

Áreas de periculosidade à acidentes com transporte rodoviário de produtos químicos perigosos em trecho da BR-101 no estado de Alagoas

Esdras de Lima Andrade¹
Silvana Quintella Cavalacanti Calheiros²

^{1,2}Universidade Federal de Alagoas - UFAL/IGDEMA
Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, Maceió - AL, Brasil, CEP: 57.072-900
¹esdras.andrade@yahoo.com.br; ²qsilvana@uol.com.br

Abstract. *This study represents the first of three steps for identification of environmental risk areas to accidents involving transportation of dangerous goods. Thus integrating the parameters that directly influence the definition of an area that presents a danger to accidents and may thus constitute an aid document in understanding and preventing these accidents. The database used was composed of four vectorial maps, corresponding to rainfall, slope, the sinuous road and accident record; in the range of 1: 50.000, the conversion is proceeding in a raster structure, thereby allowing integration into Qgis software. The result showed that 58% of the analyzed area of 93,600 hectares is the level Medium Hazard, 32% Low Risk Premium and 9% to the level of High Hazard. According to planimetries made this last class, its scope, basically restricted to the dimensions of the main rivers in the mid-southern part of the study area, where there is a higher slope to 20%. It was concluded that the primary responsibility in the determination of the area partitioning is the historical record of accidents.*

Palavras-chave: geoprocessamento, produtos perigosos, rodovia, transporte.

1. Introdução

O Brasil concentra aproximadamente 60% do volume de cargas transportadas através da sua malha rodoviária e esse percentual tende a aumentar em função da descentralização dos polos fabris pertencentes aos grandes centros industriais, e isso tem se dado muito em função da deseconomia de aglomeração, emergentes no país.

Considerando que no Brasil a maior parte do transporte de cargas, inclusive produtos perigosos, é realizado através das rodovias e que os acidentes rodoviários representam a maior parte dos atendimentos a emergências realizados pelos órgãos ambientais, o tema transporte terrestre (principalmente o rodoviário) de produtos perigosos é extremamente relevante e merece atenção especial no contexto dos órgãos competentes para que seja garantida a qualidade ambiental no país.

Os acidentes envolvendo produtos químicos rodotransportados são considerados críticos, devido à agregação do potencial natural de risco à outras variáveis importantes como a exposição ao meio ambiente livre; a possibilidade de acidentes provocados por outros veículos; as condições nem sempre ideais das vias; bem como outras condições adversas, capazes de desencadear emergências a qualquer hora do dia e em qualquer ponto do deslocamento entre o local de despacho da carga e o seu destino final.

São considerados produtos perigosos todos aqueles que têm o poder de causar danos ou que representem risco à saúde humana, ao meio ambiente ou para a segurança pública, e estão relacionados para o transporte, de acordo com o Decreto no 96.044, de 18/05/1988, que aprovou o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.

O objetivo deste artigo é apresentar as áreas que apresentam níveis de periculosidade associado ao risco ambiental de iminência a acidentes com produtos perigosos na área de influência do trecho da rodovia BR-101, selecionado para o estudo; fazendo uso de técnicas de geoprocessamento sobre parâmetros naturais e antrópicos.

Diante disso, o mapeamento das áreas de periculosidade compõe parte importante no conhecimento prévio do potencial de segmentos ou trechos rodoviários em promover ocorrências danosas ao meio ambiente e a saúde humana; sendo, portanto, a partir dessa

informação o auxílio na construção de um sistema de prevenção de acidentes dotado de planejamento estratégico e ações integradas direcionadas a determinada configuração de aspectos evidenciados na via em questão.

De acordo com Enomoto (2004), mapeamentos desta natureza constituem-se numa ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de acidentes.

2. Localização e caracterização da área

2.1 Localização

A área de estudo situa-se entre as coordenadas geográficas $9^{\circ}52'35''$ e $9^{\circ}13'42''$ de latitude sul e $36^{\circ}10'34''$ e $35^{\circ}44'53''$ de longitude oeste, estendendo-se por uma área de aproximadamente 93.600 hectares; abrangendo partes de dez municípios situados na porção leste de Alagoas (Figura 1), ora cortados pela BR-101, ora envolvidos por sua área de influência; sendo eles, respectivamente: Flexeiras, Murici, Messias, Rio Largo, Marechal Deodoro, Pilar, Atalaia, Boca da Mata, São Miguel dos Campos e Jequiá da Praia.

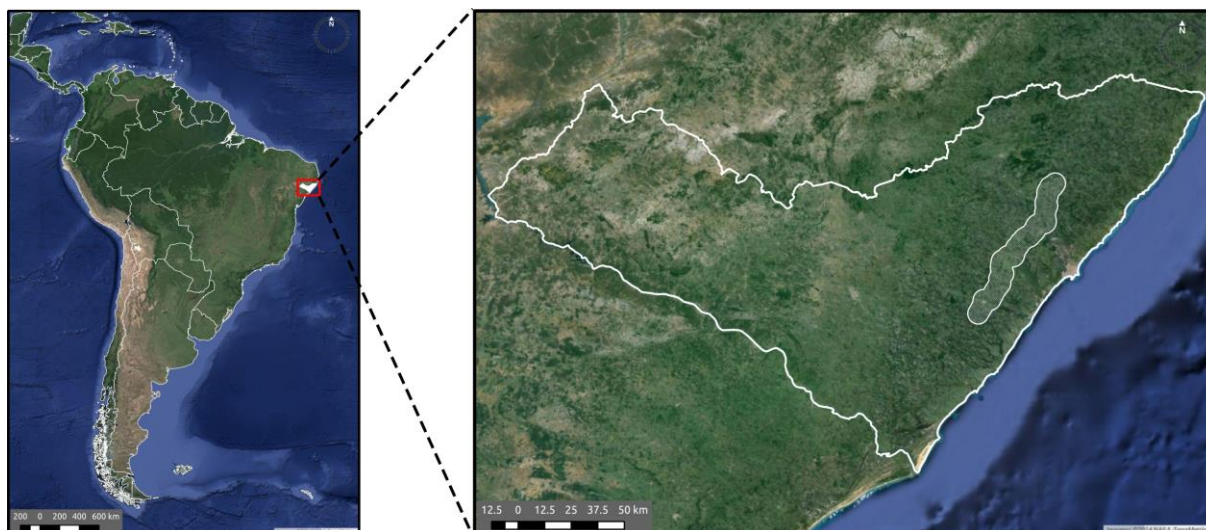


Figura 1. Localização da área de estudo

A área em questão corresponde a uma área de influência de 5 quilômetros a partir do eixo central do trecho da rodovia BR-101 que se inicia na divisa entre os municípios de São Miguel dos Campos e Jequiá da Praia, encerrando-se na divisa entre os municípios de Messias e Flexeiras.

A priorização para a seleção deste primeiro trecho da rodovia BR-101 a receber a análise se baseou no inventário de ocorrências registrados pela Polícia Rodoviária Federal como sendo o trecho que corresponde àquele de maior concentração de acidentes com veículos que transportam cargas perigosas nesta rodovia, no estado de Alagoas.

2.2 Aspectos fisiográficos

A área de estudo situa-se na porção meio-leste do estado sob influência do clima quente e úmido, variando a subúmido, de acordo com a classificação de Thornthwaite. Este clima proporciona temperaturas médias anuais entre 25°C e 30°C e ocorrência de chuvas nas estações de outono-inverno com precipitações pluviométricas que variam de 1.400 a 2.000 mm anuais.

O perímetro da área estudada estende-se em sentido transversal de Nordeste a Sudoeste abrangendo onze bacias hidrográficas a saber: a) Estivas; b) Jequiá; c) Meirim; d) Mundaú; e) Niquim; f) Paraíba do Meio; g) Pratygy; h) Remédios; i) São Miguel; j) Santo Antônio e k) Sumaúma. Estas bacias hidrográficas apresentam na sua maioria um padrão de drenagem dendrítico, tendendo a paralelo em escoamento, exorreico; formando canais distribuídos de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordens, cada uma recebendo dos tributários de ordens inferiores.

Sob o ponto de vista geológico, a área estudada divide-se predominantemente em duas grandes áreas: a Formação Barreiras (ENb) e o Complexo Nicolau-Campo Grande (APng), com destaque para a primeira. Já sobre o relevo, é pouco diferenciado, detendo majoritariamente apenas uma unidade geomorfológica: os Tabuleiros Costeiros. Quanto aos solos, são verificados nove tipos, no entanto, três destes possuem relevância areal devido a sua representatividade na área estudada. Eles correspondem aos Argissolos Amarelo (PA), Vermelho-Amarelo (PvA) e ao Latossolo Amarelo (LA).

2.3 Procedimentos metodológicos

A abordagem teórica/conceitual circunscrita a esse estudo está estruturada no tripé análise ambiental, seleção de áreas e geoprocessamento (Xavier da Silva, 1993 e 1998). Para a seleção de áreas que apresentam fatores de periculosidade ao risco de acidentes com produtos perigosos, definiu-se os parâmetros integrantes na avaliação fossem os dados de **Pluviosidade, Declividade, Sinuosidade da Rodovia e Ocorrência de Sinistros** na rodovia.

A escala definida para a elaboração dos planos de informação foi de 1:50.000, baseada na cartografia do IBGE (1985) através das Cartas Topográficas da Região Nordeste do Brasil, folhas Atalaia (SC-24-X-D-VI-2), Rio Largo (SC-25-V-C-I-3), São Miguel dos Campos (SC-24-X-D-VI-4) e Pilar (SC-25-V-C-I-1).

2.3.1 Elaboração da base de dados

Definida a escala, sucedeu-se a elaboração da base de dados geográfica, descritos a seguir, para posterior integração dos dados.

Para a elaboração do mapa de **Pluviosidade** média da área objeto, utilizaram-se os dados brutos e consistidos das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) disponível em <http://goo.gl/d3qNu>. Os dados correspondem à série histórica de 1920 a 2007.

De posse dos dados, após tratamento estatístico dos dados não-consistidos, procedeu-se a estimativa espacial dos dados tabulares através de modelagem com a aplicação do interpolador Inverso da Distância à Potência (IDP - Inverse Distance to a Power).

Os motivos pelos quais justificaram a aplicação deste algoritmo, se basearam nas considerações de Landim (2000) que é a fidelidade aos valores originais amostrados, principalmente por se tratar de poucas amostras e a sua distribuição irregular na área de estudo. O resultado final se aproxima da realidade local, não extrapolando os valores mínimos e máximos das amostras coletadas, sendo, portanto, ideal, para os casos onde não há agrupamento de amostras.

O resultado da interpolação foi um mapa de isoietas, equivalentes, com valor mínimo de 1300 mm/ano e máximo de 1800 mm/ano circunscritos na área de abrangência do estudo.

O mapa de **Declividade** foi elaborado a partir da vetorização das curvas de nível contidas nas cartas topográficas, já mencionadas; as quais serviram de base para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE), com equidistância de 10 metros, usando a técnica de Rede Irregular Triangulada (Triangulated Irregular Network – TIN).

A partir disto, gerou-se a carta de declividade em percentuais (Tabela 1), adaptando-se os critérios de classificação da Embrapa (1979).

Tabela 1. Classes e intervalos da declividade

Classes de Declividade	Intervalos (%)
Plano	0 - 2
Suave Ondulado	2 - 5
Moderadamente Ondulado	5 - 10
Ondulado	10 - 15
Forte Ondulado	15 - 45

A declividade reflete a adequação da conformação topográfica tanto como fator influenciador de um acidente rodoviário, quanto catalisador das consequências de derramamento de produtos perigosos no meio, por exemplo, declividades baixas podem reduzir a velocidade de escoamento de um produto químico em estado líquido, aumentando a infiltração e, conseqüentemente, a respectiva taxa de percolação no solo.

A espacialização da quantidade de **Ocorrência de Sinistros** envolvendo transporte rodoviário de produtos perigosos na rodovia em questão corresponderam à quantificação realizada pela Polícia Rodoviária Federal entre os anos de 2009 a 2013. Os dados foram representados geograficamente através da poligonal dos municípios abrangidos pela área de estudo. No total, foram registrados, ao longo dos cinco anos, 24 acidentes envolvendo veículos transportando produtos perigosos no trecho em questão sendo distribuídos da seguinte forma (Tabela 2):

Tabela 2. Ocorrência de acidentes com cargas perigosas por município

Município	Quantidade
Flexeiras	5
Jequiá da Praia	2
Messias	2
Pilar	5
Rio Largo	2
São Miguel dos Campos	8
Total	24

O cálculo do **Índice de Sinuosidade** de rodovias foi adaptado da metodologia estabelecida por Riccomini et al. (2000), que se baseia na razão entre o comprimento real (em projeção ortogonal) da rodovia e a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos da via.

Aquele autor afirma que índices com valores entre 1,0 e 1,25 indicam que trecho tende a ser retilíneo. Os valores compreendidos entre 1,25 e 1,5 indica que o trecho tende a ser moderadamente sinuosos. Já os valores compreendidos entre 1,5 e 2,0 indicam que o trecho da via tende a ser sinuoso, enquanto que os valores superiores a 2,0 indicam que o trecho tende a ser demasiadamente sinuoso.

A sinuosidade, em estudos desta natureza são imprescindíveis pois é um parâmetro que confere certo grau dificuldade no controle de veículos, contribuindo desta forma, como um fator de periculosidade a acidentes com produtos perigosos.

Mediante isto, o trecho da rodovia BR-101, correspondente à área de estudo, foi fatiada em quatro partes (Tabela 3), seguindo o critério de extensão predominante nos municípios pelos quais perpassa. Desta forma, os trechos identificados com seus respectivos índices de sinuosidade foram:

Tabela 3. Índice de sinuosidade por município abrangido pela rodovia

Trecho	Município	Índice de Sinuosidade
1	São Miguel dos Campos	1,15
2	Pilar	1,25
3	Rio Largo	1,17
4	Messias	1,16

2.4 Integração dos dados

A integração de dados consiste no cruzamento dos mapas utilizando-se média aritmética ponderada, onde cada mapa é ponderado pela utilização de pesos, segundo sua importância relativa. Postula-se que o conjunto de mapas compõe 100% da responsabilidade pela situação ambiental analisada. As classes recebem notas (de 0 a 10), segundo a possibilidade de associação da classe com a ocorrência do fenômeno estudado; resultando, portanto, em um mapa final que expressa níveis semelhantes de risco para a ocorrência do fenômeno estudado (CALHEIROS, 2000).

Os pesos e notas foram atribuídos com base no conhecimento teórico e prévio da área em estudo e também nas observações e anotações em campo, visando calibrar os pesos e notas, e finalmente atingir um produto próximo a realidade. Para essa integração, foram distribuídas os seguintes pesos e notas (Tabela 4).

Tabela 4. Distribuição de pesos e notas para os parâmetros e respectivas classes utilizados na avaliação

Parâmetro	Peso	Classes	Notas
Pluviosidade	30%	1300 - 1400 mm/ano	4
		1400 - 1500 mm/ano	5
		1500 - 1600 mm/ano	6
		1600 - 1700 mm/ano	7
		1800 - 1800 mm/ano	8
Declividade	10%	0 - 2% (Plano)	2
		2 - 5% (Suave Ondulado)	4
		5 - 10% (Moderadamente Ondulado)	6
		10 - 15% (Ondulado)	8
		15 - 45% (Forte Ondulado)	10
Sinuosidade	30%	1 - 1,25 (Retilíneo)	3
		1,25 - 1,5 (Moderadamente Sinuoso)	6
		1,5 - 2,0 (Sinuoso)	8
Ocorrência de Sinistros	30%	0 Ocorrências	0
		2 Ocorrências	3
		5 Ocorrências	6
		8 Ocorrências	10

Os parâmetros **Pluviosidade** e **Sinuosidade** receberam pesos de 30%, cada, por serem considerados agentes potencialmente influenciadores tanto na causa quanto na consequência de acidentes com produtos químicos perigosos.

Ao parâmetro **Ocorrência de Sinistros**, também foi atribuído o peso de 30% por considerá-lo um indicativo de que determinado trecho da rodovia possui um histórico de ocorrências, que numa futura investigação, mais minuciosa, possa revelar as causas que

justificam as estatísticas. Neste caso, especificamente, centrou-se nos valores absolutos de acidentes.

Quanto a **Declividade**, o peso de 10% empregado é justificado pela pouca responsabilidade em eventos de acidentes, já que sua participação só é considerada representativa quando associada a pelo menos dois dos outros três parâmetros aqui apresentados.

O procedimento de integração de dados em ambientes de Sistemas Geográficos de Informação (SGI) se dá através da aplicação da Calculadora Raster, no qual é possível construir expressão matemática que permita o entrecruzamento dos planos de informação e, como resultado desta operação será o mapa síntese, considerando os pesos e as notas atribuídas.

As notas atribuídas às classes do mapa variaram de 0 a 10. Foi estabelecido que as classes com uma participação nula ou quase nula na ocorrência do fenômeno estudado receberiam nota 0 e 1, respectivamente. As classes com uma pequena participação receberiam notas de 2 a 4. Já para aquelas com participação média, as notas variariam entre 5 e 6, e aquelas com grande participação, entre 7 e 8. Nas classes onde as ocorrências, eram muito possíveis e extremamente possíveis, foram atribuídas as notas 9 e 10, respectivamente.

3. Resultados e discussão

O produto da integração dos mapas resultou num mapa sitótico contendo 5 classes, correspondentes às notas alcançadas alcançadas que variaram de 3 a 7, sendo reclassificadas em apenas 3 classes em escala nominal, de maneira que representassem cartograficamente os níveis/ graus de potencialidade. Para isto, definiu-se o agrupamento com base nas proximidades dos valores das notas e nominando-os por conseguinte como Baixa, Média e Alta. No mapa síntese não foram retornadas as notas de 0 a 2 e de 8 a 10, portanto, não existem áreas de valores muito baixa e muito alta periculosidade.

Para que esse agrupamento fosse possível, utilizou-se o conceito de transposição das classes que se encontravam na escala ordinal (quantitativa) para a escala nominal (qualitativa) uma vez que essas classes permitem agrupamentos de categorias por similaridade, definido por Xavier-da-Silva (2000).

Por esta razão, as notas 3 e 4 foram agrupadas em uma única classe e renomeada para **Baixa Periculosidade** à acidentes com produtos perigosos. Seguindo a lógica, as notas 5 e 6 foram aglutinadas na categoria **Média Periculosidade** e, por fim, a nota 7, que ocorreu isoladamente, não necessitando ser agrupada, uma vez que não houve ocorrência da nota 8. Por conta disto, a nota 7 foi reclassificada para **Alta Periculosidade** à acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos (Tabela 5).

Após a elaboração do mapa de áreas que apresenta os graus de periculosidade do meio ao dano ambiental decorrente do risco de acidentes rodoviários de cargas perigosas (Figura 2), foi possível realizar a planimetria ou mensurações sobre o mapa, o qual resultou na informação de que 58,04% da área avaliada possui Média Periculosidade, isto é, possibilidade de o meio influenciar em acidentes desta natureza, caracterizando-se assim, como a de maior abrangência espacial. Foi possível constatar ainda que outros 32,72% foi classificada como de Baixa Periculosidade e, apenas 9,24% da área analisada, é tida como de Alta Periculosidade.

A categoria **Alta Periculosidade** se expressa predominantemente nas vertentes dos principais rios da porção centro-sul da área estudada, correspondendo ao Pau Brasil, Sumaúma e Niquim no município de Marechal Deodoro; São Miguel em São Miguel dos Campos; Paraíba do Meio em Pilar e Jequiá e Taquari em Jequiá da Praia. Esta categoria ocorre majoritariamente em áreas de solo tipificadas como Argissolo Amarelo, característicos do relevo com declividades que variam de 20 a 45% ou superior, em geomorfologia de

Encostas Fluviais e litologia da Formação Barreiras que suportam os usos, ora das atividades agropecuárias, como canaviais e pastagens, ora comportam fragmentos de vegetação nativa.

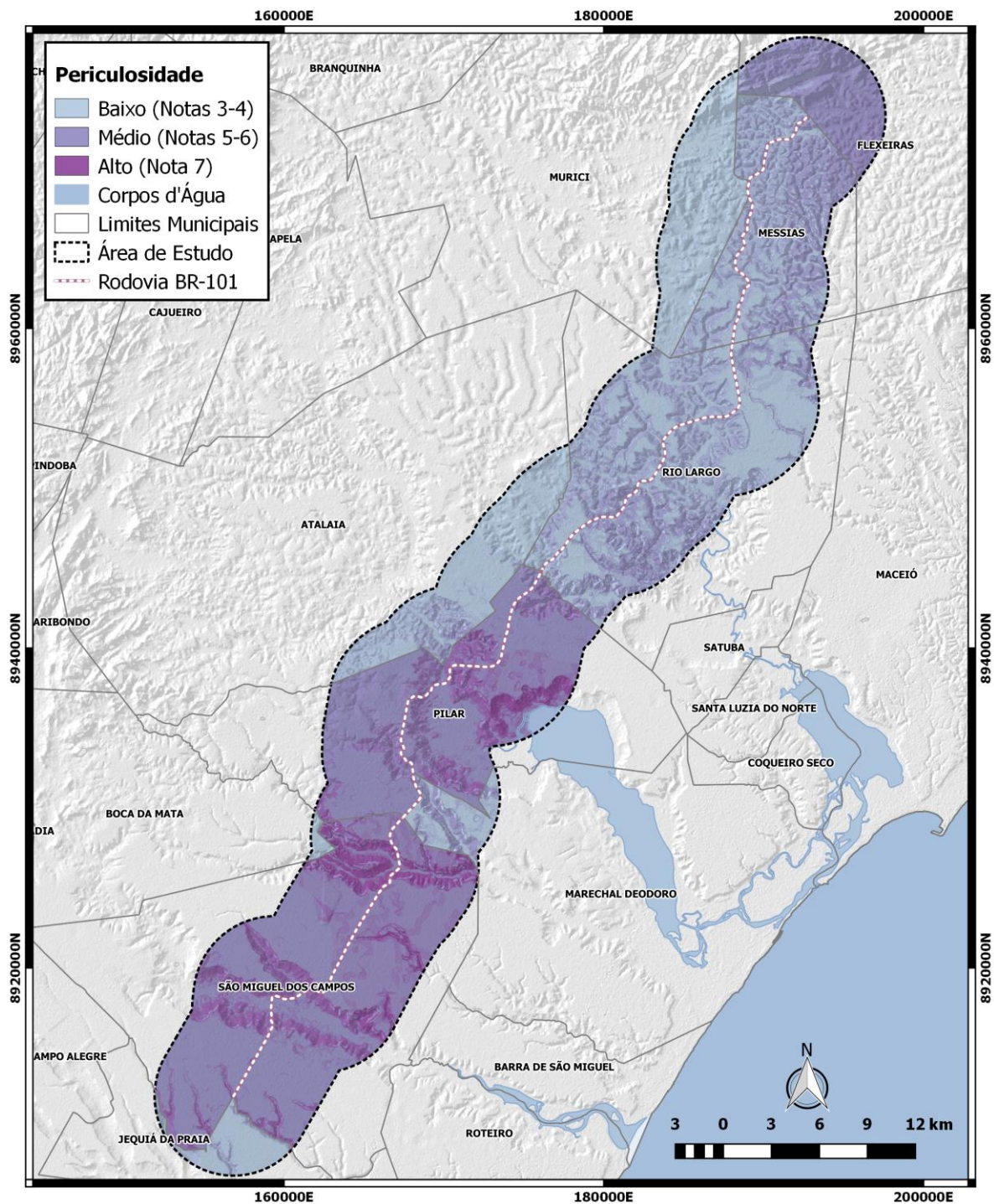


Figura 2. Mapa de níveis de periculosidade.

Tabela 5. Mensuração das classes de periculosidade na área analisada.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Alta (Nota 7)	8.648,35	9,24
Média (Notas 5 e 6)	54.306,69	58,04
Baixa (Notas 3 e 4)	30.612,20	32,72
Totais	93.562,24	100,00

Este grau de periculosidade sofre o domínio da concentração das ocorrências de sinistros, detendo aproximadamente 54% da quantidade de registros de acidentes com produtos perigosos. Influenciam ainda os trechos sinuosos da rodovia além da alta incidência da pluviosidade, pois situa-se na faixa de 1700 a 1800 mm/ano.

A classe **Média Periculosidade** cobre uma área de terras com relevo preeminentemente plano a suave ondulado na porção meio-sul, variando de ondulado a ondulado ou forte ondulado na porção meio-norte da área analisada. Na primeira parte, prevalecem os solos classificados como Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos nos Topos de Tabuleiros. Na segunda parte, dominam os solos Argissolos Vermelho-Amarelos e os Argissolos Amarelos nas Colinas e Mares de Morros. A predominância das atividades agropecuárias também são divididas, marcando presença a cana-de-açúcar mais ao sul e a pecuária na parte norte da poligonal estudada.

Este nível de periculosidade também sofre influência da concentração das ocorrências de sinistros, detendo aproximadamente 38% da quantidade de registros de acidentes com produtos perigosos. A sinuosidade da rodovia não influencia significativamente pois, os trechos são considerados retilíneos. Quanto ao domínio da precipitação pluviométrica, situa-se em faixa de 1500 a 1600 mm/ano.

Por fim, na categoria **Baixa Periculosidade**, há uma equivalência areal entre os Latossolos Amarelos (dispostos em relevos considerados de planos a suave ondulados), Argissolos Amarelos (em relevo suave ondulado a ondulado) e Argissolos Vermelho-Amarelos (em relevo ondulados a montanhosos). O uso e a ocupação da terra concentram a cultura da cana-de-açúcar e a criação extensiva de gado bovino.

Este nível de periculosidade praticamente não sofre interferência das ocorrências de sinistros pois, contabilizam somente 8% da quantidade de registros de acidentes com produtos perigosos. A sinuosidade da rodovia também não influencia pois, não há trecho de rodovia nessas áreas. Quanto ao domínio da precipitação pluviométrica, situa-se em faixa de 1400 a 1500 mm/ano no setor oeste e noroeste da poligonal estudada e de 1500 a 1600 mm/ano no extremo sul e meio-norte.

4. Conclusões

O estudo ora apresentado corresponde a primeira de três etapas para identificação de áreas de risco ambientais a acidentes com transporte de produtos perigosos. Para tal, faz-se necessário complementar os estudos, no sentido de se conhecer as áreas de fragilidade ambiental e os sítios vulneráveis aos danos decorrentes de desastres dessa natureza.

Na busca pela exaustão do entendimento dos fatores de periculosidade, entende-se que outros parâmetros podem ser acrescidos a fim de fornecer uma melhor acurácia aos resultados. Além dos que foram apresentados nesse artigo, recomenda-se o uso de outros dados de viés meteorológico como neblina e dispersão de fumaças provenientes de queimadas de culturas. Outro fator de periculosidade na geração de sinistros que pode ser acrescentado são os dados de atropelamento de animais de grande porte.

A partir das informações apresentadas neste trabalho, fica notório a partir da compartimentação da área que os pesos e notas atribuídos aos planos de informação tendem a qualificar o parâmetro Ocorrência de Sinistros como o grande responsável na definição dos trechos que se apresentam como aqueles de maior periculosidade, influenciando diretamente na possibilidade de ocorrência de acidentes com produtos perigosos.

Referências Bibliográficas

CALHEIROS, Silvana Quintella Cavalcanti. **Turismo versus agricultura no litoral meridional alagoano**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ENOMOTO, Carolina Ferreira. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná.** 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.

LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas.** DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Laboratório de Geomatemática, Texto Didático 02, 20 p. 2000. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>.

RICCOMINI, Cláudio; GIANNINI, Paulo César Fonseca; MANCINI, Fernando. **Decifrando a terra.** Wilson Teixeira et al (Orgs.). São Paulo: Oficina de Textos. 2000. 568 p.

SILVA, Jorge Xavier da.; CARVALHO FILHO, Luís Mendes. Sistemas de informação Geográfica: uma proposta metodológica. In: Conferência latino-americana sobre sistemas de informação geográfica, IV., Simpósio brasileiro de geoprocessamento, II., 1993. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993. v. 1, p. 609-628.