



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESASTRES NATURAIS

Gabrieli Senger

Mapeamento de Mancha de Inundação no Vale do Itajaí: Uma comparação entre os métodos HAND e AHP.

FLORIANÓPOLIS

2021

Gabrieli Senger

Mapeamento de Mancha de Inundação em Santa Catarina: Uma comparação entre os métodos HAND e AHP.

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em desastres naturais.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl.

FLORIANÓPOLIS

2021

Ficha de identificação da obra

Senger, Gabrieli

Mapeamento de Mancha de Inundação em Santa Catarina :
Uma comparação entre os métodos HAND e AHP. / Gabrieli
Senger ; orientador, Roberto Fabris Goerl, 2021.

114 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências
Humanas, Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais,
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Desastres Naturais. 2. Mapeamento. 3. Mancha de
inundação. 4. Vale do Itajaí. 5. Bacia hidrográfica. I.
Goerl, Roberto Fabris. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais.
III. Título.

Gabrieli Senger

Mapeamento de Mancha de Inundação em Santa Catarina: Uma comparação entre os métodos HAND e AHP.

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Lindberg Nascimento Junior

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Dr. Gean Paulo Michel

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em desastres naturais.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Dr. Roberto Fabris Goerl

Orientador(a)

Florianópolis, 2021

AGRADECIMENTOS

Durante esta fase do mestrado muitas coisas aconteceram, uma delas o COVID-19, que infelizmente levou muitas vidas e mudou completamente nossa forma de interação social, impactando diretamente em todo o planejamento previamente realizado.

Desde 2019, ano em que se iniciou o mestrado, até o presente momento, tive a oportunidade de conhecer ótimas pessoas e ter ótimas experiências e por este motivo venho aqui agradecer especialmente cada uma.

Primeiramente a Deus e a todas as oportunidades por Ele me oferecidas, que foram apanhadas e aproveitadas.

À minha família que me deu todo o apoio necessário para me estabelecer e me manter em uma nova cidade e por sempre acreditarem nas minhas escolhas.

Agradeço especialmente ao João D. que desde pequena tive um carinho enorme. Uma pessoa que sempre me motivou a chegar onde estou hoje, seja durante o ensino médio, durante a graduação, como também agora no mestrado. Que sempre me ajudou quando precisei e que infelizmente se foi este ano.

Ao meu orientador, professor Roberto Fabris Goerl, por me motivar na pesquisa e ser extremamente compreensivo durante esse ano pandêmico.

Ao Lucas S., por estar ao meu lado durante este período, me motivando, dando apoio moral e tecnológico até durante o processo de qualificação deste mestrado e à Stephanie C. por ser uma ótima amiga e estar sempre me encorajando a correr atrás dos meus objetivos.

Aos amigos da Mundus pois sem vocês este período pandemia/ novos empregos/ qualificação e defesa de mestrado seria muito mais complicado.

Aos amigos do mestrado que fizeram toda a diferença nos meus dias de aula, que me proporcionaram ótimos momentos em Florianópolis, Blumenau, São Paulo e São José dos Campos durante nosso período de estágio do CEMADEN.

E por fim, agradeço a todos que vibraram por mim durante este período, pelos pensamentos positivos e preces feitas.

RESUMO

Os desastres naturais ocorrem por toda a superfície terrestre ao longo de anos. Diante desta problemática surgiram vários estudos e medidas para aumentar a resiliência da sociedade frente aos eventos extremos que causam tais desastres. O mapeamento da mancha de inundação é um exemplo de uma medida não estrutural, adotada como ferramenta de auxílio aos gestores e às medidas estruturais a serem aplicadas nos locais onde eventos, como inundação, ocorrem. Duas metodologias foram utilizadas neste trabalho para o desenvolvimento da mancha de inundação na Bacia Hidrográfica do Vale do Itajaí: AHP e HAND. Para a primeira utilizou-se como dado de entrada um MDE com resolução de 30 metros para geração da declividade e do SWI, integrando-os com o uso do solo e para a segunda apenas o MDE com a mesma resolução. Ambos os métodos foram Calibrados e Validados por um total de 9 municípios localizados na bacia hidrográfica. Embora haja diferenças nos dados de entrada para cada método os resultados não apresentaram discrepâncias extremas entre si e abrangem mais da metade dos pontos nas áreas de alta e média suscetibilidade. Por outro lado, a união das metodologias apresentou um resultado menos satisfatório de quando separadas, quando são analisados todos os municípios em conjunto. A mancha de inundação gerada pela união dos métodos abrange uma área menor da disponibilizada pela Defesa Civil do município em específico analisado. Recomenda-se um estudo mais aprofundado sobre a possibilidade de união entre estas metodologias para um melhor resultado, bem como a utilização de um modelo digital do terreno de melhor resolução.

Palavras-chave: mapeamento, inundação, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

Natural disasters occur across the earth's surface over the years. Faced with this problem, several studies and measures to increase the society's resilience to extreme events that cause such disasters. Flood mapping is an example of a non-structural measure, adopted as a tool to help managers and necessary measures to be applied in the places where events, such as flood. Two methodologies were used in this work for the development of the flood patch in the Hydrographic Basin Vale Itajaí: AHP and HAND. For the first, as input an MDE with a resolution of 30 meters for slope and SWI generation, integrating them with land use and for the second only the MDE with the same resolution. Both methods have been calibrated and validated by a total of 9 cities in the hydrographic basin. Although there are differences. In the input data for each method the results are not dissipated extreme discrepancies between them and cover more than half of the points in the areas of high and medium susceptibility. On the other hand, the union of methodologies we present a less satisfactory result when discovered, when they are all municipalities together. The generated flood by uniting the methods it covers a smaller area than that made available by the Civil Defense of the municipality specifically analyzed. A study is recommended more in-depth on the possibility of linking these methodologies for a better result, as well as the use of a digital model of the better resolution terrain.

Keyword: mapping, flood, hydrographic basin.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DO RISCO DE INUNDAÇÃO DE NOVA IORQUE, EUA.	19
FIGURA 2 – MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÃO DE BRISBANE, AUSTRÁLIA (A) E DE BAKEWELL, INGLATERRA (B).	20
FIGURA 3 - POPULAÇÃO URBANA E RURAL NO MUNDO.	23
FIGURA 4 - MIGRAÇÃO CAMPO-CIDADE NO BRASIL.	23
FIGURA 5 - TIPOLOGIA ADOTADA CONFORME CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES NATURAIS.	29
FIGURA 6 - LEITOS DE UM RIO E SEUS PROCESSOS CORRELATOS.	27
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO DO RISCO.	29
FIGURA 8 - LINHA HISTÓRICA DE POLÍTICAS PÚBLICAS.	31
FIGURA 9 - CICLO DE GESTÃO EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL.	32
FIGURA 10 - ETAPAS DO ALGORITMO PARA OBTENÇÃO DO HAND.	407
FIGURA 11 - FLUXO DE ETAPAS PARA O MODELO HAND.	38
FIGURA 12 - DIVISÃO HIERÁRQUICA DO MÉTODO.	39
FIGURA 13 - ÁLGEBRA DE MAPAS.	40
FIGURA 14 - REPRESENTAÇÃO DOS PROCESSOS DO MÉTODO AHP APLICADOS NA ÁLGEBRA DE MAPAS.	41
FIGURA 15 - MAPA DE SANTA CATARINA.	47
FIGURA 16 - REGIÕES HIDROGRÁFICAS.	48
FIGURA 17 - REPRESENTAÇÃO DE UMA DEPRESSÃO (SINK).	51
FIGURA 18- ESQUEMA PARA OBTENÇÃO DO MDT FINAL.	51
FIGURA 19 - DECLIVIDADE DE SANTA CATARINA.	52
FIGURA 20 - DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO VALE DO ITAJAÍ.	52
FIGURA 21 - PERFIL TOPOGRÁFICO DE UMA LINHA RETA SOBRE O VALE DO ITAJAÍ - SC.	55
FIGURA 22 - MAPA DO SWI JUNTO DA HIDROGRAFIA DA BACIA HIDROGRÁFICA.	57
FIGURA 23 - MAPA DO USO DO SOLO RECLASSIFICADO JUNTO À HIDROGRAFIA.	59
FIGURA 24 - RECLASSIFICAÇÃO DA DECLIVIDADE JUNTO DA HIDROGRAFIA.	60
FIGURA 25 - COMPARAÇÃO ENTRE HIDROGRAFIA.	63
FIGURA 26 - COMPARAÇÃO ENTRE HIDROGRAFIA DA ANA E A GERADA PELO TERRAHIDRO.	64
FIGURA 27 - LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS NA CALIBRAÇÃO.	66
FIGURA 28 - LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA VALIDAÇÃO.	67
FIGURA 29 - EXEMPLO DAS COTAS DE INUNDAÇÃO DISPONIBILIZADAS PELA DEFESA CIVIL DE BLUMENAU.	67

FIGURA 30 – EXEMPLO DE COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS COM ÁLGEBRA DE MAPAS.	71
FIGURA 31 – HISTOGRAMA DE PONTOS SOBRE MODELO HAND PARA ITUPORANGA.	72
FIGURA 32 – HISTOGRAMA DE PONTOS SOBRE MODELO HAND PARA RIO DO CAMPO.	72
FIGURA 33 – HISTOGRAMA DE PONTOS SOBRE MODELO HAND DE TAIÓ.	73
FIGURA 34 – HISTOGRAMA DOS PONTOS SOBRE MODELO HAND PARA VIDAL RAMOS.	77
FIGURA 35 – MAPA DE INUNDAÇÃO HAND.	78
FIGURA 36 – EXEMPLO DE RESULTADO NO MÉTODO AHP POR COTA DE INUNDAÇÃO.	82
FIGURA 37 – MAPA DE INUNDAÇÃO DO MODELO AHP.	84
FIGURA 38 – COMPARAÇÃO NAS DIFERENÇAS OBTIDAS ENTRE A CLASSIFICAÇÃO DO SWI.	86
FIGURA 39 – COMPARAÇÃO DOS IMPACTOS DADOS AOS PESOS NOS DADOS DE ENTRADA DO AHP.	86
FIGURA 40 – EXEMPLO DA COBERTURA DA MANCHA DE INUNDAÇÃO ENTRE AMBAS METODOLOGIAS PARA UM RECORTE DO MUNICÍPIO DE ILHOTA.	88
FIGURA 41 – COMPARAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO ENTRE MODELOS SOBRE RECORTE DO MUNICÍPIO DE POMERODE.	89
FIGURA 42 – BARRAGEM DO MUNICÍPIO DE TAIÓ.	90
FIGURA 43 – BARRAGEM DE ITUPORANGA.	90
FIGURA 44 – COMPARAÇÃO ENTRE MANCHAS DE INUNDAÇÃO.	92
FIGURA 45 – MAPA DE COMPARAÇÃO ENTRE AS MANCHAS DE INUNDAÇÃO.	93
FIGURA 46 – EXECUÇÃO DA DIFERENÇA ENTRE CLASSES DE SUSCETIBILIDADE.	94
FIGURA 47 – MAPA DE SUSCETIBILIDADE DE BRUSQUE. UNIÃO ENTRE METODOLOGIAS.	96
FIGURA 48 – MAPA FINAL DA UNIÃO ENTRE METODOLOGIAS.	98

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2 - RELAÇÕES ENTRE VALORES DE IMPORTÂNCIA	40
QUADRO 2 – MATRIZ RECÍPROCA	41
QUADRO 3 – REGIÕES HIDROGRÁFICAS DE SANTA CATARINA	47
QUADRO 4 – PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DO MAPA FINAL	92

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1- ÍNDICES ALEATÓRIOS (RI).	44
TABELA 2 - RECLASSIFICAÇÃO DA DECLIVIDADE.	52
TABELA 3 - PESOS PARA O SWI.	56
TABELA 4 - PESOS PARA USO DA TERRA	57
TABELA 5 - PESOS PARA A DECLIVIDADE.	60
TABELA 6 - PESOS DAS VARIÁVEIS PARA O MÉTODO AHP.	61
TABELA 7 - TESTE DE SUSCETIBILIDADE POR COTA DE INUNDAÇÃO DA MANCHA.	69
TABELA 8 - TESTE DE SUSCETIBILIDADE POR COTA DA MANCHA DE INUNDAÇÃO EXCLUINDO ITUPORANGA, RIO DO CAMPO E TAIÓ.	70
TABELA 9 - TESTE DE SUSCETIBILIDADE INDIVIDUAL PARA CADA MUNICÍPIO POR COTA DA MANCHA DE INUNDAÇÃO.	70
TABELA 10 - CLASSIFICAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO.	74
TABELA 11 - CLASSIFICAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO.	76
TABELA 12 - VALIDAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO.	76
TABELA 13 - TABELA DE VALORES DO MODELO AHP PARA O VALE DO ITAJAÍ.	79
TABELA 14 - TESTE DE SUSCETIBILIDADE POR COTA DA MANCHA DE INUNDAÇÃO.	80
TABELA 15 - TESTE DE SUSCETIBILIDADE INDIVIDUAL POR MUNICÍPIO POR COTA DE MANCHA DE INUNDAÇÃO.	81
TABELA 16 - CLASSIFICAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO PELO MÉTODO AHP.	83
TABELA 17 - VALIDAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO PELO MÉTODO AHP.	83
TABELA 18 - DIFERENÇA DE QUANTIDADE DE PONTOS DE ALTA SUSCETIBILIDADE ENTRE HAND E AHP.	87
TABELA 19 - COMPARAÇÃO DE ÁREAS ABRANGIDAS PELA MANCHA DE INUNDAÇÃO POR CLASSE NA BACIA HIDROGRÁFICA.	88
TABELA 20 - COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS E UNIÃO.	96
TABELA 21 - QUANTIDADE DE PONTOS POR CLASSIFICAÇÃO NO MAPA FINAL.	97

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

ANA - Agência Nacional de Águas

HAND – *Height Above Nearest Drainage*

HEC-RAS - *Hydrologic. Engineers Corps – River Analysis System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

SDS – Secretaria do Estado do Desenvolvimento Social

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SWI – *Saga Wetness Index*

TWI – *Topographic Wetness Index*

UNISDR - *The United Nations Office for Disaster Risk Reduction*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	JUSTIFICATIVA	18
2	OBJETIVO	21
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1	OS EVENTOS NATURAIS E SUA RELAÇÃO COM A SOCIEDADE	22
3.1.1	Relação entre urbanização e vulnerabilidade	22
3.1.2	Os Desastres naturais	25
3.1.3	Inundação	26
3.2	A GESTÃO DIANTE O RISCO E O GERENCIAMENTO DE DESASTRES.....	28
3.2.1	O Risco	30
3.2.2	A Gestão de Riscos no Brasil	30
3.2.3	A Cartografia no Auxílio à Gestão de Risco e Gerenciamento de Desastre	34
3.3	AS METODOLOGIAS EMPREGADAS NO MAPEAMENTO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO	35
3.3.1	Modelo HAND.....	35
3.3.2	Modelo AHP e a Álgebra de Mapas.....	39
3.3.3	Índice Topográfico de Umidade (TWI) e Índice SAGA de Umidade (SWI).....	44
4	METODOLOGIA	47
4.1	ÁREA DE ESTUDO	47
4.2	MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT).....	50
4.3	MÉTODO AHP	53
4.4	MÉTODO HAND	62
4.5	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS	64
4.6	CALIBRAÇÃO DO MODELO HAND	68
4.7	CALIBRAÇÃO DO MODELO AHP	74
4.8	UNIÃO DE METODOLOGIAS.....	66
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79

5.1	MODELO HAND	79
5.2	MODELO AHP	83
5.3	COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS	86
5.4	UNIÃO DE METODOLOGIAS.....	91
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	100
8	ANEXO 1 - MAPA HAND.....	112
9	ANEXO 2 - MAPA AHP.....	113
10	ANEXO 3 - MAPA FINAL.....	114

1 INTRODUÇÃO

Desastres naturais ocorrem por toda a superfície terrestre. Eles podem ser classificados como biológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e geológicos, segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2012) e são responsáveis por grandes perdas humanas e danos econômicos, materiais e ambientais anualmente.

Diante deste cenário de constantes perdas e danos, buscaram-se ao longo dos anos medidas para aumentar a resiliência da sociedade diante os eventos extremos. O Marco de Hyogo (UNISDR, 2005)., estabelecido entre os anos de 2005 e 2015, determinou algumas ações a serem tomadas neste sentido e o Marco de Sendai 2015-2030, elaborado para dar continuidade ao Marco de Hyogo, também estabelece planos de ação para a gestão de riscos (UNISDR, 2015).

Além destes marcos foram definidos, em 2015, os 17 objetivos estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), a serem alcançados até 2030. Recebem o nome de Objetivos Globais para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015).

Dentre as questões levantadas pelos ODS, tomadas como metas, encontram-se temas que buscam reduzir os impactos gerados pelos desastres naturais. Uma destas metas compõe o objetivo número 11, que trata das cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, onde se pretendeu, até 2020, aumentar a resiliência das cidades e em assentamentos humanos frente aos desastres, implementando o gerenciamento holístico de risco proposto pelo Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030. Para o Brasil esta meta foi estendida até 2030 com a justificativa de se alinhar com o compromisso internacional do país com o Marco de Sendai (IPEA, 2018).

Entre os desastres naturais que mais causam impacto na sociedade e assentamentos humanos encontra-se a inundação. Mais de 35 milhões de

peças foram afetadas pelas inundações ao redor do mundo no ano de 2018, se mantendo como o evento que mais atinge a população mundial (WMO, 2019). Entre os anos de 1998 e 2017, 43% dos desastres naturais no mundo estavam relacionados às inundações e contabiliza-se que aproximadamente 1,3 milhões de pessoas perderam a vida enquanto que 4,4 bilhões ficaram feridas, sem abrigos ou precisando de ajuda emergencial (UN, 2021), desencadeando problemas ambientais, sociais e econômicos às comunidades, fato que motiva as pesquisas para a solução ou redução deste problema. No Brasil, entre os anos de 1991 e 2012 foram registradas cerca de quatro mil inundações severas, ocupando o terceiro lugar entre o fenômeno natural que mais afeta a população brasileira e que mais causa mortes (CEPED UFSC, 2013). A região sul do Brasil, possui aproximadamente 2.600 trechos de rios inundáveis, onde 43% correspondem à alta vulnerabilidade de inundação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014). O Vale do Itajaí, localizado no estado de Santa Catarina foi cenário de grandes desastres naturais causados pelas inundações nos anos de 1983, 1984, 2008 e 2011, por exemplo (GUIMARÃES, 2012).

Ressalta-se que tais fenômenos naturais, como inundações e movimentos gravitacionais de massa, somente se caracterizam desastres naturais quando ocorrem de forma extrema sobre determinado sistema social, onde há a interação entre o perigo natural e a exposição, havendo perdas no âmbito humano, social, material e econômico. Esta exposição está diretamente ligada com a vulnerabilidade do local, quando um conjunto de fatores ou processos físicos, sociais, econômicos ou ambientais aumentam a susceptibilidade aos impactos frente aos desastres (UNISDR, 2017).

Diante desta problemática, ainda segundo UNISDR (2017), surgiram diversas pesquisas e ações estruturais, voltadas às questões físicas e de engenharia, e não estruturais, onde se trabalha com o planejamento e políticas públicas. Neste âmbito a cartografia entra como medida não estrutural auxiliando a gestão pública e territorial diante o risco de desastres. Trabalhos de característica não estrutural foram desenvolvidos em diferentes locais do território brasileiro em uma tentativa de prever a dinâmica deste fenômeno, auxiliando na tomada de decisão para redução ou solução do problema. Em

uma breve pesquisa destes trabalhos acadêmicos, é possível identificar metodologias distintas, porém aplicadas na busca de soluções semelhantes: mapear áreas suscetíveis à inundação. Neste âmbito podemos citar Correia, Ribeiro e Baptista (2015) que utilizaram o modelo HEC-RAS na identificação de áreas de risco de inundação sobre municípios do Rio de Janeiro; Valenti, Rolim e Rocha (2012) que trabalharam com séries históricas para simulações de inundação em Porto Alegre; e Milanesi, Quadros e Lahm (2017) que também realizaram o estudo de áreas suscetíveis sobre Porto Alegre, mas utilizando da metodologia de *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

A espacialização das áreas suscetíveis a eventos extremos, como as inundações, e sua probabilidade de ocorrência juntamente com o mapeamento das áreas vulneráveis sobre a mesma região a ser afetada, permite o desenvolvimento de mapas de risco. Este mapeamento de áreas propensas aos eventos é mencionado no inciso I no artigo 22 da lei nº 12.608 (BRASIL, 2012), onde os municípios cadastrados com áreas suscetíveis à ocorrência de desastres devem realizar o mapeamento das áreas em que há a suscetibilidade para ocorrências de inundações, movimentos de massa e processos geológicos e hidrológicos correlatos. Através deste mapeamento podem ser executados planos de contingência e cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, auxiliando no processo de resiliência.

Dando enfoque ao processo de inundação, a determinação de áreas suscetíveis é um meio no qual se identifica quais áreas poderão ser atingidas com a elevação do nível do rio e quais estarão isentas ao evento. Junto das informações de vulnerabilidade o mapa de inundação torna-se uma ferramenta de gestão dos riscos, uma vez que a união entre ambos os mapeamentos permite identificar e priorizar os locais de maior risco.

Este trabalho buscou comparar métodos de mapeamento de áreas de suscetibilidade à inundação, na Região Hidrográfica do Vale do Itajaí – Santa Catarina. Foram abordadas duas metodologias diferentes acerca do mapeamento de inundações, sendo o *Height Above Nearest Drainage* (HAND) e o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Através do resultado obtido identificou-se similaridades e discrepâncias entre ambos.

1.1 JUSTIFICATIVA

As inundações são fenômenos naturais que podem ser intensificados por fatores como a impermeabilização do solo, retirada da vegetação no entorno dos rios, e a própria canalização destes, atingindo geralmente o contingente populacional mais vulnerável de um município. O aumento da urbanização trouxe grandes impactos no ciclo hidrológico uma vez que reduziu o volume de infiltração, devido à impermeabilização do solo e, conseqüentemente, aumenta o volume de escoamento superficial. Desta forma o lençol freático deixa de ser alimentado. Além destes fatores, com a diminuição da cobertura vegetal, também há a redução da evapotranspiração (TUCCI, 1999). Ainda, de acordo com Fletcher et. al (2013) o processo de urbanização sobre os mananciais ao longo da bacia hidrográfica, além de impermeabilizar o solo, tende a simplificar os cursos d'água, que diminuem o tempo de concentração das águas da chuva e impactam diretamente no sistema de drenagem urbano.

Somente no estado de Santa Catarina, entre os anos de 1991 e 2012, foram realizados 450 registros oficiais de ocorrências de inundação, representando aproximadamente 6% dos registros de inundação do Brasil e 44% da Região Sul, sendo o estado com maior número de registros da Região. Estes registros ocorrem de forma dispersa sobre todo o território catarinense, com grande variação no número de frequências, fato que motiva o estudo que englobe diferentes escalas (CEPED UFSC, 2013).

Santa Catarina apresenta em grande parte de seu território declividades superiores a 30%, o que ocasionou a ocupação para as planícies de inundação. As vazões dos rios se encontram diretamente relacionadas com os índices pluviométricos, assim, em precipitações intensas, a população localizada nos fundos de vale ou na planície de inundação sofrem com o aumento do volume de água que provocam cheias e causam grandes prejuízos materiais, sociais, ambientais e econômicos (ROCHA, 2014).

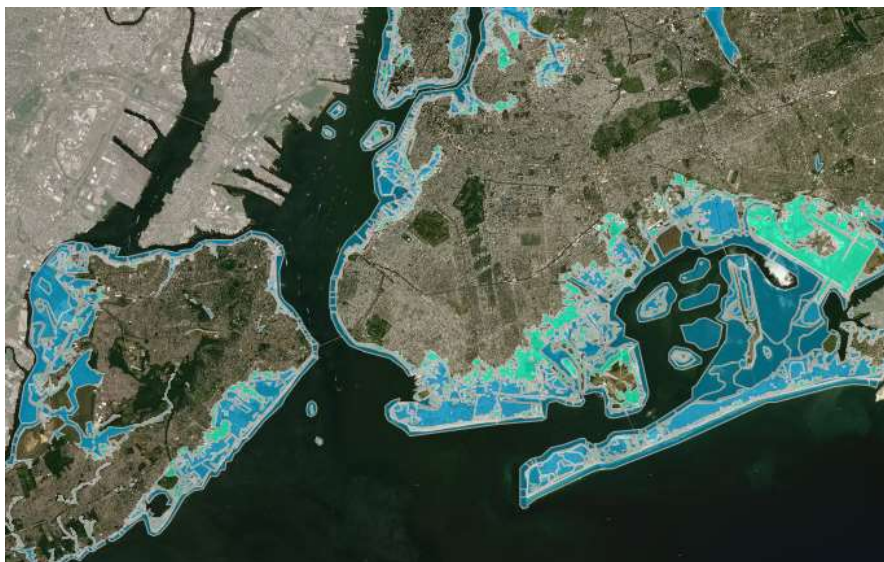
Tucci (1999) em um olhar de menor escala diante o problema da inundação, um dos grandes equívocos quanto à drenagem urbana municipal se encontra na ideia de que “a melhor drenagem é a que retira a água excedente o mais rápido possível de seu local de origem”. De acordo com o autor, faltam

se considerar, nestes casos, a bacia hidrográfica na qual o município em questão está inserido. Em relação aos projetos de drenagem urbana, menciona que “todos os impactos gerados em cada projeto são transferidos de um ponto a outro dentro da bacia através de condutos e canalizações”. Fletcher et. al (2013) também comenta que a gestão urbana de escoamento é multidisciplinar e considera as áreas da engenharia, do meio ambiente, da saúde e da sociedade. Sendo, portanto, um processo complexo e de alto impacto.

Assim, o mapeamento municipal, de menor escala, acerca das inundações torna-se insuficiente na mitigação/prevenção do problema, uma vez que as medidas tomadas pelo município em questão acarretam consequências nos municípios vizinhos. Daí a importância de mapear este fenômeno em maior escala, como a bacia hidrográfica, levando esta questão para a macrodrenagem, como será feito neste trabalho.

Um exemplo prático da aplicação do mapeamento para a identificação das áreas de inundação encontra-se no município de Nova Iorque, Estados Unidos da América (EUA) onde as áreas foram mapeadas (Figura 1) de acordo com o grau de risco que apresentavam.

Figura 1 – Mapa do risco de inundação de Nova Iorque, EUA.



Fonte: NYC Planning, 2021.

Tais áreas contemplam a área litorânea, porém a mesma ideia pode ser aplicada aos rios. Este mapa foi elaborado com o objetivo de facilitar a

tomada de decisão por parte de residentes, proprietários, donos de negócios e arquitetos, engenheiros e políticos, onde as áreas mais escuras representam maior risco e as mais claras são áreas com menor risco (NYC Planning, 2021). O mesmo se aplica para a cidade de Brisbane, na Austrália e para as cidades do Reino Unido, como Bakewell, Inglaterra, as cores utilizadas possuem a mesma representação acima (Figura 2).

Figura 2 – Mapeamento de risco de inundação de Brisbane, Austrália (a) e de Bakewell, Inglaterra (b).

(a)

(b)



Fonte: Flood Information. Brisbane - Gov.au, 2021 & Flood Map for Planning - Gov.Uk, 2021.

2 OBJETIVO

Comparar a eficiência dos métodos HAND e AHP no mapeamento das áreas suscetíveis à inundação em escala regional, sobre uma bacia hidrográfica.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Para que se chegue ao resultado esperado parte-se dos seguintes objetivos específicos:

- Analisar a eficiência do método AHP para mapeamento de suscetibilidade
- Analisar a eficiência do modelo HAND
- Realizar uma análise comparativa entre os dois métodos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 OS EVENTOS NATURAIS E SUA RELAÇÃO COM A SOCIEDADE

A acelerada urbanização ocorrida no século XIX contribuiu para a intensificação de processos que trazem danos e prejuízos para a sociedade.

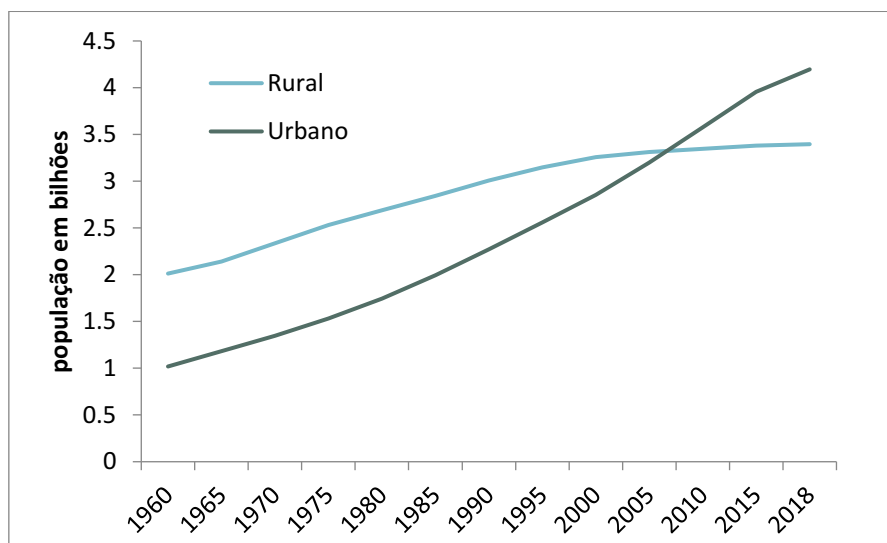
Os desastres naturais são fenômenos que afetam toda a superfície terrestre, nas mais variadas formas. A inundação é um destes eventos que traz, principalmente para o Brasil, impactos negativos sobre a população.

3.1.1 Relação entre urbanização e vulnerabilidade

O ser humano vem ao longo da sua história alterando a paisagem, impactando o meio ambiente de forma considerável. Com a transição da vida nômade ao sedentarismo a ocupação de grupos no meio agrícola ocorreu nas áreas mais produtivas, geralmente próximas aos rios, sendo que ao longo do tempo tais espaços se reduziram com a construção de infraestruturas, cidades e vilas (GOLDEWIJL; BEUSEN; JANSSEN, 2010). Esta realidade, mesmo que tardia quando comparada a outros assentamentos humanos no mundo, também pode ser observada no Brasil durante séculos (SANTOS, 2005).

Os meios de produção, bem como a morfologia das cidades alteraram-se ao longo dos anos, ligadas principalmente às questões econômicas e científicas, auxiliando a mudança do cenário até então rural para o urbano. Os rios que antigamente auxiliavam na agricultura, por exemplo, passaram a ser um problema social para a atualidade. Para Jatobá (2011) este crescimento do meio urbano, fortalecido com a mecanização das cidades, auxilia na intensificação de eventos extremos que geram desastres, uma vez que alteram o ambiente ao seu entorno e ampliam o potencial de dano a ser causado. A Figura 1 mostra este crescimento urbano (impactando conseqüentemente nas construções das cidades) em contraste com população a rural ao longo dos anos no mundo.

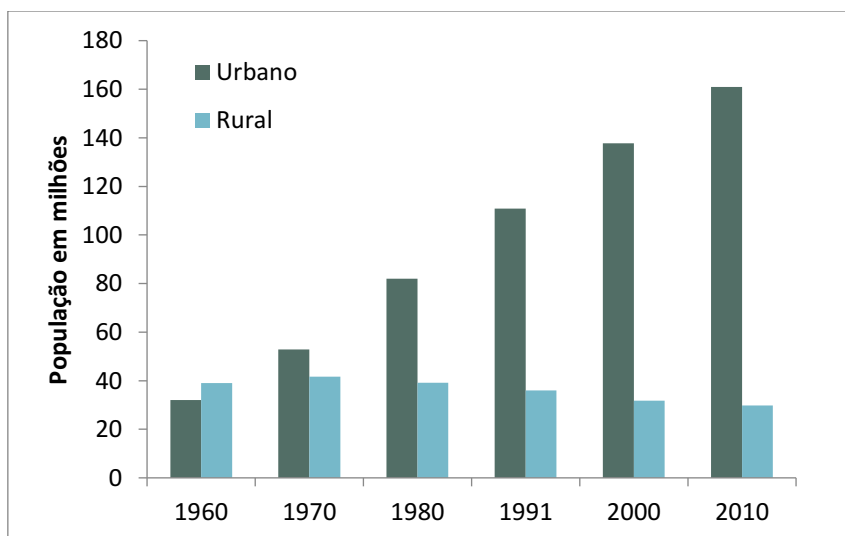
Figura 3 - População urbana e rural no mundo.



Fonte: adaptado de Banco Mundial (2018).

No Brasil, durante a década de 1960 aproximadamente 55% da população vivia no campo (IBGE, 2010). A partir da década de 1970 que esta paisagem passou a sofrer alterações e os movimentos de migração entre campo e cidade tornou-se conhecido como êxodo rural, levado principalmente pelo excedente de mão de obra no meio rural (SILVA e MACÊDO, 2009). Este processo pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Migração campo-cidade no Brasil.



Fonte: adaptado de IBGE (2019).

O rápido crescimento da população no meio urbano não acompanhou a implantação de infraestrutura básica nas cidades brasileiras, cujo planejamento é influenciado por questões imobiliárias, acarretando vários problemas causados pela desorganização e a falta ou não execução de políticas públicas (CABRAL e CÂNDIDO, 2019). O processo de industrialização que culminou a este movimento, iniciado nas décadas de 1940-1950, não se trata apenas da inclusão de indústrias e mecanização das cidades no país, mas de todo um processo social e surgimento de um mercado nacional, em que a urbanização resulta de um crescimento demográfico, principalmente nos municípios de médio e grande porte da época (SANTOS, 2005). Apesar do cenário criado com o intenso crescimento das cidades, a urbanização auxilia na redução da pressão sobre ecossistemas, diminuindo o espaço requerido para ocupação de um mesmo número de pessoas (JATOBÁ, 2011). Ainda segundo o autor, as cidades encontram-se diretamente ligadas com a economia regional, sendo o local onde se encontram as oportunidades de emprego, melhor serviço de educação, saúde e moradia, o que não significa que não existam serviços precários neste meio.

Por outro lado, quando há o crescimento urbano sem planejamento, acentua-se a exposição de famílias com alta vulnerabilidade social frente aos desastres. A precária urbanização ocorre em áreas mais frágeis, como encostas, florestas e mananciais, e não acompanham o ritmo dos processos físicos locais, fato que automaticamente implica na suscetibilidade e vulnerabilidade local (NUNES, 2015). Donner e Rodríguez (2008) mencionam que o crescimento da população, bem como sua concentração são fatores de grande importância para o aumento da vulnerabilidade. Além disso, de acordo com Montoya (2003) a urbanização tende a transformar esta população tanto como contribuinte, como vítima dos desastres.

Souza e Sobreira (2014) também afirmam que o crescimento desordenado dos centros urbanos e a alta taxa de urbanização brasileira colaboraram e ainda colaboram para o aumento da vulnerabilidade, afetando diretamente a prevenção de desastres, principalmente de natureza hidrológica e geológica. Assim, Cabral e Cândido (2019) relacionam a urbanização e o

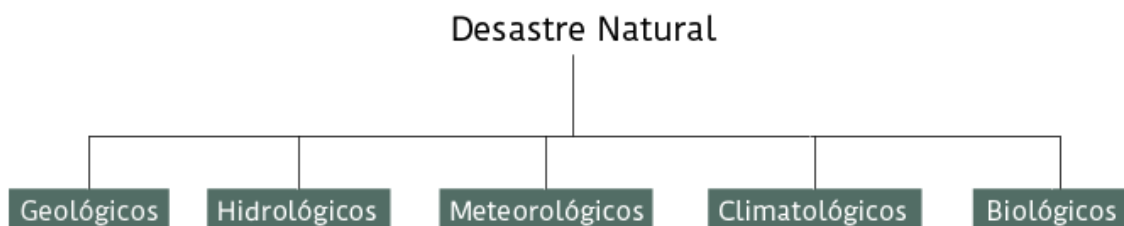
processo de expansão urbana como sendo a causa da vulnerabilidade socioambiental gerada, abrangendo os conceitos de desenvolvimento sustentável e resiliência nas cidades.

3.1.2 Os Desastres Naturais

O termo desastre sofreu alterações em sua definição ao longo dos anos. Em 2009 a UNISDR o definiu como uma séria perturbação de uma comunidade envolvendo perdas e impactos ambientais, materiais, econômicos e humanos, excedendo a capacidade da sociedade afetada para lidar com seus próprios recursos. Em 2017 passou a significar uma séria perturbação no funcionamento de uma comunidade, em qualquer escala, devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade que levem ao menos uns dos seguintes aspectos: perdas e impactos ambientais, humanos, materiais e econômicos (UNISDR; 2009, 2017). Assim, a vulnerabilidade passa a ser considerada em tais situações.

No Brasil o desastre é definido como um evento adverso, cuja origem pode ser ambiental ou tecnológica que ocorre sobre um cenário de vulnerabilidade, impactando as estruturas existentes e causando danos ambientais, humanos, materiais ou econômicos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2017). Segundo a Codificação Brasileira de Desastre - COBRADE os desastres podem ser classificados nas categorias de naturais e tecnológicos e a partir destes surgem grupos, subgrupos, tipos e subtipos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2012). A Figura 5 exibe a classificação dos grupos existentes na categoria de desastre natural.

Figura 5 - Tipologia adotada conforme classificação dos desastres naturais.



Fonte: MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (2012).

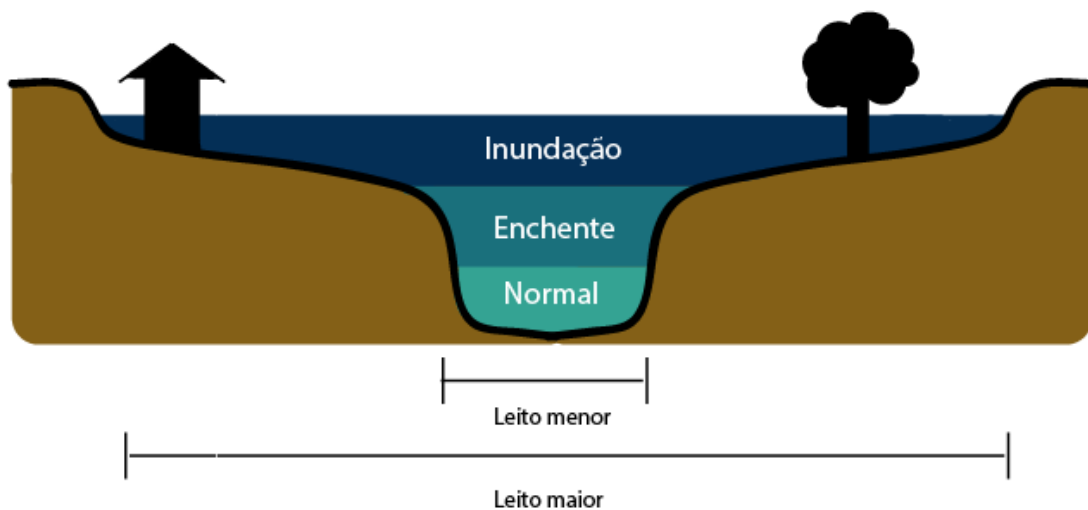
As inundações, tema principal deste trabalho, encontram-se inseridas como um subgrupo dos desastres hidrológicos. Nele ainda se encontram as enxurradas e alagamentos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2012). Além desta divisão acerca dos eventos é possível classificar de acordo com a evolução (súbitos, graduais ou por somação de efeitos parciais) e intensidade, onde são levados em consideração os danos e prejuízos causados. No caso da intensidade é importante mencionar que depende da magnitude do fenômeno e grau de vulnerabilidade da população atingida (SANTA CATARINA, 2009).

3.1.3 Inundação

As inundações são processos naturais dos rios agindo diretamente sobre sua geomorfologia. De acordo com Bosetti (2010) esta geomorfologia fluvial pode ser dividida em três: leito menor, sendo a região por onde a água escoia em sua vazão habitual; leito de vazante, que corresponde ao local ocupado pelo córrego em períodos de seca estiagem e encontra-se incluído no leito menor; e leito maior, sendo o local abrangido pelas grandes cheias do canal fluvial. A Figura 6 exemplifica esta classificação.

Quando o nível do rio se mantém no leito menor e atinge suas bordas denomina-se enchente. Ao transbordar o limite do leito menor, atingindo o leito maior, ou seja, planície de inundação, a situação caracteriza-se como inundação, abrangendo uma área comumente ocupada pela população.

Figura 6 - Leitos de um rio e seus processos correlatos.



Fonte: A autora (2021).

O leito maior pode ser subdividido em outras duas classificações de acordo com o período de cheias. O leito maior periódico ou sazonal é ocupado por cheias pelo período de retorno de 1 ano, enquanto que o leito maior excepcional ocupa-se em cheias com maior frequência, não necessariamente ocorrendo anualmente (CHRISTOFOLETTI, 1981). Righi (2011) define os eventos de inundação como o processo de extravasamento das águas do canal de drenagem, atingindo as áreas adjacentes, onde a enchente ultrapassa uma cota acima no nível máximo do leito menor, transbordando para o leito maior.

O aumento de pessoas vivendo na planície de inundação corresponde a características negativas do processo de urbanização nos municípios brasileiros. A ocorrência de inundação, embora relacionada a fatores ambientais, também é intensificada pelas intervenções urbanas, como a impermeabilização do solo e retificação de cursos d'água (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007), situação que necessita de efetivo planejamento e gestão urbana.

3.2 A GESTÃO DIANTE O RISCO E O GERENCIAMENTO DE DESASTRES

A partir da problemática vista no tópico e sub-tópicos da seção 3.1 deste trabalho, levanta-se a ideia da necessidade de uma gestão do risco e gerenciamento do desastre.

No Brasil algumas medidas são incentivadas, por diversas políticas públicas, na busca da minimização dos impactos negativos destes eventos extremos que ocorrem sobre nosso território. Neste contexto a cartografia torna-se uma importante ferramenta em todas as etapas de gestão e gerenciamento.

Para a devida compreensão destas etapas e a forma como as políticas públicas e ferramentas SIG são empregadas de forma conjunta, é necessário, primeiramente, o entendimento do termo “risco”.

3.2.1 O Risco

O risco pode ser visto como a união dos fatores de vulnerabilidade e perigo. O termo é utilizado em diferentes meios, mas busca representar a mesma situação.

Para Castro (1998) o risco é uma medida de dano ou prejuízo expresso através da probabilidade de ocorrência de um evento, ou pela própria proporção da consequência causada. Westen, Asch e Soeters (2006) representam-no como a somatória das probabilidades de ocorrência num determinado período de tempo, multiplicado pelo somatório das consequências, que considera a vulnerabilidade e o custo advindos de cada elemento do risco, seja humano, material, ambiental ou econômico, sendo expresso por:

$$R = \sum(H \sum(va)) \quad (1)$$

Em que,

H – é o perigo expresso como probabilidade de ocorrência dentro de um período de referência;

v – é a vulnerabilidade física de determinado elemento exposto ao risco;

a – são os danos causados a tais elementos ao risco.

O resultado desta expressão tende a ser um valor único da perda potencial para cada probabilidade de ocorrência, gerando uma curva de risco que relaciona todas as probabilidades (H) com suas respectivas perdas (va). De forma simplificada, o risco pode ser expresso em função da vulnerabilidade e do perigo:

$$risco = f(vulnerabilidade, perigo) \quad (2)$$

Para o EM-DAT (2019) a definição do risco envolve perdas já esperadas de pessoas, feridos, danos materiais e atividades econômicas interrompidas em determinada área, dado um período de referência. A Figura 7 expressa a relação existente entre o perigo e a vulnerabilidade.

Figura 7 - Representação do risco.



Fonte: A autora (2021).

O perigo expressa a ameaça existente e a vulnerabilidade corresponde a todas as condições determinadas por fatores físicos, sociais, ambientais e econômicos ou até mesmo processos que aumentam a susceptibilidade de um indivíduo ou comunidade aos impactos do perigo (UNISDR, 2017). Observa-se, portanto, uma ligação do risco com o termo “desastre”, uma vez que este

ocorre havendo tais condições mencionadas acima juntamente com a ocorrência de um evento, em qualquer escala, que perturbe determinada comunidade.

O entendimento acerca do risco, junto da compreensão dos fatores que proporcionam a vulnerabilidade do local e o conhecimento do perigo ali existente é de grande importância para sua gestão, inclusive para o aumento da resiliência da região. Quando mapeado, o conhecimento deste sobre determinada área torna-se ferramenta auxiliadora para os gestores públicos.

3.2.2 A Gestão de Riscos no Brasil

Várias medidas são adotadas no país para redução de desastres. Isto é realizado por meio das políticas públicas e suas intersectorialidades voltadas para a gestão dos riscos. As políticas públicas:

"são diretrizes, princípios norteadores de ação do poder público; regras e procedimentos para as relações entre poder público e sociedade, mediações entre atores da sociedade e do Estado" (TEIXEIRA, 2002, p. 2).

São, portanto, respostas às demandas e necessidades da população com acompanhamento e avaliação sistemática.

A legislação encontra-se como parte integrante nas políticas públicas, uma vez que as conduzem, de forma a legitimar, controlar e fiscalizar as atividades governamentais e seus canais de comunicação entre poder público e a sociedade (TORRENS, 2013). Diante disso, se tratando da gestão de riscos no país, são exibidas na linha histórica (FIGURA 8) algumas das políticas públicas de âmbito nacional que se encontram relacionadas à proteção e defesa civil.

Figura 8 - Linha histórica de políticas públicas.



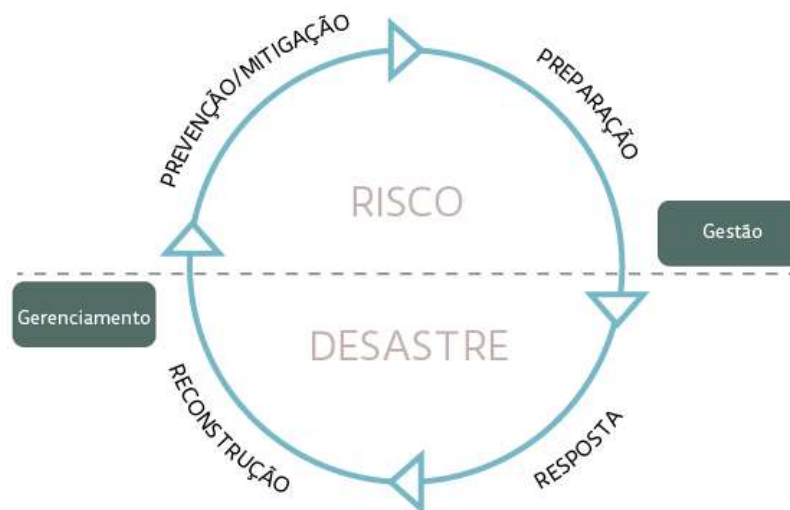
Fonte: A autora (2021).

O Estatuto das Cidades no inciso VI de seu artigo 2º, menciona um dos objetivos da política urbana, no qual tem como diretriz a ordenação e controle do uso do solo de forma a evitar a exposição da sociedade aos riscos de desastres (BRASIL, 2001). As demais políticas, embora não tratem diretamente acerca dos desastres, estão indiretamente relacionadas através de medidas que visam auxiliar o uso coerente e sustentável da terra e meio ambiente, incluindo os recursos hídricos e o meio urbano.

Em 10 de abril de 2012 foi promulgada a lei 12.608 que estabelece a Política Pública Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC). Nela são especificadas as fases da gestão de risco, divididas em prevenção, mitigação, preparação, resposta e reconstrução, dentre outras medidas a serem tomadas pela União, Estados, Distrito Federal e Municípios (BRASIL, 2012).

Tanto a gestão de risco como seu gerenciamento compõe o Ciclo de Gestão em Proteção e Defesa Civil (FIGURA 9) que abordam as etapas adotadas pelo PNPDEC.

Figura 9 - Ciclo de Gestão em Proteção e Defesa Civil.



Fonte: A autora (2021).

Neste ciclo são abordadas duas principais etapas, separadas entre a sua gestão, antes da ocorrência do evento, e o próprio gerenciamento, quando o evento ocorre e são tomadas medidas de resposta e reconstrução acerca dos danos causados. Ressalta-se que nas fases da gestão podem ser aplicadas medidas estruturais e não estruturais. Para isso é necessário avaliar o risco presente, buscando-se priorizar as ações a serem feitas.

De acordo com CEPED UFSC (2014) as etapas de prevenção, mitigação e preparação são priorizadas em todos os níveis federativos, uma vez que permitem evitar que o desastre ocorra, minimizam o impacto e aumentam a resiliência da sociedade diante de eventos extremos, pois tem o objetivo de prever e controlar fatores de risco. Ainda segundo o autor o gerenciamento de desastres prioriza tanto a capacidade individual, como coletiva de resposta e foca em ações para tal, além da reconstrução. A execução destas ações varia de acordo com as medidas estruturais ou não estruturais do processo de gestão e sua correta aplicação evita que novos riscos surjam à população que já se encontra exposta.

Os planos que se encontram inseridos na gestão do risco tendem: a eliminar ou reduzi-lo através de ações sobre o próprio processo ou consequências do mesmo; evitar que surjam novas áreas de risco, por meio do controle do uso da terra; e convivendo com este risco, com os planos

preventivos da Defesa Civil (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007). Tais planos podem ser realizados simultaneamente.

O Brasil busca se alinhar com as diretrizes afirmadas no acordo de Sendai (2015 a 2030) para redução de desastres. Assim, a aplicação das políticas públicas relacionadas à proteção e defesa civil também são direcionadas para tal, incluindo as ações propostas para o alcance dos 17 objetivos da ODS, estabelecidos pela ONU em 2015 (IPEA, 2018). A gestão de risco é um dos princípios norteadores do Marco de Sendai, destinado a proteger a população e seus bens, além da saúde, meios de produção, patrimônio cultural e meio ambiente, garantindo o desenvolvimento (UNISDR, 2015). Cita-se também o Programa 2040 desenvolvido pelo Ministério das Cidades e com o objetivo de apoiar a redução do risco de desastres por meio de intervenções não estruturais e estruturais, contemplando o Plano Plurianual 2016-2019 do Governo Federal (PPA CIDADÃO, 2017).

A gestão eficiente frente aos desastres depende da intersetorialidade e correta aplicação das políticas públicas envolvidas, seja no setor executivo ou legislativo, e exige a cooperação e engajamento da sociedade, sem qualquer forma de discriminação. Para isso é necessário que o risco seja compreendido em uma avaliação de pré-desastre (UNISDR, 2015). Neste contexto a cartografia tende a contribuir com o levantamento e espacialização dos dados, podendo ser citadas as ações do *Humanitarian OpenStreetMap Team* (HOT, <https://www.hotosm.org>) uma plataforma de mapeamento aberto que busca revolucionar a gestão de desastres, reduzir riscos e contribuir com o desenvolvimento sustentável, e o *Citizen Hydrology* (CITHYD, <http://www.cithyd.com>) que através de informações adquiridas pela própria população, mapeia o nível dos rios na Itália.

3.2.3 A Cartografia no Auxílio à Gestão de Risco e Gerenciamento de Desastre

A cartografia tem como objetivo representar uma informação de forma espacializada, o primeiro mapa encontrado data-se no ano 2500 a.C. na cidade de Ga-Sur, na antiga região da Mesopotâmia. Quando é utilizada para a gestão de uma região ela facilita a visualização de dados, bem como o devido

planejamento e gerenciamento do local em todas as etapas da gestão de risco. Para Momo et. al (2016) o mapeamento torna-se imprescindível para a definição de medidas não estruturais, como o planejamento urbano, sendo subsídio para as futuras medidas estruturais.

As ferramentas voltadas para o Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizadas pela cartografia permitem auxiliar a tomada de decisão, desenvolvimento a gestão de determinado território, através de conjunto de técnicas, dados, estruturas e métodos. Além disso, possibilita distinguir as áreas de risco e estabelecer estratégias para o seu gerenciamento (MGHIRBI et. al, 2018), aumentando a eficiência e velocidade da gestão, manipulação e análises dos dados, sendo eficiente nas quatro fases da gestão de risco e gerenciamento de desastres (MONTROYA, 2003).

Schanze, Zeman e Marsalek (2004) comentam que a gestão do risco parte de três diferentes etapas: a) análise do risco, que fornece a informação do passado, presente e futuro; b) avaliação do risco, que trata da sua percepção; c) redução do risco, voltada para todas as potenciais intervenções para minimizarem este risco. Ainda segundo os autores, para os eventos de inundação, é durante a análise de risco que são elaborados mapas que informam a respeito da probabilidade de ocorrência, velocidade de fluxo, nível da água, entre outras informações que tendem a representar de forma estática e bidimensional o processo.

As etapas de mitigação e preparação utilizam da cartografia para identificar os diversos cenários de risco, permitindo classificar as áreas com baixo, médio e alto probabilidade de ocorrência, bem como descrever as potenciais consequências de uma inundação (HAGEMEIER-KLOSE; WAGNER, 2009). De acordo com Mahmoud e Gan (2018) a identificação das áreas suscetíveis á inundação é de grande importância para que a resposta diante o evento possa ser feita de forma rápida e eficiente.

Ainda, a localização de vítimas, serviços de emergência e centros de evacuação são cruciais no momento do desastre. Este tipo de informação pode ser disponibilizado através de web mapa e redes de internet configuradas para esse tipo de evento, como demonstrado no trabalho de Kayamura et. al (2014) e plataformas como a Ushahidi, que permite o mapeamento colaborativo após os eventos e HOT, como mencionada no tópico anterior.

Assim, a cartografia está presente em todos os momentos da gestão de risco e gerenciamento de desastres, auxiliando de diferentes formas na tomada de decisão, percepção do risco, eficiência e eficácia de resposta.

3.3 AS METODOLOGIAS EMPREGADAS NO MAPEAMENTO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO

Diante o incremento da cartografia na gestão de risco, surgem metodologias que permitem espacializar áreas de suscetibilidade e vulnerabilidade diante os desastres naturais, sejam eles geológicos, meteorológicos, climatológicos, biológicos, ou hidrológicos, sendo este último o foco deste trabalho.

O mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, que se encaixa dentro da gestão de risco dos desastres de característica hidrológica, pode ser executado com dados históricos, modelos digitais do terreno, dados de precipitação e vazão, entre outros. A utilização de cada variável (dado) varia de acordo com o modelo a ser aplicado. A escolha da metodologia deve considerar a área a ser trabalhada e o nível de detalhamento a ser utilizado, bem como a existência ou não de dados sobre o local, como por exemplo, informações históricas de eventos anteriores.

Alguns modelos como o HAND, AHP e SWI utilizam de poucos dados de entrada para a geração dos mapas de inundação, fato que tende a aumentar a eficiência deste tipo de mapeamento sobre uma determinada superfície.

3.3.1 Modelo HAND

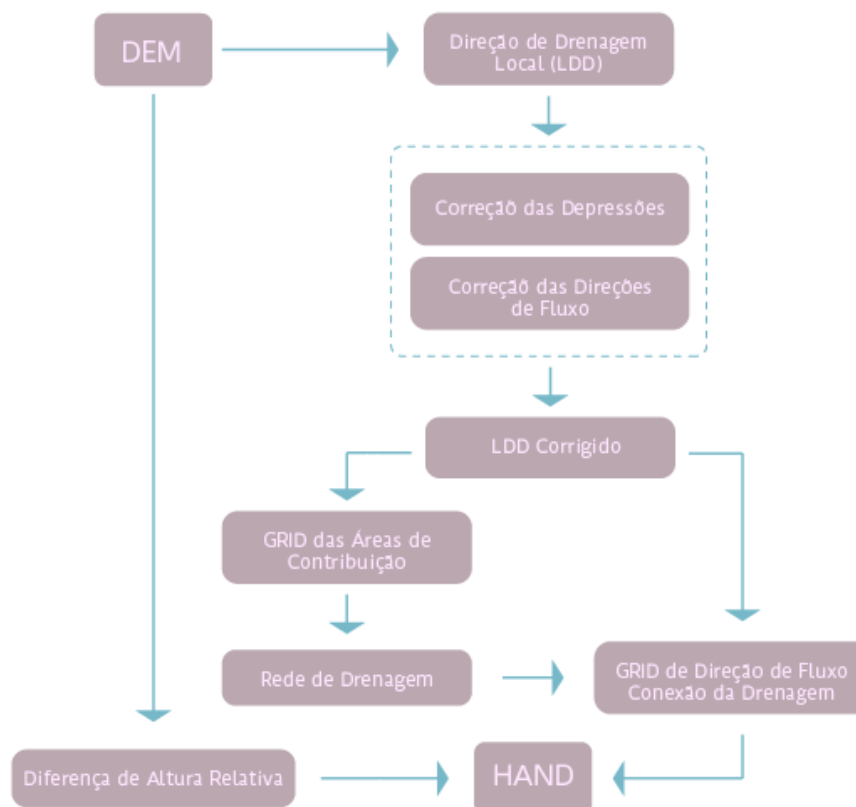
O modelo HAND foi proposto por Rennó et. al (2008) o qual, através da geomorfologia do terreno, identifica os locais de maior saturação do solo, permitindo a identificação de áreas propensas à inundação. Esta geomorfologia, voltada para a forma e altimetria do relevo é obtida através de modelos digitais do terreno (MDT), em que uma análise quantitativa destes

modelos permite uma relevante descrição numérica de parâmetros hidrológicos (NOBRE et. al, 2011).

Segundo ambos os autores, o HAND possui como parâmetros de entrada: MDT corrigido das áreas com depressões, conhecidos como sumidouros, uma vez que há a possibilidade da presença de descontinuidade no MDT original e a água por ele escoada é direcionada a este ponto,; a direção de fluxo para cada célula do grid MDT; e uma rede de drenagem. A lógica do modelo parte-se da ideia de que áreas de relevo côncavo ou de fundo de vale tendem a possuir maior teor de umidade no solo, enquanto que áreas mais elevadas tendem a ser mais secas.

O algoritmo HAND considera a diferença relativa de altitude entre pontos, baseando-se no potencial gravitacional a partir da distância vertical de cada célula do grid no MDT. Este potencial gravitacional correlaciona-se diretamente com o potencial do gradiente de energia, tornando-o principal condutor físico das águas sobre o terreno. A avaliação deste potencial, juntamente com o caminho de fluxo de drenagem, obtido por meio da direção de fluxo, áreas de contribuição e rede de drenagem, geram o modelo HAND (RENOÓ et. al, 2008; NOBRE et. al 2011). As etapas do algoritmo são apresentadas abaixo (FIGURA 10).

Figura 10 - Etapas do algoritmo para obtenção do HAND.



Fonte: Adaptado de Rennó et. al (2008).

As etapas de obtenção da direção de fluxo, áreas de contribuição e redes de drenagem ocorrem de forma separada, em que a geração de uma depende da existência da outra. Todavia, no desenvolvimento do HAND são utilizadas em conjunto.

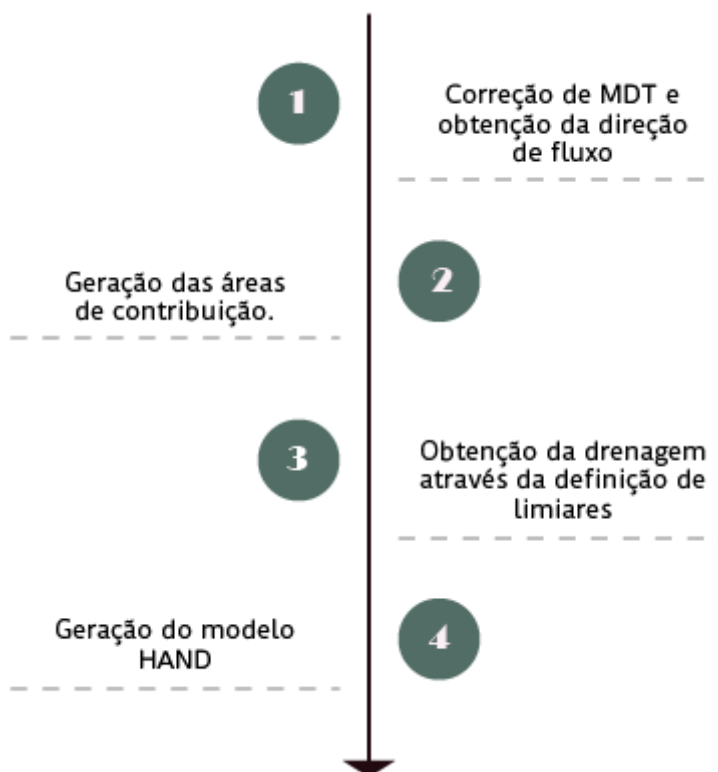
O resultado final deste processo é a geração de um novo MDT com as alturas normalizadas em relação à rede de drenagem. Sua correta representação é feita calibrando-se os parâmetros do novo grid com dados fluviométricos ou de eventos passados. Os valores das alturas são classificados de acordo com dados de campo ou conhecimento prévio do local (NOBRE et. al, 2011), podendo ser separados entre locais de maior e menor propensão a inundar.

Entre trabalhos brasileiros que adotaram o modelo HAND podemos citar o de Momo et. al (2016) na identificação das áreas suscetíveis à

inundação dos municípios de Blumenau e Brusque, no estado de Santa Catarina, através de MDT com alta resolução espacial; Goerl, Michel e Kobiyama (2017) que também analisaram as resoluções espaciais sobre o modelo para o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação no município de Igrejinha - Rio Grande do Sul; e Mengue et. al (2016) que utilizaram do modelo para o mesmo mapeamento, porém sobre o Rio Uruguai.

No exterior este mesmo modelo foi utilizado para a determinação de áreas de risco de inundação para o estado de Ekiti, localizado na Nigéria, onde segundo o autor a mudança no uso do solo vem causando problemas não somente através dos eventos de inundações, como também com processos de erosões (OLORUNFEMI et al., 2020). A Figura 11 esquematiza as etapas do modelo para obtenção do produto final.

Figura 11 - Fluxo de etapas para o modelo HAND.

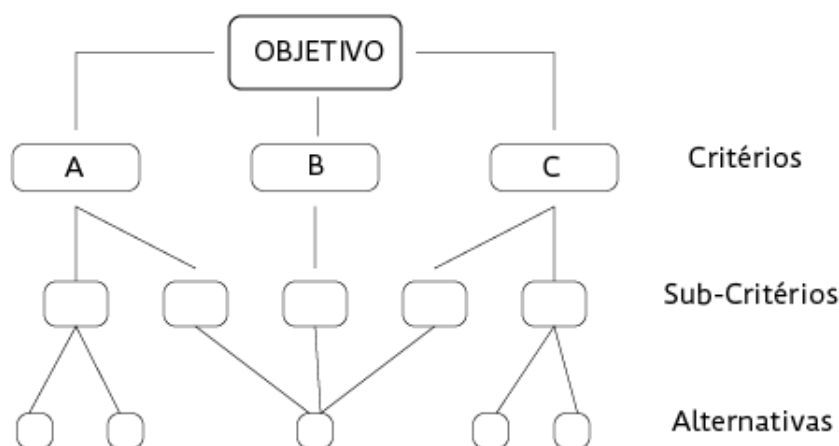


Fonte: A autora (2021).

3.3.2 Método AHP e a álgebra de mapas

O método AHP foi desenvolvido por Thomas L. Saaty durante a década de 1970 na busca de auxiliar o processo de tomada de decisão. Para que isto possa ser feito é preciso definir os fatores que são considerados importantes para tal. De acordo com Saaty, durante o processo de definição dos critérios a serem utilizados é necessário: considerar detalhes relevantes, que representam o problema de forma mais completa possível, porém não tão completa ao ponto de perder a sensibilidade de mudança dos elementos; considerar o ambiente em torno do problema; identificar os atributos que contribuem para a solução; e identificar os participantes associados ao problema (SAATY, 1977; 1990). Através da definição de tais critérios torna-se possível ter uma visão geral das complexas relações inerentes à situação, bem como facilita na avaliação destes critérios em diferentes níveis, de forma a identificar a magnitude de importância e impacto de um determinado critério em relação aos demais. Os atributos são separados em objetivo, critérios, subcritérios e alternativas (FIGURA 12).

Figura 12 - Divisão Hierárquica do método.

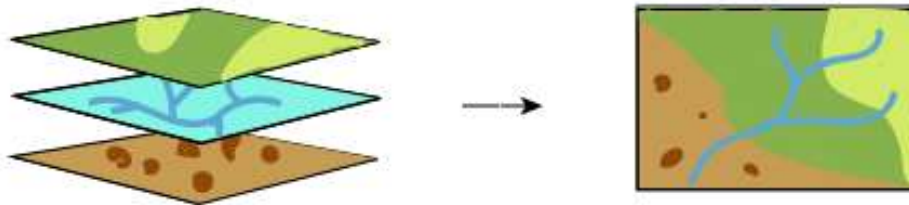


Fonte: A autora (2021).

Assim, para sua aplicabilidade é necessário se ter os dados cujos fatores influenciem o fenômeno em análise a partir dos objetivos previamente

determinados. Neste contexto a álgebra de mapas se insere como ferramenta que utilizará dos resultados obtidos pelo método AHP para se gerar um produto final. A Figura 13 representa como a álgebra ocorre através de diferentes planos de informações geográficas.

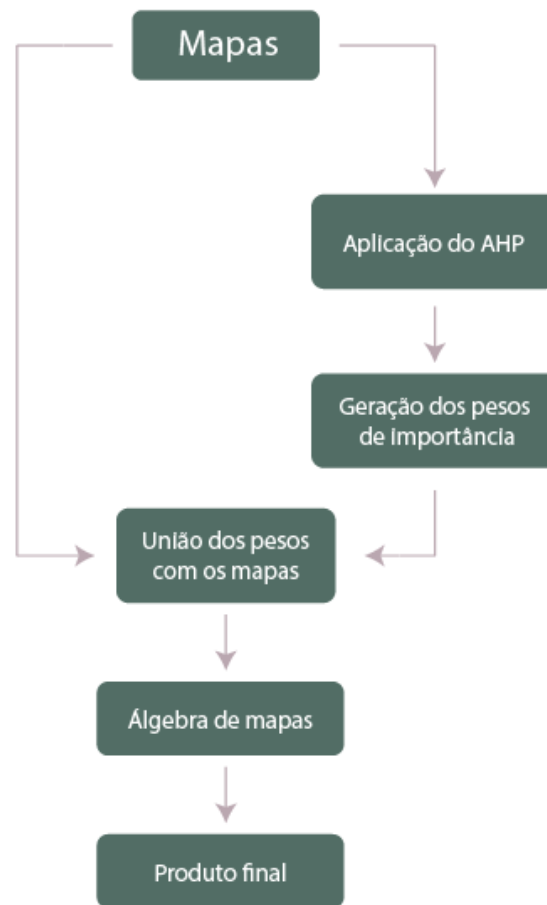
Figura 13 - Álgebra de mapas.



Fonte: A autora (2021).

Os mapas podem conter informações que influenciam o fenômeno em análise, e isto depende de cada problema a ser resolvido. No caso das inundações, entre as informações que podem ser consideradas no processo são: geomorfologia do terreno (forma e altimetria do relevo), hidrografia, declividade e uso do solo. Estes dados se expressam em maior ou menor grau de relevância na situação como um todo, como será definido pelo método AHP. Neste exemplo, estes mesmos mapas receberão os valores de importância gerados para que só então sejam usados na álgebra. A Figura 14 representa todas as etapas deste processo.

Figura 14 - Representação dos processos do método AHP aplicados na álgebra de mapas.



Fonte: A autora (2021).

O modelo AHP pode ser aplicado para diversas situações diferentes em que haja a necessidade de tomada de decisão. Os fatores que compõem a situação são julgados de acordo com uma escala de uso, sendo comparados de igual ao extremo (igual, moderadamente mais, fortemente mais, muito mais fortemente, extremamente forte), diretamente relacionados com valores numéricos, que respectivamente são 1, 3, 5, 7 e 9 (QUADRO 1). Assim, quanto mais semelhante for o uso de componentes diferentes, menor será o valor atribuído a elas (SAATY, 1990). Para melhor entendimento do processo, todos os componentes que influenciam na tomada de decisão serão denominados elementos.

A comparação entre elementos permite definir o grau de prioridade dos mesmos.

Quadro 1 - Relação entre valores de importância.

Importância	Definição	Descrição
1	Igual importância	Os elementos contribuem de forma igual.
3	Importância moderada	Um elemento é levemente superior
5	Forte importância	Um elemento é fortemente favorecido em relação a outro.
7	Importância muito forte	Um elemento tem dominância reconhecida sobre o outro.
9	Extrema importância	Um elemento tem dominância comprovada sobre outro.
2,4,6,8	Intermediários	Valores de dúvida.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

As relações de importância são inseridas dentro de uma matriz recíproca (QUADRO 2) onde é realizada a análise pareada de cada elemento. Os valores de importância são inseridos no local de a_{ij} e assim respectivamente até que a tabela esteja completa. A diagonal principal sempre será um, uma vez que se analisa o elemento por ele mesmo.

Quadro 2 - Matriz recíproca.

	A_i	A_j	A_k
A_i	1	a_{ij}	a_{ik}
A_j	$1/a_{ij}$	1	a_{jk}
A_k	$1/a_{ik}$	$1/a_{jk}$	1

Fonte: A autora (2021).

Os julgamentos são qualitativos e variam para cada pesquisador em razão do problema em questão e mesmo entre especialistas pode haver incertezas. Visto isso, é necessário verificar a consistência desses julgamentos através de autovalor e autovetores (SAATY, 1977; 1990), como exhibe a expressão abaixo (Eq. 3).

$$\text{índice de consistência (CI)} = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \quad (3)$$

onde λ_{max} representa o autovalor e n corresponde ao número de elementos trabalhados na matriz.

Para a determinação de λ_{max} seguem-se os seguintes passos:

- 1) Cálculo do autovetor através da média geométrica de cada linha da matriz recíproca A.
- 2) Normalização do autovetor somando-se os valores obtidos em cada linha do passo 1 e dividindo-os por esta soma.
- 3) Soma-se cada coluna da matriz recíproca A e multiplica-se pelo autovetor normalizado (passo 2). O resultado obtido por esta soma representa λ_{max} .

O índice de consistência é comparado com o índice de outra matriz recíproca B de mesma ordem através da equação da razão de consistência (CR), como mostra a expressão abaixo. Os valores de entrada na matriz B são aleatórios (SAATY, 1990).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Nesta equação RI representa um índice aleatório, tabelado de acordo com a ordem da matriz A de referência (TABELA 1).

Tabela 1- Índices aleatórios (RI).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte: Adaptado de Saaty (1991) apud Alves e Ribeiro (2016).

Ainda de acordo com Saaty (1990) para valores de CR igual ou abaixo de 10% considera-se a matriz consistente. Caso contrário, busca-se melhorá-la. Autores como Poseiro et. al (2013) utilizaram desta metodologia para auxiliar a análise de consequências de ocorrências de alagamentos/inundações em regiões portuárias e costeiras. Júnior Pinese e Rodrigues (2012) a utilizaram para determinar a vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade no estado de Minas Gerais enquanto que Cruvinel e Fortes (2015) trabalharam a metodologia no estudo de descentralização de voos internacionais regulares no Brasil, o que mostra a variada usabilidade do AHP.

Entre alguns dados utilizados no processamento e aplicação do método AHP para identificação de áreas suscetíveis à inundação podemos citar a hipsometria, declividade, tipo e uso do solo, que foram consideradas no trabalho de Rezende et. al (2017), por exemplo.

3.3.3 Índice Topográfico de Umidade (TWI) e Índice SAGA de Umidade (SWI)

O TWI foi desenvolvido por Beven e Kirkby em 1979. Segundo os autores o modelo hidrológico combina a topologia das redes de drenagem e as áreas de contribuição variáveis através de parâmetros simples de uma determinada bacia hidrográfica (BEVEN & KIRKBY, 1979). O modelo busca identificar a saturação hídrica do solo utilizando da declividade do terreno, bem como as áreas de contribuição de uma bacia hidrográfica. Assim, quanto maior o valor do índice encontrado, maior será a tendência de saturação hídrica

(HUNG et. al, 2017). Böhner e Selige (2006) apresentaram este índice com algumas modificações da representação do cálculo através da seguinte expressão:

$$TWI = \ln \frac{SAC_m}{\tan \beta} \quad (5)$$

Sendo o SAC_m a área de contribuição específica modificada e a $\tan \beta$ a declividade. Para o cálculo desta área de contribuição utiliza-se da seguinte expressão:

$$SAC_m = SAC_{max} \left(\frac{1}{15} \right)^{\beta \exp 15 \beta} \quad (6)$$

Onde SAC_{max} corresponde à área de contribuição máxima e β se mantém como ângulo de inclinação. O escoamento superficial comumente é parametrizado por tais áreas de contribuição. Na Eq. (6) para cada valor de inclinação determina-se novo valor para a área de contribuição, sendo a constante utilizada para evitar resultados aleatórios em áreas planas ou vales amplos, homogeneizando-se os resultados. Nas áreas montanhosas o resultado do fluxo possui boa representatividade (BÖHNER; SELIGE, 2006).

A aplicação do TWI pode ser voltada para a identificação das áreas propensas à inundação de forma direta, ou seja, sem que haja a necessidade de outro processamento para identificar tais locais, como demonstrado no trabalho de Aksoy et. al (2016), onde esta técnica é utilizada para o mapeamento regional de uma bacia hidrográfica, e de forma indireta, como demonstrado no trabalho de Lotte, Almeida e Valeriano (2015) na análise de suscetibilidade a movimento de massa. Das (2019) também utilizou o TWI indiretamente, em que juntamente com o método AHP mapeia as áreas suscetíveis à inundação na Índia.

Outro índice que utiliza fórmula similar à empregada no TWI e pode ser usado para o mesmo objetivo é o Índice SAGA de Umidade (SWI). De acordo com Boehner et. al (2002) o SWI é mais sensível para áreas onde há pequena distância vertical para o canal, sendo, portando, mais preciso que o TWI. Sua fórmula considera a função tangente do ângulo de inclinação β e SAC_m .

$$SWI = \frac{\tan \beta}{SAC_m} \quad (6)$$

Este índice será usado neste projeto devido à alta variabilidade de declividades presentes sobre todo o estado de Santa Catarina.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina está localizado na região Sul do Brasil (FIGURA 15), fazendo fronteira com os estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Possui uma densidade demográfica de 65,27 hab/km², tendo uma estimativa de população para 2020 superior a 7,1 milhões de habitantes. Sua capital é Florianópolis e o estado conta com um total de 295 municípios e uma área aproximada de 95 mil km² (IBGE, 2010).

Figura 15 - Mapa de Santa Catarina.



Fonte: A autora (2021).

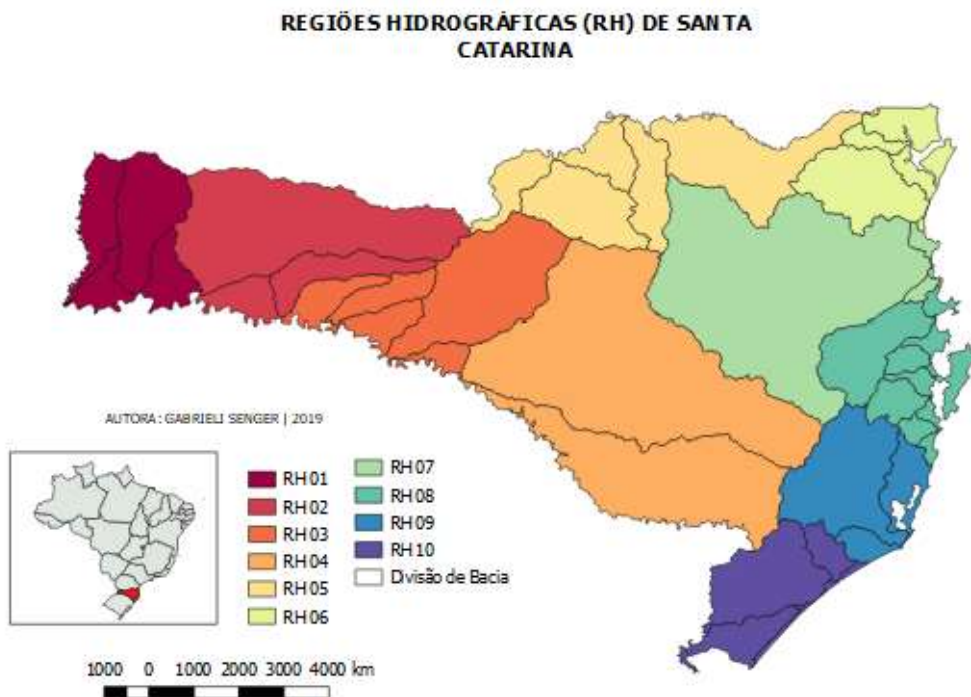
Seu relevo é constituído por planícies, planaltos e serras, correspondendo a 23,83%, 56,22% e 20,45% respectivamente. Para as planícies contam-se altitudes abaixo de 300m, planaltos variam entre 300m e 900m, enquanto que são consideradas serras os relevos com altitude superior

a 900m. Além disto, as altitudes aumentam de sul para norte (CEPED UFSC, 2013). O relevo influencia no comportamento da temperatura e umidade ocorrente no estado. Ainda segundo CEPED UFSC (2013) as adversidades atmosféricas que afetam o estado são propícias à ocorrência de desastres naturais, seja devido a uma instabilidade intensa, que pode gerar inundações bruscas, por exemplo, ou a permanência de determinado sistema atmosférico numa região, causando chuvas contínuas e provocando inundações graduais ou escorregamentos.

Santa Catarina possui diferentes paisagens, criadas pelas diversas formas do relevo, resultado da combinação de agentes que atuam nas rochas e suas estruturas geológicas (ROCHA, 2014). De acordo com Rocha a hipsometria do estado varia de 0m a 1.827m, esta altitude encontra-se no morro da Boa Vista, sobre os municípios de Bom Retiro e Urubici.

O estado pode ser dividido em 48 bacias hidrográficas e possui um total de 10 regiões hidrográficas como mostra o mapa abaixo (FIGURA 16 e Quadro 3).

Figura 16 - Regiões hidrográficas.



Fonte: A autora (2021).

Quadro 3 - Regiões Hidrográficas de Santa Catarina

Região Hidrográfica (RH)	Vertente	Nome
RH 01	Interior	Extremo Oeste
RH 02		Meio Oeste
RH 03		Vale do Rio do Peixe
RH 04		Planalto de Lages
RH 05		Planalto de Canoinhas
RH 06	Atlântica	Baixada Norte
RH 07		Vale do Itajaí
RH 08		Litoral Centro
RH 09		Sul Catarinense
RH 10		Extremo Sul Catarinense

Fonte: Adaptado de Rocha (2014).

Os rios com maiores vazões se encontram nas bacias do rio Chapecó, rio Canoas e rio Itajaí-açú, inseridos respectivamente na RH 02, RH 04 e RH 07 (ROCHA, 2014).

Neste trabalho será estudada a RH 07, que consta com uma população superior a 1,24 milhões de habitantes, região do estado de Santa Catarina mais sujeita à problemas com enchentes e inundações, sendo composta por 49 municípios (ROCHA, 2014). Ainda de acordo com o autor a RH07 pode ser dividida em 3 subregiões: Alto Itajaí-Açu: possui 26 km de extensão, indo de Rio do Sul ao salto dos Pilões; Médio Itajaí-Açu: que corresponde a um trecho de 83 km de extensão indo de salto dos Pilões até o salto de Weissbach; e

Baixo Itajaí-Açu: com um trecho de 80 km saindo do salto de Weissbach e desembocando no oceano Atlântico, entre os municípios de Navegantes e Itajaí.

A região a ser estudada já foi exposta à grandes desastres naturais envolvendo as inundações, como aquelas ocorridas nos anos de 1988, 1989, 2008, 2011 e 2013 e até hoje sofre com este problema. Nela encontram-se as cidades de Blumenau, Brusque e Itajaí, por exemplo, sendo este último um município que possui grande importância econômica devido à presença do porto.

Alguns municípios como Blumenau e Brusque possuem aplicativos para auxiliar a população na ocorrência do evento de inundação, neles consta a cota de inundação por rua, bem como os locais de abrigos para onde a população pode solicitar ajuda. Isto destaca ainda mais a relevância destes eventos sobre a localidade a ser estudada.

4.2 MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)

Este trabalho utilizou de dados advindos de sensoriamento remoto através da modelagem numérica do terreno. Os dados foram obtidos a partir do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*, com resolução espacial de 30m, encontrado a bordo do satélite TERRA (EMBRAPA, 2013). A mesma modelagem do terreno foi utilizada para ambos os métodos propostos por esta pesquisa. Para que fosse aplicável aos processamentos posteriores se fez necessário uma prévia correção de possíveis depressões existentes no modelo, caracterizadas como erro.

A depressão pode ser caracterizada por uma ou um conjunto de células de mesma elevação completamente circundadas por outras células cuja elevação é superior, atuando, portando, como um sumidouro do escoamento superficial (FIGURA 17). Desta forma a água é drenada para este local, ao invés de ser direcionada para o exutório, que é o que naturalmente deve ocorrer (WANG; LIU, 2006). Ainda segundo os autores estas áreas podem ser

uma representação natural da paisagem ou são objetos hipotéticos. Neste último caso, isto ocorre devido a erros no próprio modelo digital do terreno e devem, portanto, ser corrigidos.

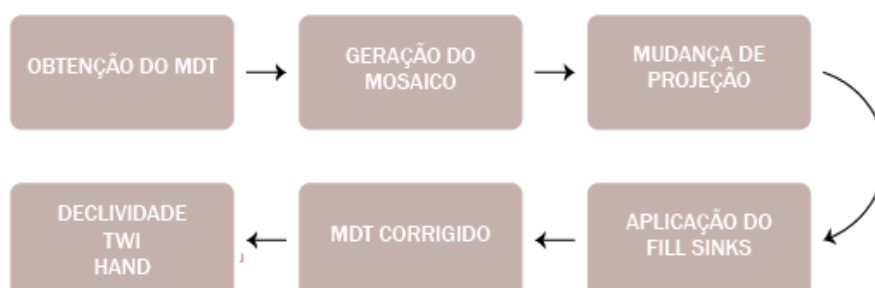
Figura 17 - Representação de uma depressão (*sink*).

45	46	47	46
44	25	48	47
44	46	46	47
43	44	45	46

Fonte: A autora (2021).

A correção do MDE foi aplicada diretamente no software TerraHidro, permitindo com que o modelo se torne consistente (sem depressões) para futuros processamentos sobre o mesmo em ambos as metodologias propostas. A Figura 18 exibe as etapas para a elaboração do MDT final com as correções das depressões. A partir do resultado obtido, é possível aplica-lo à obtenção da declividade correta do terreno, do índice topográfico de umidade (TWI) e o próprio HAND.

Figura 18 - Esquema para obtenção do MDT final.



Fonte: A autora (2021).

Para uma melhor compreensão do relevo catarinense realizou-se a reclassificação do MDT Corrigido a partir da classificação estabelecida pela Embrapa (2004), como pode ser observada na Tabela 2 abaixo.

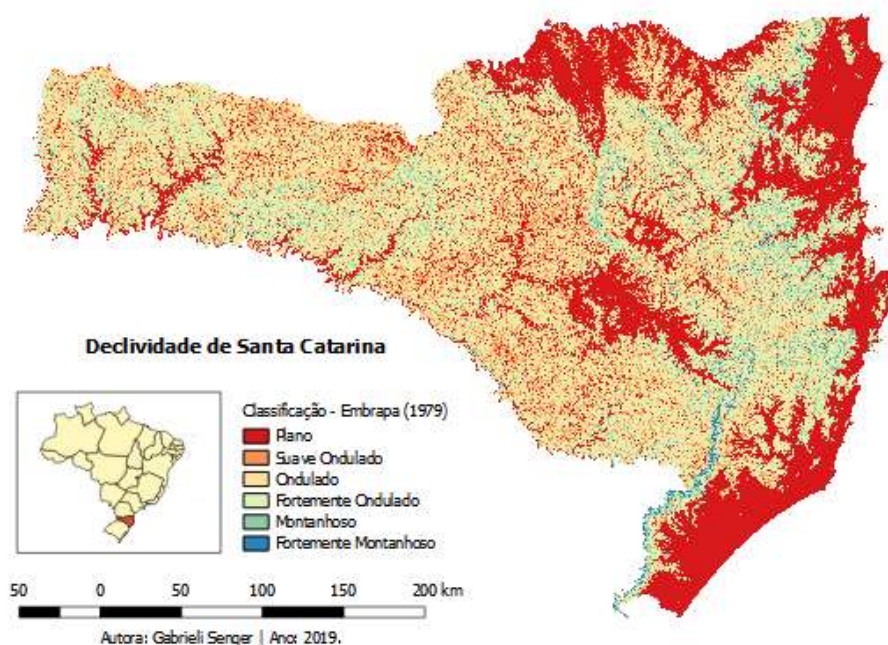
Tabela 2 - Reclassificação da declividade.

Declividade (%)	Classificação
0 a 3	Plano
3 a 8	Suave ondulado
8 a 20	Moderadamente ondulado
20 a 45	Ondulado
45 a 75	Forte ondulado
> 75	Montanhoso e escarpado

Fonte: Embrapa (2004).

Através da aplicação desta classificação sobre o modelo digital corrigido obteve-se o resultado mostrado no mapa abaixo (FIGURA 19).

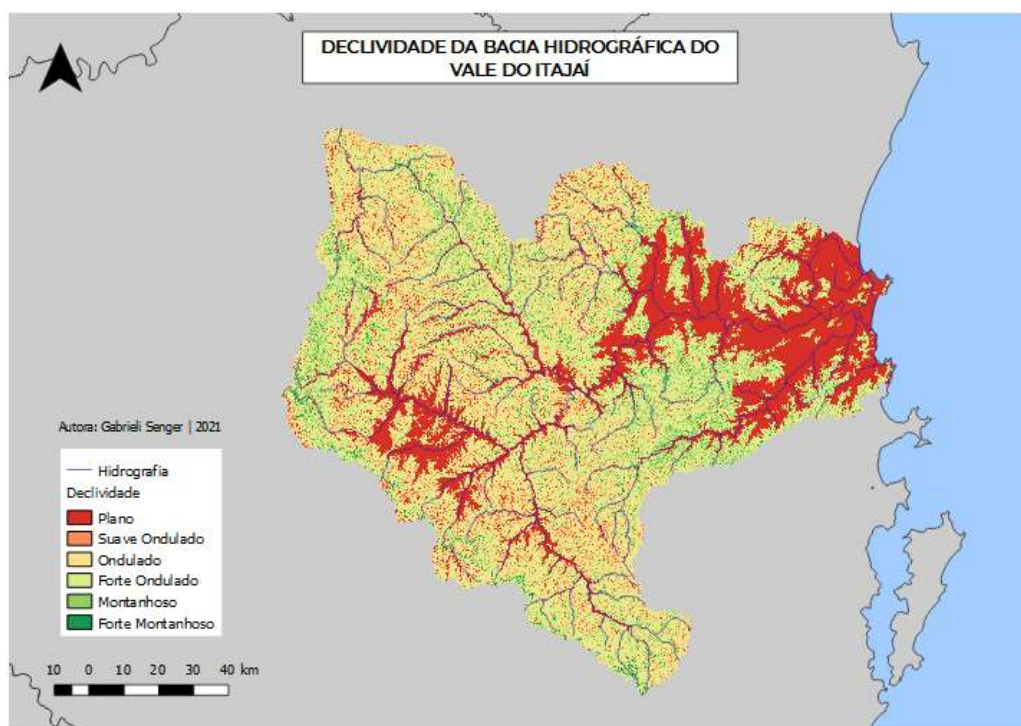
Figura 19 - Declividade de Santa Catarina.



Fonte: A autora (2021).

Observa-se as extensas áreas planas existentes no litoral catarinense, fator que influencia a geração das manchas de inundação. Nota-se também a alta declividade presente na região sul do estado, todavia, tal localidade não será o objeto de estudo. A Figura 20 exhibe em maiores detalhes a declividade da área estudada.

Figura 20 - Declividade da Bacia Hidrográfica do Vale do Itajaí.



Fonte: A autora (2021).

4.3 MÉTODO AHP

Como observado no tópico 3.3.2 este método exige a entrada de diferentes dados hierarquizados para a correta tomada de decisão. Trabalhos como de Conceição & Limões (2019); Miranda et. al (2019) e Rezende et. al (2017) utilizaram desta metodologia para a elaboração de mapas de inundação para a área de uma bacia hidrográfica de Cuiabá – MT, para o município de Presidente Kennedy - ES e para o perímetro urbano de Paracatu – MG,

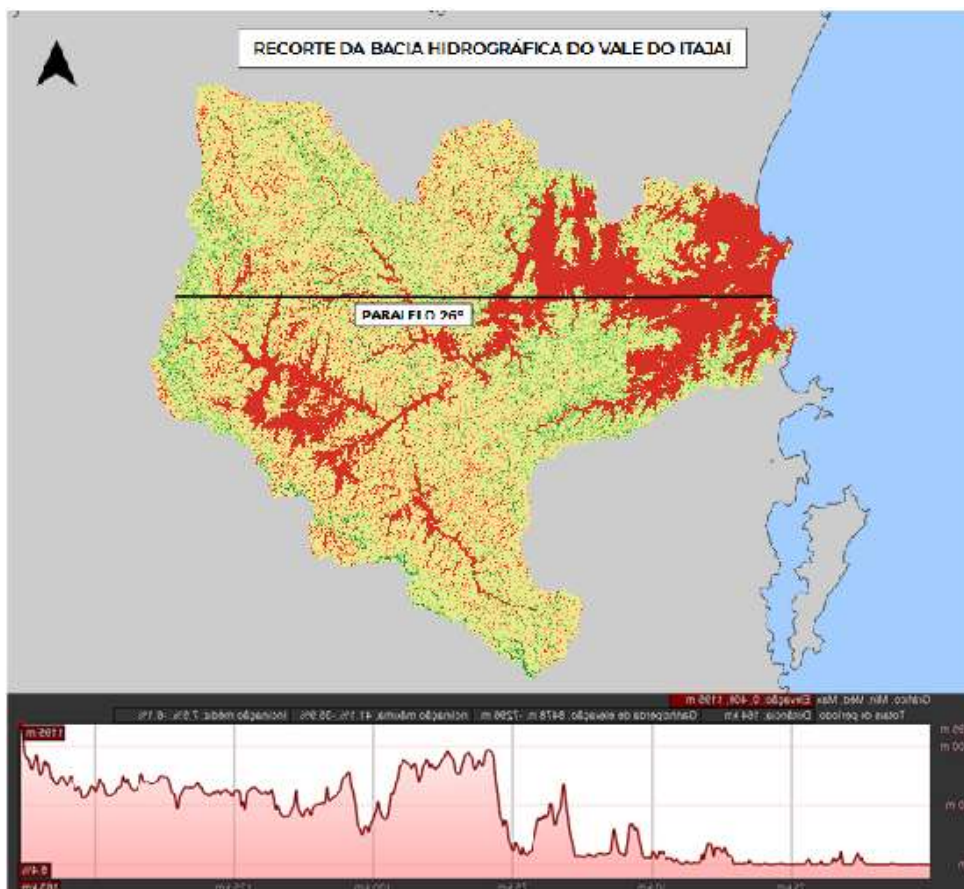
respectivamente. Todos foram utilizados como referência para a definição de pesos das tabelas de uso da terra, declividade e índice topográfico do terreno deste trabalho por possuírem considerações similares entre si, mesmo que diferentes dados de entrada tenham sido considerados para a geração do mapa de inundação final

Baseando-se nestes trabalhos optou-se por utilizar para aplicação do método AHP e posterior álgebra de mapas:

- Índice SAGA de umidade (*SAGA Wetness Index - SWI*);
- Declividade;
- Uso do solo;

A declividade influencia na suscetibilidade de inundação, uma vez que quanto mais declivoso for o terreno, menor será a suscetibilidade. A altitude é um fator de importância no meio, uma vez que quanto menor for, em relação à determinada área plana do leito de um rio, maior suscetibilidade a este evento terá. Todavia, ponderar as altitudes em grandes áreas torna-se complexo, uma vez que há uma grande variação nestes valores. A Figura 21 exhibe o perfil da região do Vale do Itajaí que evidencia esta questão.

Figura 21 - Perfil topográfico de uma linha reta sobre o Vale do Itajaí - SC.



Fonte: Google Earth Pro (2021).

Nesta Figura a linha reta criada para o desenho do perfil topográfico cruza o estado de leste a oeste no sentido litoral – Limite da Bacia (Próximo da cidade de Rio do Campo), sobre o paralelo 26°. Neste caso altitudes superiores ao nível do mar não necessariamente significam áreas menos propensas às inundações, dada à variação da mesma conforme a região e bacia hidrográfica que se encontra, devido à geomorfologia local.

O índice topográfico de umidade (TWI) bem como o índice SAGA de umidade (SWI) torna-se uma solução ao problema uma vez que possui a capacidade de determinar as zonas de saturação superficial da água. O trabalho de Risi et. al (2015) utilizou apenas do TWI para identificação de áreas propensas à inundação, não realizando a análise conjunta com modelos hidrológicos e hidráulicos em meso-escala. Já Grillakis et al (2016) utilizaram do SWI para análise prévia do estado do solo antes de inundações bruscas. A

aplicação do SWI pode ser realizada sobre o Software SAGA GIS. Para que seja possível a execução desta ferramenta se faz necessário o uso do MDT corrigido da área desejada.

Após a obtenção do SWI juntamente dos valores de declividade advindos do MDT corrigido e o uso do solo retirado do MapBiomas referente ao ano de 2017 foram reclassificados em uma escala de 0 a 10 de forma a se adequarem aos valores a serem utilizados pela metodologia AHP. A Tabela 3 exhibe os pesos dados para o SWI.

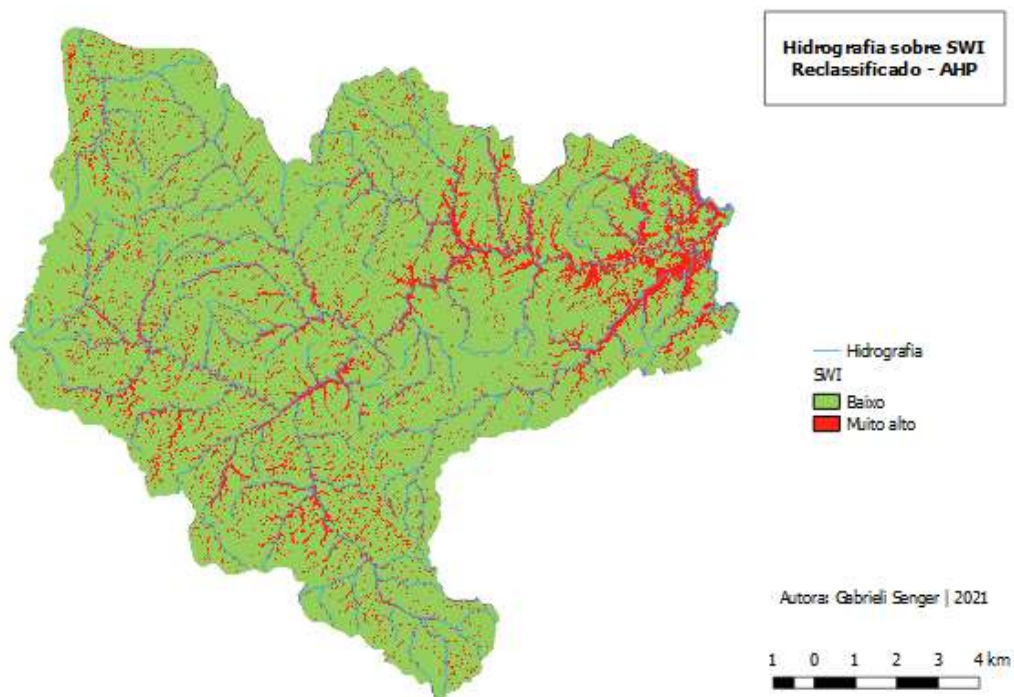
Tabela 3 - Pesos para o SWI.

SWI		
Intervalo	Valor	Legenda
1 a 8	3	Baixa
8 a 100	10	Alta

Fonte: A autora (2021).

De acordo com Silva & Barbosa (2018), embora não exista um valor dado como certo para considerar a área como suscetível à inundação somente pelo TWI, geralmente valores acima de 8 são significativos para alto índice de umidade, motivo da divisão acima. A Figura 22 exhibe o mapa com esta reclassificação gerada sobre a bacia hidrográfica.

Figura 22 - Mapa do SWI junto da hidrografia da bacia hidrográfica.



Fonte: A autora (2021).

Para os dados de uso da terra utilizou-se o produto gerado pelo projeto MapBiomas que é uma iniciativa do Observatório do Clima juntamente com uma rede de universidades, ONGs e empresas que possuem como objetivo principal o mapeamento da cobertura do uso do solo do Brasil periodicamente, permitindo a análises de mudanças sobre nosso território. Este produto subdivide o uso do solo em 27 classes distintas, porém separadas em 6 grandes grupos como descrito na Tabela 4 (MAPBIOMAS, 2020).

Para os dados referentes ao MapBiomas considerou-se o valor máximo somente para regiões que já possuam a presença de água, seja em rios ou lagos, como também em vegetações do tipo mangue e apicum. Regiões caracterizadas como formação savânica, por exemplo, por se tratar de um termo genérico que pode incluir áreas com variação de suscetibilidade às inundações, considerou-se apenas num valor médio. As áreas com presença de urbanização tiveram valores mais altos uma vez que dificultam a infiltração

da água no solo e auxiliam no processo de inundação. A Tabela 4 exibe os pesos dados ao uso da terra.

Tabela 4 - Pesos para uso da terra

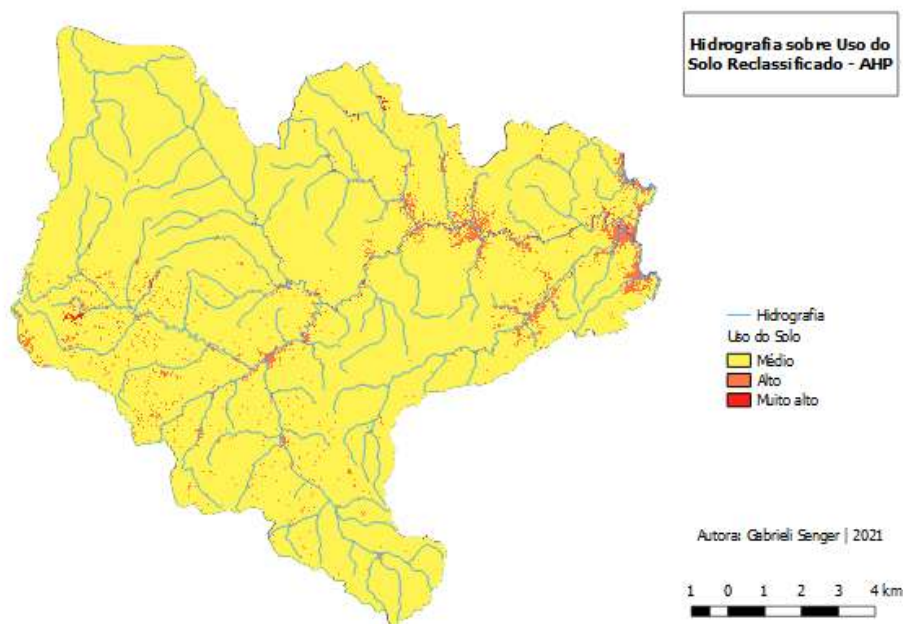
MapBiomias			
Grupo	Intervalo	Valor	Legenda
1	Floresta	5	Média
1	Formação Natural	5	Média
1	Formação Florestal	5	Média
1	Formação Savânica	5	Média
1	Mangue	10	Muito alta
1	Floresta Plantada	5	Média
2	Formação Natural Não Florestal	5	Média
2	Área Úmida Natural não Florestal	5	Média
2	Formação Campestre	5	Média
2	Apicum	10	Muito alta
2	Outra Formação Natural não Florestal	5	Média
3	Agropecuária	5	Média
3	Pastagem	5	Média
3	Agricultura	5	Média
3	Cultura Anual e Perene	5	Média
3	Cultura Semi-Perene	5	Média
3	Mosaico de Agricultura e Pastagem	5	Média
4	Área não Vegetada	7	Alta
4	Praia e Duna	7	Alta
4	Infraestrutura Urbana	7	Alta
4	Afloramento Rochoso	7	Alta

4	Mineração	7	Alta
4	Outra Área não Vegetada	7	Alta
6	Corpos D'água	10	Muito alta
2	Não observado	10	Muito alta
5	Rio, Lago e Oceano	10	Muito alta
5	Aquicultura	10	Muito alta

Fonte: A autora (2021).

A Figura 23 exhibe esta reclassificação do uso do solo executada sobre o Vale do Itajaí.

Figura 23 - Mapa do uso do solo reclassificado junto à hidrografia.



Fonte: A autora (2021).

Por fim, os pesos referentes à declividade como mostrados na Tabela 5 estão relacionados com a classificação do relevo feita pela Embrapa. Quanto maior inclinação, menor a suscetibilidade e conseqüentemente menor o valor atribuído.

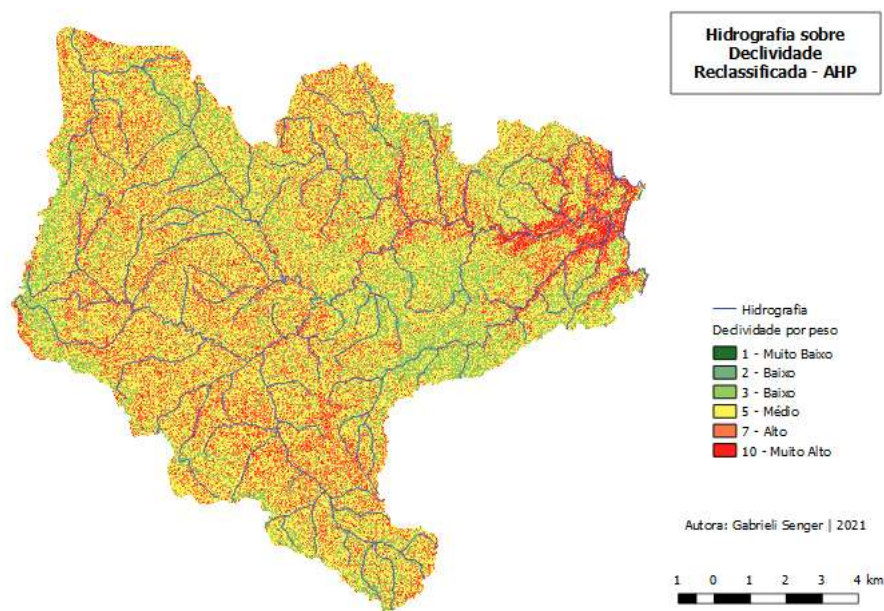
Tabela 5 - Pesos para a declividade.

Declividade		
Intervalo	Valor	Legenda
0 a 3 (%)	10	Muito alta
3 a 8 (%)	7	Alta
8 a 20 (%)	5	Média
20 a 45 (%)	3	Baixa
45 a 75 (%)	2	Baixa
75 a 100 (%)	1	Muito baixa

Fonte: A autora (2021).

A Figura 24 exibe esta reclassificação realizada sobre o mapa de declividade juntamente com as principais hidrografias da bacia hidrográfica.

Figura 24 - Reclassificação da declividade junto da hidrografia.



Fonte: A autora (2021).

Como esperado, na parte litorânea que abrange o município de Itajaí, por exemplo, o peso dado é maior devido à baixa declividade presente no

local. Em uma análise visual observa-se que a hidrografia acompanha as áreas classificadas com peso médio a muito alto em sua maioria.

Após definidos os pesos, aplicou-se o método AHP inserindo as três variáveis: SWI, declividade e uso da terra na matriz recíproca, atribuindo pesos de 1 a 9 de acordo com sua importância em relação ao outro. Os pesos aplicados na tabela (Tabela 6) também tiveram como referência àqueles aplicados nos trabalhos referenciados acima.

Tabela 6 - Pesos das variáveis para o método AHP.

Fatores	Declividade	Uso da Terra	SWI
Declividade	1	3	1/3
Uso da terra	1/3	1	1/5
SWI	3	5	1

Fonte: A autora (2021).

Dada a matriz recíproca calcularam-se os autovetores e o autovalor, propiciando o cálculo do índice de consistência como segue a expressão abaixo.

$$\text{índice de Consistência (IC)} = \frac{(3,03-3)}{2} \quad (7)$$

De acordo com o número de variáveis o índice aleatório é igual a 0,58 que aplicado à equação da razão de consistência resulta em 2,79%. De acordo com a literatura, valores abaixo de 10% são considerados consistentes. Portanto, os pesos dados às variáveis TWI, declividade e uso da terra estão coerentes entre si. A partir do resultado obtido, os pesos foram aplicados na álgebra de mapas através da seguinte expressão:

$$\text{Inundação} = 0,26 \times \text{declividade} + 0,11 \times \text{uso da terra} + 0,63 \times \text{TWI} \quad (8)$$

Por meio da Eq. 8 gerou-se um novo *raster* onde os valores mais altos dos pixels se referem às áreas mais propensas à inundação enquanto os

valores mais baixos se referem às áreas com menos suscetibilidade para o evento. Para se obter a mancha de inundação reclassificou-se os dados de forma a se obter as classes de mais suscetível e menos suscetível e posteriormente de suscetibilidade alta, média e baixa suscetibilidade.

Por não se encontrar na literatura valores de base para esta reclassificação, optou-se utilizar divisão por intervalos iguais como ponto de partida para a análise do resultado.

4.4 MÉTODO HAND

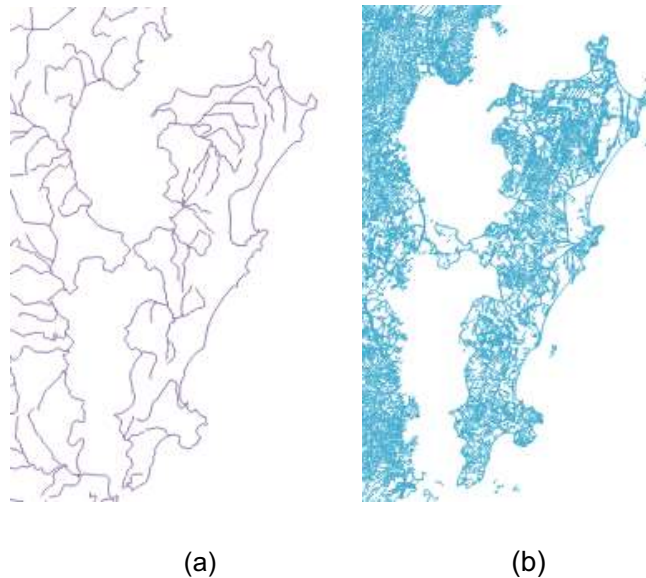
Para o desenvolvimento deste método utilizou-se o software TerraHidro (v. 0.4.5) onde, após a correção do MDT, foram determinadas as direções de fluxo, as áreas de contribuição, de drenagem e a execução do modelo HAND.

A definição de limiares na terceira etapa correspondente à Figura ** da sessão 3.3.1 corresponde à densidade da drenagem a ser criada. Quanto maior for este valor, menos densa será a rede hidrográfica gerada, exibindo apenas os rios principais, e quanto menor, mais cursos d'água serão gerados, portanto, mais densa será a rede (MOMO et. al., 2016). Não há um limiar definido como “certo” ou “correto”. Isto dependerá dos objetivos do processamento, junto da área trabalhada, assim, a determinação do valor é qualitativa, através da comparação de *shapefiles* já existentes da hidrografia de Santa Catarina e do Brasil.

Para o auxílio na determinação do limiar foi necessária à utilização de uma rede de drenagem consistente e confiável para correta comparação. Portanto, utilizou-se como fontes a rede hidrográfica disponibilizada pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável (SDS) em escala 1:10000 e a base hidrográfica otocodificada fornecida pela Agência Nacional de Águas (ANA) em escala 1:1000000.

A Figura 25 exhibe um exemplo da comparação entre a hidrografia disponibilizada pela ANA (a) e a fornecida pela SDS (b) sobre o município de Florianópolis.

Figura 25 - Comparação entre hidrografia.

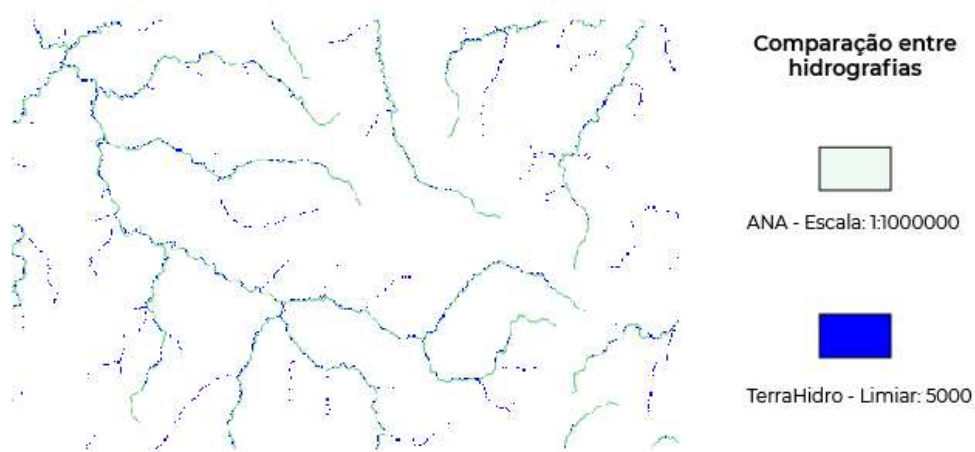


Fonte: ANA (2017) e SDS (2019)

Devido à grande diferença entre as escalas trabalhadas por cada instituição é notável a discrepância entre as densidades dos trechos de drenagens. Considerando-se como critério o peso e capacidade de processamento dos dados, juntamente com a resolução do modelo digital do terreno optou-se por utilizar como base de comparação a hidrografia disponibilizada pela ANA. Através dela, os limiares serão comparados e dentre eles um único valor será definido.

Para os testes com os limiares utilizaram-se os valores: 1000, 5000 e 10000 células, que corresponde à área de 30.000,00 km², 150.000,00 km² e 300.000,00 km², respectivamente. A definição destes baseou-se em trabalhos anteriores, como em Momo et. al (2016) e Mengue et. al (2016) que utilizaram de mesma metodologia para determinação de áreas inundáveis. A Figura 26 exibe a diferença entre as redes de drenagem junto com a comparação com os trechos da ANA.

Figura 26 - Comparação entre hidrografia da ANA e a gerada pelo TerraHidro.



Fonte: A autora (2021).

Através de análise visual, optou-se por utilizar a hidrografia gerada pelo limiar ao qual estivesse mais próximo da base fornecida pela ANA. O limiar trabalhado, portanto, foi de 5000 células, correspondente a 150.000,00 km².

Com o limiar definido e os demais produtos gerados partiu-se para a quarta e última etapa realizada ainda sobre o software TerraHidro, a execução do modelo HAND. Como resultado obteve-se um novo arquivo raster com as alturas normalizadas de acordo com a rede de drenagem. A partir deste momento é realizada a calibração dos dados através do software QGis.

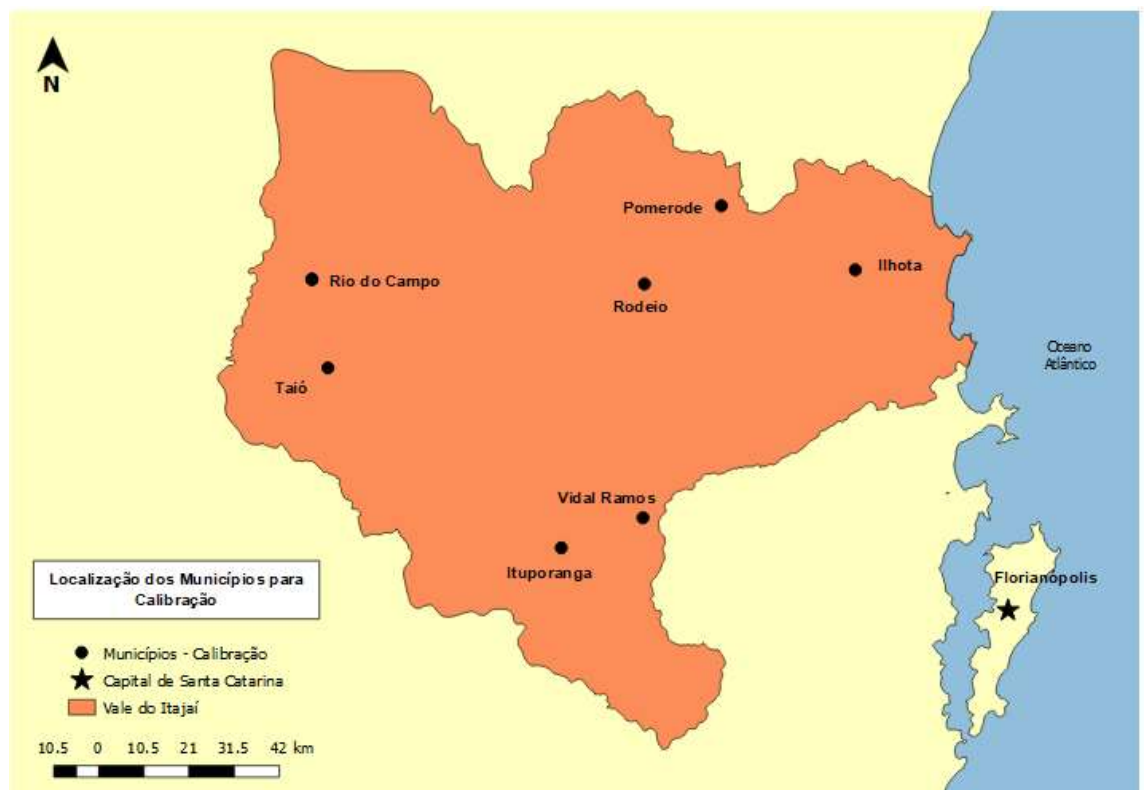
4.5 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS

Para a calibração dos resultados obtidos utilizou-se dos mapeamentos disponibilizados pelo Ministério da Integração¹. Os dados oficialmente publicados correspondem a arquivos vetoriais (*shapefiles*) de pontos com cotas de cheias. Devido à falta de informação espacial sobre todo o estado catarinense acerca dos eventos hidrológicos extremos, como a inundação, optou-se pela calibração sobre a região hidrográfica do Vale do Itajaí, caracterizada pela alta incidência do mesmo, onde a presença de dados

¹ <https://www.mdr.gov.br/protecao-e-defesa-civil/projeto-mapeamento>

relacionados ao tema é relativamente alta se comparado às demais regiões hidrográficas de Santa Catarina. Desta maneira foram escolhidos para calibração dos métodos os municípios: Ilhota, Pomerode, Taió, Ituporanga, Rio do Campo, Vidal Ramos e Rodeio. A Figura 27 exibe suas respectivas localizações na região hidrográfica em estudo.

Figura 27 - Localização dos municípios na calibração.



Fonte: A autora (2021).

A escolha destes municípios baseou-se na localização dos mesmos sobre o território, uma vez que se encontram distribuídos por toda região hidrográfica, bem como a presença de dados com cotas de inundação nos *shapefiles* disponibilizados pelo Ministério da Integração, pois embora os valores não tenham sido considerados, a existência de cotas superiores a 0 metro indica a ocorrência do fenômeno.

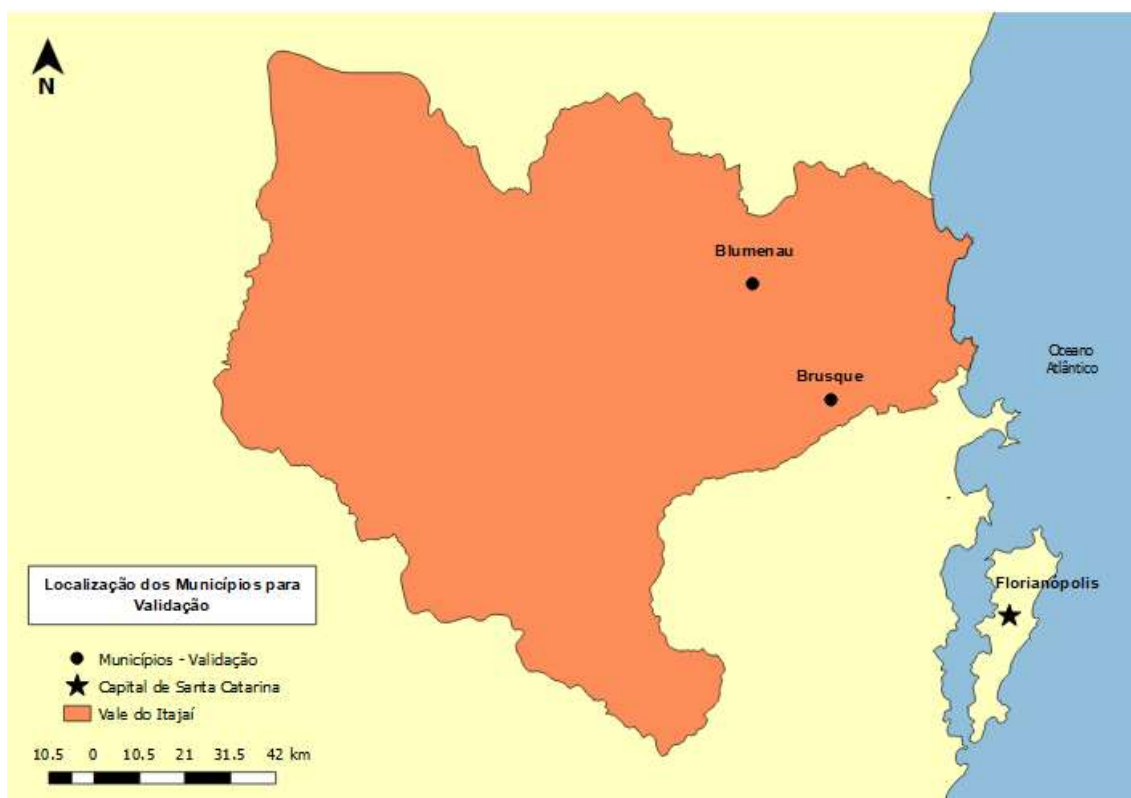
Visando a calibração dos dados no mapeamento, as seguintes etapas foram executadas:

- 1) Reclassificação do raster do modelo HAND e AHP em 2 divisões em mais suscetível e menos susceptível.
- 2) Somatória da quantidade de pontos fornecidos pelo Ministério da Integração em cada cota de inundação da mancha definida na primeira etapa sobre os 7 municípios utilizados para calibração. O objetivo é manter a maior quantidade de pontos cuja cota é superior a zero inseridos na região de “mais suscetível”.
- 3) Reclassificação do raster do modelo HAND e AHP em 3 divisões de suscetibilidade a partir da definição da cota mais suscetível encontrada na etapa 1: alta, média e baixa. A classificação “baixa” estaria acima da cota identificada como menos suscetível.
- 4) Somatória dos pontos disponibilizados pelo Ministério da Integração de acordo com a classificação de suscetibilidade feita na etapa anterior (alta, média e baixa) sobre os 7 municípios localizados no Vale do Itajaí. O objetivo é que a maior parte dos pontos se encontre na alta suscetibilidade e decresça conforme a suscetibilidade também diminui;

Como previamente mencionado, não foram consideradas as cotas de inundação medidas em campo contidas no banco de dados em arquivo *shapefile*, sendo utilizadas, portanto, somente as localizações dos mesmos, pois não se tem em registros oficiais como estas medições foram realizadas, nem sua cota de referência para a aferição de altura da água.

Para a validação dos dados considerou-se utilizar dos municípios de Blumenau e Brusque que também estão localizados no Vale do Itajaí. A Figura 28 exibe a localização de ambos.

Figura 28 - Localização dos municípios da validação.



Fonte: A autora (2021).

Para este processo, foram obtidos através do site da defesa civil de cada município e de forma aleatória 100 pontos referenciados às cotas de inundação. Os pontos escolhidos para esta análise possuem endereço completo, ou seja, nome da rua e número, exemplo na figura 29.

Figura 29 - Exemplo das cotas de inundação disponibilizadas pela defesa civil de Blumenau.

Lista de ruas e cotas de cheia

Bairro

Rua

Tipo:	Logradouro:	Bairro:	Cota de Enchente:	Observação:	Abriço
R.	1 de Janeiro	FORTALEZA	7,10	Próximo a BR 470	E9
R.	São Rafael	ITOUPAVA NORTE	7,40	Final da rua (pega só uma casa)	E9
R.	Martha Cordeiro	FORTALEZA	7,60	Ponto mais baixo da rua	E9
R.	1 de Janeiro	FORTALEZA	7,65	Esquina - Rua Albert Goll	E9
R.	Albert Goll	FORTALEZA	7,65	Esquina - Rua 1º de Janeiro	E9
R.	São Rafael	ITOUPAVA NORTE	7,75	Casa nº 169	E9

Fonte: Defesa Civil – Blumenau (2021).

Pontos referenciados como por exemplo: “ponto mais baixo da rua”, não foram considerados de forma a se evitar possíveis erros de interpretação. Também não foram consideradas as cotas de inundação disponibilizadas pelo site.

A validação das classes de suscetibilidade ocorreu de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Utilização de reclassificação do raster para a divisão em 3 classes: alta média e baixa suscetibilidade, definidas na etapa de calibração, sobre os 2 municípios localizados no Litoral Centro;
- 2) Verificação das porcentagens obtidas pela somatória realizada na etapa anterior. Caso a maior concentração de pontos se encontrasse dentro na classificação “alta” em ambos os municípios e decresça assim como se diminui o grau de suscetibilidade, então se considera o modelo validado, caso contrário, deve-se observar possíveis motivos para o erro, como, por exemplo, a presença de barragens no local, assim como deve ser reconsiderada a etapa de validação.

4.6 CALIBRAÇÃO DO MODELO HAND

Para esta metodologia inicialmente considerou-se o trabalho de Goerl, Michel e Kobiyama (2017) que definiram valores para cotas de inundação. Segundo os autores o limiar de 5,5 metros foi adotado por contemplar 90% dos pontos de inundação levantados pelo trabalho. Por estarmos trabalhando com maior quantidade de municípios e também um MDE com resolução mais grosseira, optou-se por aumentar este valor inicial para 10 metros.

A partir desta referência foram realizados testes sobre as cidades utilizadas para calibração mencionadas no item 4.2, buscando a contemplação similar de número de pontos sobre a área mais suscetível de inundação. Inicialmente reclassificou-se as áreas em mais suscetíveis e menos suscetíveis para posteriormente classificar em alta, média e baixa suscetibilidade. A Tabela

7 exibe o número total de pontos cotados de inundação por município e a abrangência da mancha de inundação variando a cota de altitude sobre os mesmos.

Tabela 7 - Teste de suscetibilidade por cota de inundação da mancha.

TESTE DE SUSCETIBILIDADE								
Municípios	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio	PORCENTAGEM TOTAL
Total de pontos	880	584	1107	85	1582	103	195	
COTAS	PONTOS POR MUNICÍPIO							
10	496	65	200	4	85	86	38	21.47%
15	812	93	404	21	85	98	124	36.09%
20	875	121	672	31	90	102	182	45.70%
25	879	172	920	35	90	103	192	52.71%
30	879	277	1060	42	95	103	194	58.42%

Fonte: A autora (2021).

Observa-se que 3 dos 7 municípios utilizados que correspondem a Ituporanga, Rio do Campo e Taió respectivamente não satisfizeram o número de pontos nos testes realizados, apenas a partir de 30 metros aproximam-se dos 50% de pontos inseridos na mancha, com exceção de Taió que permanece com a quantidade de pontos baixa, enquanto que os demais municípios atingem esta porcentagem em testes anteriores como 15 metros e 20 metros. O que pode ser evidenciado também pela Tabela 8 que exibe a porcentagem de pontos inseridos na mancha por cada município analisado.

Tabela 8 - Teste de suscetibilidade individual para cada município por cota da mancha de inundação.

TESTE DE SUSCETIBILIDADE INDIVIDUAL							
Municípios	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio
10	56.36%	11.13%	18.07%	4.71%	5.37%	83.50%	19.49%
15	92.27%	15.92%	36.50%	24.71%	5.37%	95.15%	63.59%
20	99.43%	20.72%	60.70%	36.47%	5.69%	99.03%	93.33%
25	99.89%	29.45%	83.11%	41.18%	5.69%	100.00%	98.46%
30	99.89%	47.43%	95.75%	49.41%	6.01%	100.00%	99.49%

Fonte: A autora (2021).

A presença destes municípios são o motivo pelo qual a porcentagem total encontra-se abaixo do desejado, que seria similar ao obtido no trabalho de Goerl, Michel e Kobiyama (2017): 90%. Retirando-se estes municípios da porcentagem total obtém-se a Tabela 9.

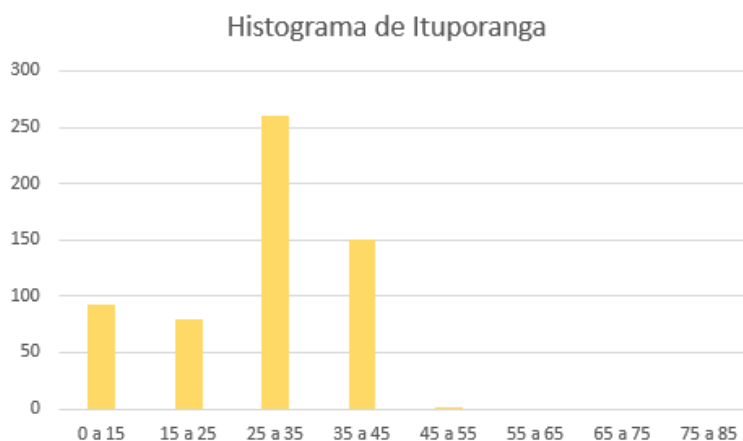
Tabela 9 - Teste de suscetibilidade por cota da mancha de inundação excluindo Ituporanga, Rio do Campo e Taió.

TESTE SUSCETIBILIDADE					
Municípios	Ilhota	Pomerode	Vidal Ramos	Rodeio	Porcentagem Total
Total de pontos	880	1107	103	195	
COTAS	PONTOS POR MUNICÍPIO				
10	496	200	86	38	35.89%
15	812	404	98	124	62.93%
20	875	672	102	182	80.13%
25	879	920	103	192	91.64%
30	879	1060	103	194	97.86%

Fonte: A autora (2021).

A Tabela 9 evidencia a alta influência de Ituporanga, Rio do Campo e Taió sobre o resultado geral do modelo, uma vez que a porcentagem total de pontos inseridos na mancha sofre um aumento significativo, sendo quase 100% na cota de 30 metros. Os histogramas abaixo apresentados pelas Figura 30, Figura 31 e Figura 32, apresentam as quantidades de pontos sobre o modelo HAND para as cidades de Ituporanga, Rio do Campo e Taió, respectivamente. As altitudes dos pontos foram obtidas do modelo HAND através de ferramentas do *software* QGis.

Figura 30 - Histograma de pontos sobre modelo HAND para Ituporanga.

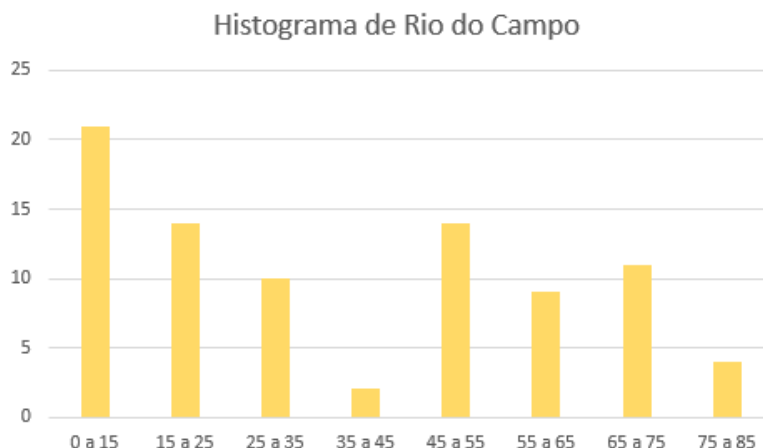


Fonte: A autora (2021).

Para Ituporanga observa-se que no histograma de pontos a maior concentração dos mesmos encontra-se entre as altitudes de 25 metros a 45 metros, fora do intervalo criado para a mancha de inundação, não sendo considerados, portando, como locais de inundações.

Para Rio do Campo (Figura 31), cidade com resultados mais próximos dos municípios que obtiveram resultados considerados satisfatórios, há uma alteração significativa na quantidade de pontos por altitude em metros.

Figura 31 - Histograma de pontos sobre modelo HAND para Rio do Campo.

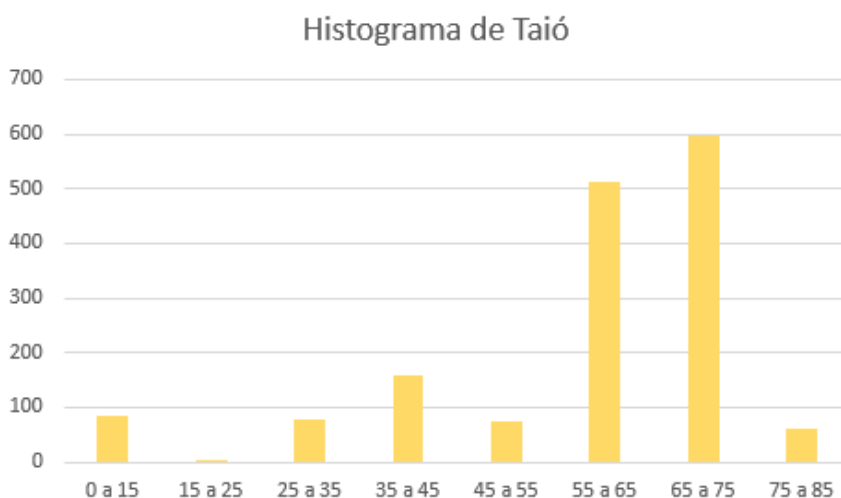


Fonte: A autora (2021).

Muitos pontos se encontram entre 0 a 25 metros, estando dentro, portanto, da mancha de inundação. Todavia, também há uma grande quantidade destes pontos sobre altitudes entre 45 metros e 55 metros, que influenciam no resultado final.

Taió também apresenta um resultado próximo ao de Ituporanga, com valores acumulados em áreas mais altas daquelas geradas pela mancha de inundação.

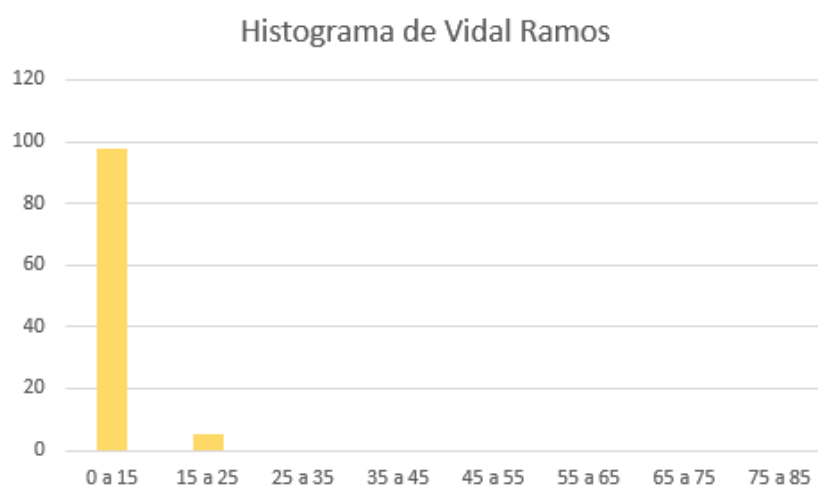
Figura 32 - Histograma de pontos sobre modelo HAND de Taió.



Fonte: A autora (2021).

Observa-se que para os pontos se concentram, em sua maioria, entre as altitudes de 55 metros e 75 metros. O município de Vidal Ramos, por exemplo, que possui grande quantidade de pontos nas classificações realizadas, apresenta um histograma diferente como pode ser observado na Figura 33.

Figura 33 - Histograma dos pontos sobre modelo HAND para Vidal Ramos.



Fonte: A autora (2021).

Ainda em uma análise na Tabela 9 repara-se que abaixo de 25 metros Vidal Ramos passa a ter 100% dos pontos inseridos na mancha, e além dele Ilhota chega a ser muito próximo deste valor, onde apenas um único ponto de inundação não é considerado. O objetivo não é atingir 100% em todos os municípios, uma vez que a mancha pode ser superestimada. Todavia, aos 15 metros Pomerode ainda possui menos de 50% dos seus pontos inseridos na mancha de inundação, portanto, optou-se por utilizar o limiar de 20 metros, sendo abaixo dele a área mais suscetível e acima desta cota a área menos suscetível.

4.7 CALIBRAÇÃO DO MODELO AHP

Neste modelo consideraram-se os mesmos passos e municípios adotados no tópico 4.5 tanto para a calibração, como quanto para a validação. Todavia, diferentemente do HAND, não foram encontrados artigos que classificassem, a priori, o intervalo do resultado da AHP em termos de suscetibilidade relacionada à inundação, portanto, para esta classificação foi necessária a verificação dos valores de mínimo e máximo dos pixels.

A partir da análise destes dados de mínimo e máximo, constatou-se que os pesos iniciam em 2.9 e vão até aproximadamente 10, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Tabela de valores de peso do modelo AHP para o Vale do Itajaí.

AHP	
Mínimo	2,96
Máximo	10
Médio	4,39

Fonte: A autora (2021).

Tais valores foram obtidos através da álgebra de mapas, juntamente com os pesos definidos pelo método AHP e, portanto, não possuem unidade de medida como no HAND. A primeira análise foi realizada a partir do valor 5.5, sendo metade do valor máximo do *raster*, em que identificou-se o número de pontos inseridos na área mais e menos suscetível. Assim como na calibração do HAND, o objetivo é obter a maior quantidade de pontos inseridos na classe de alta suscetibilidade diminuindo gradualmente conforme a suscetibilidade for menor. Os valores definidos por esta metodologia tendem a serem contrários ao obtido do modelo HAND, portanto, quando menor o número do peso de inundação, menor a suscetibilidade de ocorrência do evento, e quanto maior, mais o *raster* tende a se assemelhar à forma do rio e maior a suscetibilidade. A Tabela 11 indica os valores encontrados a partir desta primeira análise.

Tabela 11 - Teste de suscetibilidade por cota da mancha de inundação.

TESTE DE SUSCETIBILIDADE								
Municípios	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio	PORCENTAGEM TOTAL
Total de pontos	880	584	1107	85	1582	103	195	
Valores	PONTOS POR MUNICÍPIO							
9.5	630	487	977	82	1415	88	166	84.77%
8.5	198	206	364	70	713	21	35	35.43%
7.5	185	2	129	70	185	1	2	12.65%
6.5	185	2	129	70	182	1	2	12.59%
5.5	185	2	129	70	182	1	2	12.59%

Fonte: A autora (2021).

Observa-se que ainda na classificação primeiramente definida como abaixo de 6,5, área menos suscetível, 12,59% dos pontos encontram-se inseridos na mancha de inundação, assim como os abaixo de 5,5. Isto passa a mudar com o valor da classificação subindo para 7,5, alterando para 12,65% e a partir do valor 8.5 o percentual de pontos inseridos aumenta de forma mais significativa com o valor de 35,43%. Somente após os valores em 9,5 é que se encontram mais de 50% dos pontos sobre a mancha.

Nota-se também que até o valor de 7,5 o número de pontos de inundação permanece iguais em todos os municípios, a partir deste valor somente Taió apresenta um pequeno aumento neste número. É a partir do 8,5 que a quantidade de pontos de altera de forma mais significativa para todos os municípios.

A partir desta observação realizou-se também a análise individual dos pontos inseridos para cada município trabalhado na calibração como exhibe a Tabela 12.

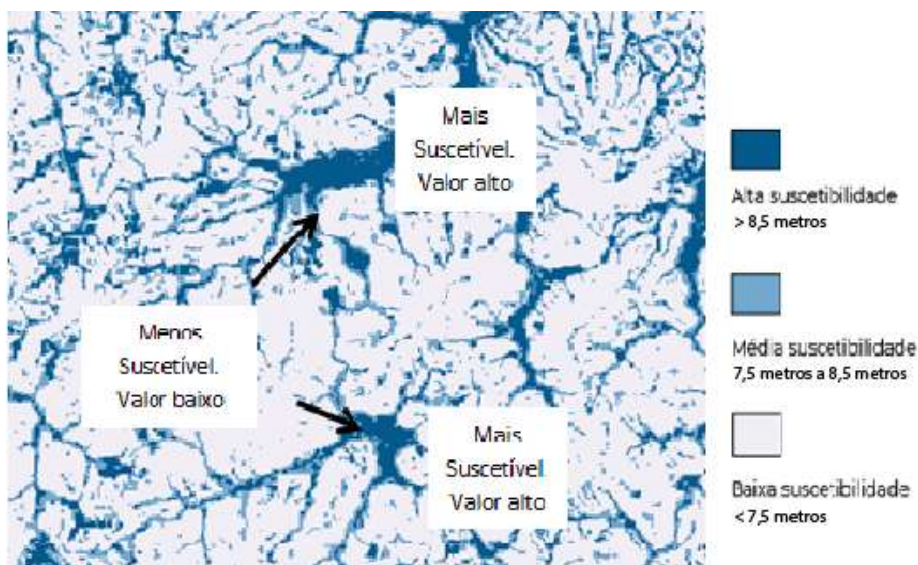
Tabela 12 - Teste de suscetibilidade individual por município por cota de mancha de inundação.

TESTE DE SUSCETIBILIDADE INDIVIDUAL							
Municípios	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio
9.5	71.59%	83.39%	88.26%	96.47%	89.44%	85.44%	85.13%
8.5	22.50%	35.27%	32.88%	82.35%	45.07%	20.39%	17.95%
7.5	21.02%	0.34%	11.65%	82.35%	11.69%	0.97%	1.03%
6.5	21.02%	0.34%	11.65%	82.35%	11.50%	0.97%	1.03%
5.5	21.02%	0.34%	11.65%	82.35%	11.50%	0.97%	1.03%

Fonte: A autora (2021).

O município de Rio do Campo possui deste os valores mais baixos de 5,5 mais da metade dos pontos sobre a mancha de inundação enquanto os demais apresentam este dado apenas a partir de 9,5. Neste contexto deve ser recordado que a variável de maior peso para a geração deste mapa é o índice de umidade do SAGA (SWI), fator que pode estar influenciando neste resultado. Para esta classificação deve-se pensar de forma contrária ao método anterior, assim, podemos considerar que pontos localizados até o valor 7,5 são de baixa suscetibilidade. Para exemplificar melhor o que acontece na prática utilizaremos a Figura 34.

Figura 34 - Exemplo de resultado no método AHP por cota de inundação.



Fonte: A autora (2021).

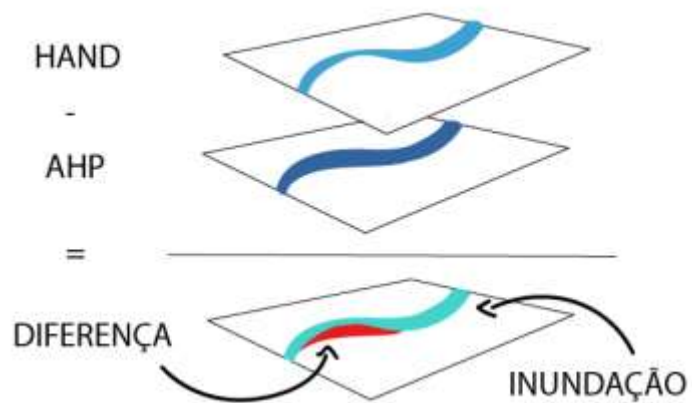
Foram realizados testes de sensibilidade variando em 0,5 para cada classe estudada e não ocorreram modificações nos valores aqui apresentados, mantendo-se, portanto, a classificação inicial de 5.5, sendo os valores abaixo considerados como menos suscetíveis e os valores acima como mais suscetíveis.

4.8 UNIÃO DE METODOLOGIAS

Os métodos AHP e HAND foram analisados separadamente e unidas através da sobreposição entre os mapas gerados (Figura 35), observando-se as áreas compatíveis entre ambos os mapeamentos e aquelas nas quais se mantêm fora de pelo menos um dos mapas desenvolvidos. Entende-se que ambos os métodos podem estar subestimando e superestimando áreas de inundação, portanto seria considerada como área suscetível a mancha que engloba ambas as metodologias aqui aplicadas.

As áreas de menor susceptibilidade e média susceptibilidade também serão sobrepostas e unidas entre si para a geração de um mapa final.

Figura 35 - Exemplo de comparação entre metodologias com álgebra de mapas.



Fonte: A autora (2021).

O processamento entre ambos os mapas gerados por cada metodologia permite a identificação de áreas semelhantes e divergentes. Desta forma é possível considerar, por exemplo, que somente as áreas semelhantes entre si sejam consideradas como suscetíveis à inundação, em suas respectivas classes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MODELO HAND

A partir das análises executadas na sessão 4.6 considerou-se dividir a área em alta, média e baixa suscetibilidade. A primeira divisão classificou:

- Alta suscetibilidade: até 10 metros;
- Média suscetibilidade: 10 metros a 20 metros;
- Baixa suscetibilidade: acima de 20 metros;

A Tabela 13 exibe o resultado obtido por esta classificação.

Tabela 13 - Classificação da mancha de inundação.

Classes	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio	Mancha (%)	Classe
0 a 10m	496	65	200	4	85	86	38	35.89%	ALTA
10 a 20 m	379	56	472	27	5	16	114	42.93%	MÉDIA
Acima de 20m	5	463	435	54	1492	1	13	19.87%	BAIXA

Fonte: A autora (2021).

Observa-se que a maior quantidade de pontos se encontra inserida na classe de 10 a 20 metros não sendo adequada para a representação final, uma vez que o que se deseja é que a maior quantidade esteja na classe denominada como “Alta”.

Em um teste de sensibilidade observou-se que os valores não se alteram significativamente alterando-se 0,5 metros, 1 metro ou 2 metros assim aumentou-se em 5 metros a classificação para a análise, sendo:

- Alta suscetibilidade: até 15 metros;
- Média suscetibilidade: 15 metros a 20 metros;
- Baixa suscetibilidade: acima de 20 metros;

A Tabela 14 exibe o número de pontos inseridos em cada nova classe gerada considerando apenas os municípios de Ilhota, Pomerode, Vidal Ramos e Rodeio.

Tabela 14 - Classificação da mancha de inundação.

Classes	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio	Mancha (%)	Classe
0 a 15m	818	93	404	21	85	98	124	63.19%	ALTA
15 a 20m	57	28	268	10	5	4	58	16.94%	MÉDIA
Acima de 20m	5	463	435	54	1492	1	13	19.87%	BAIXA

Fonte: A autora (2021).

Nesta classificação observa-se que o maior número de pontos se encontra na classe de “Alta suscetibilidade” assim como desejado. O intervalo final da cota do terreno obtido para o projeto atual corresponde a:

- Alta suscetibilidade: até 15 metros.
- Média suscetibilidade: entre 15 e 20 metros.
- Baixa suscetibilidade: acima de 20 metros.

Foram realizados testes com variações de 0,5 metros, 1 metro e 2,5 metros entre as classes acima definidas para observação da sensibilidade de resposta da mancha de inundação e constataram-se pequenas modificações entre o número de pontos de inundação em relação às manchas, porém nenhuma destas variações foram significativas para alterar o maior número de pontos para a classe de maior suscetibilidade (menor que 15 metros). Portanto, manteve-se a classificação anteriormente definida.

Embora não tenha atingido o valor de 90% dos pontos inseridos na mancha como inicialmente se buscou, concluiu-se um bom resultado uma vez que Pomerode, mesmo que tenha mais de 50% dos pontos inseridos nas classes de média e baixa suscetibilidade, ainda mantém o valor geral baixo,

estando inserido dentro do objetivo inicial, em que se busca a maior quantidade de pontos da classe de alta suscetibilidade.

Após a calibração da mancha de inundação foi realizada a validação da mesma sobre os municípios localizados na região hidrográfica do Vale do Itajaí. A Tabela 15 abaixo exhibe esta validação feita após a definição dos intervalos de valores para as classes sobre os municípios de Blumenau e Brusque.

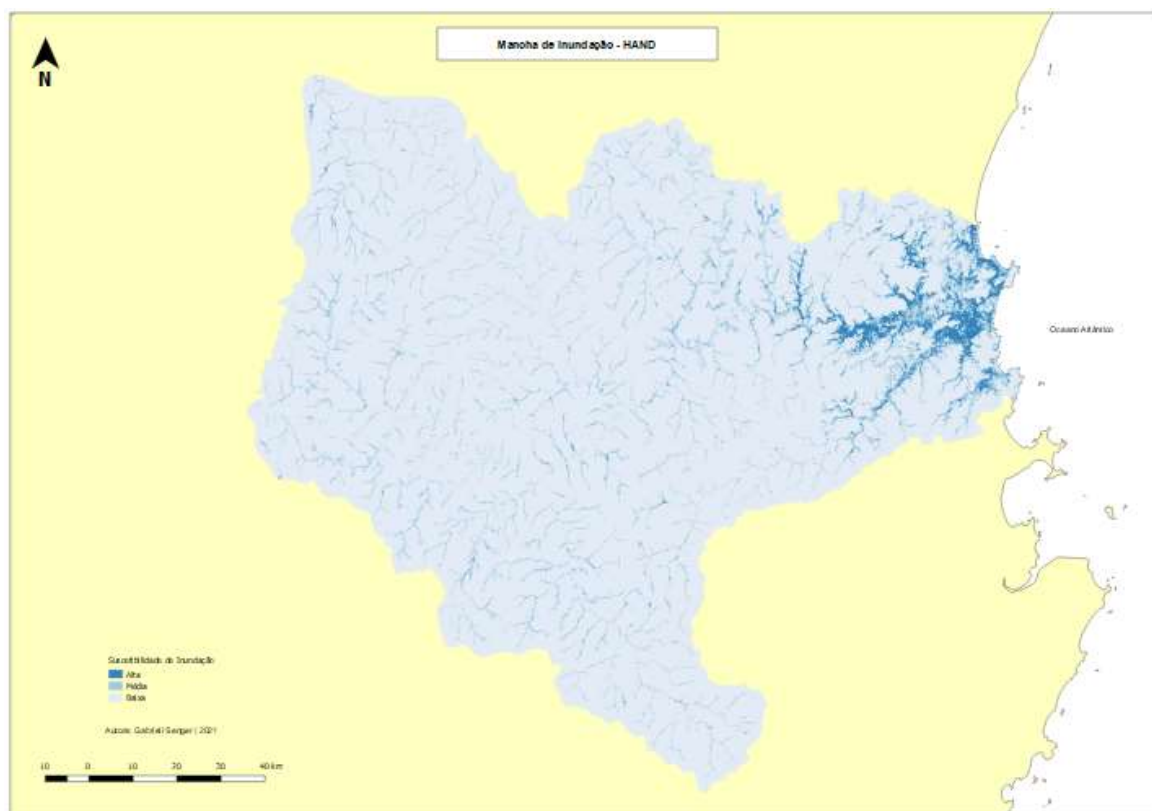
Tabela 8 - Validação da mancha de inundação.

VALIDAÇÃO				
Municípios	São João Batista	Antônio Carlos	Total de pontos na mancha (%)	Classe
Total de pontos	100	100	100%	
0 A 15m	87	82	84.50%	ALTA
15 a 20m	9	11	10.00%	MÉDIA
Acima de 20m	4	7	5.50%	BAIXA

Fonte: A autora (2021).

Ambos os municípios obtiveram resposta de 87% e 82% respectivamente de número de pontos na classe de alta suscetibilidade ao evento. Os pontos totais mantiveram-se em maior quantidade na alta suscetibilidade, decrescendo conforme as classes de média e baixa suscetibilidade, como esperado. Portanto, considerou-se calibrada e validada a metodologia e intervalos propostos. O mapa da inundação pelo método HAND pode ser visto na Figura 36 e no Anexo 1 deste trabalho.

Figura 36 - Mapa de inundação HAND.



Fonte: A autora (2021).

5.2 MODELO AHP

A partir das análises executadas na sessão 4.7 classificaram-se os valores para as classes de alta, média e baixa suscetibilidade, sendo:

- Baixa suscetibilidade: Abaixo de 7.5;
- Média suscetibilidade: 7.5 a 8.5;
- Alta suscetibilidade: Acima de 8.5;

Somente com os valores cotados acima de 9,5 é que se encontram mais de 50% de todos os pontos de inundação sobre a mancha, porém, não é de interesse superestimar tal mancha, uma vez em 9,5 são mais de 84% dos pontos, por este motivo manteve-se acima de 8,5 como alta suscetibilidade.

A Tabela 16 apresenta a porcentagem de pontos por município a partir desta classificação.

Tabela 169 - Classificação da mancha de inundação pelo método AHP.

Classe	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio	Mancha (%)	Classe
acima de									
8.5	682	378	743	15	869	82	160	64.57%	ALTA
7.5 a 8.5	13	204	235	0	528	20	33	22.77%	MÉDIA
abaixo de									
7.5	185	2	129	70	185	1	2	12.65%	BAIXA

Fonte: A autora (2021).

Como esperado, o maior número de pontos encontra-se na classe de alta suscetibilidade diminuindo gradualmente conforme a suscetibilidade de inundação também diminui pela classificação, apenas o município de Rio do Campo apresenta um comportamento diferente dos demais. A partir do valor calibrado utilizou-se desta classificação para validar a partir dos municípios Blumenau e Brusque, também localizados no Vale do Itajaí. A Tabela 17 exhibe o resultado obtido ao se aplicar nestes municípios:

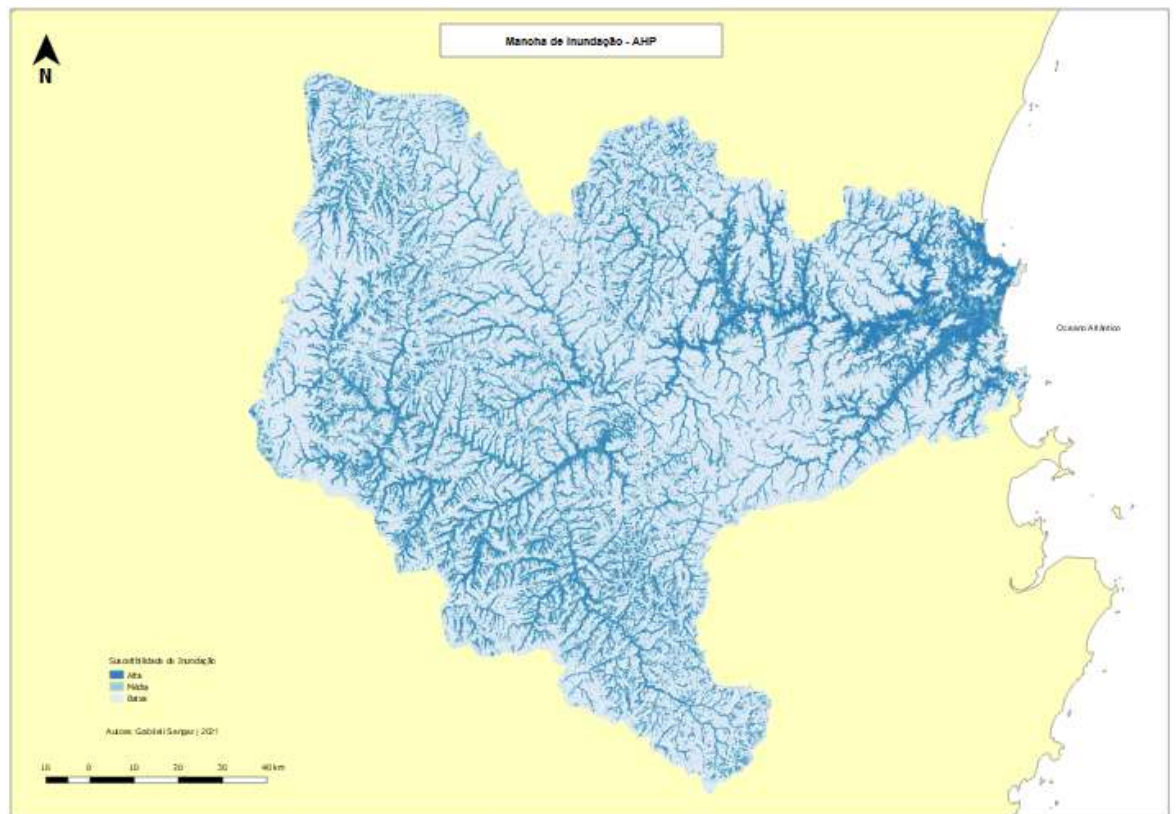
Tabela 17 - Validação da mancha de inundação pelo método AHP.

VALIDAÇÃO				
Municípios	Blumenau	Brusque	Total de Pontos (%)	Classe
Total de pontos	100	100	100%	
Acima de 8.5	76	87	81.50%	ALTA
7.5 a 8.5	15	11	13.00%	MÉDIA
abaixo de 7.5	9	2	5.50%	BAIXA

Fonte: A autora (2021).

Observa-se que o maior número de pontos se concentra na área definida como alta suscetibilidade assim como nos municípios dos quais a classificação foi calibrada, validando o modelo proposto. O mapa gerado por esta metodologia pode ser observado na Figura 37 e no Anexo 2 deste trabalho.

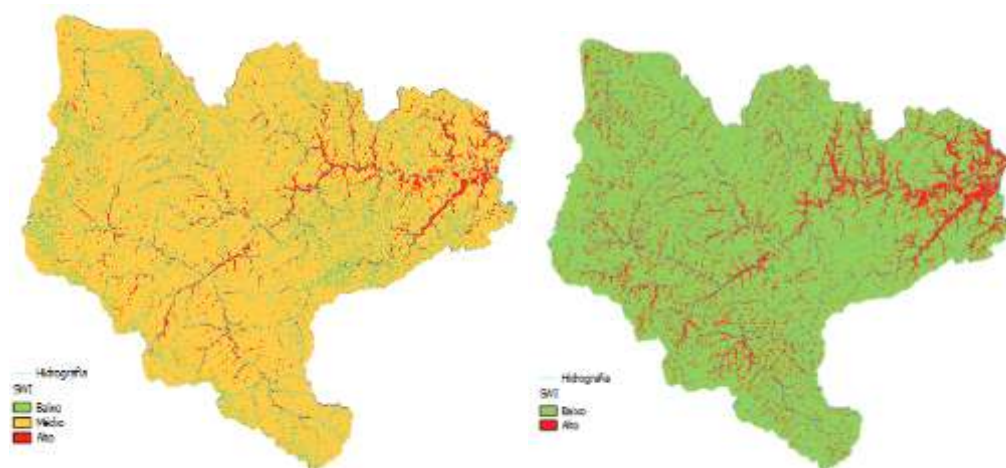
Figura 37 - Mapa de inundação do modelo AHP.



Fonte: A autora (2021).

Um ponto a ser observado ao longo do processo de geração da mancha de inundação condizem com as pequenas alterações nos pesos dados não somente para cada variável do dado de entrada, como também neste próprio dado possuem alto impacto no resultado final. A Figura 38 exhibe esta diferença para o SWI que primeiramente foi subdividido em baixo, médio e alto e posteriormente somente em baixo e alto.

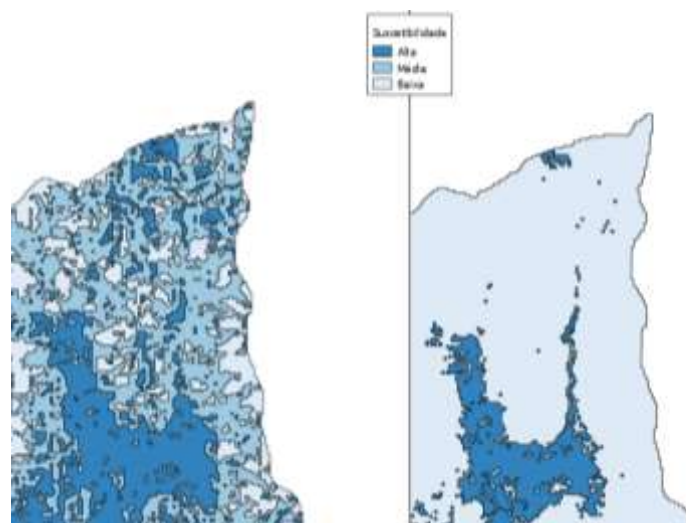
Figura 38 – Comparação nas diferenças obtidas entre a classificação do SWI.



Fonte: A autora (2021).

Na imagem da esquerda observa-se que a área considerada como peso médio cobre a maior parte da bacia, enquanto que a considerada como alto peso somente em algumas partes. Fato que influencia diretamente no resultado final aprovado. Na imagem da direita as áreas com alto peso percorrem mais a área de drenagem e por este motivo optou-se por usá-la, porém, não há aqui uma imagem tida como certa ou errada. O impacto desta escolha pode ser observado na Figura 39.

Figura 39 – Comparação dos impactos dados aos pesos nos dados de entrada do AHP.



Fonte: A autora (2021).

A imagem da esquerda representa respectivamente o uso do dado de entrada daquele SWI representado pela imagem da esquerda da Figura 48 e o mesmo ocorre com a imagem da direita da mesma Figura.

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE METODOLOGIAS

Nota-se uma diferença significativa entre os resultados obtidos por ambos métodos estudados neste trabalho quanto à abrangência dos pontos sobre a mancha de inundação por município, todavia, em termos de área de suscetibilidade os resultados foram próximos entre si. Para o modelo HAND, que considera somente o modelo digital do terreno, os municípios de Ituporanga, Rio do Campo e Taió obtiveram performance reduzida quando comparados com os demais municípios ao gerar a mancha de inundação. Por outro lado, o modelo AHP, que considera mais dados para o processamento, apresenta melhores resultados para estes municípios, uma vez que consideram mais pontos inseridos na mancha de inundação, com exceção de Rio do Campo, que apresentou comportamento contrário dos demais no total de pontos por classe de suscetibilidade. Enquanto o HAND utiliza somente o

processamento de máquina para geração dos valores, o AHP leva em consideração o processo de escolha humana, que embora passe por uma análise de coerência, impacta no resultado final.

A Tabela 18 exibe a quantidade de pontos presente da classe de alta suscetibilidade para ambos os modelos, para os municípios citados acima, evidenciando a diferença.

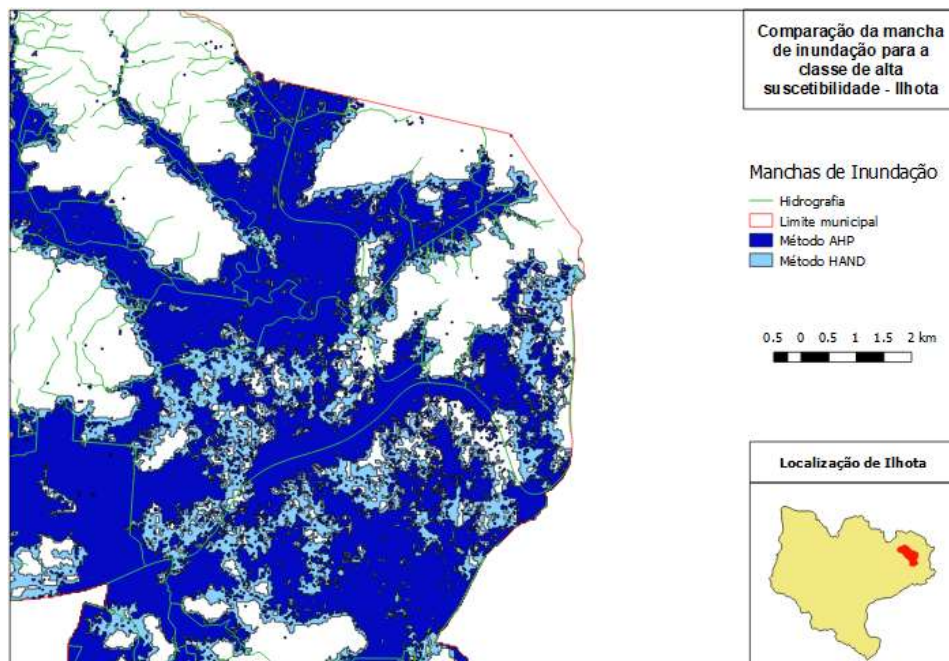
Tabela 18 - Diferença de quantidade de pontos de alta suscetibilidade entre HAND e AHP.

Municípios	Ituporanga	Rio do Campo	Taió		
Total de pontos	584	85	1582	PORCENTAGEM TOTAL	Classe
PONTOS POR MUNICÍPIO					
HAND	93	21	85	8.84%	Alta Suscetibilidade
AHP	378	15	869	56.06%	Alta Suscetibilidade

Fonte: A autora (2021).

Em termos de área, o modelo HAND ocupa aproximadamente 1336 km², isto representa 8,71% de sua região localizada em local classificado como de alta suscetibilidade na bacia hidrográfica, enquanto que o modelo AHP possui 9,1%, correspondente a aproximadamente 1406 km², uma diferença não muito significativa de 70 km² somente observando a área entre ambas metodologias para esta classe, não se considera neste caso o local em que tais áreas se encontram sobre a bacia hidrográfica. A Figura 40 exibe um exemplo desta diferença sobre um recorte do município de Ilhota.

Figura 40 - Exemplo da cobertura da mancha de inundação entre ambas metodologias para um recorte do município de Ilhota.



Fonte: A autora (2021).

Observa-se que o método AHP ocupa grupos de pequenas áreas das quais não estão inseridas no método HAND. Todavia, sobre o curso do rio a área classificada como de maior suscetibilidade é menor da gerada pelo modelo HAND. Isto se deve pela aplicação dos pesos sobre os dados de entrada para a metodologia AHP: uso do solo, SWI (maior peso) e declividade. A Tabela 19 exibe a diferença do valor de área abrangida por cada metodologia de acordo com a classificação feita sobre toda a bacia hidrográfica.

Tabela 19 - Comparação de áreas abrangidas pela mancha de inundação por classe na bacia hidrográfica.

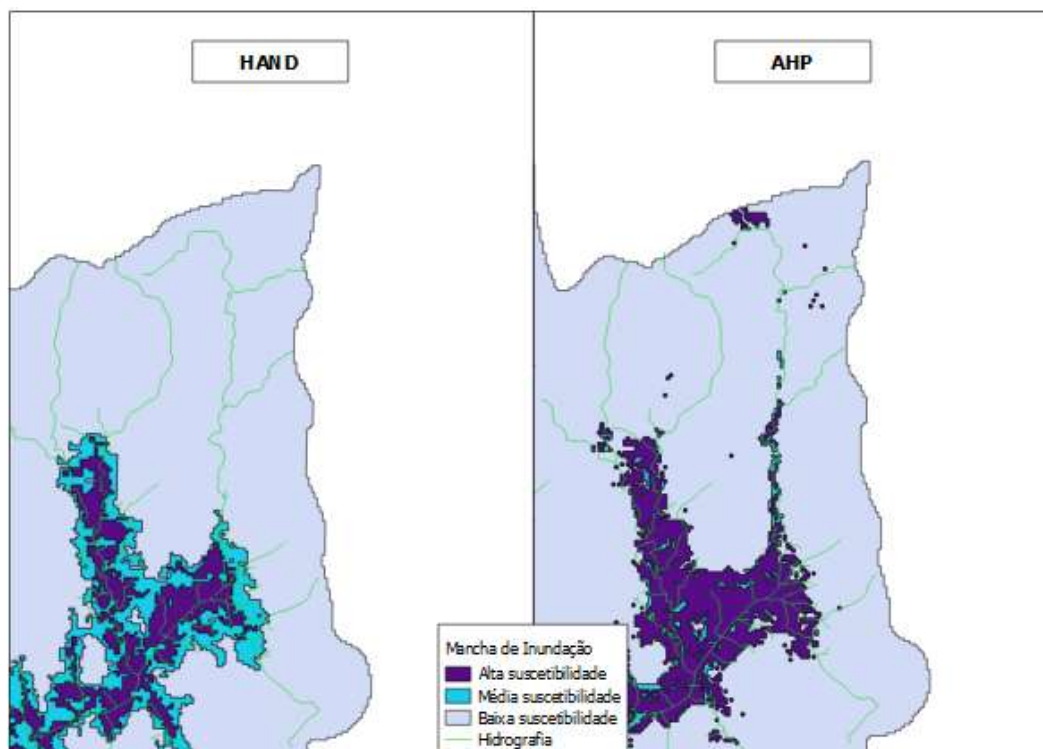
Modelos	HAND	AHP
Classes	Valores (km ²)	
Alta suscetibilidade	1336	1406
Média suscetibilidade	439	610
Baixa suscetibilidade	13559	13372

Fonte: A autora (2021).

Nota-se que para a região de baixa suscetibilidade, o modelo HAND possui uma área 1,38% maior que a do modelo AHP. Mesmo com a diferença entre os dados de entrada para cada metodologia aplicada, pelo fato de o SWI ter maior peso que todos as demais variáveis no modelo AHP, isto pode impactar nos resultados, deixando próximos do obtido pelo HAND. Observa-se ainda que embora na imagem dada como exemplo sobre o município de Ilhota o método AHP ocupasse área menor ao longo do trecho do rio quando comparada ao método HAND, o mesmo pode não acontecer com os demais municípios, como é exibido na Figura 38 de Pomerode, além de existirem fragmentos das classes que ocupam as demais áreas da bacia hidrográfica, fato que pode influenciar neste valor total de área calculada e exibida na Tabela 19 acima.

A Figura 41 compara a classificação para HAND e AHP em um recorte realizado sobre o município de Pomedore, sendo possível visualizar de forma mais clara os dados apresentados pela Tabela 19.

Figura 41 - Comparação da mancha de inundação entre modelos sobre recorte do município de Pomerode.



Fonte: A autora (2021).

Nesta figura é evidente a clara diferença entre as metodologias aplicadas. Enquanto o modelo HAND tende a seguir o caminho de escoamento de rio, a metodologia AHP considera além das áreas de mananciais.

Um ponto de divergência significativa entre as metodologias aplicadas foi observado sobre os municípios de Ituporanga e Taió, que apresentaram baixo desempenho ao abranger os pontos de inundação em relação às demais cidades para o modelo HAND, enquanto que para o modelo AHP este fato não acontece. Isto pode estar relacionado à presença de barragens, no que tange aos municípios de Ituporanga e Taió (Figura 42 e Figura 43).

Figura 42 - Barragem do município de Taió.



Fonte: Governo de SC (2021).

Figura 43 - Barragem de Ituporanga.



Fonte: NSC (2021).

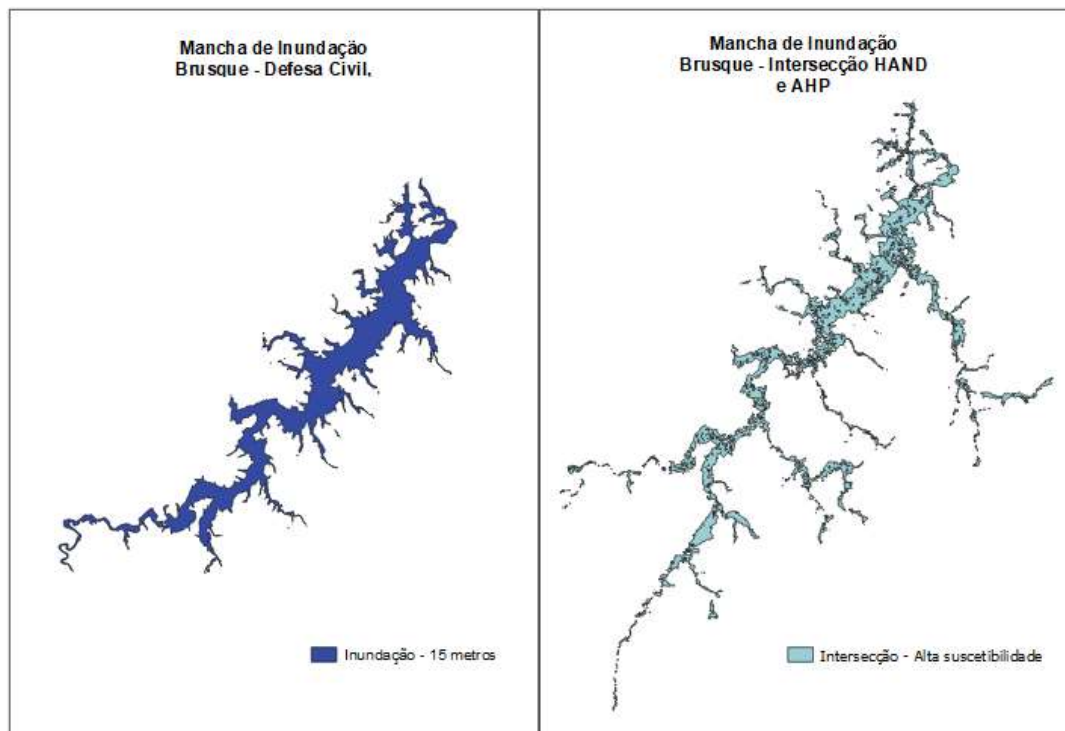
Esta é apenas uma hipótese sobre o que pode estar interferindo nos resultados. Ambas as metodologias utilizam o mesmo MDE, para o HAND as incertezas ali presentes são propagadas diretamente no resultado, enquanto que no AHP, embora estas incertezas no MDE sejam propagadas para o SWI e para a declividade, ainda há a junção com o uso do solo, que não utiliza este dado como entrada para sua geração, o que pode estar dando menos peso à estas incertezas no resultado final.

Rio do campo não possui barragens ao longo do rio na área do município e apresenta um resultado mais próximo do satisfatório quando comparado à Ituporanga e Taió. Este município possui resultados mais próximos dos demais que obtiveram boa quantidade de pontos inserida na mancha de inundação no método HAND, porém ainda não eram suficientes. No método AHP muitos pontos se encontraram na classe de média de suscetibilidade, tendo o comportamento diferente dos demais municípios. Este fato levanta o questionamento de outra possível característica do relevo da região que interfira no resultado final apresentado.

5.4 UNIÃO DE METODOLOGIAS

Ambas metodologias geraram mapas visualmente próximos entre si, porém com características diferentes entre eles, portanto, para a obtenção e análise de um único mapa final optou-se pela união de ambos os mapas e a comparação com uma mancha de inundação já existente sobre determinado município da bacia hidrográfica do Vale do Itajaí. O município escolhido para esta análise é Brusque. Os dados de inundação correspondem ao evento ocorrido em 2011 e foram obtidos pelo site da Defesa Civil. A Figura 44 exibe o uma comparação entre a mancha de inundação na cota de 15 metros e a interseção gerada entre as manchas de inundação de alta suscetibilidade pelo HAND e AHP. A mancha de 15 metros é a de maior cota disponibilizada pela defesa civil e corresponde à classe de alta suscetibilidade da metodologia HAND, por estes motivos foi utilizada para esta comparação.

Figura 44 - Comparação entre manchas de inundação.



Fonte: A autora (2021).

Nota-se que o mapa gerado a partir da interseção entre as metodologias ocupa mais áreas laterais quando comparada à mancha da Defesa Civil. Todavia, elas possuem semelhanças entre si. Isto pode ser melhor visualizado a partir da sobreposição entre ambas manchas, como pode ser observado na Figura 45.

Figura 45 - Mapa de comparação entre as manchas de inundação.

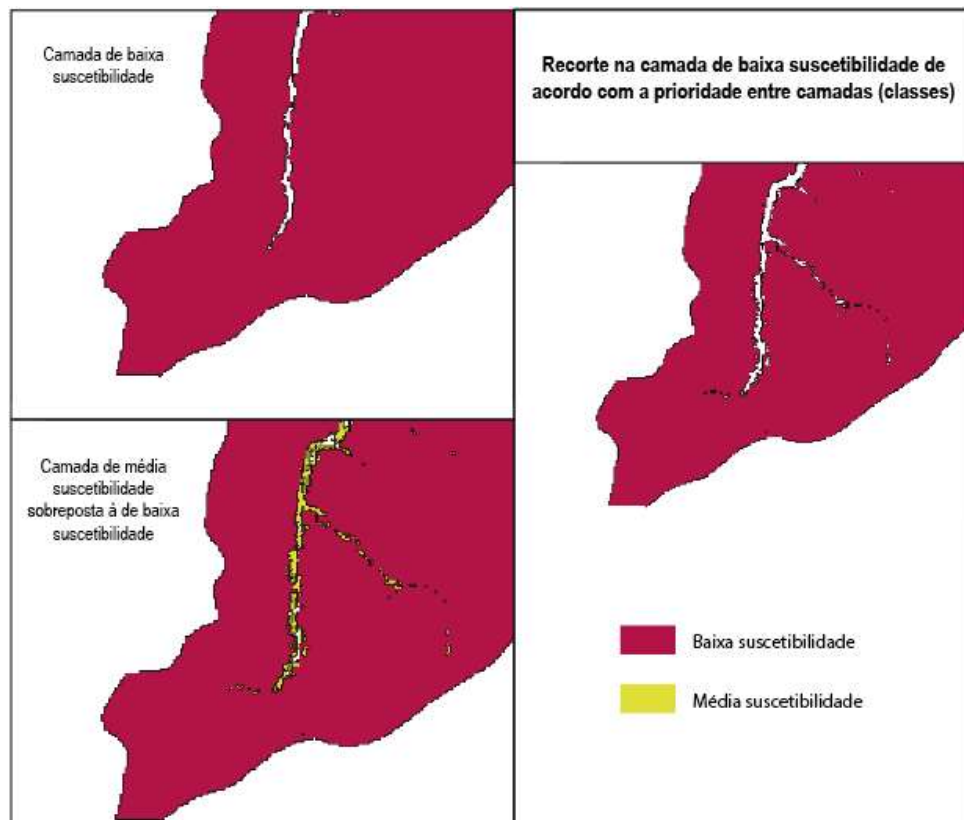


Fonte: A autora (2021).

A área abrangida pela mancha de inundação gerada pela Defesa civil é de aproximadamente 27 km² enquanto que a área abrangida pela intersecção entre as metodologias HAND e AHP é de aproximadamente 23 km².

Para a união das demais classes optou-se priorizar pela ordem de suscetibilidade, aplicando-se não mais a intersecção, mas a união entre os polígonos gerados por ambas metodologias. Áreas que ficarem sobrepostas àquelas de maior prioridade serão desconsideradas. A Figura 46 exemplifica este processo para a classe de baixa suscetibilidade.

Figura 46 - Execução da diferença entre classes de suscetibilidade.



Fonte: A autora (2021).

O Quadro 4 exibe a ordem de processos executados para a obtenção do mapa final com a união dos métodos. Para evitar futuros erros topológicos sobre o dado a ser gerado, uma das ferramentas aplicadas para desconsiderar dados sobrepostos entre si foi a aplicação da “diferença”, desta forma exclui-se dados sobre a mesma área e mantem-se aquele de maior prioridade. A ordem de execução dos processos é considerada da esquerda para a direita, onde cada nova coluna gera um novo dado que será utilizado até a geração do mapa final (última coluna). Inicialmente foram utilizados os pares de cada classe para ambas as metodologias e o produto gerado por eles foram usados nas etapas seguintes e assim por diante.

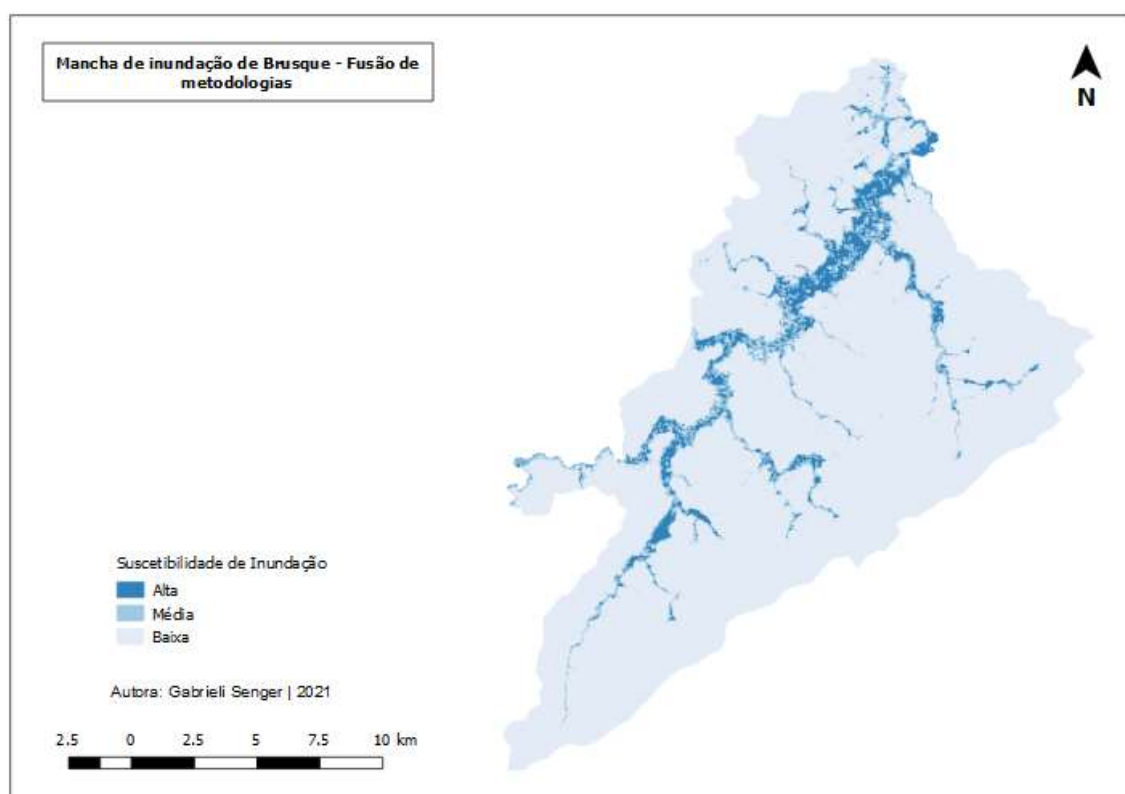
Quadro 4 - Processos para obtenção do mapa final.

Camadas	Prioridade	União	Correções	Mapa Final
Alta suscetibilidade HAND	1	Intersecção	Diferenças entre suscetibilidade alta e média. Prioridade: alta suscetibilidade.	União das camadas corrigidas (sem sobreposição).
Alta suscetibilidade AHP	1			
Média suscetibilidade HAND	2	União +	Diferenças entre suscetibilidade média e baixa. Prioridade: média suscetibilidade.	
Média suscetibilidade AHP	2			
Baixa suscetibilidade HAND	3	União +		
Baixa suscetibilidade AHP	3			

Fonte: A autora (2021).

A opção de se utilizar intersecção para as classes de alta suscetibilidade e a união juntamente do dissolve para as de média e baixa suscetibilidade foi realizada para se buscar maior assertividade na mancha de alta suscetibilidade, bem como evitar possíveis “gaps” existentes entre as feições. Como há uma diferença significativa entre as demais áreas abrangidas para as classes baixa e média entre ambas metodologias, há uma dificuldade no processo de intersecção e permite o surgimento de espaços vazios entre elas. O mapa abaixo (Figura 47) exhibe o município de Brusque com a união final de todas as camadas.

Figura 47 - Mapa de suscetibilidade de Brusque. União entre metodologias.



Fonte: A autora (2021).

Em uma comparação entre os métodos e a união sobre eles realizada nos municípios utilizados para validação, obteve-se o seguinte resultado (Tabela 20).

Tabela 20 - Comparação entre metodologias e união.

classe	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio	TOTAL
HAND	818	93	404	21	85	98	124	36%
AHP	682	378	743	15	869	82	160	65%
Interseção	650	52	244	3	32	82	105	26%

Fonte: A autora (2021).

Nesta comparação considerou-se todos os municípios para todas as metodologias e para a união realizada, por este motivo o HAND aparece com valores abaixo do apresentado na Tabela 10.

Nota-se também que para alguns municípios como Ilhota e Vidal Ramos o resultado apresentado na interseção ficou próximo dos obtidos pela metodologia AHP, enquanto outros como Ituporanga, Rio do Campo e Taió a quantidade de pontos inserido ficou inferior às dos demais métodos. A Tabela 21 exibe o resultado desta interseção e união de dados para todas as classes de suscetibilidade.

Tabela 21 – Quantidade de pontos por classificação no mapa final.

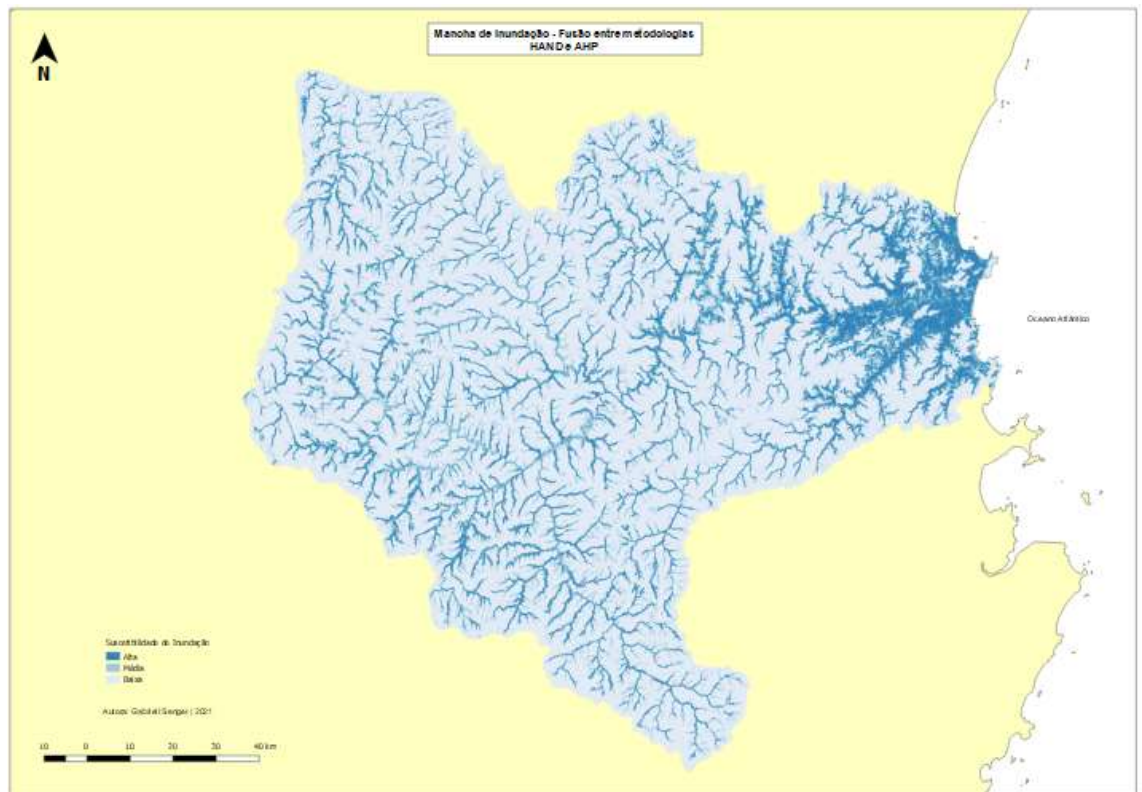
Classe	Ilhota	Ituporanga	Pomerode	Rio do Campo	Taió	Vidal Ramos	Rodeio	TOTAL
Alta	650	52	244	3	32	82	105	26%
Média	70	222	436	10	530	20	86	30%
Baixa	160	310	437	72	1020	1	4	44%

Fonte: A autora (2021).

É possível observar que quase metade dos pontos encontram-se na área de baixa suscetibilidade, se diferenciando do resultado obtido pelos métodos separadamente, todavia, as áreas de média e alta suscetibilidade quando juntas, abrangem maior número de pontos de inundação. Isto acontece mesmo para municípios que separadamente em cada metodologia apresentaram resultados satisfatórios comparados aos demais.

O mapa final (Figura 48) sobre toda a bacia hidrográfica pode ser visualizado no Anexo 03.

Figura 48 - Mapa final da união entre metodologias.



Fonte: A autora (2021).

Neste mapa a área de maior suscetibilidade representa uma área de aproximada 734 km², a área de média suscetibilidade corresponde a aproximadamente a 947 km² e a de baixa suscetibilidade a 13674 km², ocupando, portanto, a maior área da bacia hidrográfica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora as metodologias HAND e AHP não considerarem a variação temporal para a criação da mancha de inundação, como as possíveis alterações na rede de drenagem, tampouco dados mais específicos do rio como a vazão, chegou-se à conclusão de ambos serem uma boa alternativa e de baixo custo para o estudo inicial das inundações sobre as bacias hidrográficas, permitindo futuras obras de engenharia.

A comparação entre a união dessas metodologias e a mancha de inundação gerada pela Defesa Civil para o município de Brusque mostrou que o resultado final deste trabalho subestimou a área inundada quando analisado somente a alta suscetibilidade, abrangendo apenas 26% dos pontos nesta região, porém, ao se considerar também a área de média suscetibilidade, aumenta-se a área total da mancha e, portanto, a quantidade de pontos inseridos para 56%.

Existe a possibilidade que os processos escolhidos e executados para a união das metodologias estejam interferindo no resultado final obtido, por este motivo, recomenda-se para estudos futuros, uma análise envolvendo o impacto que estes processos possuem sobre a mancha de inundação. Neste trabalho, as manchas de inundação separadamente, quando comparados os números de pontos inseridos, apresentaram melhor resultado.

Por fim, conclui-se que para um melhor resultado é necessário boas resoluções espaciais, como as disponibilizadas pela SDS em Santa Catarina, onde cada pixel representa 1 metro do terreno. Neste trabalho a utilização de um MDT com resolução de 30 metros exibiu seu impacto visual no resultado final, onde os vetores das manchas de inundação aparecem quadriculados devido ao tamanho dos pixels utilizados e possivelmente impactou na geração da própria mancha de inundação.

7 BIBLIOGRAFIA

Agência Nacional de Águas. **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas**, 2017 – Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 21 de jun. 2019.

Agência Nacional de Águas. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 19 de jul. 2019.

AKSOY, Hafzullah et. al; **Hydrological and Hydraulic Models for Determination of Flood-Prone and Flood Inundation Areas**. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, p. 137-141, 2016. Disponível em: <https://www.proc-iahs.net/373/137/2016/piahs-373-137-2016.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019.

Banco Mundial – DataBank - 2018. Disponível em: <http://bit.ly/2S7s84M>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J.; **A Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology**. Hydrological Sciences, vol. 24, n. 1, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>. Acesso em: 17 set. 2019.

BRASIL, 2012. **Código Florestal. Lei nº12651, de 25 de maio de 2012**. Diário Oficial da União, Brasília – DF, 28 jun. 2012, Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 27 abr. 2019.

BRASIL, 2001. **Estatuto das Cidades. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Diário Oficial da União, Brasília – DF, 11 jul. 2001, Seção 1, p. 1. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em 18 mai. 2019.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012.** Diário Oficial da União, Brasília - DF, 11 abr. 2012, Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em: 06 mai. 2019.

BOSETTI, Elvio Pinto. **Geomorfologia Vol II.** Ponta Grossa: UEPG/NUTEAD, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/306056930_Geomorfologia_Vol_II>. Acesso em: 10 mai. 2019.

BÖHNER, Jürgen; SELIGE, Thomas; **Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation.** In: SAGA - Analyses and Modelling Applications, 2006. Disponível em <<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1304675/file.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

Boehner, J., Koethe, R. Conrad, O., Gross, J., Ringeler, A., Selige, T. (2002): **Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation.** In: Micheli, E., Nachtergaele, F., Montanarella, L. [Ed.]: Soil Classification 2001. European Soil Bureau, Research Report No. 7, EUR 20398 EN, Luxembourg. p. 213-222. Disponível em: < http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.2.2/ta_hydrology_15.html>. Acesso em: 13/08/2020.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra; **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres,** 2 ed, Brasília, 1998. Disponível em: <http://bit.ly/2WkJm3b>. Acesso em 25 mai. 2019.

CABRAL, Laíse do Nascimento; CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde; **Urbanização, Vulnerabilidade e Resiliência: relações conceituais e compreensões de**

causa e efeito. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 2019. Disponível em: [10.1590/2175-3369.011.002.AO08](https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO08). Acesso em: 15 jul. 2019.

CEPED-UFSC; **Atlas Brasileiro de Desastres naturais – 1991 a 2012.** Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2 ed., Florianópolis, 2013. (Volume Brasil e volumes estados brasileiros). Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>. Acesso em: 06 abr. 2019.

CEPED UFSC; **Capacitação de Gestores de Defesa Civil para Uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID);** Florianópolis, 2012. Disponível em: <http://bit.ly/2wHYBou>. Acesso em: 07 jun. 2019.

CHRISTOFOLETTI, Antonio; **Geomorfologia fluvial.** vol. 1. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

CONCEIÇÃO, R. A. C; Simões, P. M. L; **Modelagem de Suscetibilidade a Inundação Utilizando Processo Analítico Hierárquico (AHP) e Lógica Fuzzy.** Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 90-93, 2019. Disponível em: shorturl.at/mozTX

CORREIA, Evaldo Flávio Gomes; RIBEIRO, Gilberto Pessanha; BAPTISTA, Alessandra Carreiro; **Modelagem Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, Utilizando o Potencial de Geotecnologias na**

Defesa Civil – Blumenau. Disponível em: <https://www.blumenau.sc.gov.br/previsao/wpcotas.aspx>. Acesso em: 02/06/2021.

Defesa Civil – Brusque. Disponível em: <https://defesacivil.brusque.sc.gov.br/mapas/cotas-de-ruas>. Acesso em: 02/06/2021.

Definição de Áreas de Risco à Inundação. Revista Brasileira de Cartografia, vol. 67, no. 6, p. 1183-1202, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/31VN97o>. Acesso em: 25 jun. 2019.

CRUVINEL, Rodrigo Rosa da Silva; FORTES, José Augusto Abreu de Sá; **Identificação de Fatores para a Efetivação da Descentralização de Voos**

Internacionais Regulares de Passageiros no Brasil. Journal of Transport Literature, vol. 9, n. 1, p. 35-39. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v9n1a7>. Acesso em 22 jul. 2019.

DANTAS, Marcelo Eduardo et. al; **Geomorfologia Aplicada à Gestão Integrada de Bacias de Drenagem: Bacia do Rio Araranguá (SC), Zona Carbonífera Sul-Catarinense.** Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa – PB, 2005. Disponível em: <http://bit.ly/2LdrenJ>. Acesso em 30 abr. 2019.

DAS, Sumit; **Geospatial Mapping o Flood Susceptibility and Hydro-Geomorphic Response to the Floods in Ulhas Basin, India .** Remote Sensing Applications: Society and Environment, vol. 14, p. 60-74, 2019. Disponível em: [10.1016/j.rsase.2019.02.006](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006). Acesso em: 25 jul. 2019.

DONNER, William; RODRÍGUEZ, Havidán; **Population Composition, Migration and Inequality: The Influence of Demographic Changes on Disaster Risk and Vulnerability.** Social Forces, vol. 87, n. 2, p. 1089-1114, 2008. Disponível em: <https://academic.oup.com/sf/article/87/2/1089/2235118>. Acesso em: 07 jun. 2019.

EMBRAPA. **Avaliação de aptidão agrícola das terras: proposta metodológica.** Embrapa Meio Ambiente. Jaguaraiúna – sp, 2004. Disponível em: <http://bit.ly/2IRJLDU>. Acesso em: 20 abr. 2019.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 30 abr. 2019

EM-DAT – **Glossary,** 20--.. Disponível em: https://www.emdat.be/Glossary#letter_r. Acesso em 24 mai. 2019.

FLETCHER, T. D. et. al; **Understanding, Management and Modelling of Urban Hydrology and its Consequences for Receiving Waters: A State of the Art.** Advances in Water Resources, vol. 51, p. 261-279, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>. Acesso em: 10 jan. 2021.

GOERL, Roberto Fabris; MICHEL, Gean Paulo; KOBAYAMA, Masato; **Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Inundação com o Modelo HAND e Análise do seu Desempenho em Diferentes Resoluções Espaciais**. Revista Brasileira de Cartografia, vol. 69, n. 1, p. 61-69, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2Sb0Vys>. Acesso em 09 jul. 2019.

GOLDEWIJK, Kees Klein; BEUSEN, Arthur; JANSSEN, Peter; **Long-term Dynamic Modeling of Global Population and Built-up Area in a Spatially Explicit Way: HYDE 3.1**. The Holocene, vol. 20 n. 4, p. 565-573, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0959683609356587>. Acesso em: 08 jun. 2019.

Google Earth Pro. Disponível em <>.

GUIMARÃES, P. C. V; **As Enchentes em Santa Catarina e o Aprendizado em Políticas Públicas**. ENAP – Casoteca de Gestão Pública, 2012. Disponível em: shorturl.at/wJLV1. Acesso em: 20 mai. 2021.

HEDLEY, C.B; ROUDIER, P.; YULE, I.J.; EKANAYAKE, J.; BRADBURY, S; **Soil Water Status and Water Table Depth Modelling using Electromagnetic Surveys for Precision Irrigation Scheduling**. Geoderma, vol. 199, p. 22-29, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.07.018>

HAGEMEIER-KLOSE, M.; WAGNER, K; **Evaluation of Flood Hazard Maps in Print and Web Mapping Services as Information Tools in Flood Risk Communication**. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 9, p. 563-574, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/2MojYWK>. Acesso em: 02 jun. 2019.

HUNG, Marcelo Ng Wei Ban; MARANGON, Fernando Helmuth Syring; SANTOS, Irani; **Comparação entre o Índice Topográfico e o Tasseled Cap Wetness na Estimativa da Umidade do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Corredeiras – SC**. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Campinas – SP, 2017. Disponível em <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1815>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

IBGE Cidades. **Censo de 2010**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em 16 mai. 2019.

IPEA; **Agenda 2030: ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, 2018. Disponível em: <<http://bit.ly/2PRqnry>>. Acesso em: 07 mai. 2019.

JATOBA, Sérgio Ulisses Silva. **Urbanização, Meio Ambiente e Vulnerabilidade Social**. Boletim Regional, Urbano e Ambiental, 2011. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5567/1/BRU_n05_urbanizacao.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.

JÚNIOR PINESE, José Fernando; RODRIGUES, Silvio Carlos; **O Método de Análise Hierárquica – AHP – como Auxílio na Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica no Rio Piedade (MG)**. Revista do Departamento de Geografia, vol. 23, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/rdg/article/view/47203>. Acesso em: 22 jul. 2019.

KAWAMURA, Youhei et. al; **Using GIS to Develop a Mobile Communications Network for Disaster-damaged Areas**. International Journal of Digital Earth, vol. 7, p. 279-293, 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2X0T8rF>. Acesso em: 10 jun. 2019.

LOTTE, Rodolfo Georjute; ALMEIDA, Cláudia Maria de; VALERIANO, Márcio de Morisson; **Aquisição do Índice de Saturação do Solo (TWI) para a Avaliação de Suscetibilidade a Movimentos de Massa na Região de São Sebastião-SP**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1570.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2019.

MAGALHÃES, Ivo Lopes et al; **Uso de Geotecnologias para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundação em Guaçuí, ES: Uma Análise Comparativa entre Dois Métodos.** Cadernos de Geociência, vol. 8, n. 2. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/5288>. Acesso em: 10 abr. 2019.

MAHMOUD, Shereif H.; GAN, Thian Yew; **Urbanization and Climate Change Implications in Flood Risk Management: Developing an Efficient Decision Support System for Flood Susceptibility Mapping.** Science of the Total Environment, vol. 636, p. 152-167. Disponível em: <http://bit.ly/2EKA3j3>. Acesso em: 31 mai. 2019.

MARQUES, Mara Lúcia; SILVA, Maurício Corégio; CAMARGO, Danilo Mangaba; **Análise Espacial da Vulnerabilidade Socioambiental no Município de Campinas, SP, Brasil.** Revista Brasileira de Cartografia, vol. 69, n. 9, p. 1711-1723, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2HIMXyY>. Acesso em: 10 abr. 2019.

MENGUE, Vagner Paz, et. al; **Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai.** Pesquisas em Geociências, vol. 43, n. 1, p. 41-53, 2016. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/78191/44810>. Acesso em: 31 mai. 2019.

MGHIRBI, Oussama et. al; **Mapping for the Management of Diffuse Pollution Risks Related to Agricultural Plant Protection Practices: Case of the Etang de l'Or catchment Area in France.** Environmental Science and Pollution Research, vol. 25, p. 14117-141137, 2018. Disponível em: <http://bit.ly/2wwwPey>. Acesso em: 31 mai. 2019.

MILANESI, Jonas; QUADROS, Everton Luís Luz de; LAHM; Regis Alexandre; **Utilização do Modelo HAND no Reconhecimento dos Terrenos Sujeitos a Inundação – Porto Alegre/RS.** Revista Brasileira de Cartografia, vol. 69, no. 4, p. 675-686. Disponível em: <http://bit.ly/31RXAbV>. Acesso em: 25 jun. 2019.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Anuário Brasileiro de Desastres naturais 2012**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2xkMlea>. Acesso em: 28 jun. 2019.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Noções Básicas em Proteção e Defesa Civil e em Gestão de Riscos: Livro Base**, Brasília, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2LTbWTP>. Acesso em: 15 jul. 2019.

MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2019.

MIRANDA, N. M. G, et. al. **Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos**. Anuário do Instituto de Geociências - Rio de Janeiro, vol. 42-4, p. 172-181, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_172_181. Acesso em: 22 mai. 2021.

MONTOYA, Lorena; **Geo-data Acquisition Through Mobile GIS and Digital Video: an Urban Disaster Management Perspective**. Environmental Modelling & Software, vol. 18, p. 869-876, 2003. Disponível em: <http://bit.ly/2R1CwL3>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MOMO, Marcos Rodrigo, et. al. **Desempenho do Modelo HAND no Mapeamento de Áreas Suscetíveis à Inundação Usando dados de Alta Resolução Espacial**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 21, no 1, p. 200-208, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p200-208>. Acesso em: 23 jun. 2019.

Nacional Weather Service. Disponível em: https://www.weather.gov/mrx/flood_and_flash. Acesso em: 10 mai. 2019.

NOBRE, Antonio Donato, et. al; **Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model**. Journal of Hidrology, p. 13-29, 2011. Disponível em: <http://bit.ly/2YL3Obw>. Acesso em 09 jul. 2019.

NUNES, Lucí Hidalgo; **Urbanização e Desastres naturais: abrangência América do Sul**. Oficina de Textos, São Paulo, 2015.

NYC Planning. **NYC Flood Hazard Mapper**. Disponível em: shorturl.at/dizCS. Acesso em 10 mai. 2021.

OLORUNFEMI, Idowu Ezekiel, et. al; **A GIS-based Assessment of the Potential Soil Erosion Andflood Hazard Zonesin Ekiti State, Southwestern Nigeria Using Integrated RUSLE and HAND Models**. Catena, p.194, 2020. Disponível em: shorturl.at/fpOR3. Acesso em 18 fev. 2021.

ONU - AGENDA 2030 - 17 ODS. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/17/>. Acesso em 20 jul. 2019.

PPA 2016-2019. **Programa 2040**. Disponível em: <http://bit.ly/2Jz2BPo>. Acesso em: 16 jul. 2019.

POSEIRO, Pedro Guerra et. al; **Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) à Análise das Consequências de Ocorrência de Galgamentos. O caso da Baía da Praia da Vitória**. 8º Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2GmoBew>. Acesso em 22 jul. 2019.

RENOÓ, Camilo Daleles et. al; **HAND, a New Terrain Descriptor Using SRTM-DEM: Mapping Terra-Firme Rainforest Environments in Amazonia**. Remote Sensing of Environment, vol 112, p. 3469-3481, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570800120X>. Acesso em: 15 mai. 2019.

REZENDE, Patrícia Soares; MARQUES, Daniela Vieira; OLIVEIRA, Luiz Antônio; **Construção de Modelo e Utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para Mapeamento de Risco à Inundação em Área Urbana** – Caminhos de Geografia, vol. 18, n. 61, p. 01-18, março 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG186101>. Acesso em 27 abr. 2019.

RIGHI, Eléia; **Risco de Inundação em Médio Curso do Rio Uruguai: Um Estudo de Caso nos Municípios de Porto Lucena e São Borja**. 2012.

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32566>. Acesso em: 10 mai. 2019.

RISI, Rafaele; JALAYER, Fatemeh; PAOLA, Francesco; **Meso-scale Hazard Zoning of Potentially Flood Prone Areas** – Journal of Hidrology, p. 316-325, 2015. Disponível em: <http://bit.ly/2L8ilqc>. Acesso em 27 abr. 2019.

ROCHA, Isa de Oliveira (Org.); **Atlas Geográfico de Santa Catarina: Diversidade da Natureza**. UDESC, Florianópolis, 2014.

SAATY, Thomas L.; **A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure** - Journal of Mathematical Psychology, vol. 15, p. 234-281, 1977. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/record/1978-09176-001>. Acesso em 27 abr. de 2019.

SAATY, Thomas L.; **How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process** – European Journal of Operacional Research, vol. 48, p. 9-26, 1990. Disponível em: <http://bit.ly/2vviGxD>. Acesso em: 27 abr. 2019.

SANTA CATARINA. **Manual da Defesa Civil**, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/2VD6nz5>. Acesso em: 13 mai. 2019.

SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. Editora Hucitec, São Paulo, 2005.

SCHANZE, Jochen; ZEMAN, Evzen; MARSALEK, Jiri; **Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures**. NATO Science Series: Earth and Environmental Sciences, vol. 67, República Tcheca, 2004. Disponível em: <http://bit.ly/30YqDtR>. Acesso em: 31 mai. 2019.

SILVA, L. O.; BARBOSA, K. V.. **Análise espacial da suscetibilidade à inundação na Sub-Bacia Muriaé 2, Campos dos Goytacazes (RJ)**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.8, p.127-138, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0011>. Acesso em: 15 abr. 2020.

SILVIA, Regina Celly Nogueira da Silva; MACÊDO, Celênia de Souto; **A Urbanização Brasileira**. Secretaria de Educação a Distância (SEDIS), 2009.

SOUZA, Leonardo Andrade; SOBREIRA, Frederico Garcia; **Guia para Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres naturais: Estudo de caso de Ouro Preto 2013**. 1 ed, Brasília, 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2QXWSox>. Acesso em: 09 jun. 2019.

TASCA, Fabiane Andressa; **O Papel da Drenagem Urbana na Prevenção de Desastres Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu**. Revista Brasileira de Cartografia, vol. 69, n. 1, p. 129-142, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2H5u7ms>. Acesso em: 06 mai. 2019.

TEIXEIRA, Elenaldo Celso; **O Papel das Políticas Públicas no Desenvolvimento Local e na Transformação da Realidade**. AATR-BA, 2002. Disponível em: <http://bit.ly/2M2GmVA>. Acesso em: 18 mai. 2019.

TORRENS, Antonio Carlos; **Poder Legislativo e Políticas Públicas: Uma Abordagem Preliminar**. Revista de Informação Legislativa, vol. 50 n. 197, 2013. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/50/197/ril_v50_n197_p189.pdf. Acesso em: 18 mai. 2019.

TRAJBER, Rachel; OLIVATO, Débora; MARCHEZINE, Victor; **Conceitos e Termos para a Gestão de Riscos de Desastres na Educação**. CEMADEN, 201-. Disponível em: <http://bit.ly/2JIZDbs>. Acesso em: 12 mai. 2019.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; **Aspectos Institucionais no Controle de Inundações Urbanas**. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Brasília, 1999. Disponível em: <http://bit.ly/2Vg7OTQ>. Acesso em: 06 mai. 2019.

UNISDR – **Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastre**, 2015. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/43291_63575sendaiframeworkportunofficialf.pdf. Acesso em: 16 jul. 2019.

UNISDR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/2VTpIYK>. Acesso em: 07 abr. 2019.

UNISDR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK, 2005-2015. Disponível em: encurtador.com.br/blmno. Acesso em: 07 jan. 2021.

UNISDR - *UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK, 2015-2030*. Disponível em: encurtador.com.br/buBN4. Acesso em: 07 jan. 2021.

UNISDR - *UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK*. 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Geneva – Suíça, 2009. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf. Acesso em: 07 abr. 2019.

UN – *UNITED NATIONS*, 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2018/10/1642192>. Acesso em: 01 fev. 2021.

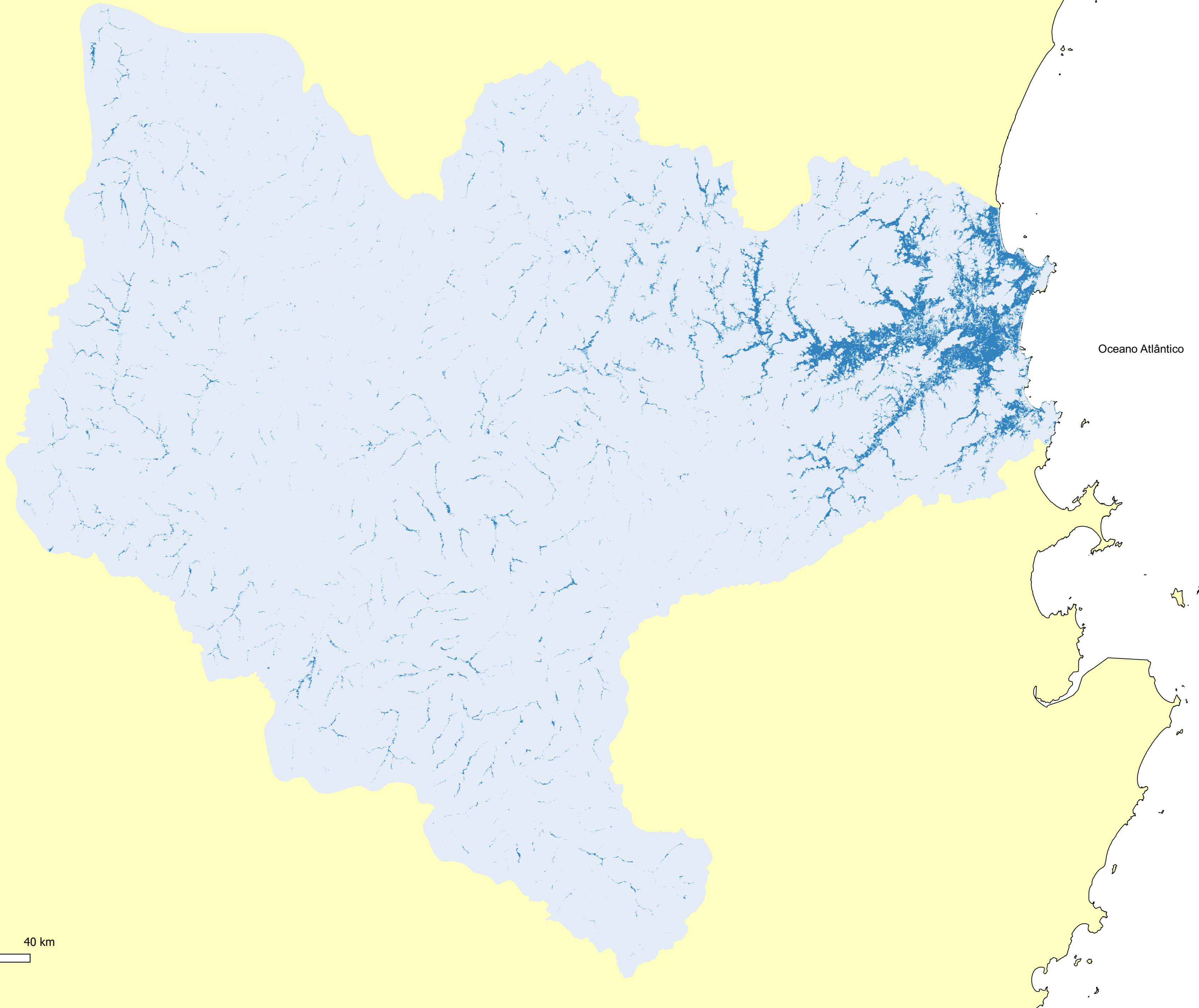
VALENTI, Eduardo da Silva; ROLIM, Silvia Beatriz Alves; ROCHA, Ronaldo dos Santos da; **Modelo Cartográfico Digital Temático para Simulação e Previsão de Inundações no Município de Porto Alegre – RS**. Revista Brasileira de Cartografia, vol. 64, no. 3, p. 331-345. Disponível em: <http://bit.ly/31LMzZA>. Acesso em: 25 jun. 2019.

WANG, Lei; LIU, Holiday; **An Efficient Method for Identifying and Filling Surface Depressions in Digital Elevation Models for Hydrologic Analysis and Modelling**. International Journal of Geographical Information Science, vol. 20, no. 2, 2006. Disponível em: <http://bit.ly/2V6P6xl>. Acesso em 30 abr. 2019.

WESTEN, Cees van; ASCH, Theo van; SOETERS, R. Landslide Hazard and risk zonation: Why is Still so Difficult? **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 65, maio de 2016. Disponível em: <http://bit.ly/30EDCRo>. Acesso em: 23 mai. 2019.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Disponível em <http://bit.ly/2H69Hdc>. Acesso em: 06 mai. 2019.

Mancha de Inundação - HAND



Oceano Atlântico

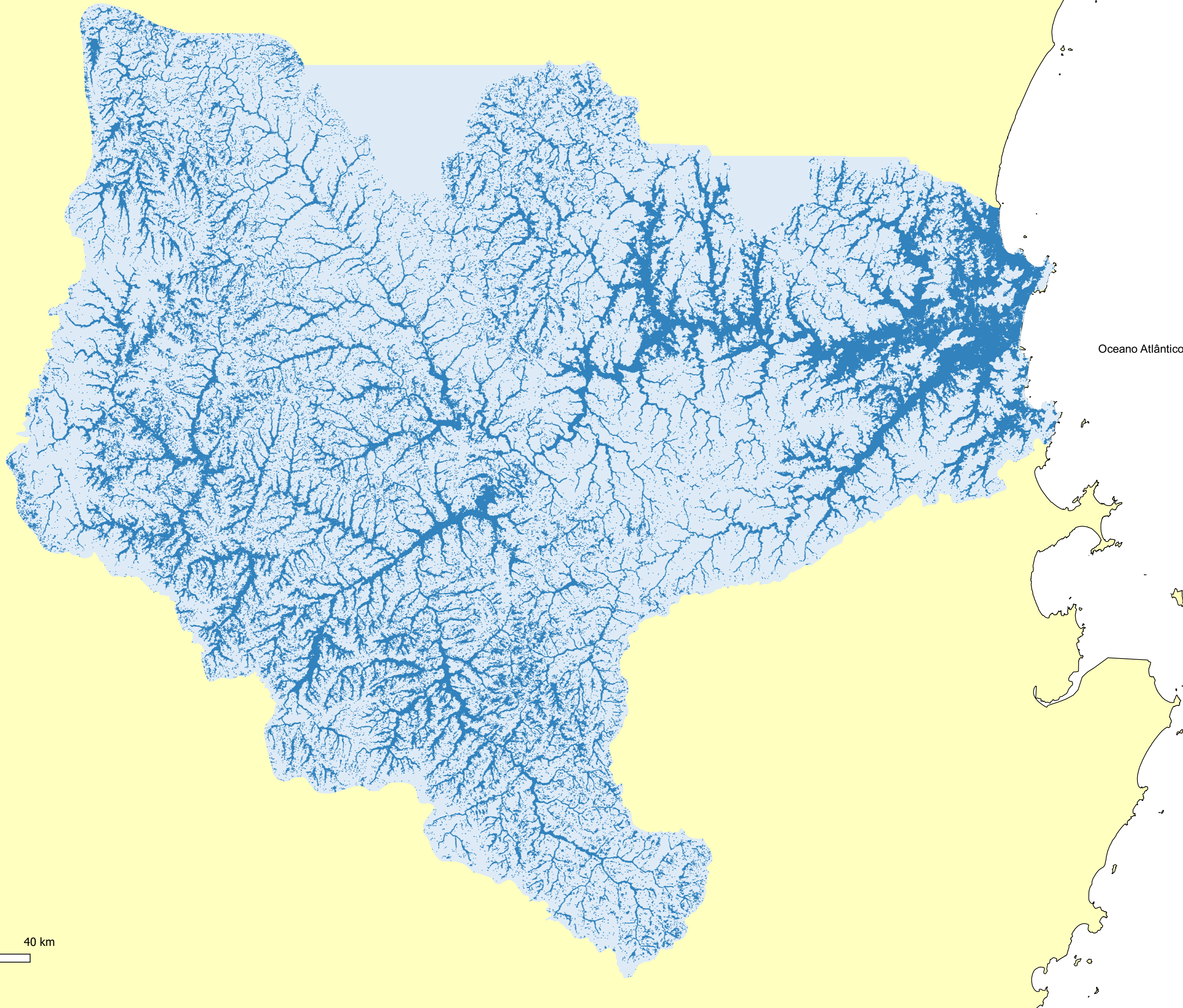
Suscetibilidade de Inundação

- Alta
- Média
- Baixa

Autora: Gabrieli Senger | 2021



Mancha de Inundação - AHP

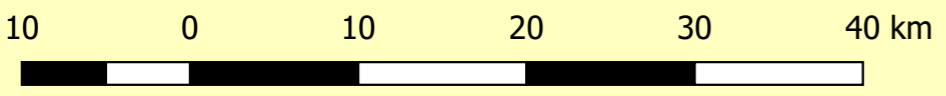


Oceano Atlântico

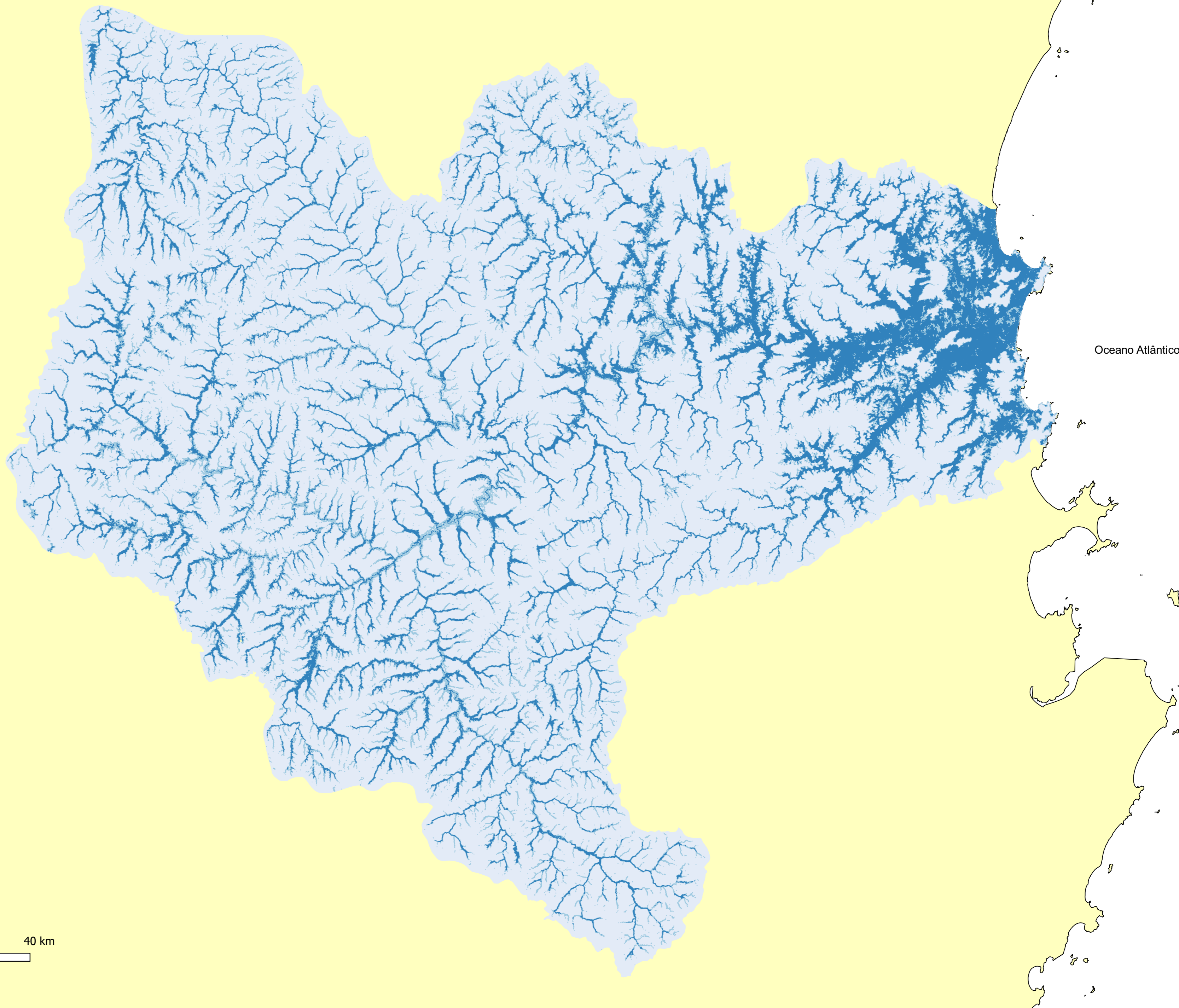
Suscetibilidade de Inundação

- Alta
- Média
- Baixa

Autora: Gabrieli Senger | 2021



**Mancha de Inundação - Fusão entre metodologias
HAND e AHP**



Oceano Atlântico

Suscetibilidade de Inundação

- Alta
- Média
- Baixa

Autora: Gabrieli Senger | 2021

