

## ANÁLISE COMPARATIVA DA MODELAGEM PARA MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO, NAS SUB-BACIAS RIO DA PRATA DO MENDANHA E CAMPINHO, MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELING FOR FLOOD SUSCEPTIBILITY MAPPING IN THE SUB-BASINS RIO DA PRATA DO MENDANHA AND CAMPINHO, MUNICIPALITY OF RIO DE JANEIRO

 André Luiz da Silva Filho <sup>A</sup>  
 Vivian Castilho da Costa <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Recebido em: 09/02/2023 | 07/06/2023    DOI: 10.12957/tamoios.2023.73345

Correspondência para: André Luiz da Silva Filho (andrefilhogeo@gmail.com)

### Resumo

A pesquisa possui objetivo analisar comparativamente modelagens em SIG para mapeamentos de áreas suscetíveis à inundação nas sub-bacias Rio da Prata do Mendanha e Campinho, município do Rio de Janeiro. Para atingir os objetivos utilizou-se dados do Projeto RJ-25, IBGE (2018), Data Rio e GeoINEA. Para a compreensão das mudanças socioeconômicas foram utilizados dados dos Censos 2000 e 2010, e dados do Sistema Alerta Rio sobre eventos extremos de precipitação ocorridos entre 1998 e 2019. Para identificação das áreas suscetíveis a inundação utilizou-se o modelo HAND, cujo resultado foi ajustado ao Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistente. Para validação dos resultados da modelagem no HAND foram utilizados dados de trabalhos de campo. Os resultados obtidos no mapeamento das duas sub-bacias através do modelo HAND apresentou maior precisão e acurácia em comparação ao mapeamento das áreas suscetíveis às inundações realizado pelo CPRM (2017). Apesar de ambos os métodos utilizarem a mesma escala de análise (1:25.000), o modelo apresentado pelo HAND demonstrou uma redução nas áreas de maior suscetibilidade no geral, já que ao todo são 7,33 km<sup>2</sup> contra 10,05 km<sup>2</sup> apresentado pela CPRM, sendo o bairro de Campo Grande (RJ), com maior quantitativo de áreas passíveis de inundações (4,54 km<sup>2</sup>).

**Palavras-chave:** Inundação; HAND; Bacias hidrográficas

### Abstract

The research aims to comparatively analyze GIS modeling for mapping areas susceptible to flooding in the sub-basins Rio da Prata do Mendanha and Campinho, municipality of Rio de Janeiro. To achieve the objectives, data from Project RJ-25, IBGE (2018), Data Rio and GeoINEA were used. To understand socioeconomic changes, data from the 2000 and 2010 Census and data from the Sistema Alerta Rio on extreme precipitation events that occurred between 1998 and 2019 were used. To identify the areas susceptible to flooding, the HAND model was used, whose result was adjusted to the Hydrologically Consistent Digital Terrain Model. For validation of the modeling results in HAND, data from field work were used. The results obtained in the mapping of the two sub-basins through the HAND model presented greater precision and accuracy compared to the mapping of areas susceptible to flooding performed by CPRM (2017). Although both methods use the same scale of analysis (1:25,000), the model presented by HAND showed a reduction in areas of greater susceptibility in general, since in total there are 7.33 km<sup>2</sup> against 10.05 km<sup>2</sup> presented by CPRM, and the neighborhood of Campo Grande (RJ), with the largest quantity of areas susceptible to flooding (4.54 km<sup>2</sup>).

**Keywords:** Flood; HAND; Watersheds.





## INTRODUÇÃO

As inundações apresentam-se como uma problemática antiga para várias cidades no Brasil e no mundo, ocorrendo de forma natural ou agravadas por ações humanas. Infelizmente, a atividade antrópica, por meio do acelerado processo de urbanização, levou ao crescimento das cidades e à degradação dos cursos d'água e suas áreas adjacentes, enxergando-os como um obstáculo para ocupação do espaço. As consequências para a população são efeitos diretos e indiretos como mortes por afogamentos, destruição de moradias, doenças e danos imateriais. Desse modo, a humanidade necessita encontrar maneiras de solucionar um problema complexo para a sociedade (AMARAL, RIBEIRO; TOMINAGA, 2015).

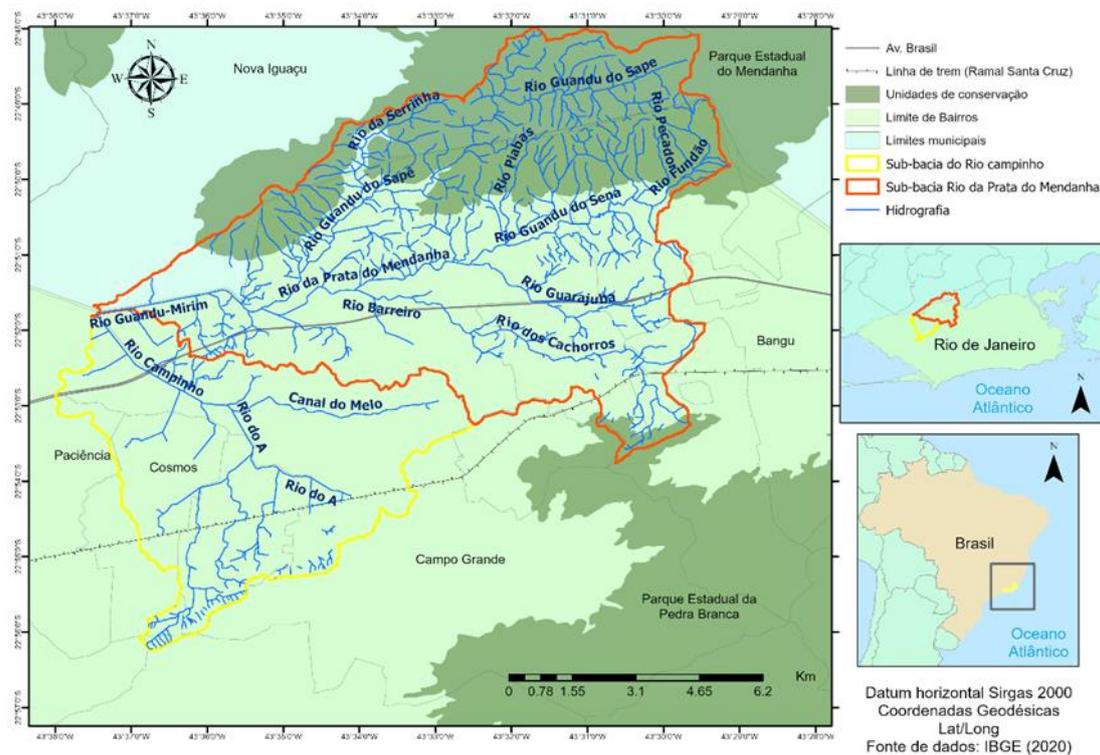
Em todo mundo, nos últimos 20 anos, os desastres de origens naturais afetaram mais de 4 bilhões de pessoas e levando a morte 1,2 milhão de vidas. No campo econômico os prejuízos chegaram a US\$ 2,9 trilhões em todo globo (UNDRR, 2020). Não se pode deixar de considerar que os países são atingidos de formas diferentes pelos desastres: Os países de maior poderio econômico tendem a ter menos pessoas afetadas e mortas por eventos de desastre, mas sofrem perdas econômicas significativamente grandes, enquanto países com economias menores demonstram número relativamente alto de mortes por desastres, assim como perdas econômicas altíssimas (UNDRR, 2020).

No Brasil, especificamente na região Sudeste, os registros de inundações no período entre 1991 e 2012 afetaram mais de meio milhão de pessoas. O conjunto de alta densidade demográfica e ocupação desordenada torna a região uma das que mais sofrem com os prejuízos sociais, econômicos e ambientais (CEPED UFSC, 2013). Nesse sentido, faz-se importante o advento de estudos referentes a suscetibilidade a inundação, mesmo, pesquisas científicas tendo pouco apoio e investimento no país. As pesquisas ambientais podem gerar instrumentos que permitem entender as potencialidades e limitações em nosso país. Desse modo, as pesquisas no Brasil precisam apoiar decisões quanto aos nossos prementes problemas ambientais (XAVIER-DA-SILVA, 2016).

A presente pesquisa possui objetivo analisar comparativamente modelagens em SIG para mapeamentos de áreas suscetíveis à inundação nas sub-bacias Rio da Prata do Mendanha e Campinho (Figura 1) estando inseridas na Baía de Sepetiba, especificamente nos bairros de Campo Grande, Santíssimo, Bangu, Senador Camará, Inhoaíba, Cosmos, Paciência e KM 32 (Nova Iguaçu). Entre as sub-bacias passam duas importantes vias de ligação da cidade do Rio de Janeiro: a Avenida Brasil e a Linha de trem Central do Brasil - Ramal Santa Cruz. As sub-bacias ocupam oficialmente a Área de Planejamento V (AP5), popularmente conhecida como Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, área que carece tanto de infraestrutura quanto de estudos acadêmicos aprofundados acerca da temática. Desse modo, o estudo na presente área justificasse pela carência de pesquisas acadêmicas e mapeamento das áreas suscetíveis à inundação que integrem modelagem com outras técnicas para analisar de forma mais profícua as razões que favorecem tais ocorrências.



Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

## METODOLOGIA

O detalhamento metodológico segue o seguinte ordenamento: caracterização socioeconômica, caracterização físico-ambiental e modelagem com HAND.

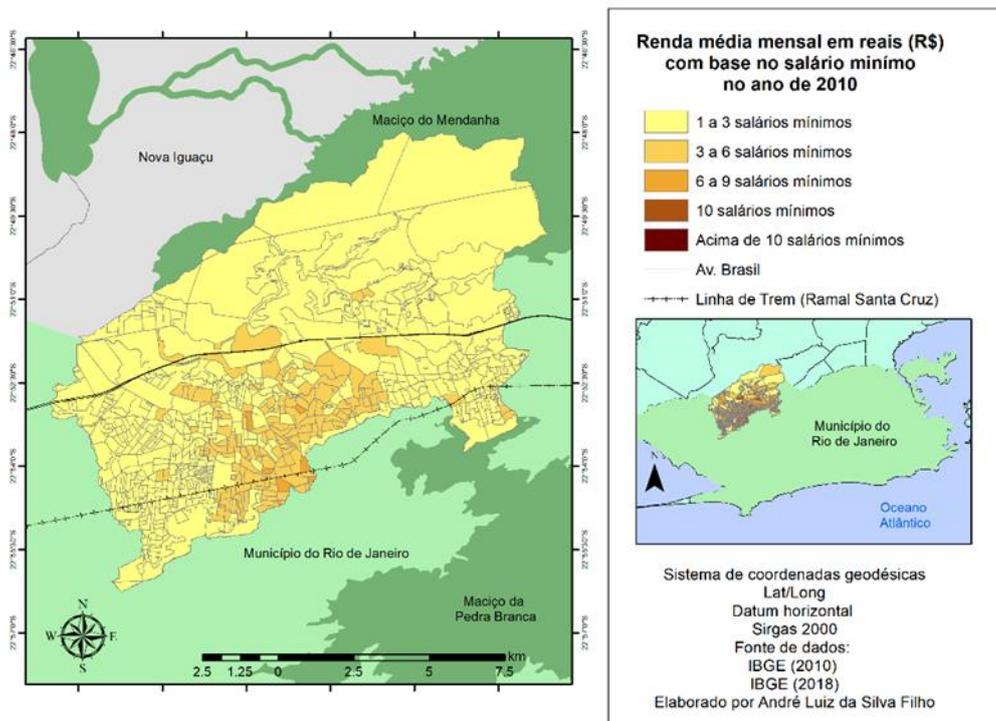
- Caracterização socioeconômica

Utilizando-se de dados do Censo demográfico do IBGE do ano de 2010 (IBGE, 2010), procurou-se compreender melhor sobre a população que ocupa a área de estudo. Apesar dos dados censitários estarem com uma defasagem de mais de 12 anos, trata-se da única fonte de dados sobre o perfil de ocupação populacional em área urbana para os bairros inseridos nas duas sub-bacias. Foram utilizados dados de renda mensal e saneamento básico (coleta de lixo, abastecimento de água e esgoto).

A figura 2, com os dados do Censo de 2010 (IBGE, 2010), destaca que a maior parte da população se encontrava no patamar de até 3 salários-mínimos. A concentração da renda acima de 5 salários-mínimos estava na região central do bairro de Campo Grande.



Figura 2 - Renda média mensal no ano de 2010.



Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

Essa área central apresenta as principais atividades comerciais tanto do bairro quanto da Área de Planejamento V, em que estimula diversas atividades financeiras, concentração de serviços e atração de investimentos. A explicação para esse fato foi o forte crescimento do capital imobiliário no bairro a partir do final da década de 1990. Um dos empreendimentos importantes para atração populacional para área foi a inauguração do West Shopping. A descentralização industrial também foi responsável por mudanças. Os baixos valores de terrenos atraíram indústrias como a fabricante mundial de pneus Michelin, nas áreas de plásticos, produtos químicos, cimentos, entre outras (FONSECA e FRANÇA, 2011).

Em relação ao saneamento básico o Censo de 2010 (IBGE, 2010), apresentava o panorama em que grande parte da área de estudo possuía apenas 40% de domicílios atendidos com coleta de lixo e esgotamento. Além disso, outra problemática é o tratamento dos resíduos em toda Área de Planejamento V, sendo bastante ínfimo, como relata a Fundação Rio-Águas (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2010, p. 25):

A área em estudo sofre com uma forte deficiência no tratamento de esgotos, apresentando índices de tratamento desprezíveis, menos de 2% dos efluentes gerados são tratados. Tal situação precária de saneamento básico é responsável pelas altas taxas de poluição em todos os corpos hídricos da região, aumentando os riscos e os custos com a saúde da população ao redor deles (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2010, p.25).



Tucci e Bertoni (2003); Amaral e Ribeiro, (2015) alertam que uma das condicionantes antrópicas para as inundações é justamente a disposição irregular de resíduos nos cursos d'águas, provocando assoreamento e obstruindo o escoamento na drenagem urbana.

- Caracterização físico-ambiental

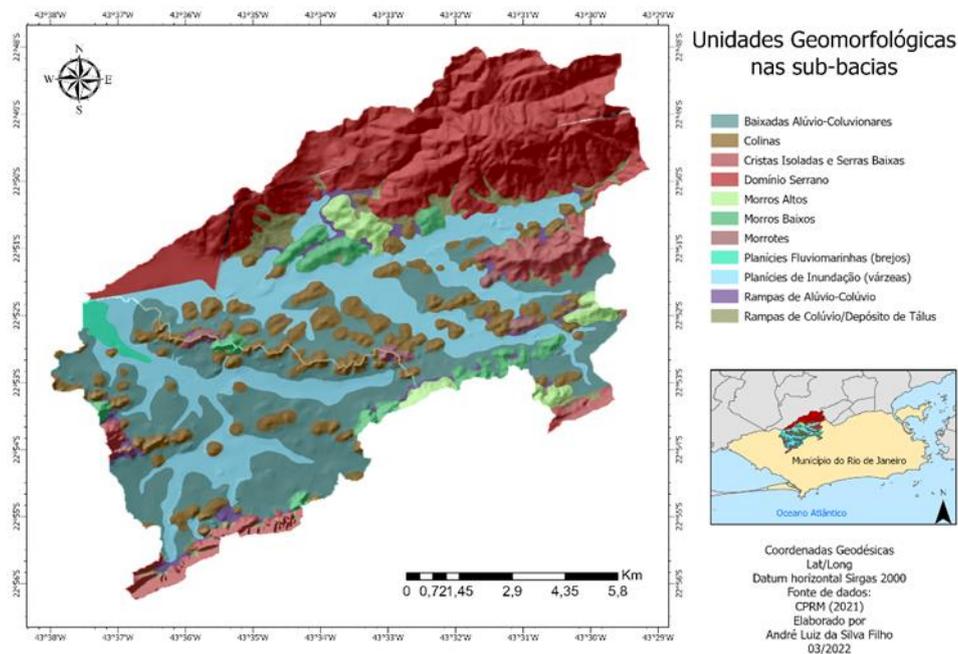
A área de estudo apresenta características climáticas sendo quente e úmido, com temperatura média entre 20° C e 27° C. As regiões das baixadas costumam apresentar as temperaturas mais elevadas do município, devido à pouca circulação de vento. As precipitações ocorrem com mais frequência entre dezembro e março. Há presença de feições morfológicas típicas de planície costeira, com morros arredondados. Entre os maciços do Gericinó-Mendanha e da Pedra Branca já citados, apresentam-se áreas planas com domínio de sedimentos arenosos (IPP, 2004, SANTOS JUNIOR, 2019).

Na área estudo estão presentes processos erosivos que influenciam a suscetibilidade a inundação nos cursos d'água, dentre eles estão:

- Pluviosidade, de acordo com a distribuição do tempo e volume no espaço. Em ambientes tropicais úmidos, como é o caso da área de estudo da presente pesquisa, a água é o agente erosivo mais comum;
- Presença ou tipo de cobertura vegetal, possibilitando a infiltração e reduzindo o escoamento superficial em vertentes. Sem a presença de cobertura vegetal a água pluvial atinge diretamente solo acarretando erosão por salpicamento (efeito splash). No entanto, plantações nas vertentes como bananeiras, podem impactar e aumentar o processo erosivo, ao concentrar em sua copa um grande volume de água que ao se desprender atingirão diretamente o solo. Santos Junior (2019) e Costa (2006) apontam tal problemática para as encostas do maciço do Mendanha e do Pedra Branca;
- O relevo declivoso e mais extenso pode gerar maior energia para o escoamento superficial e conseqüentemente pode aumentar o potencial erosivo. Santos Junior (2019) aponta que no maciço do Mendanha predomina um relevo abrupto, forte ondulado, escarpado bastante recortado e com vales bem encaixados. O autor afirma que nas áreas de menor altitude encontram-se sedimentos de natureza areno-argilosa, originados pelos processos erosivos representados pelas mudanças climáticas e influência tectônica regional (Figura 3). A área também apresenta planícies de inundação.



Figura 3 - Unidades geomorfológicas na área de estudo.



Fonte: Adaptado de CPRM (2021).

• Os tipos de solo e uso da terra são importantes, pois a composição granulométrica, com a presença de matéria orgânica e tipos de horizontes, influenciam na suscetibilidade a erosão, além disso o seu uso pode expor e fragilizar a superfície acelerando os processos erosivos. Santos Junior (2019) e Embrapa (2018) afirmam que na área de estudo apresentam-se Planossolos Hidromórficos Distróficos, sendo bastante suscetíveis à erosão e com baixa fertilidade.

Como forma de compreender a dinâmica do uso e cobertura da terra na área de estudo utilizou-se dados do Projeto Olho no Verde do Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2017). A área total representada é de 320 km<sup>2</sup>, desse modo levando em conta a grande abrangência da área de estudo, presente em dois municípios do estado do Rio de Janeiro, a escala utilizada é de 1:25.000 (Figura 4).

No ano de 2017 as áreas urbanas (Áreas Antrópicas Não Agropastoris) representavam cerca de 60% da área total (Tabela 1), explicitando como a pressão urbana sobre as sub-bacias estava em larga escala, cabendo salientar que o crescimento urbano não respeitou a Lei nº 12.727 que estabeleceu o Código Florestal (Brasil, 2012) e que limita a construção em margens de corpos d'água tanto em zonas rurais como urbanas, definindo as faixas marginais como Área de Preservação Permanente (APP).

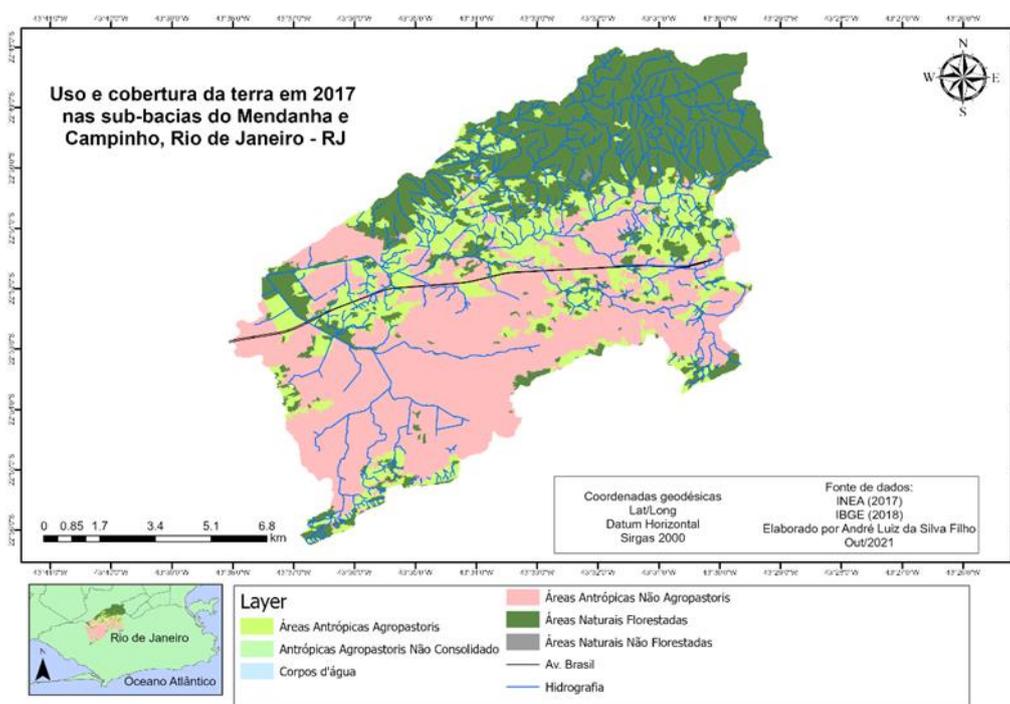


**Tabela 1** - Porcentagem representativa de uso e cobertura da terra (2017) na área de estudo

Classes de uso e cobertura em 2017	Percentual
Áreas Naturais Florestadas	20,4%
Áreas Naturais Não Florestadas	0,04%
Áreas Antrópicas Agropastoris	19,4%
Áreas Antrópicas Não Agropastoris	60,04%
Áreas Antrópicas Agropastoris Não Consolidado	0,01%
Corpos d'água	0,05%

Fonte: Adaptado de INEA (2017).

**Figura 4** - Uso e cobertura da terra no ano de 2017.



Fonte: Adaptado de INEA (2017).

É possível analisar áreas que não há grande pressão urbana sobre a drenagem e que estão representadas pelas Áreas Naturais Florestadas, com cerca de 20% do total. Nestas áreas estão presentes os fragmentos florestais preservados, tanto no maciço do Mendanha quanto no maciço da Pedra Branca, sendo essa preservação importantíssima para as nascentes dos cursos d'água das sub-bacias e para a dinâmica dos processos erosivos. Ainda representa um significativo uso da terra as Áreas Antrópicas Agropastoris com 19% de ocupação. Tais áreas dizem respeito ao cultivo de frutas e leguminosas que são responsáveis por abastecer o comércio nas áreas urbanas da área de estudo.



Ainda em relação a caracterização físico-ambiental os dados do Sistema Alerta Rio (2020) são importantes para a análise da precipitação local. A área das sub-bacias possui atualmente duas estações pluviométricas denominadas Av. Brasil/Mendanha e Campo Grande. Até o ano de 2010 estavam ativas as estações Mendanha e Gericinó. A estação Mendanha localizava-se na Serra do Mendanha – Estrada de Furnas, mas uma nova estação denominada Av. Brasil/Mendanha foi instalada em uma escola municipal na Estrada do Mendanha. A estação Gericinó foi desativada e nenhuma outra estação foi instalada, deixando a área em defasagem na coleta de dados pluviométricos.

Utilizou-se dados das estações ativas (Av. Brasil/Mendanha e Campo Grande) e das estações desativadas (Gericinó e Mendanha) para compreensão do volume de chuva em cinco eventos extremos de precipitação nos anos de 1998, 2000, 2010, 2018 e 2019 (Tabela 2). O Sistema Alerta Rio possui uma escala para classificar o volume de precipitação em suas estações pluviométricas, compreendendo desde chuva fraca (intensidade menor que 5 mm/h) a muito forte/extrema (intensidade maior que 50 mm/h). Desse modo, a presente pesquisa utilizará como base o limiar de 50 mm/h para definição de evento extremo de precipitação.

**Tabela 2** -Volume de precipitação nos eventos extremos

Data	Maior volume de precipitação em 1 hora – Estação Campo Grande	Maior volume de precipitação em 1 hora – Estação Gericinó	Maior volume de precipitação em 1 hora – Estação Mendanha	Maior volume de precipitação em 1 hora – Estação Av. Brasil/Mendanha
08/01/1998	27,2 mm	20,8 mm	30,9 mm	-
19/03/2000	116,2 mm	69,3 mm	29,7 mm	-
05/04/2010	34,8 mm	37,0 mm	-	25,2 mm
15/02/2018	57,2 mm	-	-	52,6 mm
08/04/2019	70,8 mm	-	-	27,8 mm

Fonte: Adaptado de Sistema Alerta Rio (2021).

O volume de precipitação registrado pelas estações demonstra que três eventos foram extremos e dois foram considerados como chuvas fortes (Tabela 2). O evento ocorrido em março de 2000, registrado pela estação Campo Grande, ainda figura entre os dez maiores registros de precipitação em 1 hora de acordo o Sistema Alerta Rio (2021). De acordo com o Jornal o Globo (Grupo Globo, 2000) a chuva deixou vários locais sem luz elétrica, inclusive o Hospital Rocha Faria (por mais de 12 horas sem energia), muitas áreas inundadas, com a água chegando a 2 metros de altura, além de desabamentos. Primeiramente, é possível notar uma característica em comum entre os eventos: entre os cinco, exatamente três ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro e março, período correspondente a estação de verão, período de maior frequência de chuvas intensas (IPP, 2004). Os eventos ocorridos em abril, com diferença de nove anos entre si, possuem uma relação em comum: são ocasionados por conta da passagem de sistemas frontais, trazendo precipitações volumosas, pois uma frente é uma zona de transição entre duas massas de ar com características diferentes de densidade e temperatura. Nessa zona de transição ocorrem variações bruscas de umidade, temperatura, vento e pressão (ALMEIDA, 2016).



- Etapas metodológicas

A figura 5 apresenta um resumo de todas as fases exploradas neste tópico.

**Figura 5** - Etapas metodológicas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Etapa 1: Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente consistido (MDT-HC)

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação computacional de um fenômeno espacial em uma região da superfície terrestre, permitindo a realização de cálculos, descrição e análise. Para análises hidrológicas o Modelo Digital Hidrologicamente Consistido (MDT-HC) é a melhor aplicação, pois possui informações referentes a curvas de nível, os pontos cotados, a hidrografia e o limite da área de estudo, construindo-se de um modelo com suavização por meio dos corpos hídricos (CÂMARA; FELGUEIRAS, 2005; MOORE et al., 1991).

Para a elaboração do MDT-HC todos os dados adquiridos são do Projeto RJ25 (IBGE, 2018), em formato vetorial, desenvolvido na escala 1:25.000 em 2018. Desta base foram utilizados dados de hidrografia, pontos cotados e curvas de nível. Toda base de dados utilizada no presente trabalho segue a padronização da Resolução do Presidente nº1 (IBGE, 2005) em que os dados geodésicos devem estar associados ao Sistema de Referência SIRGAS 2000 (Datum horizontal), especificamente no caso deste trabalho o datum vertical é EGM96 e o sistema de projeção é UTM, fuso 23 – Sul.

Por meio do Sistema de Informação Geográfica ArcGIS realizou-se a correção de erros topológicos para evitar falhas na altimetria e sobreposição de curvas de nível, além de inversão



de direção de fluxo da hidrografia. Foram encontrados 469 erros, sendo corrigidos pelas ferramentas Merge/ArcGIS, Explode/ArcGIS e Snap/ArcGIS.

A ferramenta utilizada para geração do MDT–HC foi Topo to Raster/ArcGIS. Nesta ferramenta foram inseridos através de um Geodatabase, respectivamente, pontos cotados, curvas de nível, hidrografia (RJ-25/IBGE, 2018) e limites da Área de Planejamento V e bairros do município do Rio de Janeiro e o município de Nova Iguaçu (bases disponíveis dos geosserviços do Data.rio e GeoINEA). Para que a ferramenta funcione corretamente é necessário definir resolução da célula, em Output cell size, dessa forma, respeitando-se a resolução definida por IBGE (2018), utilizou-se a resolução de 20 metros, compatível com a escala cartográfica dos dados

- Etapa 2: Geração das sub-bacias

O processo semiautomizado é realizado pelo analista com a visão crítica das etapas e outra parte realizada por um software, neste caso um SIG (SEIJMONSBERGEN, 2013). Existem diferentes ferramentas disponíveis nos Sistemas de Informação Geográfica para delimitação de bacias, entre elas ArcHydro e Taudem. Escolheu-se utilizar a extensão ArcHydro com base nos trabalhos de Silva e Moura (2013), Sousa Morais e Sales (2016) e Leal et al (2017), que atestam a consistência da ferramenta.

Para iniciar é necessário que se utilize a ferramenta Fill Sinks responsável por corrigir possíveis falhas ou depressões espúrias geradas durante o processamento do MDT-HC. Posteriormente as etapas são respectivamente: definição da direção de fluxo (Flow Direction), acumulação de fluxo (Flow accumulation), definição de rede de drenagem em formato raster (Stream definition), segmentação de drenagem (Stream Segmentation), definição do exutório (Batch Point Generation) e, por fim, é realizada a delimitação das sub-bacias (Batch Subwatershed Delineation).

- Etapa 3: Modelagem com HAND

O modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tem como aplicações a modelagem de áreas suscetíveis à inundação, zoneamento de terrenos, desastres naturais, biogeoquímica, pedologia, ecofilosofia da paisagem, entre outras (NOBRE et al., 2011a).

Para a aplicação em modelagem de áreas suscetíveis à inundação o HAND converte o MDT–HC com o objetivo de descobrir a diferença de altitude do terreno e a altitude da rede de drenagem mais próxima de cada pixel.

Para a modelagem utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica TerraView 4.2.2, software livre e gratuito, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que possui o HAND como uma de suas funções. Para a geração das áreas de inundação é necessário definir a direção de fluxo, denominada Extraction Flow, também é realizada a correção de possíveis sinks (depressões) no MDT-HC, por meio da ferramenta Fixed DEM. O próximo passo gerou a área de contribuição, ou seja, área de acumulação dos fluxos, denominada Contributing Area, no campo Unit foi selecionado a opção Cells. A drenagem é extraída através da ferramenta Drainage Extraction. O valor definido para Threshold (limiar) foi de 1738, valor padrão da ferramenta, por meio de diversos testes verificou-se que valores abaixo poderiam subestimar a extração e valores acima superestimar.



A geração de áreas de inundação levou cerca de 25 minutos e o resultado foi apresentado na tela inicial do TerraView. Não há necessidade de definir o formato, porque o arquivo é gerado automaticamente em Raster (.TIF).

- Etapa 4: Criação do mapeamento HAND

O dado em formato Tif foi importado no ArcGIS. Utilizou-se a ferramenta Raster to Polygon para converter do formato raster para polígono, posteriormente, exportou-se a feição por meio da ferramenta Data e Export data para o formato shapefile. Para que a visualização dos resultados fosse somente para o limite das sub-bacias, foi realizado um recorte com os limites das sub-bacias através da ferramenta Clip. Para construção do mapa foram utilizados limites de bairros do município do Rio de Janeiro (Data Rio, 2021), limites de municípios (IBGE, 2018) e o MDT-HC. A construção da legenda ocorreu com base nos trabalhos de Rennó et al. (2008) e Nobre et al. (2011a) em que consideram a altimetria de 15 metros como áreas de alto risco de inundação.

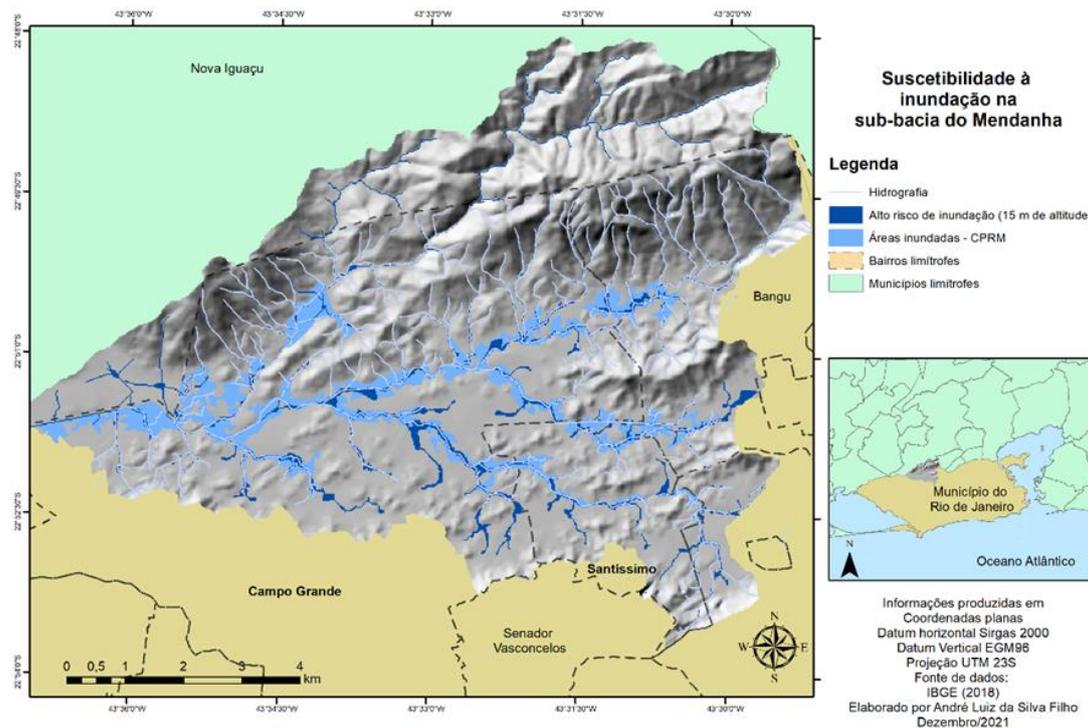
A validação dos dados no HAND foi realizada através de trabalhos de campo realizados principalmente nas áreas onde houve discrepâncias com as áreas mapeadas pelo CPRM (2017). Na comparação final entre o resultado do HAND e do mapeamento realizado pela CPRM, por meio de sobreposição das camadas, foi possível também reconhecer quais locais suscetíveis à inundação, gerados pela presente pesquisa, estão de acordo com as informações do CPRM (2017).

## RESULTADOS

A utilização do HAND apresentou-se como positiva e promissora, mas com alguns pontos de atenção. Compararam-se os resultados do HAND com os dados das Cartas de suscetibilidade à inundação do CPRM (2017) para a área de cada uma das duas sub-bacias em análise (Figura 5 e 6). Para o recorte da área de estudo o CPRM define apenas a classificação de alta suscetibilidade para até 15 m. A sobreposição dos dados demonstrou que as áreas suscetíveis as inundações foram mapeadas corretamente, pois a maior parte está inserida uma na outra, com algumas diferenças.



**Figura 5** - áreas suscetíveis   inundação pelo HAND da sub-bacia do Mendanha, sobrepostas às áreas do mapeamento do CPRM.

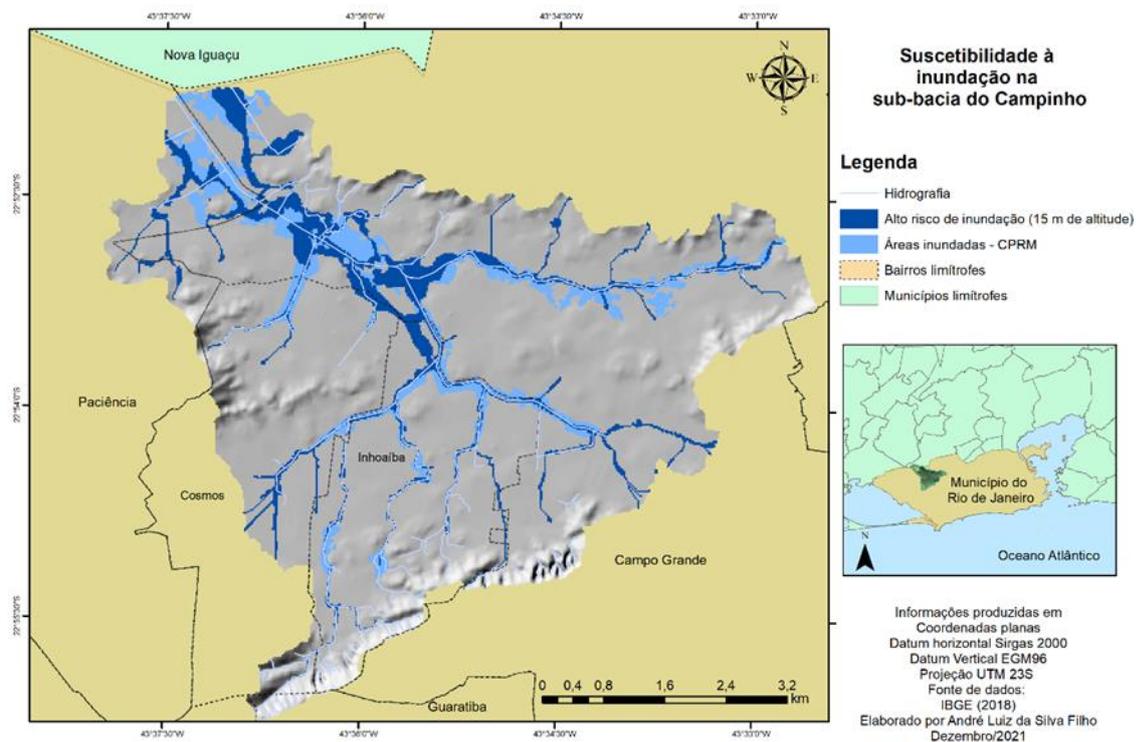


Fonte: Elaborado pelo autor.

Decidiu-se, primeiramente, analisar as sub-bacias em que os resultados do HAND demonstram que as áreas suscetíveis a inundação nas duas sub-bacias representa 7,33 km<sup>2</sup>, sendo 3,88 km<sup>2</sup> para a sub-bacia do Mendanha e 3,45 km<sup>2</sup> para a sub-bacia do Campinho.



**Figura 6** - Áreas suscetíveis à inundação pelo HAND da sub-bacia do Campinho sobrepostas às áreas do mapeamento do CPRM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados do CPRM denotam que as áreas suscetíveis a inundação nas duas sub-bacias representa  $10,05 \text{ km}^2$ , sendo  $6,20 \text{ km}^2$  para a sub-bacia do Mendanha e  $3,85 \text{ km}^2$  para a sub-bacia do Campinho.

Para avaliar de fato a proximidade entre os resultados de sobreposição foi realizada uma intersecção entre os dados do HAND e os dados do CPRM que resultou em áreas correlatas de  $2,74 \text{ km}^2$ , sendo  $1,33 \text{ km}^2$  para a sub-bacia do Mendanha e  $1,41 \text{ km}^2$  para a sub-bacia do Campinho, conforme a tabela 3. A referida tabela demonstra que a sub-bacia do Mendanha apresenta os maiores índices de áreas suscetíveis a inundação, tanto por resultados do HAND ( $3,85 \text{ km}^2$ ) quanto para o CPRM ( $6,20 \text{ km}^2$ ), no entanto a sua intersecção é menor ( $1,33 \text{ km}^2$ ), podendo ser explicado como demonstra a figura 5, porque há áreas consideradas suscetíveis pelo HAND, mas que não foram consideradas pelo CPRM. A diferença entre áreas suscetíveis do HAND ( $3,45 \text{ km}^2$ ) e do CPRM ( $3,85 \text{ km}^2$ ) para a sub-bacia do Campinho (Figura 6) é relativamente pequena ( $0,08 \text{ km}^2$ ), trazendo um número de intersecção um pouco maior ( $1,41 \text{ km}^2$ ) para o comparativo com a sub-bacia do Mendanha.



**Tabela 3** - Total de áreas suscetíveis a inundação nas sub-bacias

Sub-bacia	HAND	CPRM	Intersecção
Mendanha	3,88 km <sup>2</sup>	6,20 km <sup>2</sup>	1,33 km <sup>2</sup>
Campinho	3,45 km <sup>2</sup>	3,85 km <sup>2</sup>	1,41 km <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>7,33 km<sup>2</sup></b>	<b>10,05 km<sup>2</sup></b>	<b>2,74 km<sup>2</sup></b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

É importante mencionar que a escala de trabalho dos dados do CPRM é o mesmo da metodologia do HAND utilizada neste trabalho, ou seja, 1:25.000. Contudo, fatores como qualidade do Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido, aliada a delimitação de bacias hidrográficas semiautomática realizada em SIG, além da correção de erros topológicos, são fatores que contribuíram para uma maior acurácia nos resultados, pois a metodologia do CPRM (2017) não menciona como foi realizada a modelagem CPRM. No entanto, a falta de verificação das falhas na rede de drenagem ou seu cruzamento com curvas de nível, prejudicam a modelagem com o HAND caso não sejam realizadas, o que podem levar a um resultado subestimado ou superestimado, o que não foi o que ocorreu no resultado do presente estudo.

Faria (2021) demonstra em seu trabalho como diferenças computacionais e físicas das bacias, como os biomas, podem alterar os resultados das delimitações, desse modo, os dados do CPRM elaborados para todo estado do Rio de Janeiro, devem ser utilizados com cuidado para uma escala local, tendo o analista conhecimento das características de sua área de estudo a fim de evitar falhas e generalizações. Todas essas etapas foram levadas em consideração na metodologia da presente pesquisa.

Os resultados da comparação entre as duas metodologias aplicadas nas sub-bacias permitiu detalhá-las ainda mais e demonstrar quais bairros da AP-5 estão mais suscetíveis a inundações. Sendo a sub-bacia do Mendanha aquela com maior área suscetível, tornou-se claro que os bairros que ocupam tal área apresentariam resultados correspondentes. Os fatores de uso e ocupação do solo com alta pressão urbana sobre a hidrografia, unidade geomorfológica composta por planícies de inundação e histórico de precipitações extremas corroboram com os resultados.

O bairro de Campo Grande apresentou a maior suscetibilidade à inundação, perfazendo 4,54 km<sup>2</sup>, correspondendo a 62% da área total do bairro. No bairro estão presentes. Os dados do CPRM trazem uma área de suscetibilidade maior com 7,11 km<sup>2</sup>. A justificativa para o HAND apresentar área menor é devido ao modelo digital do terreno trazer um refinamento maior, demonstrando maior acurácia no detalhamento das áreas que são mais suscetíveis ao mapeamento do CPRM. Em relação a sobreposição, o resultado da intersecção de 2 km<sup>2</sup>, cerca de 62% dessa área resultante do HAND estava na mesma localização dos dados do CPRM.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa atingiu os objetivos propostos ao analisar de modo qualitativo e quantitativo as características antrópicas (uso e ocupação) das sub-bacias, seus volumes de precipitação em eventos extremos comparados com as modelagens em HAND e do CPRM capazes de quais bairros presentes nos limites das sub-bacias estão mais ou menos sujeitos às inundações.

Em alguns trechos a modelagem HAND apresentou resultados incoerentes, por exemplo em áreas de encosta, como apresentado na sub-bacia do Mendanha. Nessas áreas com a velocidade alta de vazão devido a declividade dificilmente haveria inundação, porém o modelo HAND utiliza a altura mais próxima da drenagem, levando em consideração a drenagem como altimetria zero, podendo induzir ao erro em áreas declivosas. A avaliação somente com resultados numéricos não é correta e não devem ser utilizados sem outros parâmetros. Desse modo, é preciso que a análise seja bastante criteriosa, havendo também o máximo possível de trabalhos de campo para o contato real com as condições da drenagem e o seu entorno, sendo assim o pesquisador não será induzido ao erro.

Por fim, ainda sobre o modelo HAND, mesmo havendo necessidade de atenção em seus resultados, apresenta-se como uma boa opção para estudos na temática, pois como já foi utilizado e testado e diferentes pesquisas com resultados satisfatórios. Sua interface gráfica é amigável e usuários de Sistemas de Informações Geográficas podem reconhecer suas ferramentas. Não é necessário conhecimento em linguagem de programação para sua utilização, o que muitas vezes afasta pesquisadores de outros modelos por não ter domínio do assunto.

A partir dessa pesquisa espera-se que novas pesquisas surjam para Área de Planejamento V da cidade do Rio de Janeiro, atraindo maior visibilidade a uma área que carece de gestão pública e estudos mais amplos pela comunidade acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pela bolsa (Mestrado Nota 10) concedida para a execução desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. A. Climatologia aplicada à Geografia. EDUEPB, Campina Grande, 2016.
- AMARAL, R.; TOMINAGA, L. K; SANTORO, J. Desastres naturais: conhecer para prevenir. Instituto Geológico. São Paulo, 2009.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. Capítulo 3: Inundações e enchentes. Desastres naturais: conhecer para prevenir. TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. 3º ed. - São Paulo, Instituto Geológico, 2015.



BRASIL. Lei N° 10.257, DE 10 de julho de 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm) Acesso em 01 jun. 2021

BRASIL. Lei N° 12.727, de 17 de outubro de 2012. Disponível em: 106 [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm) Acesso em 22 mai. 2021.

BRASIL. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL Capítulo II da política urbana: Art. 182. 1988. Disponível em: [http://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988\\_12.07.2016/art\\_182\\_.asp](http://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_12.07.2016/art_182_.asp) Acesso em: 09 jun. 2021.

CÂMARA, G.; FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica de terreno. In: Introdução à ciência da Geoinformação. CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. V. (Org). Cachoeira Paulista: Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais (INPE), 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED); UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: 2013

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Serviço Geológico do Brasil. Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações - Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Rio-de-Janeiro-5082.html> Acesso em 15 jun. 2020

COSTA, V.C. da. Proposta de manejo e planejamento ambiental de trilhas ecoturísticas, um estudo no Maciço da Pedra Branca-município do Rio de Janeiro (RJ). Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Geografia (Tese) Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2006.

DATA RIO. Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. Instituto Pereira Passos. Bairros cariocas. 2021. Disponível em: <http://www.data.rio/app/bairros-cariocas>. Acesso em: 10 ago. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

ESRI. Sistema de Informação Geográfica ArcGIS Pro. 2021.

FARIA, V. D. Análise da delimitação automática de bacias hidrográficas em três biomas brasileiros. Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE) Especialização em Análise ambiental e gestão de território. Rio de Janeiro, 2021.

FONSECA, P. R.; FRANÇA, S. L. A. O crescimento urbano e suas consequências na reconfiguração do bairro de Campo Grande, Rio de Janeiro. RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico, v. 13, n. 24, 2012.



FRADE, G. de S. Análise de evolução da ocupação urbana da área central de Nova Iguaçu e suas implicações socioespaciais. In: XVIII Encontro Nacional de Geógrafos. São Luís – Maranhão. 2016.

FRÓES, J. N. S.; GELABERT, O. R. E. Rumo ao Campo Grande por trilhas e caminhos, 2ª edição, Impressão gráfica Brunner, Rio de Janeiro, 2005.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE; DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS – DGC; COORDENAÇÃO DE CARTOGRAFIA – CCAR. Projeto RJ-25. Centro de Documentação e Disseminação de Informação-CDDI/IBGE. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html> Acesso em 25 set. 2021.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE). Censo 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em 05 fev. 2021.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (IBGE). Resolução do Presidente nº1: Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. R.PR – 1/2005. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/rpr\\_01\\_25fev2005.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_25fev2005.pdf) Acesso em 05 out. 2020.

GRUPO GLOBO. Jornal O Globo. Edição 20/03/2000.

Disponível em: <https://acervo.oglobo.globo.com/> Acesso em 10 jul. 2021.

GRUPO GLOBO. TV Globo: Globoplay. Dezenas de ruas estão alagadas em Campo Grande, 15/02/2018 Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/6505080/> Acesso em: 16 jul. 2020

HAND MODEL. INPE-CCST. Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais, 2020. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/projetos/HAND-model/> Acesso em: 10 jul. 2020

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data HANDling at Sydney, Australia, 1988.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Projeto Olho no verde: Mapeamento de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da RH II – Guandu. INEA, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed> Acesso em: 19 out. 2021.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro: 1998. Rio de Janeiro: IPP, 2000. 864p

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Descrição e mapas da área de planejamento V. Rio de Janeiro: Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, 2004.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Modelo Digital de Elevação da cidade do Rio de Janeiro. Disponível em:



<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10ed62bc79e5443db0730273358f7253> Acesso em 09 nov. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Caracterização e tipologia de assentamentos precários: estudos de caso brasileiros. Brasília: Ipea, 2016.

LEAL, R. E., MEDEIROS, L., QUEIROZ, J., Brito, G. L., & Coiado, L. L. Utilização das extensões TauDEM e ArcHydro: um estudo comparativo aplicado à delimitação automática de bacias hidrográficas no Estado do Pará. Revista SEAF, v. 1, p. 204-218, 2017.

MOORE, ID, RB GRAYSON E AR LADSON. Modelagem Digital de Terreno: Uma Revisão de Aplicações Hidrológicas, Geomorfológicas e Biológicas. Processos hidrológicoS. 1991, p. 3-30.

NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A., HODNETT, M. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. Journal of Hydrology v. 404, 2011, p.13–29. (a)

NOBRE, A. D. Novas Geotecnologias no Ordenamento do Ordenamento Territorial. INPA & CST INPE, 63<sup>a</sup> Reunião Anual SBPC, Goiânia, 2011. (b)

NOBRE, A. D., CUARTAS, L. A., HODNETT, M., SALESKA, S. Fine-Scale Relief in the Amazon Drives Large Scale Ecohydrological Processes. AGU Fall Meeting, Session: Global Forest Dynamics and Interactions with a Changing Climate III, San Francisco, 2014.

NOBRE, C.A.; YOUNG, A.E; SALDIVA, P.; MARENGO, J.A.; NOBRE, A.D.; ALVES, R. S.; SILVA, G.C.M.; LOMBARDO, M. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas, Região Metropolitana de São Paulo. Embaixada Reino Unido, Rede Clima e Programa FAPESP em Mudanças Climáticas, 2010.31 p.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Secretaria municipal de saneamento e recursos hídricos. Diagnóstico do sistema de esgotamento sanitário existente na Área de

Planejamento-5. Fundação Instituto das águas. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4290214/4105684/08.AnexoVIIDiagnosticodoSistemaEsgotamentoSanitarioExistenteAreaPlanejamento5.pdf> Acesso em: 05 set. 2021.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Secretaria municipal de saneamento e recursos hídricos. Plano municipal de saneamento básico da cidade do Rio de Janeiro: Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Fundação Instituto das águas. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: [https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5302963/4152314/PMSB\\_DRENAGEMEMANEJODEAGUASPLUVIAIS.pdf](https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5302963/4152314/PMSB_DRENAGEMEMANEJODEAGUASPLUVIAIS.pdf) Acesso em: 05 set. 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Lei complementar n.º 111 de 1º de fevereiro de 2011: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www2.rio.rj.gov.br/smu/buscafacil/Arquivos/PDF/LC111M.PDF> Acesso em: 29 abril 2021.

RENNÓ, C.D., NOBRE, A.D., CUARTAS. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM. Remote Sensing of Environment, v. 112, 2008, 3469–3481.



SANTOS JUNIOR, W. M. Identificação de áreas prioritárias para a regularização fundiária e contribuição ao plano de manejo do Parque Estadual do Mendanha (PEM) – RJ. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia. 2019. 220 f.

SEIJMONSBERGEN, A. C. The modern geomorphological map. University of Amsterdam, The Netherlands. Elsevier Inc. 2013.

SILVA, J. R.; MOURA, A. C. M. Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro Preto-MG. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, v. 13, p. 4496-4502, 2013.

SILVA, J. R.; MOURA, A. C. M. Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro PretoMG. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, 13 a 18/04/2013, Anais. INPE, v. 1, p. 4496 – 4502. 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/3ERPFQRTRW34M/3E7GKCR> Acesso em: 19 out. 2021.

SISTEMA ALERTA RIO. Fundação Instituto de geotécnica (Geo-Rio). Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/maiores-chuvas/> Acesso em: 10 jun. 2020.

SISTEMA ALERTA RIO. Fundação Instituto de geotécnica (Geo-Rio). Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/info-estacoes/> Acesso em: 02 fev. 2021

SOUSA MORAIS, R. C., SALES, M. C. L. Extração automática de drenagem: uma análise comparativa a partir de diferentes ferramentas e bases de dados. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 06, p. 1849-1860, 2016.

TUCCI, C. E; M. BERTONI, J.C. Inundações Urbanas na América do Sul. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1º ed. ISBN: 85-88686-07-4. Porto Alegre, 2003.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Estudos Avançados, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 19 set. 2020.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR), CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED). The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019). Brussels, Belgium, 2020.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNIDRR) CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction in Sendai, Japan, on March 18, 2015. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030> Acesso em: 19 fev. 2021.

VEYRET, Y. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo; Contexto; 2007. 319 p. 2007.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento no Apoio à Decisão., [S.l.], n. 9, p. 105-115, jul. 2016. ISSN 2317-8825. Disponível em: <http://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/106>>. Acesso em: 19 dez. 2021.



## COMO CITAR ESTE TRABALHO

FILHO, André Luiz da Silva; COSTA, Vivian Castilho da. Análise comparativa da modelagem para mapeamento de suscetibilidade à inundação, nas sub-bacias Rio da Prata do Mendanha e Campinho, município do Rio de Janeiro. Revista Tamoios, São Gonçalo, v. 19, n. 2, p. 4-23, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2023.73345>. Acesso em: DD MM. AAAA.