

ANÁLISE DO IDH-M DO ESTADO DE PERNAMBUCO UTILIZANDO ESTATÍSTICA ESPACIAL

Lucas Manoel Batista de Albuquerque*

RESUMO

Nesse trabalho, do ramo da estatística espacial, é abordado uma análise de dados de área usando conceitos como Índice de Moran Global e Índice de Moran Local, onde os dados utilizados foram o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) para o estado de Pernambuco. Também foi abordado uma análise de processos pontuais usando dados de acidentes em rodovias federais pelo estado de Pernambuco, usando dados da própria Polícia Rodoviária Federal. Ambos os métodos têm como objetivos identificar padrões de associação espacial (clusters) existentes nos dados da região de estudo, fazendo uso do Rstudio, software usado para criar os mapas, índices e análises em geral. Observou-se que a Mesorregião Metropolitana do Recife tem a maior Média de IDH-M, enquanto a Mesorregião do Agreste Pernambucano possui a menor média de IDH-M. Foi obtido um Índice de Moran Global de 0,422 para os dados de IDH-M, evidenciando uma correlação diretamente proporcional entre o valor do IDH-M para um município e seus vizinhos. O Índice de Moran Local nos mostra também que municípios próximos à capital do estado de Pernambuco, Recife, sofrem uma influência de um alto IDH-M. Tratando-se dos acidentes de trânsito nas rodovias federais, temos uma maioria de ocorrência de acidentes e fatalidades na Mesorregião do Agreste Pernambucano.

Palavras-chave: Estatística Espacial; Processos Pontuais; Moran; Pernambuco.

1 INTRODUÇÃO

Pernambuco é um estado do Nordeste brasileiro, tendo como limites a Paraíba, o Ceará, Alagoas, Bahia e Piauí. Possui uma área de 98.076,021 km² e 185 municípios (IBGE, 2022), possui uma grande concentração de atividade econômica em torno de sua capital, Recife, onde está cerca de 60% do PIB estadual. Este fator de concentração de renda faz com que as condições socioeconômicas da maioria dos municípios pernambucanos estejam em situações menos privilegiadas. Além disso, o estado de Pernambuco possui 5 mesorregiões: a Região metropolitana do Recife, a Mata Pernambucana, o Agreste Pernambucano, o Sertão Pernambucano e o São Francisco Pernambucano.

Dado este contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar a divisão regional do desenvolvimento humano dentro do estado de Pernambuco através de análises descritivas usando a representação gráfica denominada “heatmap”, traduzida para o português como mapa de calor, além de usar o índice de Moran global e local para verificar se há uma autocorrelação espacial, tudo isso, como já dito anteriormente, usando o índice de desenvolvimento humano municipal IDH-M como principal variável.

* Lucas Manoel Batista de Albuquerque, Graduando em Estatística pela Universidade Estadual da Paraíba. Artigo para a disciplina de Estatística Espacial com o professor Ricardo Olinda,

Como forma adicional ao artigo, também será feita uma análise de processos pontuais para acidentes de trânsito nas BR's do estado de Pernambuco.

2 METODOLOGIA

2.1 SOBRE OS DADOS

Para a realização das análises foi usado o IDH-M do estado de Pernambuco, onde tais dados foi fornecido pelo (IBGE, 2021). Esses dados consistem no IDH-M do estado de Pernambuco para o ano de 2010, caracterizados como dados de área, referente ao último censo realizado no Brasil. Os dados de acidentes de trânsito ocorridos nas rodovias de Pernambuco foram disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal. Para a realização dos mapas do estado de Pernambuco foi usado o *shapefile* disponibilizado pelo IBGE juntamente com o *software* estatístico Rstudio.

2.2 ÍNDICE DE MORAN GLOBAL

O índice de Moran é análogo ao coeficiente de correlação convencional, porque têm em seu numerador um termo que é produto de momento. Como um coeficiente de correlação, os valores desse índice também variam de -1 a +1, quantificando o grau de autocorrelação espacial existente. Dessa forma, valores próximos a -1 indicam uma autocorrelação espacial negativa ou inversa, valores próximos a 0 indicam aleatoriedade espacial e valores perto de +1 significa que existe uma autocorrelação espacial positiva ou direta.

O índice de Moran, convencionalmente chamado como *I* de Moran, é caracterizado pela seguinte equação:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

Onde *n* corresponde ao número de áreas, *y_i* é o valor do atributo considerado na área *i*, *ȳ* representa o valor médio do atributo na região de estudo e *W_{ij}* são os pesos atribuídos conforme a conexão entre as áreas *i* e *j*.

O índice de Moran global pode ser submetido a um teste estatístico cuja hipótese cuja hipótese nula representa a de independência espacial, condição esta dada por *I* = 0. Portanto a hipótese nula somente poderá ser rejeitada caso *I* resulte estatisticamente diferente de zero, para um nível de significância preestabelecido, que no nosso caso será de $\alpha = 0,05$.

2.3 ÍNDICE DE MORAN LOCAL

Quando se lida com um grande número de áreas em uma região, é muito provável que ocorram diferentes associações espaciais e que apareçam máximos locais de autocorrelação onde a dependência espacial é ainda mais incisiva.

Tendo isso em vista, é necessário analisar padrões mais detalhadamente. Para fazê-lo é preciso utilizar indicadores de associação espacial que possam ser relacionados às diferentes localizações de uma variável distribuída espacialmente.

Temos então que fazer uso dos indicadores locais, que produzem valores específicos para cada área de interesse, onde, para o nosso caso, essas áreas de interesse são os municípios do estado de Pernambuco.

O Índice de Moran Local (I_i) foi concebido como uma ferramenta estatística para testar a autocorrelação local e para detectar objetos espaciais com influência no Índice de Moran Global (I). Quando esse indicador apresenta valores positivos significa que ocorrem concentrações de valores baixos ou de valores altos do atributo em estudo, enquanto resultados negativos decorrem da proximidade entre valores baixos e altos na mesma área. Assim, o Índice de Moran Local (I_i) dá uma indicação da homogeneidade e da diversidade dos dados.

2.3.1 DIAGRAMA DE ESPALHAMENTO DO ÍNDICE DE MORAN LOCAL

O objetivo do mapa de espalhamento de Moran, também referenciado como Moran *Scatterplot*, é proporcionar os elementos necessários para a comparação dos valores normalizados do atributo, em cada área, com a média dos seus vizinhos, construindo um gráfico bidimensional. No nosso caso, esse atributo é o IDH-M dos municípios do estado de Pernambuco.

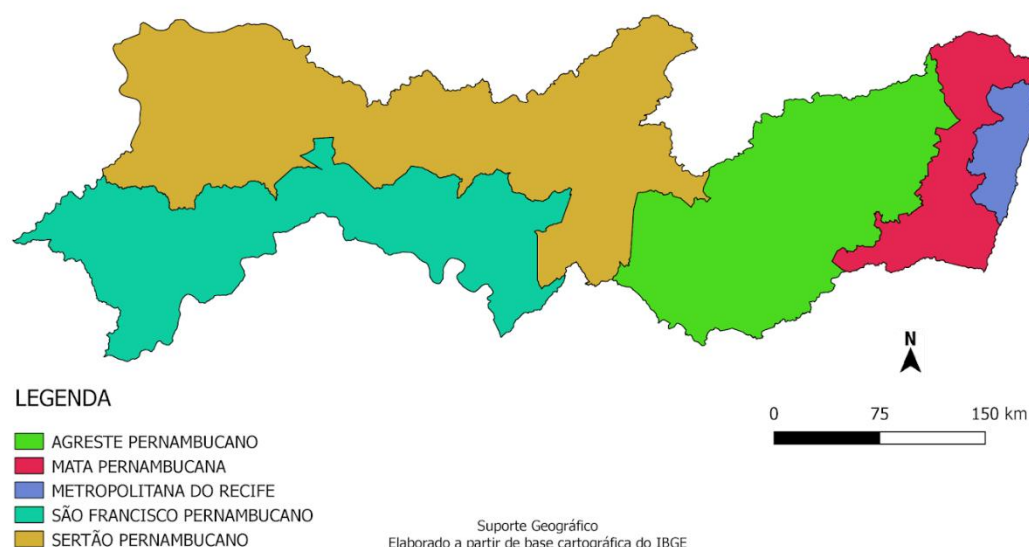
2.3.2 PROCESSOS PONTUAIS

Conforme Ripley (1981), uma característica importante de um processo pontual espacial é a localização dos pontos e a relação entre eles, verificando se os eventos observados apresentam algum tipo de padrão sistemático, ao invés de estarem distribuídos aleatoriamente. Serão apresentados o mapa de Pernambuco com os acidentes ocorridos nas suas respectivas BR's, além de estatísticas descritivas importantes para facilitar a compreensão do problema.

3 APLICAÇÃO

3.1 ÍNDICES DE MORAN E MAPA DE ESPALHAMENTO DE MORAN PARA IDH-M

Como já dito antes, o estado de Pernambuco é composto por 5 mesorregiões: Agreste Pernambucano, Mata Pernambucana, Região Metropolitana do Recife, São Francisco Pernambucano e o Sertão Pernambucano, todas descritas na Figura 1, que representa o mapa do estado dividido pelas suas mesorregiões:

Figura 1 - Mesorregiões de Pernambuco

Fonte: Suporte Geográfico

De acordo com o IDHM de 2010, o estado de Pernambuco tem uma média de IDHM de 0,596, com um valor máximo de 0,788 correspondente à Ilha Fernando de Noronha. Dos municípios que não são classificados como ilha, Recife tem o maior IDHM, que é de 0,722. O município de Manari, localizado na Mesorregião do Sertão Pernambucano, tem um IDHM de 0,487, o menor de todo o estado. Além disso, na Tabela 1, podemos ver as estatísticas descritivas do IDH-M por mesorregião do estado de Pernambuco.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas do IDH-M por mesorregião do estado de Pernambuco

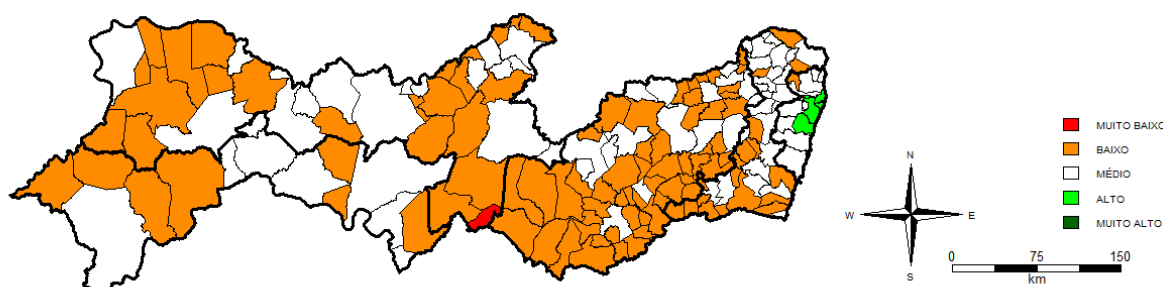
Mesorregiões	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
Agreste Pernambucano	0,51	0,68	0,58	0,58
Mata Pernambucana	0,53	0,74	0,60	0,60
Metropolitana do Recife	0,52	0,79	0,63	0,63
São Francisco Pernambucano	0,51	0,70	0,59	0,59
Sertão Pernambucano	0,49	0,77	0,60	0,60

Fonte: O autor.

Tratando do IDH-M do estado de Pernambuco, foi obtido um Índice de Moran Global igual a 0,422 com um p-valor menor de que 0,01. Temos então uma autocorrelação espacial significativa e positiva, o que significa que quanto maior o IDH-M de um município do estado de Pernambuco, maior será a probabilidade de seus vizinhos também terem altos valores de IDH-M e sofrer alguma influência positiva desse alto valor. O mesmo vale para municípios que possuam baixo IDH-M, pois podem influenciar ou sofrer influência de seus vizinhos.

A seguir, na Figura 2, o mapa do estado de Pernambuco, dividido por cidade, onde as cidades que têm cores mais próximas ao tom vermelho atribuídas possuem um IDH-M mais baixo, e cidade com cores em perto da tonalidade verde possuem um IDH-M mais alto:

Figura 2 - Mapa do estado de Pernambuco subdividido por cidades e seus respectivos IDH-M

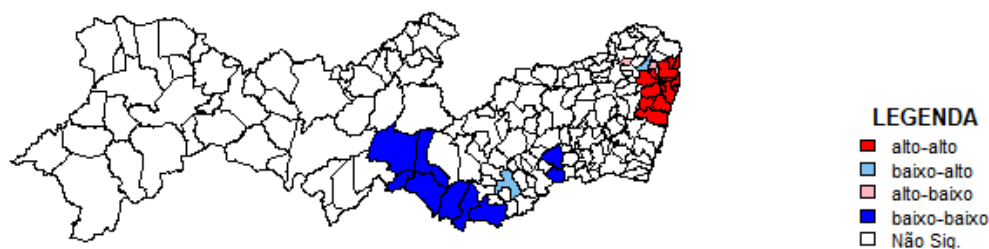


Fonte: O autor

As cidades identificadas com IDHM Alto (entre 0,7 e 0,799), do maior para o menor, são: A ilha Fernando de Noronha (que não aparece na Figura 2), Recife, Olinda, Paulista e Jaboatão dos Guararapes. Nenhuma cidade tem o IDHM considerado muito alto (maior do que 0,799). A cidade de Manari tem um IDHM considerado muito baixo (menor do que 0,5), e é a única que se encontra nessa situação. As demais cidades têm o IDHM considerado baixo ou médio.

Agora, para se obter uma análise mais detalhada do estado do Pernambuco, foi feito também o cálculo do Índice de Moran local, ou seja, um Índice foi calculado e atribuído para cada município de acordo com os valores de seus vizinhos, assim podemos ter uma noção de quais locais, regiões ou até mesorregiões têm uma autocorrelação para o IDH-M, levando em conta um alpha igual a 0,05. Temos na Figura 3 o mapa do estado de Pernambuco onde foi calculado o Índice de Moran Local para cada município:

Figura 3 - Mapa de Pernambuco para o Índice de Moran Local

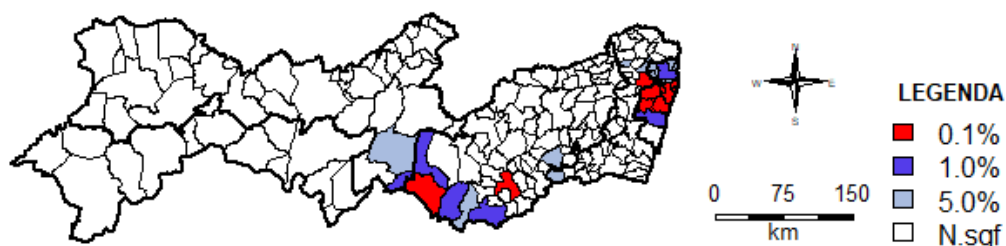


Fonte: O autor

De acordo com a legenda da Figura 3, municípios considerados como “alto-alto” e “baixo-baixo” possuem uma autocorrelação diretamente proporcional, ou seja, quando um município ou seus vizinhos aumentam ou diminuem seu IDH-M os demais tendem a seguir o mesmo comportamento, além de indicar uma autocorrelação espacial também diretamente proporcional entre eles. Municípios denominados como

“alto-baixo” e “baixo-alto” têm uma autocorrelação espacial inversamente proporcional. Os demais representados na cor branca não possuem um p-valor $< 0,05$ para o Índice de Moran Local, ou seja, não possuem uma autocorrelação espacial significativa. Abaixo, na Figura 4, vemos os municípios demarcados com seus respectivos p-valores para o Índice de Moran Local de acordo com a legenda:

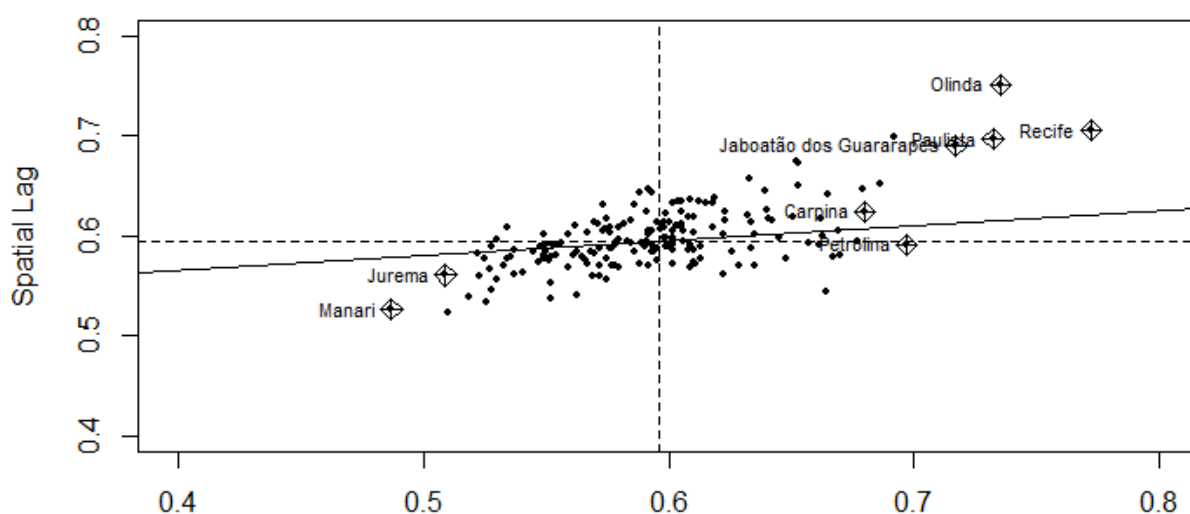
Figura 4 - Mapa do estado de Pernambuco com seus municípios demarcados com seus respectivos p-valores para o Índice de Moran Local



Fonte: O autor

É possível observar e obter uma confirmação do Índice de Moran Global pelo Mapa de Espalhamento de Moran, uma vez que ele nos fornece os pontos mais influentes para o cálculo do mesmo, além de determinar em qual quadrante do sistema de coordenadas de um plano cartesiano os itens de estudo (no caso os municípios de Pernambuco) estão localizados. Como esperando, o Mapa de espalhamento de Moran se comportou de forma coerente ao Índice de Moran Global, evidenciando que municípios com baixo ou alto IDH-M tendem a ter um IDH-M semelhante ao de seus vizinhos. O mapa de Espalhamento de Moran pode ser visto na Figura 5, abaixo:

Figura 5 - Mapa de Espalhamento de Moran para o estado de Pernambuco usando seus municípios



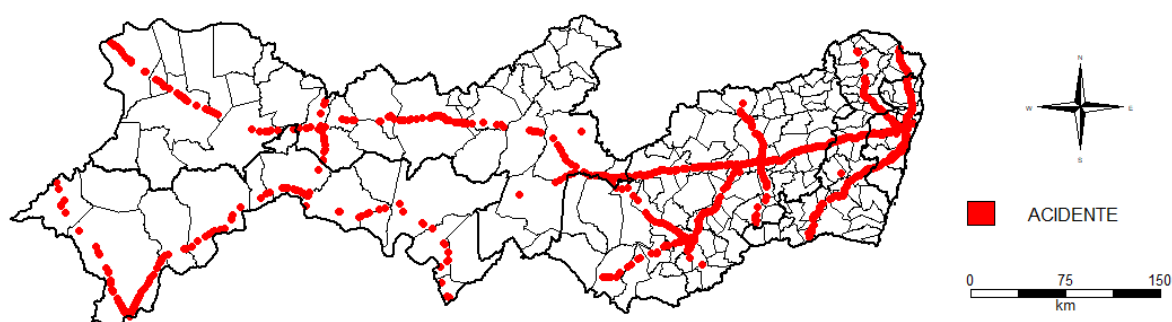
Casos INDICE: Janeiro de 2021

Fonte: O autor

3.2 ACIDENTES EM RODOVIAS FEDERAIS DE PERNAMBUCO USANDO PROCESSOS PONTUAIS

Tratando-se de análise de dados pontuais, foi feito um mapa do estado de Pernambuco, que está exposto na Figura 6, onde os acidentes ocorridos nas BR's estão representados pelos pontos vermelhos.

Figura 6 - Mapa do estado de Pernambuco. Em vermelho os acidentes de trânsito ocorridos em suas respectivas BR's no ano de 2021.



Fonte: O autor

Temos um total de 17.519 acidentes registrados no ano de 2021, onde na Tabela 2 eles estão agrupados pela BR onde ocorreu tal fato, mostrando o número de acidentes e fatalidades ocorridos.

Tabela 2 – Acidentes de trânsito em Pernambuco no ano de 2021 agrupados por BR

BR	Nº de Acidentes	Nº de Fatalidades	Proporção de Fatalidades
101	5812	263	20,39%
104	992	150	11,63%
110	189	22	1,71%
116	166	18	1,4%
232	5306	424	32,87%
316	464	60	4,65%
407	334	19	1,47%
408	474	28	2,17%
423	851	73	5,66%
424	2082	181	14,03%
428	822	62	4,03%
NE*	27	0	0%

*BR Não Especificada.

Fonte: O autor.

É importante também averiguarmos a maneira como se comporta os acidentes por mesorregião, ou seja, qual mesorregião possui maior ocorrência de acidentes de trânsito e número de fatalidades decorridos desses acidentes. Para isso, a Tabela 3 nos trás um resumo esclarecedor do que aconteceu.

Tabela 3 – Acidentes de trânsito nas mesorregiões do estado de Pernambuco no ano de 2021

Mesorregião	Nº de Acidentes	Nº de Fatalidades	P.* de Fatalidades	P.* de Fatalidades por Acidentes
Agreste Pernambucano	7451	760	58,91%	10,2%
Mata Pernambucana	1467	137	10,62%	9,34%
Metropolitana de Recife	3315	139	10,78%	4,19%
São Francisco Pernambucano	1165	75	5,81%	6,44%
Sertão Pernambucano	4121	179	13,88%	4,34%

*Proporção

Fonte: O autor.

4 CONCLUSÕES

O mapa apresentado na Figura 2 juntamente com o Índice de Moran Global nos sugerem que municípios com alto IDH-M influenciam seus vizinhos a também terem um alto IDH-M. Isso vale para municípios que têm baixo IDH-M, onde esses influenciam seus vizinhos a também terem um baixo IDH-M. Essa constatação fica ainda mais evidenciada quando analisamos o mapa de espalhamento de Moran, que nos dá o aval de que há uma influência diretamente proporcional para tais resultados. As estatísticas descritivas da Tabela 1 apontou que a Mesorregião Metropolitana do Recife tem a maior média de IDH-M, onde o município de Recife e seus vizinhos são, muito provavelmente, o maior influenciador para esses fatos. Através do Índice de Moran Local vemos que próximo de Recife, capital do estado de Pernambuco, temos um IDH-M considerado “alto-alto” que engloba toda a Mesorregião Metropolitana do Recife, nos mostrando que essa é de fato a mesorregião mais rica do estado de Pernambuco. Analogamente, no sul do Estado, mais especificamente no sudeste do Sertão Pernambucano e sudoeste do Agreste Pernambucano, temos municípios avaliados como “baixo-baixo”, o que significa que possuem uma autocorrelação para baixos Índices de Desenvolvimento Humano, diferentemente dos avaliados como “alto-alto”.

Tratando-se dos acidentes de trânsito ocorridos nas BR's do estado de Pernambuco, temos uma maioria de casos na Mesorregião do Agreste Pernambucano, totalizando 7451 acidentes, dos quais 760 ocorreram mortes. O Agreste Pernambucano também é a mesorregião onde há maior proporção de fatalidades por acidentes, ou seja, 10,2% dos acidentes acabaram em morte. Analogamente, A Mesorregião Metropolitana do Recife tem uma proporção de fatalidades por acidentes de 4,19%, a menor de todas as 5 mesorregiões, apesar de apresentar 3315 acidentes, sendo o terceiro estado com mais acidentes registrados.

5 REFERÊNCIAS

IBGE. **História**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/historico>>. Acesso em: 23 out. 2022.

IBGE. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>>. Acesso em: 23 out. 2022.

Malha Municipal | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>>.

SUPORTE GEOGRÁFICO. **MAPAS MESORREGIÕES DE PERNAMBUCO.** Disponível em: <<https://suportegeografico77.blogspot.com/2018/04/mapas-mesorregioes-de-pernambuco.html>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. **Acidentes.** Disponível em: <<https://www.gov.br/prf/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-acidentes>>.

6 APÊNDICE A – ROTINA DO R E RPUBS

ABRIR O LINK E COPIAR O CÓDIGO DO R.

https://github.com/LucasMBAbuquerque/Estatistica-Espacial/blob/main/pernambuco_mkd.Rmd

LINK ABAIXO PARA OS SLIDES NO RPUBS

<https://rpubs.com/Sacksobar/IDHMeBRS>