

A utilização de sensoriamento remoto e geoprocessamento para análise de sensibilidade ambiental ao óleo para rodovias: estudo de caso de trecho da Rodovia Washington Luís – SP

Daniela Ferreira Ribeiro¹
Alexandre Magnum Leme¹
Thamiris Costa Basílio¹
Mayara Ferreira¹
Paulina Setti Riedel¹

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP/IGCE
Caixa Postal 178 – 13506-900 – Rio Claro - SP, Brasil
danifebeiro@gmail.com
alexandremagnumleme@gmail.com
thamiris.basilio@gmail.com
mayara_feni@outlook.com
psriedel@rc.unesp.br

Abstract. The oil is the major source of energy used by man. The hydrocarbons are used as raw material for several products as well as fuel for vehicles. The transport of such products is done by transport vehicles, such as ships and trucks, as well as via pipelines. Within this perspective, environmental accidents involving oil spills become worrisome seeing that oil products represent a risk to human health, biodiversity and the environment. Therefore, the Environmental Sensitivity Index (ESI) is presented as an interesting tool for environmental management. The Environmental Sensitivity Index to oil appears as a technical-management tool to aid decision-making in the event of accidents involving oil spills because it indicates regions with greater sensitivity to the oil and therefore the locations where the removal and cleaning procedures should be prioritized. Accordingly, the main objective of this paper is to demonstrate the efficiency of remote sensing and GIS in the development of environmental sensitivity index to oil using appropriate geotechnologies to determine and map the sensitivity to oil of a Washington Luís Highway stretch (SP 310) demonstrating the applicability of these tools for the development of ESI for highways. Despite of the great number of accidents involving oil spills, there is a lack of studies concerning the mapping of the sensitivity to oil for roads and its surroundings.

Palavras-chave: environmental sensitivity index, índice de sensibilidade ambiental ao óleo, oil spills, derrames de óleo, hydrocarbons, hidrocarbonetos, geoprocessing, geoprocessamento.

1. Introdução

A intensa utilização do petróleo como fonte de energia acarreta riscos ao meio ambiente, devido à possibilidade de acidentes envolvendo vazamentos relacionados ao processo de transporte dos hidrocarbonetos. Os principais tipos de transporte dividem-se em terrestres, como o ferroviário, rodoviário e dutoviário, e aquaviários, que utilizam as vias hídricas para navegação. Os desastres ocorrem principalmente devido a colisões de navios, rompimento de dutos, explosões em plataformas e acidentes envolvendo veículos transportadores (ARAÚJO et al., 2002).

Segundo a CETESB, no Brasil, o transporte de produtos petroquímicos é realizado principalmente pelo modal rodoviário, devido ao modelo de transporte adotado pelo país e ausência de malha dutoviária nacional adequada. Entretanto, segundo dados da Companhia Nacional de Transporte - CNT (2009) 69% das rodovias brasileiras apresenta qualidade variando de ruim a péssima, possibilitando assim o aumento da probabilidade de ocorrência de acidentes em rodovias.

Dentro desse contexto, as Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo (Cartas SAO) constituem em ferramentas úteis para avaliação de danos causados pelos vazamentos. De acordo com Jensen et al. (1998), as Cartas SAO representam importantes instrumentos de planejamento e resposta a derrames de óleo, cujo objetivo primordial é a localização de áreas mais sensíveis, visando a proteção desses locais e estabelecimento de estratégias adequadas de

limpeza, bem como a redução dos possíveis impactos ambientais e sociais. Atualmente, tem-se um satisfatório levantamento da sensibilidade ambiental em ambientes litorâneos e um ainda incipiente levantamento para ambientes terrestres. Entretanto, estas regiões também devem ser estudadas visto que representam locais com diversas características físicas, biológicas e socioeconômicas que podem ser prejudicadas em situações de derrames.

Assim, o principal objetivo dessa pesquisa é demonstrar a eficiência da utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para auxiliar no desenvolvimento de índice de sensibilidade ambiental ao óleo para rodovias. Utilizando de geotecnologias apropriadas determinou-se os parâmetros físicos de um trecho da Rodovia Washington Luís (SP 310) demonstrando a aplicabilidade dessas ferramentas para o desenvolvimento de Cartas SAO para rodovias.

A Figura 1 apresenta a região determinada para a realização do estudo.

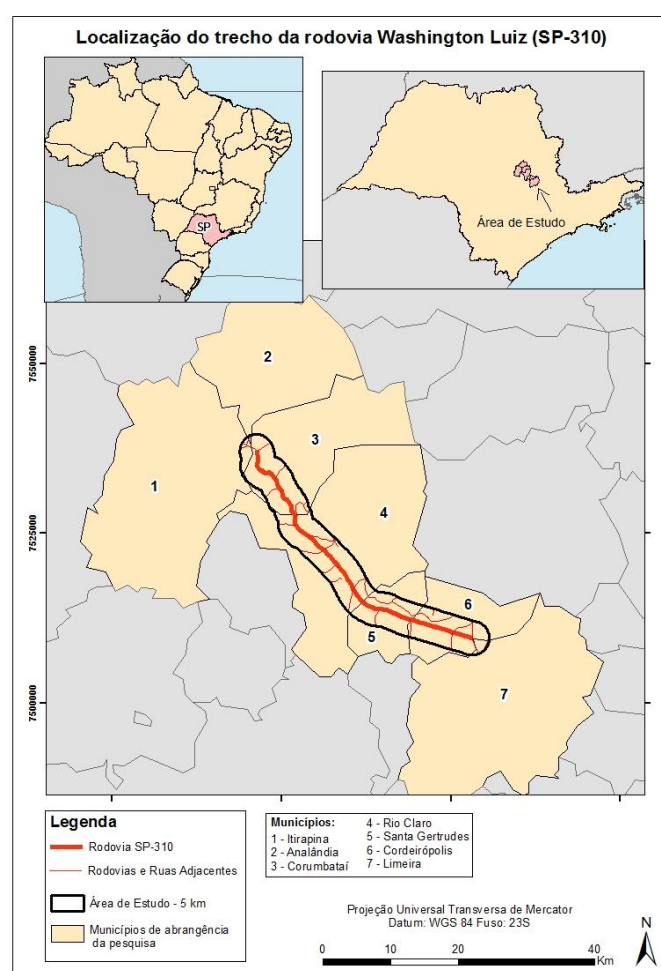


Figura 1: Localização da área de estudo.

A determinação da área de estudo justifica-se devido a informações fornecidas pela ANP (2015) que mostram que a região Sudeste é uma das principais responsáveis pelo refino de petróleo no país, além disso, de acordo com dados estatísticos fornecidos pela CETESB (2015) no ano de 2015 ocorreu um total de 221 acidentes envolvendo produtos perigosos em rodovias no estado de São Paulo, sendo que a grande maioria dos acidentes envolveu derrames de gasolina, óleo diesel e álcool etílico. Além disso, no referido ano, a rodovia Washington Luís ocupou o 4º lugar no ranking de quantidade de acidentes rodoviários envolvendo emergências químicas.

2. Metodologia de Trabalho

Para compor a base cartográfica utilizou-se de recortes do mosaico de imagens ortorretificadas SPOT, denominada SPOTMap obtido através da fusão de bandas multiespectrais do satélite SPOT 5, com a banda pancromática, gerando um produto com 2,5m de resolução espacial, compatível com a escala 1:10.000. As imagens foram cedidas pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, em formato GeoTiff, composição colorida RGB, datadas dentro do intervalo de anos de 2007 e 2010. O recorte segue a articulação 1:25:000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com datum SIRGAS 2000 e Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

Além disso, foram utilizadas folhas topográficas na escala 1:10.000 do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, obtidas através do Instituto Geológico do Sistema Ambiental Paulista de São Paulo (1979). Estas folhas foram georreferenciadas e vetorizadas no *software* ArcGIS, onde também foi realizada a mudança de DATUM de Córrego Alegre para WGS 1984. Efetuaram-se também levantamentos bibliográficos em acervos analógicos, como a biblioteca da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), bem como em acervos digitais nacionais e internacionais. As informações coletadas foram armazenadas no *software* ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015) e organizadas em um banco de dados utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

De acordo com Martins (2012), a composição de um Índice de Sensibilidade Ambiental para o modal Rodoviário deve ser realizada através da identificação de segmentos de interesse que apresentam características homogêneas e são representadas linearmente, seguindo a lógica da classificação em termos de sensibilidade ambiental das características geomorfológicas do litoral, proposta pelo MMA. Portanto, para a determinação de áreas com características homogêneas foi utilizada a técnica de Compartimentação Fisiográfica, que “consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das de áreas adjacentes.” (VEDOVELLO, 2000). A compartimentação é realizada com a determinação de classes em diversas escalas.

De acordo com Vedovello (2000), a compartimentação fisiográfica apresenta uma classificação hierárquica subdivididas em Taxonomia e Hierarquia. A Taxonomia consiste na classificação feita a partir de uma relação natural específica, como por exemplo, de natureza genética, e a Hierarquia corresponde à classificação baseada na escala e na finalidade do estudo. Para a realização da compartimentação é realizada uma análise dos elementos componentes do meio físico (geológicos, geomorfológicos, pedológicos, vegetacional, etc.) e a identificação de aspectos locais desses elementos, isto é, as suas formas de ocorrência (VEDOVELLO, 2000). Ainda segundo o autor, dependendo do nível hierárquico ou taxonômico da compartimentação fisiográfica considerada, ocorrerá o predomínio de determinados elementos fisiográficos em detrimento de outros, como critério ou fator de compartimentação.

Dentro desse contexto, o uso do sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica dos terrenos apresenta grande potencial, pois os produtos de sensores remotos constituem-se em “objetos” concretos, que apresentam a organização espacial do meio físico, sobre os quais é possível traçar limites (VEDOVELLO, 2000).

A partir do exposto, no presente trabalho realizou-se a compartimentação física da área de estudo utilizando-se os critérios propostos por Zaine (2011). Os critérios escolhidos para a análise fisiográfica e as formas de análise dos parâmetros da área de estudo apresentam-se na Figura 2.





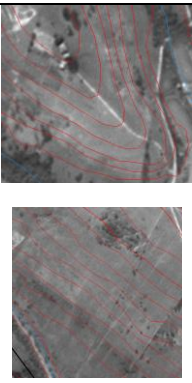







ANÁLISE	CRITÉRIOS DE ANÁLISE	PROPRIEDADE ANALISADA	IMAGEM	CRITÉRIOS ZAIANE (2011)
Densidade Textural	Densidade dos elementos de drenagem	Permeabilidade		<p>Baixa (0 a 5/10 km²)</p>  <p>Média (5 a 30/10 km²)</p>  <p>Alta (> 30/ km²)</p> 
Formas e Características do Relevo	Amplitude	Solubilidade Resistência à erosão natural	Ambas foram determinadas através dos mapas hipsométrico e de declividade	-
	Declividade			
	Forma de Encosta			<p>Convexa </p>  <p>Retilínea </p> 
Forma de Topo		<p>Aplainados</p>  <p>Arredondados</p> 		

Figura 2: Síntese dos critérios adotados na compartimentação do relevo e propriedades analisadas

A escolha dos critérios utilizados para a análise fisiográfica da área foi determinada de acordo com a sua relevância em relação à sensibilidade ambiental ao óleo. A partir da determinação dos critérios de análise, foi realizada a identificação das zonas homólogas da área de estudo de forma manual, com base nos elementos texturais e estruturais da drenagem e do relevo, utilizando-se das imagens SPOT, imagem SRTM e modelo digital de elevação.

3. Resultados e Discussão

No presente estudo foram elaborados os mapas de declividade e hipsométrico para auxiliar na definição das feições fisiográficas do terreno e posteriormente na análise da sensibilidade ambiental da área. De acordo com Martins (2012), a dinâmica do óleo no meio ambiente é amplamente influenciada pela declividade, pois dependendo do ângulo de declive, o deslocamento pode ser vertical ou horizontal.

O mapa de declividade (Figura 3) apresenta a área de estudo subdividida em 6 classes com intervalos de 3°. A partir da referida classificação, na área de estudo não foram encontradas regiões com altos declives. A região noroeste da área apresenta os maiores valores, destacando-se a região representada pela Cuesta Basáltica, com os maiores valores encontrados na área. As regiões central e nordeste da área apresentam os valores mais baixos, destacando-se a depressão Médio-Tietê.

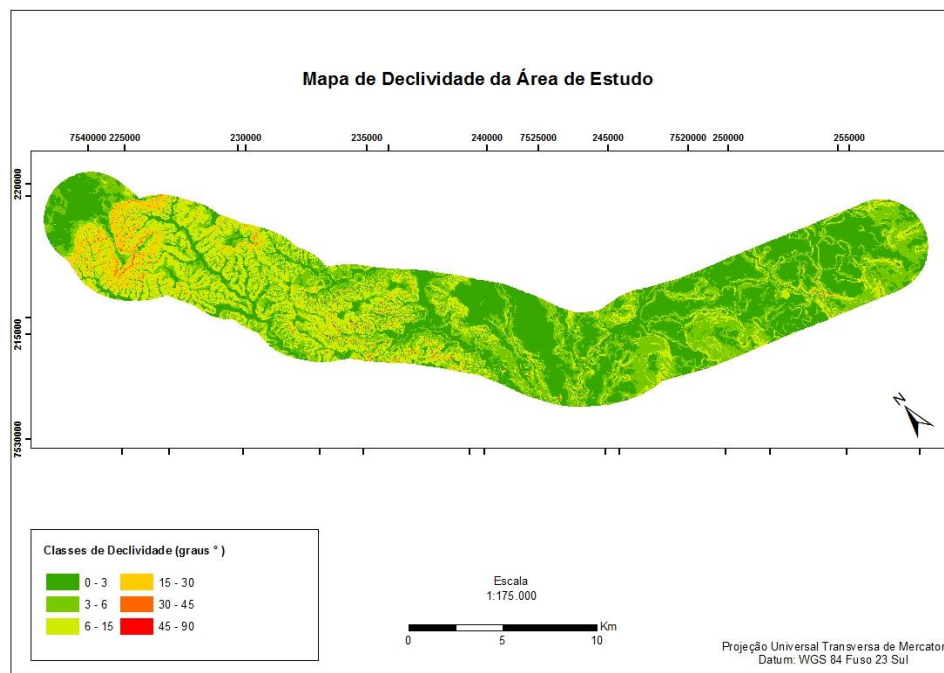


Figura 3: Mapa de Declividade da Área de Estudo.

O mapa hipsométrico (Figura 4) foi subdividido em 9 classes, com intervalos de 50 metros, definidos a partir da cota de cada curva de nível em relação ao nível do mar. Na área de estudo, a região noroeste caracterizou-se por apresentar os maiores valores de hipsometria, destacando-se a região da Cuesta Basáltica com os maiores valores. A região central da área apresenta os menores valores de altitude, marcada pelo fundo de vale do Rio Corumbataí.

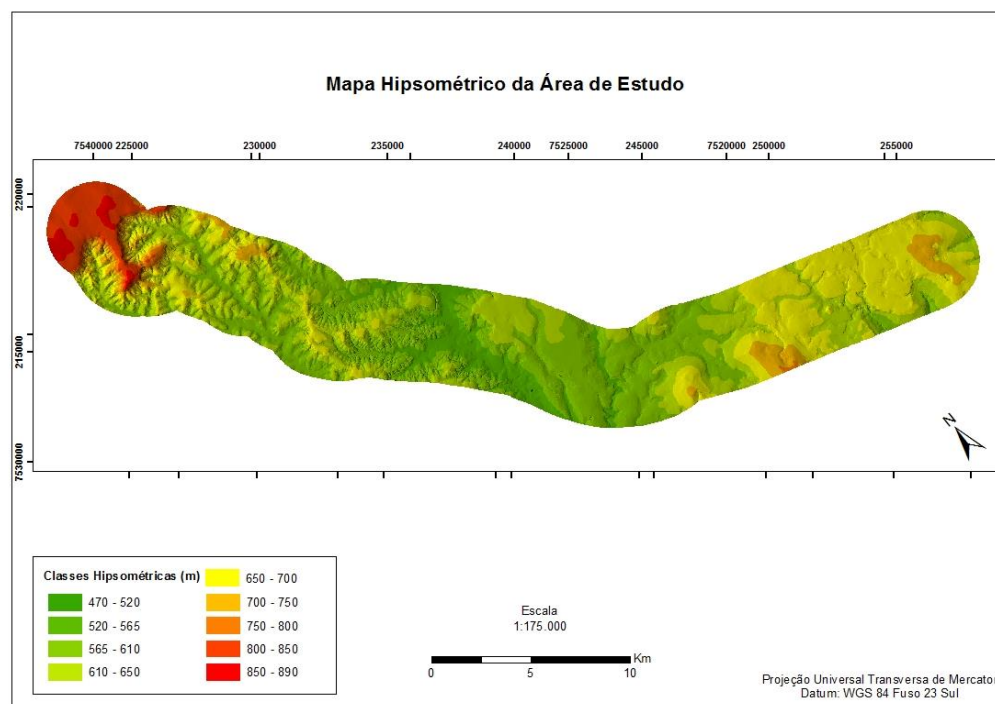


Figura 4: Mapa Hipsométrico da Área de Estudo.

A compartimentação fisiográfica da área de estudo foi realizada a fim de se determinarem segmentos ambientais com características homogêneas para a realização da análise da sensibilidade ambiental ao óleo das feições utilizando os métodos e classificações propostos por Zaine (2011), além de técnicas de fotointerpretação para compartimentação e individualização das unidades. Inicialmente foram identificados 20 unidades fisiográficas, que foram agrupadas por similaridade, baseada em características semelhantes de declividade, amplitude, forma de topos e de encostas. Desta forma, foram determinados 14 compartimentos, cujas informações relevantes relacionadas à sensibilidade ambiental ao óleo apresentam-se na Figura 5.

A declividade, identificada por meio do mapa de declividade efetuado, influencia a dinâmica do óleo no meio ambiente, pois dependendo do ângulo de declive, o deslocamento pode ser vertical, predominando o escoamento superficial ou horizontal, o que pode favorecer a infiltração, dependendo da permeabilidade do meio.

A densidade de drenagem, observada por meio das imagens, é um indicativo da permeabilidade do ambiente. Nos substratos sedimentares a permeabilidade é inversamente relacionada à densidade de drenagem. Quanto maior a densidade de drenagem, mais impermeável é o substrato, uma vez que a percolação se dá pelos espaços intergranulares. No caso de substratos cristalinos, não existem espaços intergranulares e a permeabilidade está relacionada ao grau de fraturamento, que muitas vezes é observado por meio de drenagens condicionadas estruturalmente. Neste caso, a relação entre densidade de drenagem e permeabilidade é direta. A forma da encosta é também um indicativo da declividade do meio e a forma de topo, observada nas imagens e que na área de estudo divide-se somente em aplainado e arredondado, também é um indicativo do potencial de percolação do óleo no meio. Em topos aplainados o óleo tende a permanecer por mais tempo, o que pode favorecer sua percolação.

Por fim, apresenta-se o mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo (Figura 6).

Compartimentos	Amplitude	Declividade	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Encosta	Permeabilidade	Litologia
1	Pequena	Baixa	Baixa	Aplainado	Baixa	Convexa	Depósitos Aluvionares
2	Grande	Média-Alta	Alta	-	Alta	Convexa	Formação Serra Geral
3	Grande	Média	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Pirambóia
4	Grande	Média	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Pirambóia
5	Média-Baixa	Alta	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Pirambóia
6	Média-Baixa	Alta	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Pirambóia
7	Média-Baixa	Alta	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Pirambóia
8	Média-Baixa	Alta	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Pirambóia
9	Média-Baixa	Alta	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Pirambóia
10	Média-Baixa	Alta	Alta	Arredondado	Baixa	Côncava	Formação Corumbataí
11	Média-Baixa	Média	Alta	Arredondado	Baixa	Convexa	Formação Corumbataí
12	Pequena	Baixa	Muito Alta	Rio	Muito Baixa	-	Depósito Aluvionar
13	Média	Baixa	Média	Arredondado	Média	Convexa	Formação Rio Claro
14	Pequena	Baixa	Baixa	Arredondado	Alta	Retilínea	Formação Corumbataí

Figura 5: Características fisiográficas dos compartimentos identificados na área de estudo.

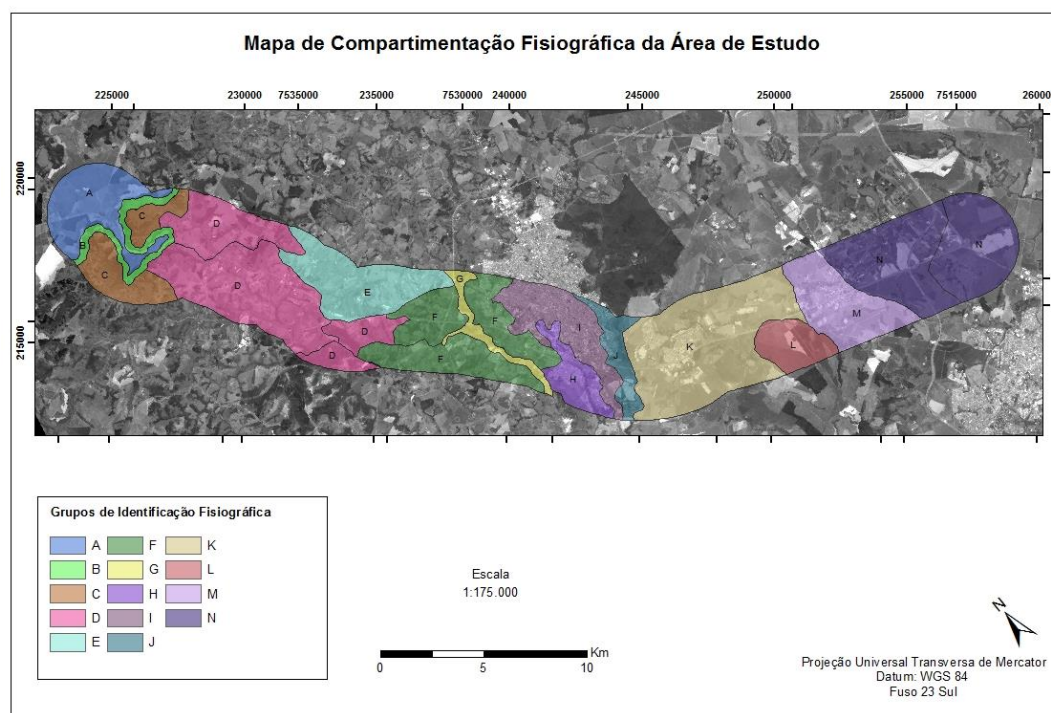


Figura 6: Mapa das unidades de compartimentação identificadas na área de estudo.

4. Conclusões

A partir das informações supracitadas, conclui-se que as técnicas de Sensoriamento Remoto, bem como o Geoprocessamento constituem-se em ferramentas úteis e interessantes para a realização do estudo proposto, visto que possibilitam uma compreensão global da área, além da interpretação das características físicas da região de interesse à sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes terrestres e , neste caso específico, dos entornos de rodovias.

Referências Bibliográficas

ANP, Agência Nacional de Petróleo. **Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis 2015**. ANP, Rio de Janeiro, 2015

ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. C. E. H. **Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos**. Rio de Janeiro: 2002. 134p.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Cadastro de Emergências Químicas - Quadro de estatísticas 2015**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/estatisticas.asp>>. Acesso em 03 abril. 2015.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Gerenciamento de riscos**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

Confederação Nacional do Transporte - CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2009**: relatório gerencial. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2009. 152p.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2015

JENSEN, J. R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 64, n.10, p. 1003-1014, 1998.

MARTINS, P. T. A. **Carta de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo em rodovias: proposta aplicada a Estrada dos Tamoios (SP – 099)**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2012. 172 f

VEDOVELLO, R. Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs. Rio Claro (SP); 2000. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP. 154p. 2000

ZAINE J. E. 2011. Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese de Livre docência – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.