ESG - ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND GOVERNANCE
SINGEURB
IV Simpósio Nacional de Engenharia Urbana
Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

ANÁLISE DOSIMPACTOS INDIRETOS DE INUNDAÇÕES SOBRE INFRAESTRUTURAS URBANAS POR MEIO DE FERRAMENTA GIS

INDIRECT IMPACTS ANALYSIS OF URBAN INFRASTRUCTURES UNDER FLOODING USING GIS-BASED TOOL

OLIVEIRA, Halan[1]

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro, halan_bastos@poli.ufrj.br

RESUMO

As chuvas intensas são responsáveis pela maioria dos desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro e a interdependênciaentre as diversas infraestruturas urbanas (IU's) é evidenciada quando os efeitos de suas falhas são analisados de forma sistêmica durante esses eventos pluviométricos. Com o objetivo de quantificar os impactos diretos e indiretos em IU's selecionadas no município de Campos dos Goytacazes, neste artigo foram analisados os efeitos diretos e indiretos de inundações parachuvas de diferentes períodos de retorno, utilizando como estudo de caso mapas de manchas de inundação elaborados no software ArcGIS Pro. No evento de chuva de 50 anos, os impactos indiretos aumentaram a extensão das vias urbanas afetadas em 25,92% e o número de escolas afetadas em 15,38%. Os mapas criadosno ArcGIS Pro, por representarem de forma gráfica os impactos das inundações, podem auxiliar as autoridades de Campos na elaboração de planos de mitigação de riscos de inundação sobre IU's.

Palavras-chave: Infraestruturas Urbanas, Impactos indiretos, Inundação, GIS.

ABSTRACT

Heavy rainfalls are responsible for most natural disasters in the Rio de Janeiro State and theinterdependence between different urban infrastructure is evident when the impacts of their failures are analyzed in a systemic way during these pluviometric events. In order to quantify direct and indirect impacts on selected urban infrastructure in Campos dos Goytacazes, Brazil, direct and indirect impacts of floods were analyzed in this paperin different return periods rainfall events, using as a case study flood maps made in ArcGIS Pro. In the 50 years rainfall event, indirect impacts increased the length of affected urban roads in 25.92% and the number of affected schools in 15.38%. The maps created in ArcGIS Pro, as they graphically represent floods impacts, can assist Campos authorities in the preparation of flood risk mitigation plans on urban infrastructure.

***Keywords**: Urban Infrastructure, Indirect Impacts, Flood, GIS.*

1 INTRODUÇÃO

Cidades modernas são definidas como "sistemas de sistemas", onde esses "sistemas" são as infraestruturas urbanas (IU's). Quando os impactos nessas IU's são causados pelo contato físico com águas das inundações, são chamados de impactos diretos. Por outro lado, quando os impactos não são causados por contato físico e/ou ocorrem fora da área alagada no espaço ou no tempo, são denominados impactos indiretos ou efeito cascata. As consequências desses impactos são consideradas amplamente mais significativas quando existe uma interligação entre os sistemas(ARRIGHI; PREGNOLATO; CASTELLI, 2021).

A maior parte dos desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro, como deslizamentos de terra ou inundações, tem origem relacionada às chuvas intensas (RIO DE JANEIRO, 2020).

A cidade de Campos, localizada na região norte do estado do Rio de Janeiro, é uma das cidades componentes da Região Hidrográfica Baixo Paraíba do Sul. Do ponto de vista hidrológico, Campos situa-se no meio da bacia do rio Paraíba do Sul, onde a morfologia do terreno torna-se mais plana, a planície de inundação é mais larga e o leito do rio é mais afetado por alterações antrópicas como travessias, contrações e retificações.

Devido às características geomorfológicas, e apesarda existência de uma rede de canais e de um planejamento de crescimento urbano bem definido para a região (SANTOS, 2019), Campos está suscetível a eventos decorrentes de chuvas intensas, como deslizamentos, enxurradas, inundações e alagamentos, sendo a inundação o desastre mais recorrente na cidade, principalmente devido ao crescimento urbano com ocupação das várzeas do rio Paraíba do Sul (RIO DE JANEIRO, 2020).

Este estudo foi motivado por lacunas na literatura sobre impactos indiretos sobre IU's, e, por conseguinte, tem o objetivo de quantificar os impactos diretos e indiretos em IU's selecionadas na cidade de Campos dos Goytacazes (denominada neste trabalho apenas por Campos), no norte fluminense, por meio da visualização de mapas de manchas de inundação elaborados no ArcGIS Pro, software de manipulação de dados espaciais de Sistema de Informação Geográfica, ou GeographicInformationSystem (GIS), tanto em uma análise individual quanto em nível sistêmico, nos períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Gestão do risco de inundações urbanas

Quando chuvas intensas ocorrem em ambientes urbanos, produzem consequências negativas para a população afetada, tanto em termos materiais quanto de ameaça à saúde humana (BERTILSSON et al, 2019). No Brasil, as inundações causaram danos no valor de US$ 8,4 bilhões e 3.125 mortes entre 2001 e 2021 (EM-DAT, 2023).

A gestão do risco de inundação urbana preocupa-se com as variáveis socioeconômicas afetadas pela inundação e combina medidas estruturais e não estruturais para prevenir, mitigar, preparar, responder e se recuperar de inundações, resultando em economia de gastos públicos e cidades mais saudáveis, com melhor qualidade de vida para a população, e com uma relação mais harmoniosa entre os ambientes natural e construído (BERTILSSON et al, 2019).

2.2 Análise isolada

Para Arrighi, Pregnolato e Castelli (2021), a análise isolada, ou de impactos diretos, de cada infraestrutura deve ser considerada apenas como uma tentativa preliminar de entender o comportamento de uma determinada infraestrutura operando em seu ambiente quando submetida a riscos e ameaças. Esse tipo de análise é limitado, pois ignora os efeitos em cascata e, portanto, subestima os impactos interdependentes.

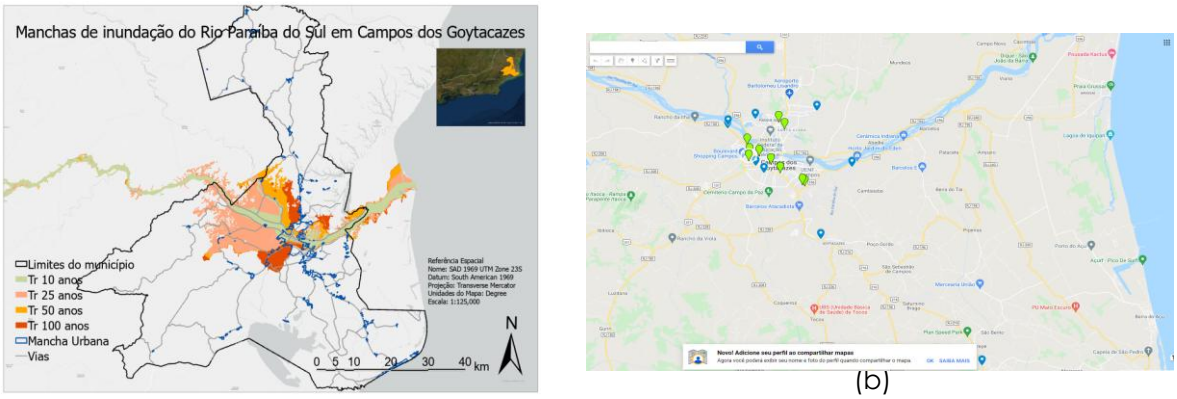
Quanto mais intrínsecas e diversificadas forem as relações entre quaisquer infraestruturas, mais complexas serão suas interações(RINALDI; PEERENBOOM; KELLY, 2001).

3 METODOLOGIA

3.1 Ferramenta GIS

Os mapas de manchas de inundaçãodo rio Paraíba do Sul foram elaborados usando o software ArcGIS Pro em escalas de 1:10.000, 1:20.000, 1:50.000, 1:125.000. Os polígonos indicativos das manchas em formato shapefileforam obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA) (BRASIL, 2023)para os períodos de retorno (Tr) de 10, 25, 50 e 100 anos (Figura 1(a)). Os limites da cidade (IBGE, 2023b) e a mancha urbana (IBGE, 2023a) de Campos foram obtidos do Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As feições das vias urbanas da região foram obtidas do banco de dados OpenStreetMaps, baixadas do site GEOFABRIK (GEOFABRIK, 2023). As localizações de hospitais, escolas, universidades e subestações de energia elétrica foram obtidas na plataforma Google My Maps (GOOGLE, 2023) (Figura 1(b)).

Figura 1 – (a) Manchas de inundação para diferentes Tr; (b) Localização das Instalações Comunitárias



(a) (b)

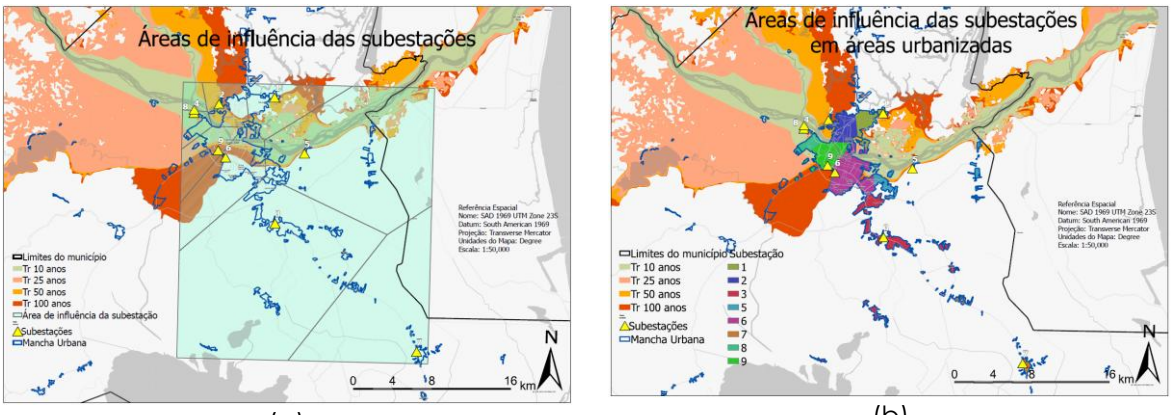
Fonte: Autor (2023)

3.2 Diagramas de Voronoi

"Diagramas de Voronoi" ou "Polígonos de Thiessen" são uma partição especial de um espaço topológico, que é dotado de uma função de distância generalizada, onde cada elemento da partição está associado de forma única a um elemento de um determinado conjunto de pontos, conhecidos como geradores de Voronoi, com base nas relações de proximidade entre cada ponto na partição e seu correspondente gerador de Voronoi. A construção do Diagrama de Voronoi ocorre primeiramente tomando um conjunto de pontos não colineares no plano euclidiano, denominados "pontos geradores". Entre esses pontos, traçam-se linhas equidistantes entre si, que formarão as arestas dos polígonos. Cada polígono, fechado e adjacente ao outro, contendo apenas um dos pontos geradores, é chamado de Diagrama de Voronoi (REZENDE; ALMEIDA; NOBRE, 2000).

Após a geração do diagrama de Voronoi para obtenção da área de influência, ou de fornecimento, decada subestação (Figura 2(a)), foram calculadas as interseções dessas áreas com a mancha urbana de Campos (Figura 2(b)).

Figura 2 – (a) Diagramas de Voronoi delimitando as áreas de influência das subestações; (b) Área de fornecimentoelétrico de cada subestação namancha urbana



(a) (b)

Fonte: Autor (2023)

4 RESULTADOS

4.1 Impactos diretos (Análise isolada)

As áreas urbanas diretamente afetadas pelodesligamento dos equipamentosde cada subestação, de modo a evitar ou mitigar os danos causados pelo contato com a água, podem ser observadas na Figura 2 e estão quantificadas na Tabela 1. A subestação nº 4, ainda que atingida pela inundação do evento de 10 anos, não alimenta nenhuma área da mancha urbana. Por outro lado, as subestações nº 1, 3, 5, 6 e 7, apesar de fornecerem energia para locais dentro da mancha urbana, não são afetadas diretamente pelas inundações.

Tabela 1 – Total de áreas urbanas alimentadas por cada subestação e o evento de chuva associado

Subestação	Área alimentada (ha)	Evento
1	550,80	-
2	754,93	50 anos
3	1.062,94	-
4	0,00	10 anos
5	464.04	-
6	1.462,33	-
7	196,36	-
8	273,41	10 anos
9	797,29	100 anos

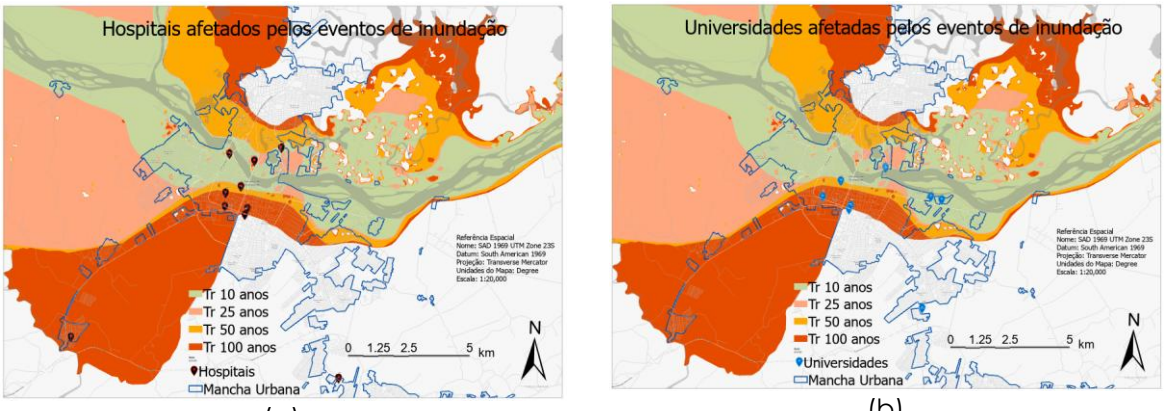
Fonte: Autor (2023)

Uma determinada via urbana éimpactada diretamentequando a altura do alagamento atinge uma profundidade na qual um carro de passeio padrão não consegue operar, normalmentede 30 cm, implicando em sua interrupção(ARRIGHI; PREGNOLATO; CASTELLI, 2021).

A Figura 3(a) mostra os hospitais afetados pelos eventos de chuva com períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos; a Figura 3(b)apresenta as universidades afetadas; aFigura 4(a) apresenta escolas afetadas; e a Fonte: Autor (2023)

Figura 4(b) apresenta as vias urbanas interrompidas.

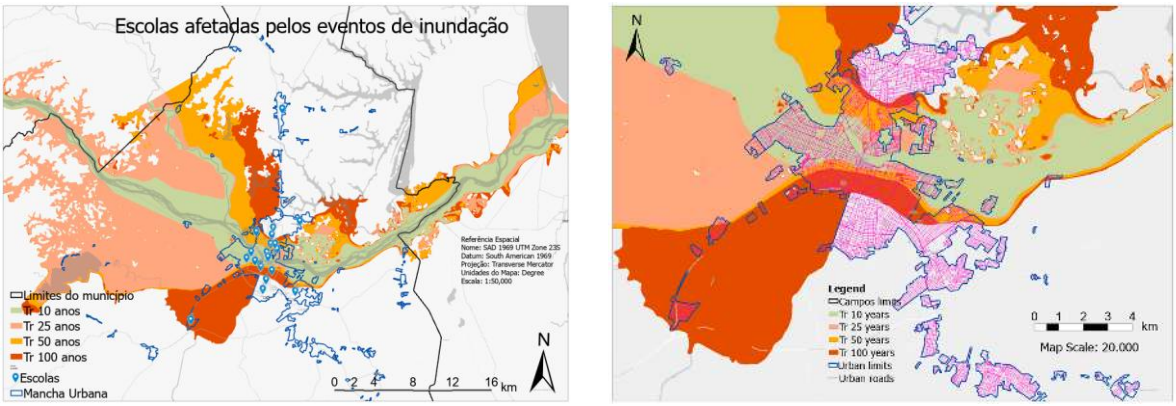
Figura 3 – (a) Hospitais afetados; (b) Universidades afetadas



(a) (b)

Fonte: Autor (2023)

Figura 4 – (a) Escolas afetadas; (b) Vias urbanas interrompidas



(a) (b)

Fonte: Autor (2023)

Considerando que os Equipamentos Públicos Comunitários (EPC's) do tipo Hospitais, Escolas e Universidades podem ser considerados IU's, os impactos diretos nessas estruturas foram quantificados naTabela 2.

Tabela 2 – Número deIU's em operação normal e a análiseisolada da quantidadeafetadaapós cada evento

IU	Unidade	Operação normal	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Hospitais	un	10	4	4	4	8
Universidades	un	9	2	4	5	7
Escolas	un	20	6	6	13	13
Vias urbanas	km	1.423,75	187,40	231,72	348,41	512,66

Fonte: Autor (2023)

4.2 Impactos indiretos (Análise sistêmica)

Como cada subestação atende regiões com características topográficas distintas, alguns locais, mesmo que localizados fora de áreas sujeitas à inundação,estão sujeitos a interrupções no fornecimento de energia.

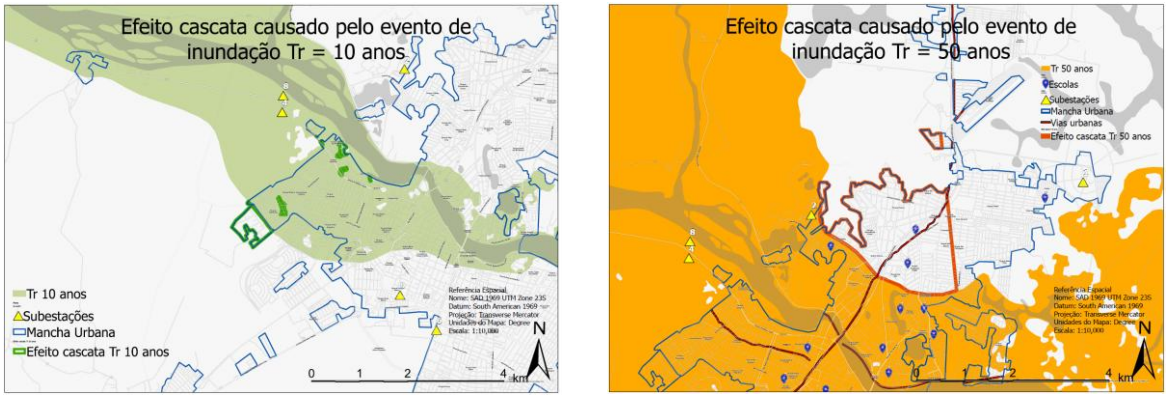
Para o caso de vias urbanas,os efeitos indiretos das chuvas intensas podem ser observados com o congestionamento de vias mesmo sem trechos alagados, resultante do desligamento ou mau funcionamento dos semáforos por falta de fornecimento de eletricidade ou por oscilações na rede elétrica.

No evento de 10 anos, com o desligamento das subestações nº 4 e nº 8 (Tabela 1), a área de fornecimento ultrapassou a área de inundação correspondente, com impacto indireto adicional em 4,16 km de vias urbanas(Figura 5(a)).

Como nenhuma subestação foi diretamente afetada pelo evento de 25 anos (Tabela 1), não houve impactos indiretos além daqueles do evento de 10 anos.

No evento de 50 anos, com o desligamento da subestação nº 2(Tabela 1), a área de fornecimento ultrapassou a área de inundação correspondente, com impacto indireto adicional em 2 escolas e 90,31 km de vias urbanas (Figura 5(b)).

Figura 5 – Localização das subestações e (a) mancha para Tr=10 anos; (b) para Tr=50 anos

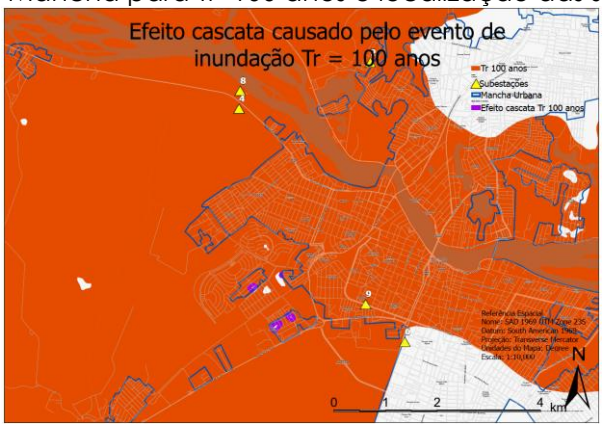


(a) (b)

Fonte: Autor (2023)

No evento de 100 anos, com o desligamento da subestação nº 9(Tabela 1), a área de fornecimento ultrapassou a área de inundação correspondente, com impacto indireto adicional em 0,82 km de vias urbanas(Figura 6).

Figura 6 – Mancha para Tr=100 anos e localização das subestações



Fonte: Autor (2023)

Os impactos indiretos adicionais nasIU's foram quantificados na Tabela 3.

Tabela 3 – Perdasindiretas adicionaisapós cada evento

IU	Unidade	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Hospitais	un	0	0	0	0
Universidades	un	0	0	0	0
Escolas	un	0	0	2	2
Vias urbanas	km	4,16	0	90,31	0,82

Fonte: Autor (2023)

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para fazer uma comparação justaentre os resultados dos efeitosdiretos e indiretos sobre as IU's selecionadas, é necessário considerar sua interdependência e adicionar as perdas indiretas aos resultados isolados obtidos em cada evento pluviométrico (Tabela 4), caso contrário, a denominação "efeito cascata" não faria sentido.

Tabela 4 – Perdas interdependentes (diretas e indiretas)

IU	Unidade	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Hospitais	un	4	4	4	8
Universidades	un	2	4	5	7
Escolas	un	6	6	15	15
Vias urbanas	km	191,56	231,72	438,72	513,48

Fonte: Autor (2023)

No evento de 50 anosocorreram as perdas adicionais mais significativas, aumentando em 15,38 % o número de escolas afetadas, de 13 para 15, e em 25,92 % a extensão das vias afetadas, de 348,41 km para 438,72 km.

6 CONCLUSÃO

As subestaçõescombinadasaos EPC's e aos semáforos das vias, formando os binômios"subestações-EPC's" e "subestações-semáforos", comportam-sede maneira tão interdependente que mais se assemelham adoissistemas complexosdo que dois pares de sistemas independentes.

Mapas de inundação obtidos no ArcGIS Pro, por representarem de forma gráfica impactos diretos e indiretos sobre as IU's,podem ser utilizados pelas autoridades de Campos como material de apoio para elaboração de planos de mitigação de riscos de inundaçãoou aindacomo instrumento de apoio à tomada de decisão sobre quais locais devem ser evitados na construção de novos EPC's.

Os impactos indiretos em vias arteriais da infraestrutura viária urbana podem ser estudados em pesquisas futuras. Quando trechos principais são diretamente afetados, outras vias coletoras e locais podem ser indiretamente afetadas, resultando na segregação de bairros e na interrupção da interligação de EPC's vitais, mesmo quando estes não são afetados direta ou indiretamente pelos eventos de inundação.

REFERÊNCIAS

ARRIGHI, Chiara; PREGNOLATO, Maria; CASTELLI, Fabio. Indirect flood impacts and cascade risk across interdependent linear infrastructures. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, n. 21, p. 1955-1969, 24 jun. 2021.

BERTILSSON, Louise; WIKLUND, Karin; DE MOURA TEBALDI, Isadora; REZENDE, Osvaldo Moura; VERÓL, Aline Pires; MIGUEZ, Marcelo Gomes. Urban flood resilience – A multi-criteria index to

integrate flood resilience into urban planning. **JournalofHydrology**, v. 573, p. 970-982, jun. 2019.

BRASIL. ANA. **Estudos auxiliares para a gestão do risco de inundações - Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Disponível em: http://gripbsul.ana.gov.br/SisprecR05.html. Acesso em: 18 jul. 2023.

EM-DAT - The International Disaster Database. EM-DAT Public. Disponível em: https://public.emdat.be/mapping. Acesso em: 18 jul. 2023.

GEOFABRIK. **OpenStreetMap Data Extracts - Brazil**. Disponível em: http://download.geofabrik.de/south-america/brazil.html. Acesso em: 18 jul. 2023.

GOOGLE. **My Maps**. Disponível em https://www.google.com/intl/pt-BR/maps/about/mymaps/. Acesso em: 18 jul. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Urbanizadas**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=downloads. Acesso em: 18 jul. 2023.

_____. **Malha Municipal**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads. Acesso em: 18 jul. 2023.

REZENDE, Flávio; ALMEIDA, Renan; NOBRE, Flávio. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 467-475, abr- jun 2000.

RINALDI, Steven; PEERENBOOM, James; KELLY, Terrence. Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. **IEEE Control System Magazine**, v. 21, p. 11-25, dez. 2001.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Estado de Defesa Civil. **Plano de Emergência do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ. 2020. Disponível em: http://www.prodec.defesacivil.rj.gov.br/pem2020/PEM%202020%203.1.pdf. Acesso em: 18 jul. 2023.

SANTOS, Marcela Pereira. A Ocupação Desigual do Espaço Urbano em Campos dos Goytacazes: Área De Risco e Vulnerabilidade Social. In: XVI Simpósio Nacional de Geografia Urbana (XVI SIMPURB), 2019, Vitória-ES. Anais do XVI SIMPURB, 2019.