

Análise da vulnerabilidade ambiental a acidentes por transporte rodoviário de produtos perigosos: estudo de caso no Distrito Industrial do Rio Grande

Fabiane Pontes Rodrigues^{1*}, Júlia Nyland do Amaral Ribeiro²

¹Técnica em Geoprocessamento, Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – campus Rio Grande, Brasil. (*Autor correspondente: rodriguespfabiane@gmail.com)

²Doutoranda em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 24/01/2022 – Revisado em: 23/04/2022 – Aceito em: 05/06/2022

RESUMO

Levando em consideração que é direito fundamental previsto na Constituição Federal de 1988 o acesso ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, mostra-se necessário elaborar análises que visem assegurar políticas públicas eficazes e efetivas para acidentes ambientais, que não são previsíveis e podem acarretar impactos ambientais. Os acidentes que envolvem o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos (TRPP), ocorrem, em média, 25 vezes por ano no Rio Grande do Sul (RS). No município do Rio Grande, o Distrito Industrial (DIRG) apresenta grande fluxo de caminhões com produtos perigosos próximo às Áreas de Preservação Permanente e Unidade de Conservação. Desta forma, produziu-se, através de análise multicritério, um índice de vulnerabilidade ambiental a acidentes por TRPP na área da DIRG e da Refinaria Rio-grandense, com o objetivo de identificar os locais mais sensíveis a tais. Assim, constatou-se que as áreas de ambientes naturais, especialmente aqueles legalmente protegidos, e as pontes de ligação ao DIRG são regiões que merecem atenção, principalmente na elaboração de diretrizes e ações de prevenção, tendo em vista que se apresentaram como áreas de maior vulnerabilidade ambiental. Conjuntamente, a área de estudo foi projetada perante contextos histórico-culturais complexos, acabando por se caracterizar como uma área significativamente vulnerável ambientalmente em pelo menos algum grau, ainda mais sendo envolto por corpos hídricos que podem espalhar o produto perigoso por uma área imensurável. Desta forma, a continuidade do estudo se torna essencial para a implementação de diretrizes à temática no Plano Diretor e na elaboração de um Plano de Ação de Emergência eficaz e efetivo.

Palavras-Chaves: Geoprocessamento, Análise Multicritério, Análise de Risco, Indústria.

Analysis of environmental vulnerability to accidents by road transportation of dangerous products: case study in the Industrial District of Rio Grande (Brazil)

ABSTRACT

Taking into account that access to an ecologically balanced environment is a fundamental right provided for in the Federal Constitution of 1988, it is necessary to carry out analyzes aimed at ensuring effective public policies for environmental accidents, which are not predictable and may cause environmental impacts. The TRPP causes approximately 25 accidents per year in Rio Grande do Sul (RS) involving the Road Transport of Dangerous Products (TRPP). In the municipality of Rio Grande, located south of RS, Brazil, the Industrial District (DIRG) has a large flow of trucks with hazardous products, it is located close to Riparian Zone and Protected Areas. Thus, through multicriteria analysis, an index of environmental vulnerability to accidents by TRPP was produced in the area of DIRG and the Rio-grandense Refinery, with the objective of identifying the most accident-sensitive places. Thus, it was found that the areas of natural environments, especially those legally protected, and the connection bridges to the DIRG are regions that deserve attention, mainly in the preparation of guidelines and prevention actions, considering that presented greater environmental vulnerability. In conjunction, the study area was designed in complex historical and cultural contexts, and is characterized as a significantly environmentally vulnerable area, at least to some degree, surrounded by bodies of water that can spread the hazardous product over an immeasurable area. Thus, the continuity of the study becomes essential for the implementation of guidelines to the theme in the Master Plan and the preparation of an efficient and effective Emergency Action Plan.

Keywords: Geoprocessing, Multicriteria Analysis, Analysis of Risk, Industry.

Rodrigues, F., Ribeiro, J. (2022). Análise da vulnerabilidade ambiental a acidentes por transporte rodoviário de produtos perigosos: estudo de caso no Distrito Industrial do Rio Grande. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.10, n.2, p.120-135.



1. Introdução

Nas últimas décadas, a preservação do meio ambiente e os impactos negativos causados por atividades antrópicas, tanto em escala local quanto em escala global, tem se tornado temas importantes à sociedade. Neste sentido, o impacto ambiental pode ser conceituado como qualquer alteração causada no meio ambiente, seja por qual for a forma de matéria ou energia que resultem da ação humana e afetem, direta ou indiretamente, o meio ambiente e a qualidade de vida dos organismos que residem na Terra (CONAMA, 1986).

Os acidentes ambientais são caracterizados, de forma genérica, como aspectos ambientais pelo Sistemas de Gestão Ambiental, tais aspectos podem ter impactos ambientais significativos (ABNT, 2015). Devido sua característica não previsível conforme sua tipologia, caso venha a ocorrer um sinistro transportando produtos perigosos em áreas sensíveis ambientalmente, existirá um impacto negativo ao meio ambiente ao seu redor (IAP, 2019). Portanto, os acidentes ambientais que envolvem Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos (TRPP) preocupam aos órgãos públicos devido às graves consequências que podem causar, como a contaminação de água, solo e ar.

As cargas rodoviárias perigosas são classificadas em nove classes segundo a Organização das Nações Unidas (ONU). Os produtos pertencentes a tais classes são divididos de acordo com suas características e nocividades ao meio ambiente, a saber: explosivos, gases, líquidos inflamáveis, sólidos inflamáveis, substâncias sujeitas a combustão espontânea, substâncias que em contato com água emitem gases inflamáveis, substâncias oxidantes, peróxidos orgânicos, substâncias tóxicas, substâncias infectantes, material radioativo, substâncias corrosivas e substâncias e artigos perigosos diversos.

Tais classes demonstram que existem diversos tipos de produtos perigosos e na hipótese de ocorrência de acidentes com vazamento de algum dos produtos listados, as consequências no ambiente do entorno poderão ser graves, se tal região for vulnerável ambientalmente, gerando-se um grande impacto negativo sob o mesmo. Assim, a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como a maior ou menor susceptibilidade a um impacto potencial provocado por alguma situação antrópica (Tagliani, 2003).

De acordo com os registros *online* da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), desde o ano de 1994 são contabilizados, em média, 25 acidentes rodoviários por ano envolvendo produtos perigosos em todo Rio Grande do Sul - RS, sendo que o ano de 2008 apresenta maior quantidade de ocorrências, com um total de 37 acidentes por TRPP. Comparado com o número total de acidentes envolvendo o transporte de produtos perigosos de todo tipo - aéreo, viadutos, ferroviário, hidroviário e rodoviário -, percebe-se que acidentes rodoviários ocorrem com maior frequência devido ao fato de que o modal rodoviário transporta 65% das cargas do país (RBA, 2018), o que demonstra a importância de um direcionamento adequado às ações que reduzam os acidentes ou possibilitem uma previsão das consequências dos impactos ambientais.

Levando em consideração os prejuízos sociais, econômicos e ambientais causados por acidentes que envolvam o transporte de produtos químicos perigosos, existem planos de prevenção com objetivo de capacitar este tipo de transporte com o intuito de prever e reduzir os acidentes em diferentes níveis (federal, estadual e municipal). O Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Acidentes Ambientais com Produtos Perigosos (P2R2), por exemplo, tem como objetivo prevenir essas ocorrências levando em consideração dois tipos de enfoque: preventivo e corretivo.

Além disso, existem decretos federais e estaduais que visam colocar em prática os objetivos nacionais previstos na P2R2. Segundo o P2R2, o enfoque preventivo “é contemplado por meio da implantação de sistemas, programas, ações, procedimentos e iniciativas preventivas que visam atingir o desempenho planejado, no âmbito nacional e estadual” (BRASIL, 2004, p. 12). Já o enfoque corretivo atua nos âmbitos municipais, estaduais e federais otimizando os recursos materiais e humanos, contemplando

“por meio da implantação de sistemas, programas, ações, procedimentos e iniciativas de preparação e resposta (PAE - Plano de Ação de Emergência) dos órgãos públicos e privados, responsáveis pelo atendimento destas ocorrências, de forma integrada” (BRASIL, 2004, p. 12)

As zonas industriais e portuárias apresentam alto fluxo de produtos perigosos, como é o caso do município do Rio Grande, que se encontra na região litorânea do extremo sul do RS. Rio Grande possui um distrito industrial de grande valor socioeconômico, já que está em uma área retroportuária, ou seja, a região apresenta uma série de indústrias que escoam e recebem produção pelo porto e pelas rodovias. Tal característica, aumenta os riscos a acidentes envolvendo TRPP devido a intensa movimentação de cargas perigosas tanto para o porto, quanto para o distrito industrial (Andrade et al., 2019).

Além dos riscos eminentes no transporte de produtos perigosos, a zona industrial e portuária do município do Rio Grande está próxima a aglomerados populacionais. Tal fator pode aumentar o risco social, bem como o risco ambiental, já que a região é uma área vulnerável, especialmente pela existência de áreas úmidas - banhados e marismas - e mata ciliar ao longo dos corpos d'água, sendo esses ambientes protegidos pela Lei nº 12.651, considerado como Áreas de Preservação Permanentes – APP (CONAMA, 2002; BRASIL, 2012).

Levando em consideração essas características, o risco a impactos social, econômico e ambiental a acidentes envolvendo o tráfego de produtos perigosos e a falta deste tipo de estudo para a região, objetivou-se identificar as áreas de maior vulnerabilidade ambiental a acidentes por TRPP. Assim, desenvolveu-se um estudo no Distrito Industrial (DIRG) e na Refinaria Rio-Grandense para mapear tais regiões, possibilitando identificar os ambientes naturais que serão impactados com as consequências de um acidente. Para isso, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, as quais se tornaram essenciais para a identificação da vulnerabilidade ambiental na área do estudo e que poderão servir de subsídio ao planejamento de ações de prevenção a acidentes e a construção de análise de risco a acidentes por TRPP.

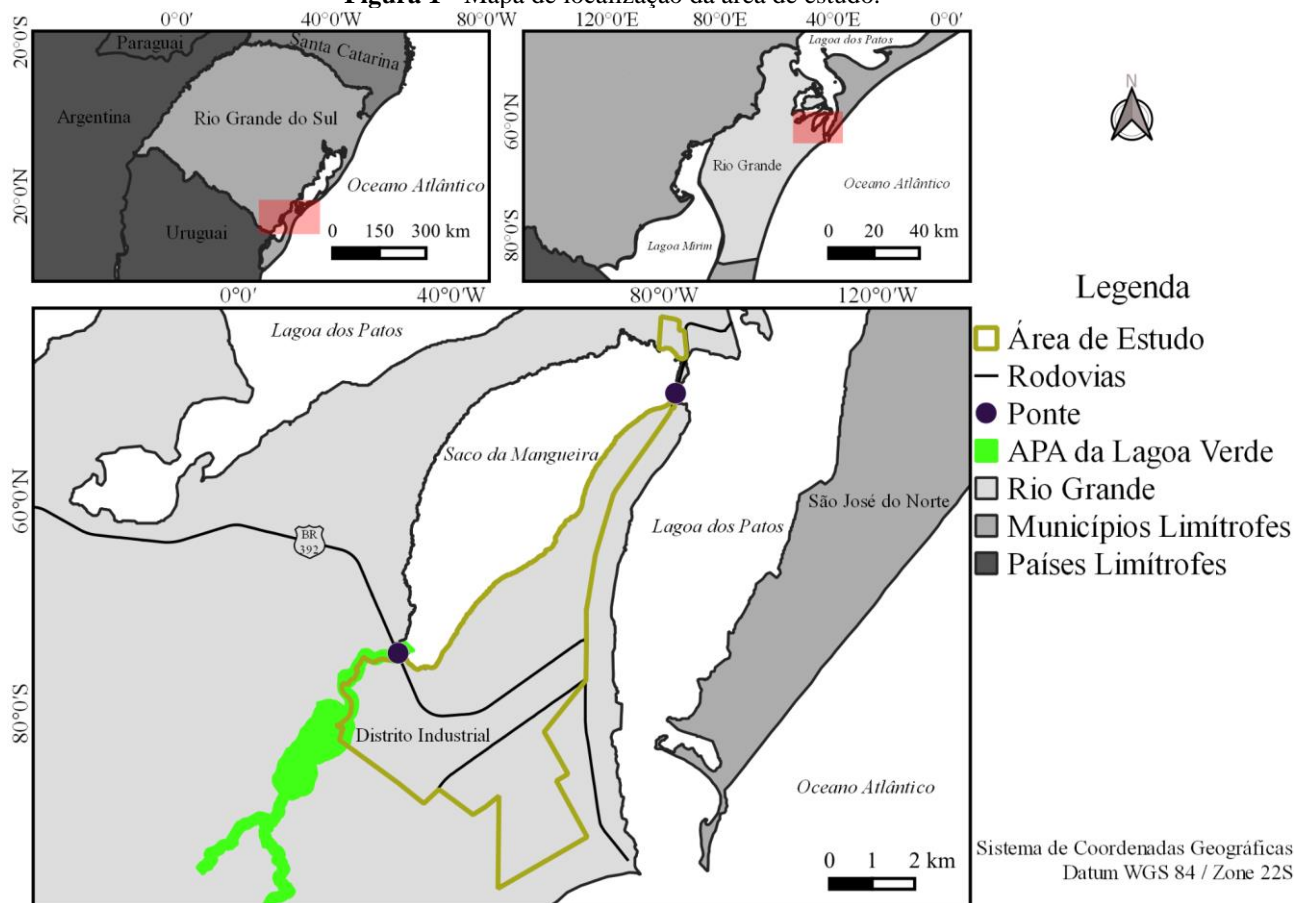
1.1 Área de Estudo

A cidade do Rio Grande está localizada no extremo sul do Rio Grande do Sul e é o município mais antigo do estado, caracterizado como costeiro e portuário por ser rodeado por corpos d'água, sendo esses a Lagoa Mirim, o canal São Gonçalo, a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico, o que torna as atividades industrial e portuária uma das principais fontes econômicas da região, juntamente com a pesca e o turismo. Conta com uma população de 197.288 habitantes, possuindo uma densidade demográfica de 72,79 hab/km² e ocupando a décima posição de cidade mais populosa do estado (IBGE, 2010).

O município do Rio Grande atraiu colonizadores europeus por diversos fatores, mas a condição de único porto marítimo, na época, e as riquezas pesqueiras e agropecuárias da região foram atrativos para essa migração. Essa grande movimentação, tanto de imigrantes quanto de cargas do comércio internacional, definiu a base da economia atual da cidade: refino de petróleo, indústria, comércio, turismo, serviços, agricultura familiar, atividades portuárias e pesqueiras (Prefeitura Municipal do Rio Grande, 2021). No entanto, foi a partir de 1970, que o município passou por uma alteração em seu ciclo industrial, caracterizando-se pelo incentivo às indústrias pesqueiras e o início das indústrias de fertilizantes (Martins; Pimenta, 2004).

A alteração na base produtiva fez acender o Distrito Industrial do Rio Grande (DIRG), abrangendo uma área de 2.500 hectares que possui manchas de banhados, dunas, marismas (Sanchez, Ferreira, Galiazzi, 2013), contando com 32 indústrias implantadas e 5 em fase de implantação (InvestRS, 2021). Além do DIRG, foi incorporada a área de estudo a Refinaria de Petróleo Rio-Grandense, que contribui com o aumento do fluxo de transportes rodoviários na região. Assim, o limite da área considerada para construção do mapa de vulnerabilidade ambiental, está representado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Própria do artigo.

Na área de estudo, além das indústrias, está inserida a Unidade de Conservação (UC), do tipo Área de Proteção Ambiental (APA), denominada Lagoa Verde. Na APA da Lagoa Verde são encontradas áreas úmidas, as quais são protegidas pela lei nº 12.727 de 2012, de acordo com o Plano Municipal Ambiental de Rio Grande, e o corpo d'água lagunar, sendo as diretrizes de uso desses ambientes encontradas no Plano de Manejo da APA da Lagoa Verde. Portanto, o município caracteriza-se por ser uma região plana, lagunar, que possui diversos aglomerados de áreas úmidas e com solo descrito como hidromórfico. Tais características são extremamente críticas a qualquer contato com produtos perigosos e, sendo assim, são altamente vulneráveis ambientalmente (Andrade, 2019).

O DIRG e a Refinaria se concentram próximo ao Saco da Mangueira, um braço do estuário da Lagoa dos Patos, pelo qual, por meio do canal de navegação, são exportados e importados produtos, sendo que a movimentação de cargas ocorre pelas vias rodoviária e férrea. Hoje em dia, a ferrovia funciona escoando, principalmente, grãos de soja de todo o estado.

As vias ao entorno da DIRG e da Refinaria se ligam, diretamente, a BR-392 e a RS-734, que são duas rodovias importantes no tráfego de cargas ao longo do Rio Grande do Sul e do Brasil. Além das duas rodovias citadas anteriormente, há a via nomeada de Rua Doutor Augusto Borges de Medeiros que faz ligação entre as indústrias e o porto do Rio Grande. É por essa via que os caminhões cruzam a ponte sobre o Saco da Mangueira, local que demonstra ser sensível ao risco de acidentes por TRPP.

Ainda, o município possui predominância de atividades pesqueiras, que ocorrem pela presença de comunidades de pesca às margens do estuário da Lagoa dos Patos (Oliveira, 2008). Portanto, qualquer

modificação no ambiente devido a um acidente que transporte produtos perigosos, além de impactar os ecossistemas locais, como as áreas úmidas, prejudicaria socialmente as famílias que possuem tal atividade como fonte de renda.

2. Material e Métodos

Considerando a vulnerabilidade ambiental como a susceptibilidade a um potencial impacto provocado por alguma situação externa intimamente relacionada com as ações dos seres humanos no meio ambiente (Tagliani, 2003), foram utilizados como materiais informações referentes a hidrografia, topografia, textura do solo, uso e ocupação do solo, fauna, ambientes naturais e legalmente protegidos da área de estudo para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental. Tais variáveis estão apresentadas no Quadro 1, com suas respectivas fontes de obtenção. Já o *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado para a aplicação dos métodos de análise foi o QGIS 3.6.

Quadro 1 – Base de dados para a realização do estudo.

Dado	Fonte
Nascentes, Cursos d'água, Áreas de Preservação Permanente, Áreas Úmidas, Mata Ciliar, Uso e Ocupação do Solo	Adaptado de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do estado do Rio Grande do Sul em processo de elaboração
Planos Intermareais, Canais Naturais, Canais Artificiais ou Alterados	Vetorização no Google Earth em escala 1:7.500
Textura do Solo	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
Unidade de Conservação	Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC

Fonte: Própria do artigo.

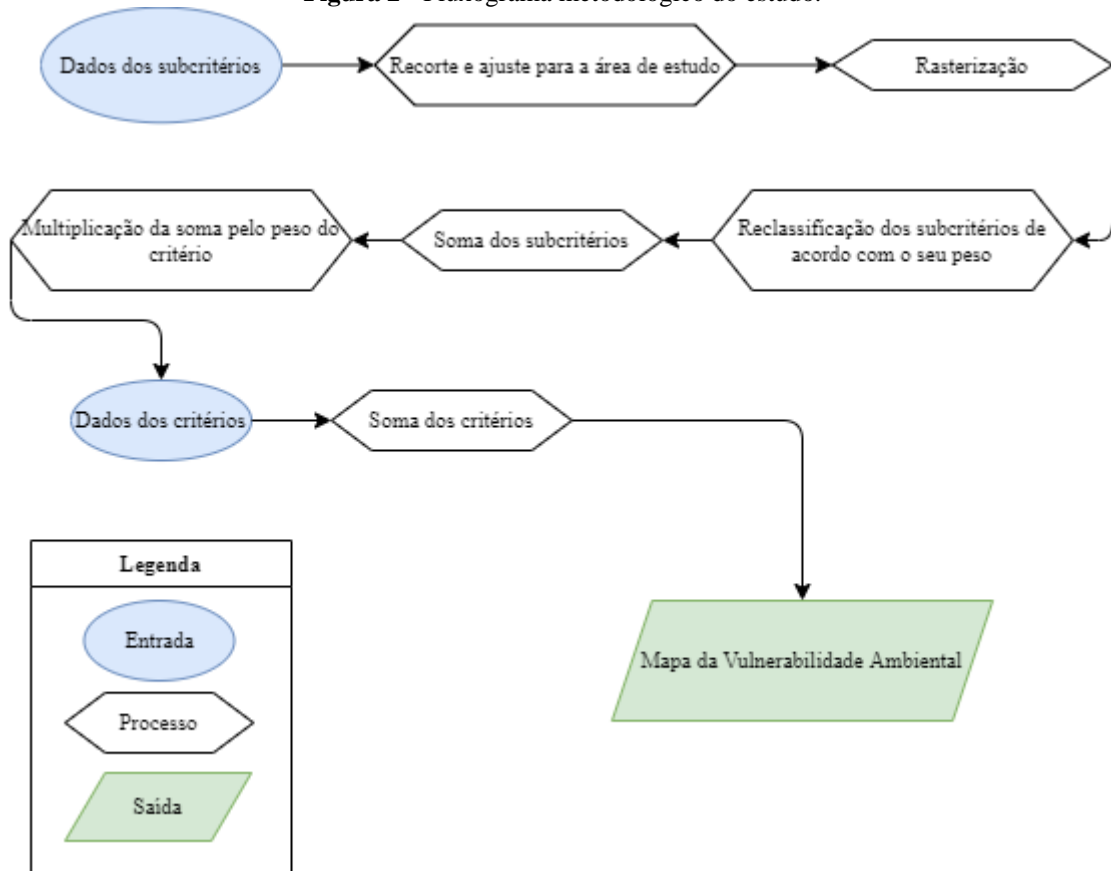
Além das informações apresentadas no quadro acima, foram usadas planilhas eletrônicas para a organização de pontos de acidentes por TRPP no Rio Grande do Sul e na área de estudo entre 1994 e 2020, adquiridos do website da FEPAM, especificamente na área de “Acidentes de Transporte de Produtos e Resíduos Perigosos”, os quais serviram como informação de entrada para a produção dos mapas de densidade. Mapas de densidade kernel tem como objetivo demonstrar a intensidade pontual de determinados fenômenos em uma área, por meio de métodos de interpolação (Medeiros, 2012). Para os mapas de densidade foi utilizado o método do vizinho mais próximo. Tal metodologia utiliza um determinado raio a partir do evento para detectar se existem outros eventos próximos e, assim, evidencia se há ou não interação entre a variável (Druck et al., 2004).

Para o mapa de densidade da Figura 5, os valores foram extrapolados à base do limite do estado do Rio Grande do Sul. Da mesma forma, aplicou-se esse critério para a área estudada (Figura 7), em que foi utilizado o limite da área de estudo, ou seja, a DIRG e a Refinaria Rio Grandense. Em relação ao raio de abrangência das ocorrências de acidentes utilizados na aplicação da ferramenta Kernel, considerou-se o valor de 0,2 graus para o mapa de densidade do Rio Grande do Sul e para a área estudada o raio foi igual a 2 quilômetros.

Para a elaboração do produto principal, o mapa de vulnerabilidade ambiental a acidentes por TRPP, seguiu-se as etapas apresentadas no fluxograma metodológico (Figura 2). Utilizou-se como referência a metodologia proposta por Cordeiro (2014), a qual é desenvolvido um método para a avaliação de risco ambiental de acidentes de trânsito envolvendo produtos perigosos usando análise multicritério. Em Cordeiro

(2014), são analisados, além da vulnerabilidade ambiental que é o objetivo deste trabalho, a vulnerabilidade populacional, o potencial dano inerente ao produto, o perigo envolvido no acidente, a taxa e o índice de acidentes.

Figura 2 - Fluxograma metodológico do estudo.



Fonte: Própria do artigo.

A área de estudo que contempla o DIRG (Silva; Asmus, 2009) e a Refinaria Rio Grandense, essa sendo vetorizada, foi ampliada em 50 metros para que, desta forma, fosse considerada uma parte dos corpos hídricos que rodeiam a área de interesse. Para o trabalho não foi considerado o porto, porém o porto da cidade utiliza-se da mesma rodovia que passa no DIRG, logo, os impactos advindos de acidentes por TRPP tendem a ser semelhantes. Para a análise multicritério, seis critérios foram definidos, sendo essa hidrografia, topografia, textura do solo, uso e ocupação do solo, ambientes naturais e legalmente protegidos e fauna, sendo que cada um possui um peso. Além disso, cada critério possui subcritérios que também são ponderados em pesos, os quais determinam o aumento da vulnerabilidade ambiental da área estudada e estão representados abaixo no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios, subcritérios e seus respectivos pesos.

Critério	Peso	Subcritérios	Peso
Hidrografia	0,23	Planos intermareais	0,14
		Nascente	0,51
		Canal alterado ou artificial	0,08
		Canal natural	0,27

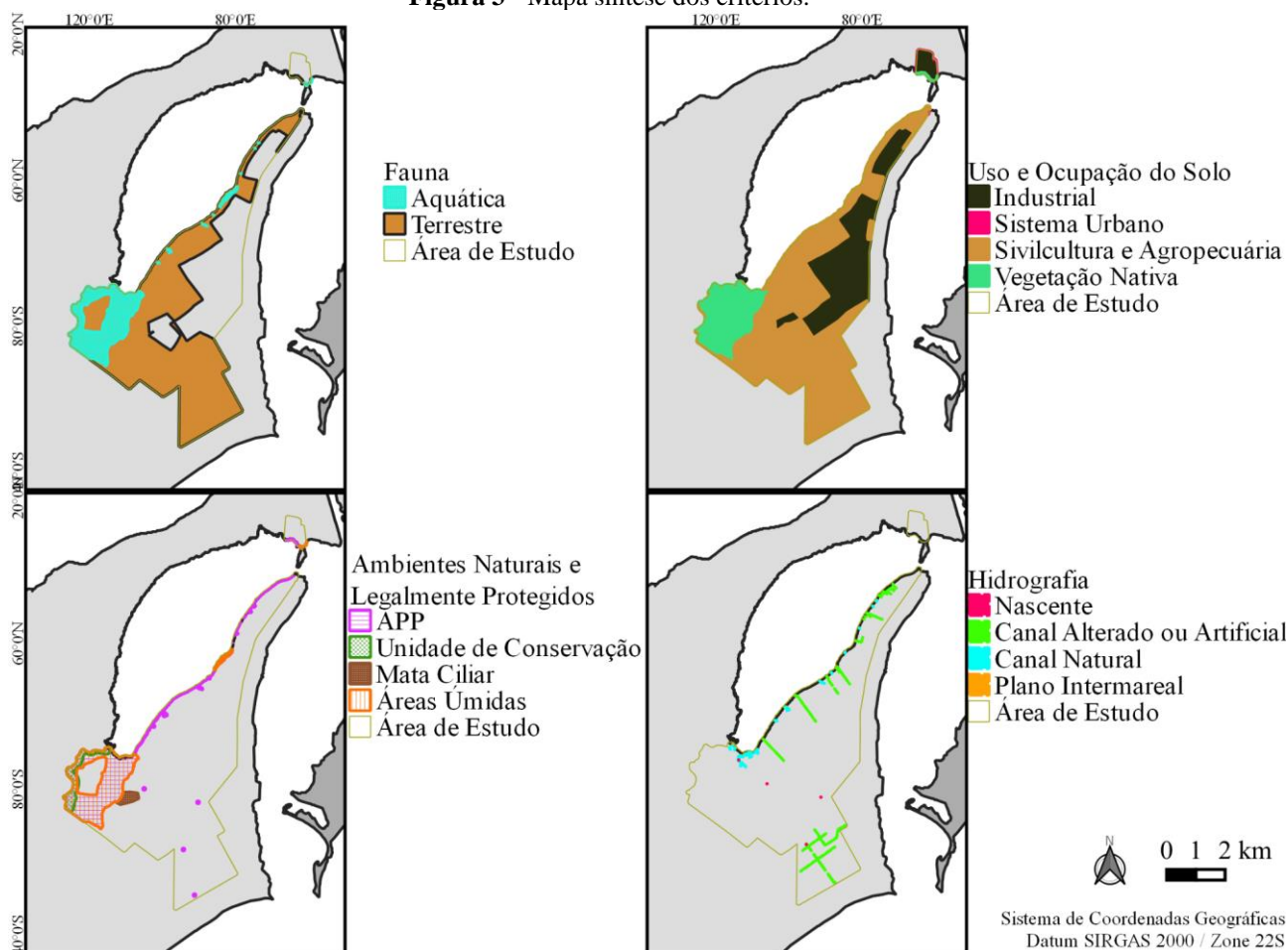
Topografia	0,19	Declividade fraca	0,26
		Declividade moderada	0,65
		Declividade forte	0,09
Textura do solo	0,11	Arenoso	0,43
		Textura média	0,17
		Textura média argilosa	0,07
		Hidromórfico	0,33
Uso e ocupação do solo	0,21	Silvicultura e Agropecuária	0,26
		Urbano	0,43
		Industrial	0,05
		Vegetação nativa	0,26
Ambientes naturais e legalmente protegidos	0,13	Mata ciliar	0,11
		Áreas úmidas	0,12
		Unidade de conservação	0,31
		Área de preservação permanente	0,46
Fauna	0,13	Aquática	0,58
		Terrestre	0,42

Fonte: Própria do artigo.

Tais critérios e pesos, apresentados no quadro acima, foram selecionados utilizando como referência os pesos determinados em Cordeiro (2014), que contou com a contribuição de especialistas da área e foi desenvolvido para o estudo do risco aos acidentes por TRPP nas rodovias que ligam Bauru à Ourinhos no estado de São Paulo e, portanto, tal região diverge em características, sendo necessária uma adequação dos critérios e subcritérios para Rio Grande. Para realizar a adequação, as modificações necessárias foram pensadas de acordo com a localização das características e com consulta de especialistas da área. As alterações dos subcritérios de hidrografia foram as seguintes: nascentes passaram a ser planos intermareais, rio com captação pública se tornou nascente, rio sem captação pública virou canal alterado ou artificial, rio com recreação passou para canal natural.

Em uso e ocupação do solo, a modificação feita foi em agropecuária que se tornou silvicultura e agropecuária. O critério vegetação passou a ser chamado de ambientes naturais e legalmente protegidos e os subcritérios alterados foram: fragmento florestal virou mata ciliar e várzea passou a ser áreas úmidas. Tais alterações tiveram como objetivo caracterizar melhor a região do Distrito Industrial e Refinaria Rio-Grandense, abrangendo suas peculiaridades e mantendo a essência de seus subcritérios anteriores. Os ajustes dos dados foram feitos no *software* QGIS e foram reajustados a uma escala de 1:7.500, devido ao desconhecimento sobre a escala de algumas informações utilizadas, como demonstra a Figura 3.

Figura 3 - Mapa síntese dos critérios.



Fonte: Própria do artigo.

No critério fauna, considerou-se as áreas que continham vegetação como o subcritério de fauna terrestre e as áreas úmidas, unidade de conservação e canal natural como o subcritério de fauna aquática. Já no critério topografia a área de estudo foi considerada apenas como de declividade fraca, assim como a textura do solo, considerada homogeneamente como hidromórfico, de acordo com os dados do Quadro 2, portanto não consta no mapa síntese. Para a hidrografia foram consideradas áreas de nascentes, canais alterados ou artificiais, canais naturais e planos intermareais. O critério de ambientes naturais e legalmente protegidos foi constituído do subcritério áreas de preservação permanente, as quais compreendem APP de nascentes, APP de cursos d'água, áreas úmidas (banhados e marismas) e mata ciliar; o subcritério de Unidade de Conservação, ou seja, a APA da Lagoa Verde; e de forma separada das áreas legalmente protegidas, tratando-se como ambientais naturais, tem-se os subcritérios de mata ciliar e de áreas úmidas. Para o uso e ocupação do solo foram consideradas áreas de silvicultura, industrial, urbana e vegetação nativa, a qual abrange áreas úmidas e mata ciliar.

A partir disso, foram feitas as rasterizações dos subcritérios, com resolução espacial de 5 metros, em valor Booleano – onde 0 são os *pixels* que não possuem informação do subcritério e 1 onde estão localizados os alvos considerados no subcritério. A partir disso, os *rasters* foram reclassificados de acordo com os pesos do Quadro 2, para isso os *pixels* com valor 1 se tornaram o número perante ao seu peso dentro do critério, já os *pixels* com valor 0 não se alteraram. Os subcritérios reclassificados de um grupo foram somados e se

multiplicou o resultado da soma pelo peso do grupo, obtendo assim os subcritérios sobrepostos que passaram a ser os critérios que foram somados, de acordo com a Equação 1.

$$VA = 0,23 * H + 0,19 * T + 0,11 * TS + 0,21 * UOS + 0,13 * ANLP + 0,13 * F \quad (1)$$

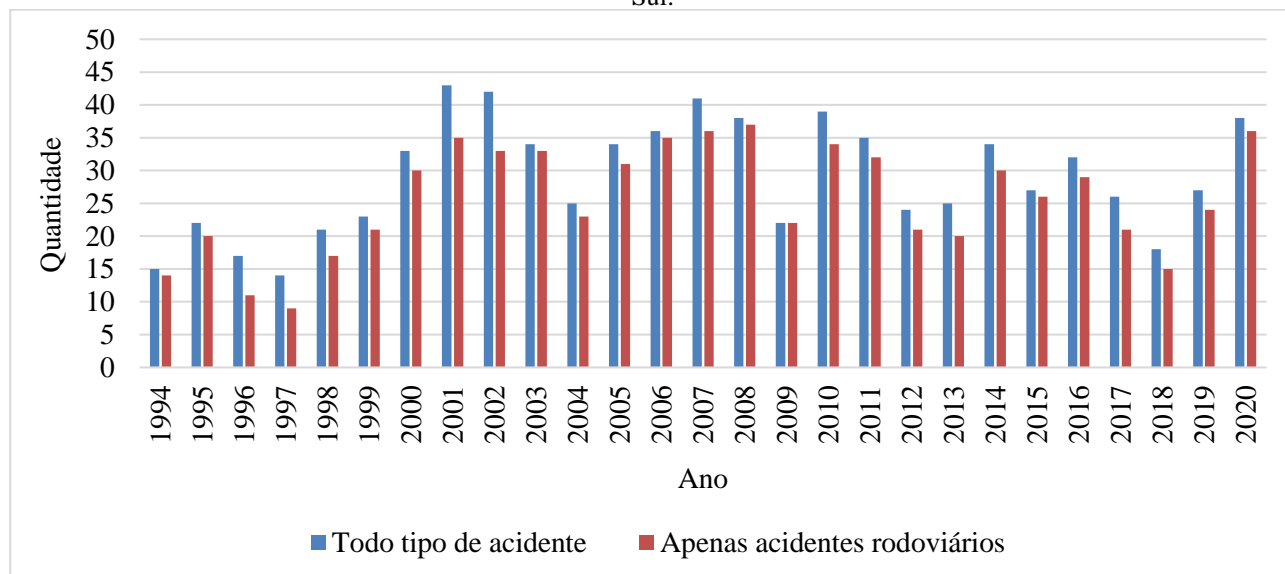
Onde VA refere-se à vulnerabilidade ambiental, H a hidrografia, T a topografia, TS a textura do solo, UOS a uso e ocupação do solo, ANLP a ambientes naturais e legalmente protegidos e F a fauna. Assim obteve-se o resultado final, o mapa de vulnerabilidade ambiental a acidentes por TRPP no Distrito Industrial e Refinaria Rio-Grandense.

3. Resultados e Discussão

3.1 Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Rio Grande do Sul

O gráfico apresentado na Figura 4 mostra o número de acidentes registrados pela FEPAM envolvendo produtos perigosos entre os anos de 1994 a 2020. No gráfico, estão representados todos os tipos de acidente referentes aos cinco modais citados anteriormente e também apenas os acidentes rodoviários.

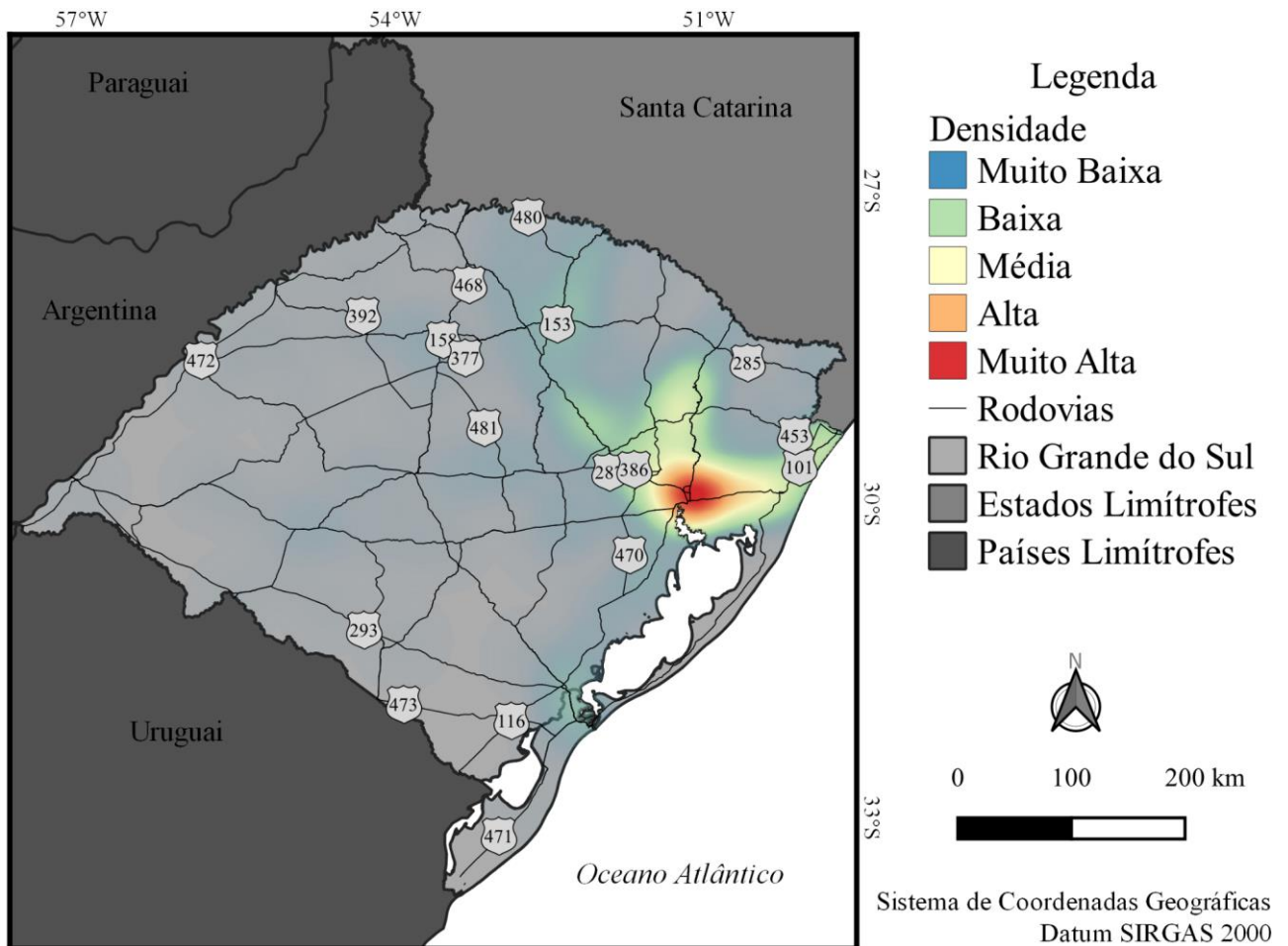
Figura 4 - Acidentes cadastrados pela FEPAM envolvendo produtos perigosos desde 1994 até 2020 no Rio Grande do Sul.



Fonte: Dados retirados do site da FEPAM (http://www.fepam.rs.gov.br/emergencia/rel_acidentesRelacao.asp).

Percebe-se um número crescente de acidentes entre o período de 26 anos, sendo o ano de 1997 o menor número de ocorrências de acidentes rodoviários e o de 2008 com o maior número de ocorrências. Destaca-se também o ano de 2009 que só possuiu acidentes do tipo rodoviário, o que afirma um elevado índice de acidentes nesse tipo de via. Ainda, é no ano de 2004 que é decretado o P2R2, o que pode se revelar como uma hipótese para o menor índice de acidentes comparado aos anos anteriores. A densidade de acidentes de TRPP no RS pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5 - Mapa de Densidade de acidentes por TRPP no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Própria do artigo.

Ao analisar o Mapa de Densidade, percebe-se que Porto Alegre - capital do Rio Grande do Sul - e seus arredores possuem maior concentração de acidentes de TRPP, praticamente o dobro se comparados aos outros municípios do estado. Além da capital, Santo Antônio da Patrulha e Gravataí apresentam uma grande concentração de registros de acidentes.

O alto fluxo de caminhões em rodovias de via rápida interfere diretamente no risco a acidentes por TRPP, sendo apontados em trabalhos que tem como objetivo mapear as vulnerabilidades do meio social e do meio ambiental a tais acidentes (Pedro, 2006; Micheli, 2012; Cordeiro, 2014). Tendo tal característica das vias, pode-se inferir que a maior parte dos acidentes registrados acontecem no entorno de aglomerados urbanos ou regiões metropolitanas, como é o caso da capital gaúcha.

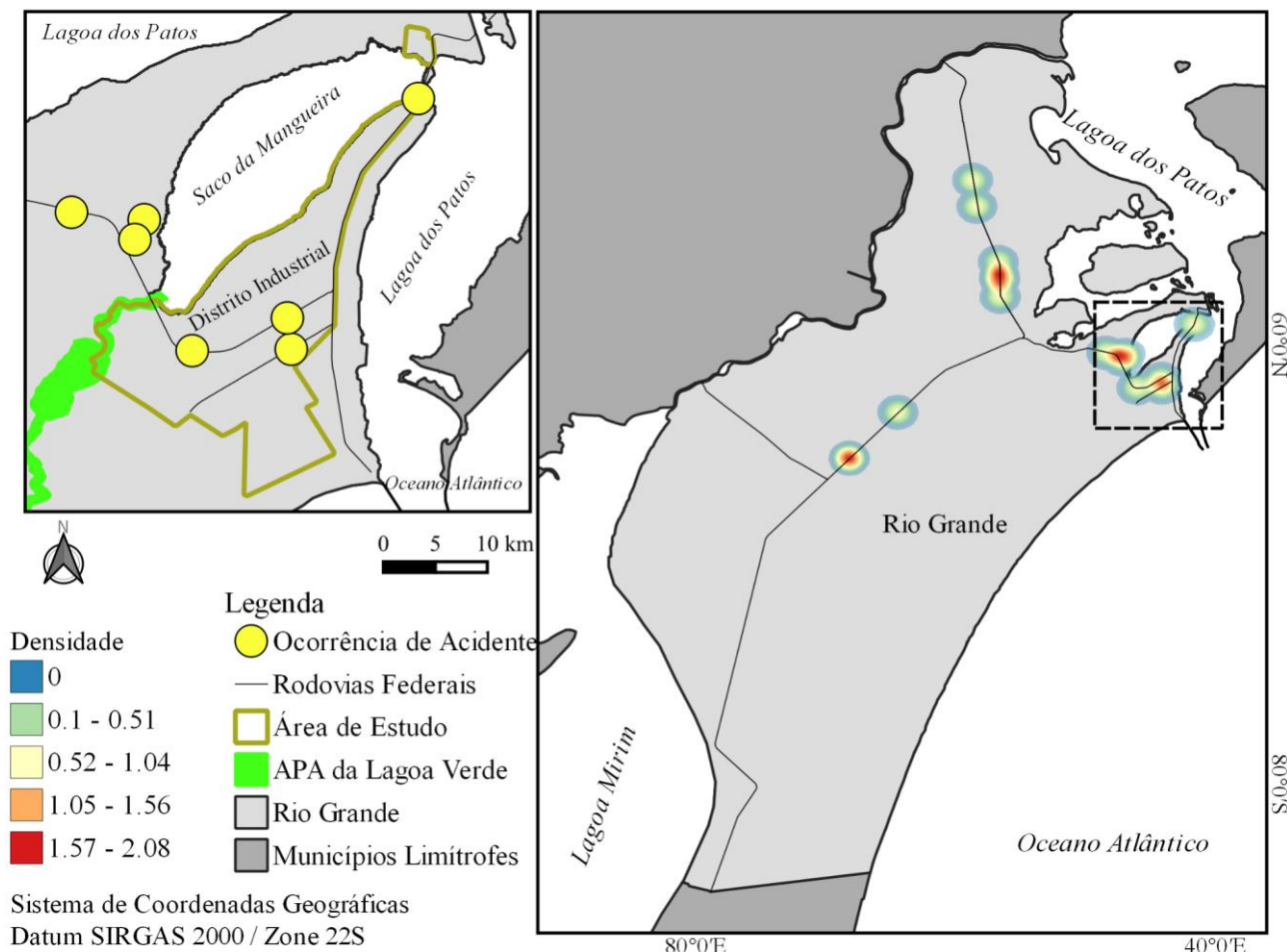
Tal fato difere-se da região sul, que não só possui proporcionalmente menor quantidade de aglomerados urbanos, como também se utiliza outros modais de exportação e importação de produtos, como, por exemplo, o ferroviário e o hidroviário no caso do município de Rio Grande (RS). Portanto, mesmo que o DIRG possua apenas três rodovias de acesso, o que aumenta a concentração do fluxo de caminhões, a quantidade de acidentes acaba sendo inferior a de regiões metropolitanas, uma vez que o índice de tráfego de veículos na região é menor.

Entretanto, apenas o fluxo de tráfego na região não é o suficiente para indicar que há maior probabilidade de acontecer um acidente por TRPP. Vale ressaltar, também, que há outras características que podem ser quantificadas e são próprias da região como o relevo, as condições da rodovia e os fatores climáticos (Cordeiro, 2014). Ainda existem as qualidades que nem sempre podem ser quantificadas e dizem respeito às condições físicas dos motoristas, como a embriaguez, o consumo de substâncias ilícitas ou poucas horas de sono.

3.2 Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Distrito Industrial do Rio Grande

Para um melhor entendimento sobre a distribuição de acidentes por TRPP na região, apresenta-se o mapa de densidade de acidentes por TRPP no município do Rio Grande entre 1994 e 2020 (Figura 6). Nesse período de 26 anos, ocorreram 13 acidentes rodoviários envolvendo produtos perigosos no município, entretanto frisa-se as ocorrências no trecho da rodovia onde está localizado a área de estudo deste artigo.

Figura 6 - Mapa de Densidade de acidentes por TRPP no município do Rio Grande.



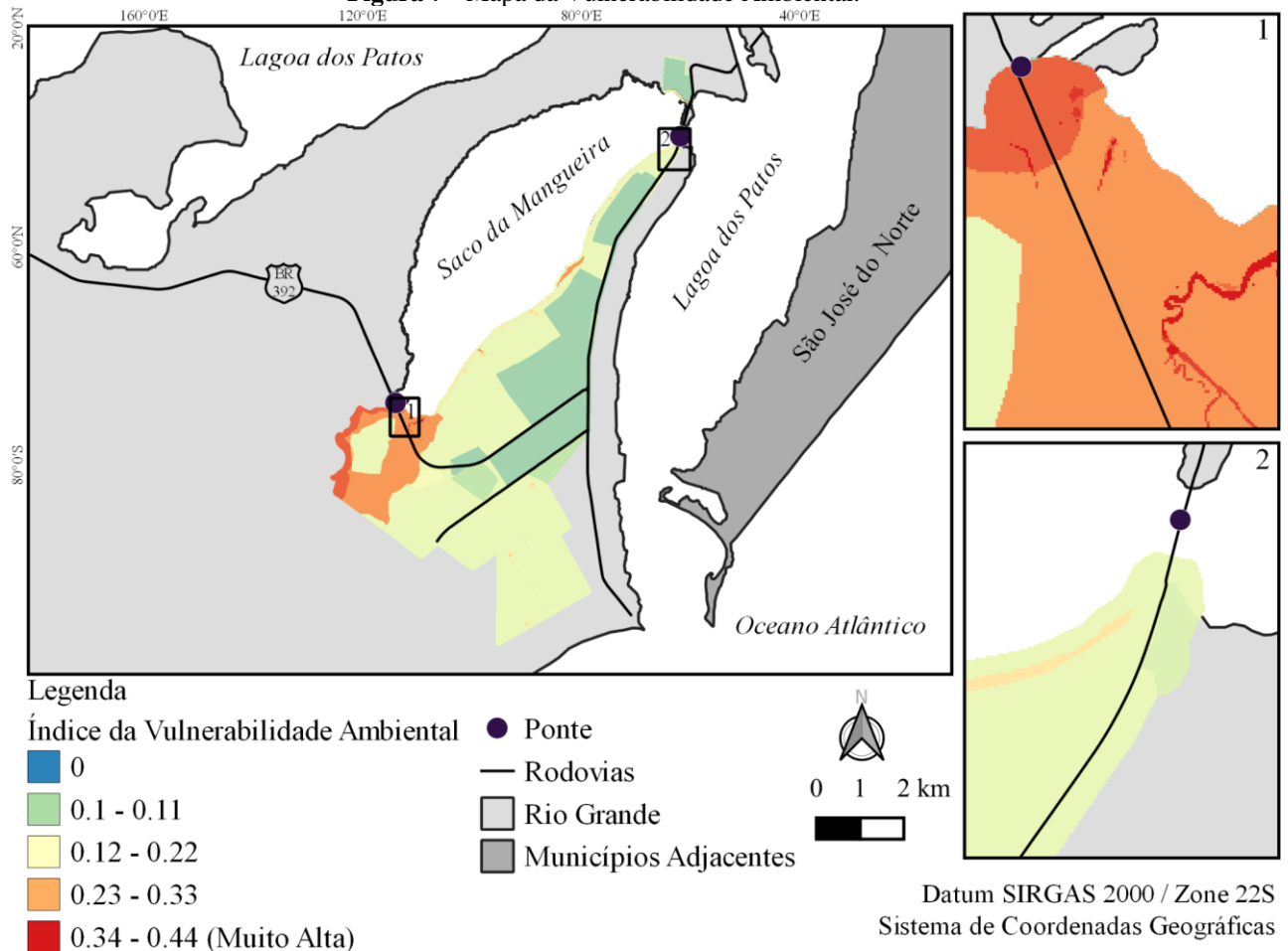
Fonte: Própria do artigo.

Durante o intervalo estudado, houve quatro acidentes na DIRG que envolvem os seguintes produtos: nitrato de potássio, ácido tio glicônico, sulfato de amônio e produtos químicos diversos (FEPAM, 2021). Todos acidentes ocorreram em áreas que se apresentaram de baixa vulnerabilidade, como demonstra o Mapa da Vulnerabilidade Ambiental (Figura 7), no entanto os produtos não se caracterizam como menos perigosos ao

ambiente local.

No produto final, está exposto um índice de vulnerabilidade ambiental a acidentes por Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Distrito Industrial e Refinaria Rio-Grandense. Esse índice varia entre muito baixo, quando os valores se aproximam de 0, a muito alto, quando os valores se aproximam de 1, sendo o maior valor de vulnerabilidade da análise de 0,44.

Figura 7 - Mapa da Vulnerabilidade Ambiental.



No Mapa da Vulnerabilidade Ambiental, destacam-se as duas áreas onde estão localizadas as pontes, as quais são ligações tanto para o centro urbano quanto para a rodovia federal. A primeira área destacada é de alta vulnerabilidade ambiental, tendo em vista que a ponte passa por cima da Unidade de Conservação Lagoa Verde, além de possuir Áreas de Preservação Permanente, tornando-a frágil a impactos ambientais, especialmente se tratando de produtos perigosos. A segunda área destacada é um dos acessos à cidade do Rio Grande e se localiza em cima do Saco da Mangueira, sendo as áreas do entorno com um valor menor de vulnerabilidade ambiental. Entretanto, a Lagoa dos Patos e o Saco da Mangueira não fazem parte, em sua total abrangência, da área de análise, logo um acidente por TRPP na região poderia impactar o meio aquático, atingindo a fauna e desencadeando problemas sociais, especialmente, à pesca artesanal.

Portanto, percebe-se que toda área de estudo foi projetada, perante contextos históricos e culturais, em áreas vulneráveis ambientalmente em pelo menos algum grau, seja baixo ou alto. Logo, fazem-se necessárias

ações e a construção de diretrizes de políticas públicas que lidem com tais características, entendendo que o ambiente natural saudável é um direito fundamental, previsto no artigo 225 da Constituição Federal Brasileira (BRASIL, 1988), e é de incumbência do poder público e da coletividade defendê-lo e preservá-lo.

4. Considerações Finais

A construção de um índice de vulnerabilidade ambiental a acidentes por TRPP voltado à área industrial do município do Rio Grande demonstrou ser necessária, tendo em vista as características naturais da região de análise. Ainda, vale ressaltar que, para estudos futuros, seria interessante a verificação de outras variáveis que levem em consideração a identificação das áreas de risco. Como a dissertação desenvolvida por Cordeiro (2014), sendo imprescindível a obtenção da análise da vulnerabilidade populacional, potencial do dano inerente ao produto, perigo envolvido no acidente, taxa e índice de acidentes, possibilitando uma observação completa sobre o real risco a acidentes por TRPP no município e, especificamente, na área da DIRG e da Refinaria Rio-Grandense. Ademais, considera-se outros trabalhos que trabalham com diferentes variáveis que contribuem para o assunto em questão, como, por exemplo, a sinuosidade da rodovia e os parâmetros de intensidade pluviométrica (Andrade; Calheiros, 2018).

Analisando o mapa de vulnerabilidade ambiental do Distrito Industrial e Refinaria Rio-Grandense, entende-se que se faz necessária a construção de políticas públicas do município voltadas aos acidentes por TRPP. O P2R2 responsabiliza ao âmbito municipal o enfoque corretivo por parte de órgãos públicos e privados, responsáveis por todas as ações que envolvem tanto a hipótese de acidentes quanto como operar quando há concretização do sinistro. Entretanto, a última notícia divulgada sobre o manejo com produtos perigosos é do dia 12 de junho de 2013, onde servidores foram capacitados para fiscalizar o tráfego de tais produtos (Prefeitura Municipal do Rio Grande, 2013).

Destarte, ações de fiscalização impactam diretamente, mesmo que em níveis sutis, na quantidade de acidentes por TRPP levando em consideração que problemas mecânicos são uma forte variável capaz de provocar um acidente que poderia não ter ocorrido se houvesse a conduta necessária com o caminhão (Souza; Machado, 2018). Outrossim, há conhecimento que apenas ferramentas que identifiquem áreas de maior vulnerabilidade a acidentes por TRPP não formam certeza de que haverá um bom plano de contenção a tais acidentes, levando em consideração fatores que dizem respeito aos atores e do problema propriamente dito (Junior, 2012). Portanto, desenvolver tais ferramentas para a área de estudo remonta a um auxílio para os profissionais que terão de tomar uma decisão caso venha a ocorrer um sinistro dessa proporção, como escolha de rotas alternativas pelo uso de rodovias que possuam um menor risco de contaminação do meio ambiente (Pedro, 2009).

Além do mais, tendo em vista que, atualmente, o município está em processo de atualização do Plano Diretor, a análise sobre a vulnerabilidade ambiental vem ao encontro das ações de visualização ao possível aumento das atividades na zona portuária, como crescimento das indústrias e maior escoamento de produtos, o que poderiam ocasionar um aumento no fluxo de caminhões e aumentar a probabilidade de os ambientais naturais serem impactados. Desta forma, a continuidade de estudos que analisem os riscos nas zonas industrial e portuária do município do Rio Grande é essencial para a implementação de diretrizes à temática no plano diretor e na elaboração de um Plano de Ação de Emergência eficaz e efetivo.

5. Agradecimentos

Agradeço a bolsa concedida pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) – *campus* Rio Grande no projeto de extensão intitulado “Sistemas de Inteligência Territorial e suas Aplicações em Cadastros Multifinalitários: Estudo de Caso no Município de Rio Grande”.

6. Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. **ABNT NBR ISO 14001**, (3), p. 41.

Andrade, E. L. Calheiros, S. Q. C. Nascimento, M. C. Junior, S. A. M. G. (2019). Áreas Vulneráveis à Ocorrência de Acidentes Envolvendo Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Trecho Alagoano da Rodovia BR-101. **Revista do Departamento de Geografia**, 38, 110-122.

BRASIL. **Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que delega como direito fundamental o meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum ao povo e essencial à sadia qualidade de vida.** Diário Oficial da União, 06 de jun. Disponível em: < https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_06.06.2017/art_225_.asp > Acesso em: 02/08/2021.

BRASIL. **Decreto nº 5.098 de 3 de junho de 2004, que institui o Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos.** Diário Oficial da União, 4 de jun. Disponível em: < <https://www2.mp.pa.gov.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/Plano%20Nacional%20de%20prevencao,%20preparacao%20e%20resposta%20rapida%20a%20emergencias%20ambientais%20com%20produtos%20quimicos%20perigosos.pdf> >. Acesso em 30/07/2021.

BRASIL. **Lei nº 12.727 de 25 de maio de 2012, que estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.** Diário Oficial da União, 17 de out. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm >. Acesso em: 30/07/2021.

CONAMA. **Decreto nº 1 de 23 de janeiro de 1986, que institui o significado de impacto ambiental.** Diário Oficial da União, 24 de jan. Disponível em: < <http://siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902> >. Acesso em: 30/07/2021.

CONAMA. **Decreto nº 303 de 20 de março de 2002, que institui parâmetros, definições e limites referentes às Áreas de Preservação Permanente.** Diário Oficial da União, 13 de mai. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=274> >. Acesso em: 30/07/2020.

Cordeiro, F. G. (2014). **Método para avaliação de risco ambiental de acidentes de trânsito envolvendo produtos perigosos usando análise multicritério.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São Paulo, 189 p., SP, Brasil.

de Lima Andrade, E., Calheiros, S. Q. C., do Nascimento, M. C., & Junior, S. A. M. G. (2019). Áreas Vulneráveis à Ocorrência de Acidentes Envolvendo Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos no Trecho Alagoano da Rodovia BR-101. **Revista do Departamento de Geografia**, 38, 110-122.

de Lima Andrade, E., & Calheiros, S. Q. C. (2018). **ÁREAS POTENCIALMENTE PERIGOSAS A ACIDENTES COM TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS NO TRECHO**

ALAGOANO DA RODOVIA BR-101. **Geo UERJ**, (33), 28821.

de Souza, O. M., & Machado, S. T. (2019). Influência da evolução da legislação e da fiscalização na incidência de acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos. **Refas-Revista Fatec Zona Sul**, 5(3), 1-10.

Druck, S., Carvalho, M. S., Câmara, G., Monteiro, A.V. M. (2004). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA.

Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (s.d.). **Relação dos acidentes de transporte de produtos e resíduos perigosos atendidos pela equipe de emergência da FEPAM**. Rio Grande do Sul. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/emergencia/rel_acidentesRelacao.asp. Acesso em: 18/08/2020.

Instituto Ambiental do Paraná (2019). **Acidentes Ambientais – O que é**. Paraná. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Acidentes-Ambientais>. Acesso em: 18/08/2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). **Panorama de Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/rio-grande/panorama>>. Acesso em: 02/08/2021.

InvestRS (2021). **Distritos e áreas industriais**. Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://investrs.rs.gov.br/distritos-e-areas-industriais>. Acesso em: 30/07/2021.

Lieggio Junior, M., Granemann, S. R., & Souza, O. A. D. (2012). Aplicabilidades da análise multicritério às problemáticas de decisão no transporte rodoviário de produtos perigosos: uma perspectiva teórica. **Journal of Transport Literature**, 6, 197-217.

Martins, S. F., Pimenta, M. A. (2004). A constituição espacial de uma cidade portuária através dos ciclos produtivos industriais. **Estudos Urbanos e Regionais**, 6 (1), 85-100.

Medeiros, A. (2012). **Introdução aos Mapas de Kernel**. Disponível em: <https://www.clickgeo.com.br/mapas-de-kernel-parte-1/>. Acesso em: 19/05/2020.

Micheli, D. (2012). **Definição de áreas de risco ambiental no transporte de produtos perigosos na Área da Agência Ambiental de Itapetininga**. Monografia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 41 p., SP, Brasil.

Oliveira, A. A. (2017). **Riscos tecnológicos ambientais: análise da vulnerabilidade populacional na área urbana na cidade de Manaus**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 97 p., AM, Brasil.

Oliveira, C. T. de (2008). **Pescadores de sonhos e esperanças: experiência em educação ambiental com trabalhadores da associação de pescadores artesanais da Vila São Miguel – Rio Grande/ RS**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.

Pedro, F. G. (2006). **Acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos: análise e aplicação de modelo conceitual georreferenciado para avaliação de risco ambiental no município de Campinas-SP**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 115 p., SP, Brasil.

Pedro, F. G., & Costa, D. C. (2009). Vulnerabilidade e gravidade ambiental devido a acidentes com transporte rodoviário de combustíveis no Município de Campinas-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, 61, 311-20.

Prefeitura Municipal do Rio Grande (2021). **Rio Grande, Cidade Histórica**. Rio Grande. Disponível em: <https://www.riogrande.rs.gov.br/pagina/rio-grande-2/#link>. Acesso em: 02/08/2021.

Prefeitura Municipal do Rio Grande (2013). **Servidores são capacitados para fiscalização com produtos perigosos**. Rio Grande, Junho. Disponível em: <https://www.riogrande.rs.gov.br/pagina/servidores-sao-capacitados-para-fiscalizacao-com-produtos-perigosos/>. Acesso em: 30/07/2021.

Projeto Sistema Integrado de Informações para Atendimento de Ocorrências no Transporte de Produtos Perigosos (s.d.). **Classificação ONU dos produtos perigosos**. São Paulo. Disponível em: http://200.144.30.103/siipp/public/imprime_classificacao.aspx. Acesso em: 25/08/2020.

RBA – Rede Brasil Atual (2018). **A histórica dependência do Brasil no modelo rodoviário de transporte de cargas**. São Paulo, Maio. Disponível em: <https://www.redebrasilatual.com.br/economia/2018/05/a-historica-dependencia-do-brasil-do-modelo-rodoviario-de-transporte-de-cargas/>. Acesso em: 03/09/2021.

Sanchez, K., Ferreira, W., Galiazzi, M. C. (2013). Percepção ambiental de trabalhadores do setor industrial-portuário de Rio Grande, RS. **Historiae**. 4 (1), 171-180.

Silva, T. S. da., Asmus, M. L. (2009). O uso dos sistemas de informação geográfica no manejo das áreas de preservação ambiental do distrito industrial de Rio Grande, RS, Brasil. **Revista da Educação Superior do SENAC – RS**, 2(1).

Tagliani, C. R. A. (2003, abril). Técnica para a avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, MG, Brasil, 8.