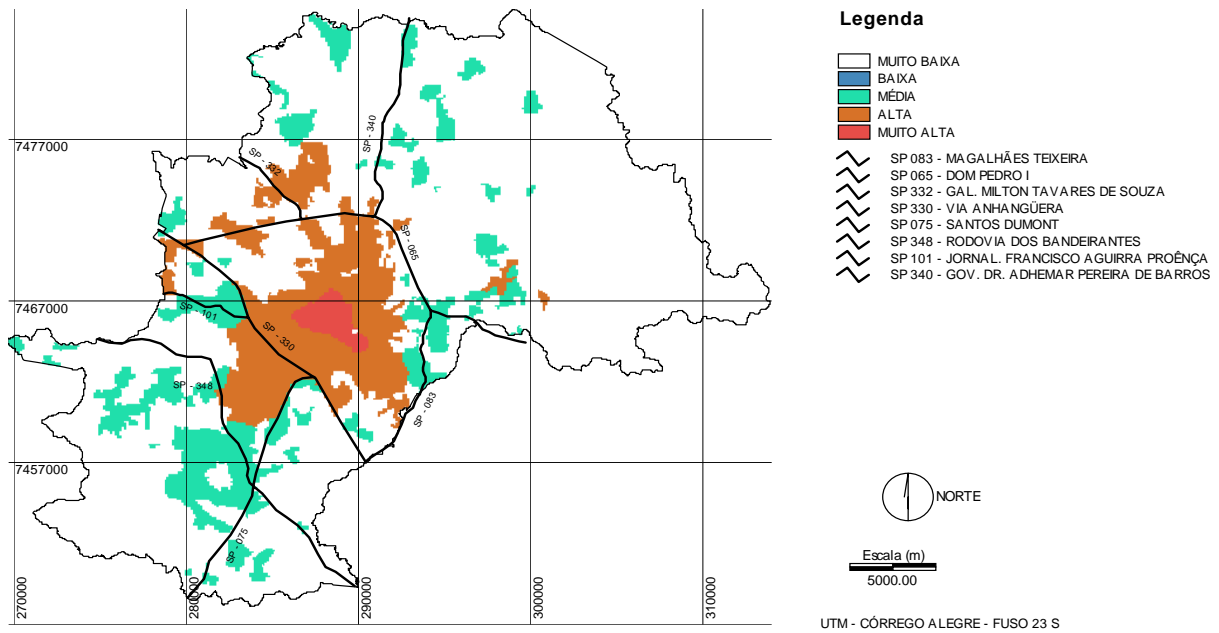


Fig. 4 - Mapa de vulnerabilidade populacional devido à ocorrência de acidentes com o transporte rodoviário de combustíveis, para o município de Campinas.

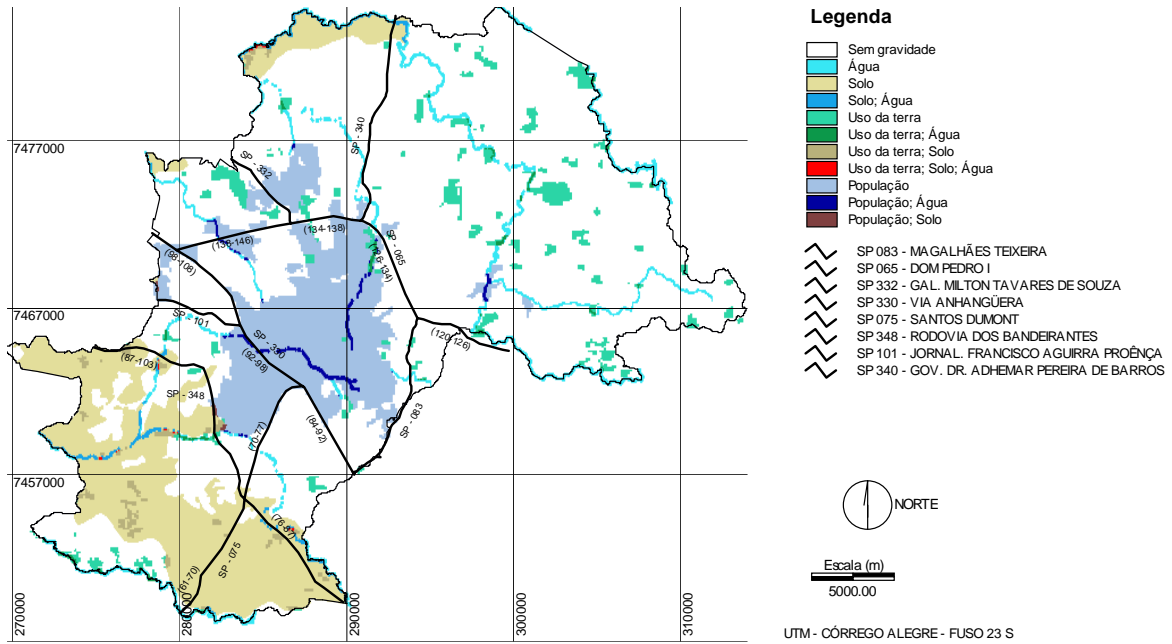


Fig. 5 - Mapa de gravidade das classes alta e muito alta de dano ambiental devido à ocorrência de acidentes com o transporte rodoviário de combustíveis para o município de Campinas, indicando a combinação de fatores ambientais envolvidos.