

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Luís Antônio Bueno

**Mapeamento de risco de inundação em Santa Catarina utilizando dados censitários e
Modelo HAND**

Florianópolis

2022

Luís Antônio Bueno

**Mapeamento de risco de inundação em Santa Catarina utilizando dados censitários e
Modelo HAND**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro
Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental
Orientador: Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr..

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bueno, Luis Antonio
Mapeamento de risco de inundação em Santa Catarina
utilizando dados censitários e Modelo HAND/ Luis Antonio
Bueno ; orientador, Pedro Luiz Borges Chaffe, 2022.
77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Hidrologia. 3.
Desastres Naturais. 4. Modelo HAND. 5. Mapa de Risco. I.
Chaffe, Pedro Luiz Borges. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental.
III. Título.

Luís Antônio Bueno

**Mapeamento de risco de inundação em Santa Catarina utilizando dados censitários e
Modelo HAND**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 16 de dezembro de 2022.

Prof^a. Maria Elisa Magri, Dr^a.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Pedro Luiz Borges Chaffe, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Roberto Fabris Goerl, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

RESUMO

As inundações em áreas urbanas são um problema causado pela falta de planejamento e controle dos processos de ocupação de áreas de risco. Para minimizar os impactos, são elaborados os mapas de risco de acordo com a exposição, a vulnerabilidade e o perigo. O objetivo deste trabalho é mapear as áreas de risco de inundação no estado de Santa Catarina, utilizando dados censitários e o Modelo HAND. Para isso, delimitou-se a exposição pela densidade demográfica e a vulnerabilidade pela renda *per capita* nos setores censitários. Estimou-se o perigo pela análise de cotas de inundação máximas ajustadas pelas distribuições de Log-Pearson III, Log-Normal e Gumbel. A espacialização das cotas de inundação foi realizada pelo Modelo HAND. Adotou-se um método de regionalização das cotas de inundação de acordo com a Região Hidrográfica (RH). Assim, optou-se por utilizar a estação que apresentasse o maior valor de cotas máximas entre as estações da mesma RH. O ajuste de distribuição mais utilizado nas análises foi o Log-Pearson III. As RHs 6, 8 e 10 apresentaram as maiores áreas relativas de exposição alta. A RH 4 apresentou a maior porcentagem de área classificada como vulnerabilidade alta. As RHs 6 e 10 apresentaram as maiores áreas relativas de perigo alto. Concluiu-se que a região com a maior área relativa de risco alto foi a RH 6. A partir do Modelo HAND e dos dados censitários, foi possível obter o mapa de risco do estado, de forma que podem ser utilizados na elaboração de estudos em grande escala através da regionalização da cota de inundação.

Palavras-chave: Desastres Naturais. Inundação. Mapa de Risco.

ABSTRACT

Flooding in urban areas are a problem caused by the lack of planning and control of occupation processes in risk areas. To minimize impacts, risk maps are prepared according to exposure, vulnerability and hazard. The objective of this study is to map the areas at flooding risk in the state of Santa Catarina using census data and the HAND Model. For this, exposure was delimited by demographic density and vulnerability by *per capita* income in census tracts. Hazard was estimated by analyzing maximum flood heights adjusted by Log-Pearson III, Log-Normal and Gumbel distributions. The spatialization of flood heights was obtained using the HAND Model. A method of regionalization of flood heights according to the Hydrographic Region (HR) was adopted. Thus, it was decided to use the station that presented the highest value of maximum height among the stations of the same HR. The most used distribution fit was the Log-Pearson III. HRs 6, 8 and 10 had the highest relative areas of high exposure. HR 4 had the highest percentage of areas classified as high vulnerability. HRs 6 and 10 had the highest relative areas of high hazard. It was concluded that the region with the largest relative area of high risk was HR 6. From the HAND Model and census data, it was possible to obtain the risk map of the state, so that it can be used in the preparation of studies in on a large scale through regionalization of the flood height.

Keywords: Natural Disasters. Flooding. Risk Map.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização das Regiões Hidrográficas.	22
Figura 2 – Localização das Estações Fluviométricas analisadas por Região Hidrográfica.....	24
Figura 3 – Divisão da Região Hidrográfica 7 em Subbacias.	27
Figura 4 – Métodos de escolha da cota de inundação.	27
Figura 5 – Fluxograma.	30
Figura 6 – Mapa de Exposição.	31
Figura 7 – Mapa de Vulnerabilidade.	32
Figura 8 – Mapa de Risco da RH7 para os diferentes métodos analisados.....	34
Figura 9 – Modelo HAND do estado de Santa Catarina.	37
Figura 10 – Mapa de Risco de Inundação do estado de Santa Catarina.....	38
Figura 11 – Gráfico da estação 65180000.....	48
Figura 12 – Gráfico da estação 65240000.....	48
Figura 13 – Gráfico da estação 70500000.....	49
Figura 14 – Gráfico da estação 71300000.....	49
Figura 15 – Gráfico da estação 71498000.....	50
Figura 16 – Gráfico da estação 72870000.....	50
Figura 17 – Gráfico da estação 73180000.....	51
Figura 18 – Gráfico da estação 73300000.....	51
Figura 19 – Gráfico da estação 73360000.....	52
Figura 20 – Gráfico da estação 73820000.....	52
Figura 21 – Gráfico da estação 73850000.....	53
Figura 22 – Gráfico da estação 73900000.....	53
Figura 23 – Gráfico da estação 74295000.....	54
Figura 24 – Gráfico da estação 74300000.....	54
Figura 25 – Gráfico da estação 74320000.....	55
Figura 26 – Gráfico da estação 82549000.....	55
Figura 27 – Gráfico da estação 83050000.....	56
Figura 28 – Gráfico da estação 83250000.....	56
Figura 29 – Gráfico da estação 83440000.....	57
Figura 30 – Gráfico da estação 83500002.....	57

Figura 31 – Gráfico da estação 83520000.....	58
Figura 32 – Gráfico da estação 83660000.....	58
Figura 33 – Gráfico da estação 83675000.....	59
Figura 34 – Gráfico da estação 83680000.....	59
Figura 35 – Gráfico da estação 83800002.....	60
Figura 36 – Gráfico da estação 83880000.....	60
Figura 37 – Gráfico da estação 83900000.....	61
Figura 38 – Gráfico da estação 84071000.....	61
Figura 39 – Gráfico da estação 84095000.....	62
Figura 40 – Gráfico da estação 84100000.....	62
Figura 41 – Gráfico da estação 84520000.....	63
Figura 42 – Gráfico da estação 84551000.....	63
Figura 43 – Gráfico da estação 84560002.....	64
Figura 44 – Gráfico da estação 84580000.....	64
Figura 45 – Gráfico da estação 84598002.....	65
Figura 46 – Gráfico da estação 84600000.....	65
Figura 47 – Gráfico da estação 84820000.....	66
Figura 48 – Gráfico da estação 84853000.....	66
Figura 49 – Gráfico da estação 84950000.....	67
Figura 50 – Mapas Região Hidrográfica 1.....	68
Figura 51 – Mapas Região Hidrográfica 2.....	69
Figura 52 – Mapas Região Hidrográfica 3.....	70
Figura 53 – Mapas Região Hidrográfica 4.....	71
Figura 54 – Mapas Região Hidrográfica 5.....	72
Figura 55 – Mapas Região Hidrográfica 6.....	73
Figura 56 – Mapas Região Hidrográfica 7.....	74
Figura 57 – Mapas Região Hidrográfica 8.....	75
Figura 58 – Mapas Região Hidrográfica 9.....	76
Figura 59 – Mapas Região Hidrográfica 10.....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores atribuídos a cada classe dos fatores de risco.....	29
Quadro 2 – Combinações de risco possíveis.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limiar utilizado no Modelo HAND das RHs.....	25
Tabela 2 – Área (km ²) das combinações de risco por método para a RH7.....	33
Tabela 3 – Erro (%) por método de análise das combinações de risco para a RH7...35	
Tabela 4 – Área (km ²) de risco por método de análise para a RH7.....	35
Tabela 5 – Erro (%) por método de análise de risco para a RH7.....	35
Tabela 6 – Cota de inundação (m) por TR utilizada no perigo de cada RH.	36
Tabela 7 – Cota de inundação (m) por TR de cada estação fluviométrica analisada.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agencia Nacional de Águas e Saneamento básico
APP	Áreas de Preservação Permanente
ASC	Área do Setor Censitário
DPSC	Densidade Populacional por Setor Censitário
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
HAND	<i>Height Above the Nearest Drainage</i> - Altura Acima da Drenagem mais Próxima
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Changes</i> - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
MDE	Modelos Digitais de Elevação
NHSC	Número de Habitantes por Setor Censitário
RH	Região Hidrográfica
RDSC	Renda Declarada no Setor Censitário
RpcSC	Renda <i>per capita</i> do Setor Censitário
SDE	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
TR	Tempo de Retorno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	RISCO DE INUNDAÇÃO	17
2.1.1	Exposição	17
2.1.2	Vulnerabilidade	18
2.1.3	Perigo	19
2.2	Modelo HAND	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	ÁREA DE ESTUDO	22
3.2	RISCO DE INUNDAÇÃO	23
3.2.1	Perigo de Inundação	23
3.2.1.1	<i>Cotas de Inundação</i>	23
3.2.1.2	<i>Modelo HAND</i>	25
3.2.1.3	<i>Proposta de simplificação da delimitação de perigo</i>	26
3.2.2	Exposição	28
3.2.3	Vulnerabilidade	28
3.2.4	Mapa de Risco	29
3.3	FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	EXPOSIÇÃO	31
4.2	VULNERABILIDADE	32
4.3	COTA DE INUNDAÇÃO	33
4.4	REGIONALIZAÇÃO DA COTA DE INUNDAÇÃO.....	33
4.5	PERIGO	36

4.6	ÁREAS DE RISCO	37
5	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS.....	40
	APÊNDICE A – Cota de inundação por TR de cada estação fluviométrica analisada	47
	APÊNDICE B – Gráficos dos ajustes de distribuição por estação fluviométrica	48
	APÊNDICE C – Mapas das Regiões Hidrográficas	68

1 INTRODUÇÃO

As inundações em áreas urbanas são um problema causado pela falta de planejamento e controle dos processos de ocupação de áreas de risco (TUCCI, 2005). Com a impermeabilização do solo e a falta de drenagem urbana eficiente, os períodos chuvosos do ano demandam cuidados de autoridades e atenção da população que pode ser atingida. Entre outubro de 2017 e março de 2022 foram causados prejuízos de mais de 55 bilhões de reais devido às chuvas excessivas no país (CNM, 2022). Neste mesmo período, 549.166 habitações foram afetadas, o que corresponde a 28,8 milhões de pessoas, sendo que 637 vieram a óbito (CNM, 2022).

Para prevenção dos desastres e minimização de impactos, são elaborados os mapas de risco que classificam os territórios de acordo com a exposição, a vulnerabilidade e o perigo a uma determinada ameaça. Os mapas de risco de inundações em áreas em fase de urbanização podem auxiliar o planejamento urbano, no controle de construções e de infraestrutura urbana (GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN, 2012).

A relação geográfica entre o nível de exposição à inundação, o grau de vulnerabilidade aos danos que podem ser provocados e o perigo de uma inundação ocorrer em uma localidade classificam o risco de inundações (IPCC, 2012). Para isso, são necessárias informações hidrológicas, econômicas e demográficas, que são utilizadas para construir o perigo, caracterizar a vulnerabilidade e delimitar a exposição, respectivamente.

Dentre os métodos de definição de suscetibilidade, o Modelo HAND - *Height Above the Nearest Drainage* (Altura Acima da Drenagem mais Próxima) foi introduzido como forma de definir a área mais provável de inundar de acordo com o nível de enchente dos cursos de água (RENNÓ et al, 2018). Através do mapeamento do relevo em função da distância de um curso d'água, é possível estimar quais áreas correspondem a uma determinada cota de inundação. Apesar de não considerar a infraestrutura urbana de drenagem, bem como outros dados utilizados em métodos mais complexos, o Modelo HAND tem se demonstrado eficaz quando comparado aos mapas disponibilizados por órgãos de defesa civil e controle de desastres naturais (MOMO, *et al.*, 2016; SOUZA, 2021; SPECKHANN, 2018).

Quanto à ocorrência de inundações no estado de Santa Catarina, apenas no ano de 2020 (SANTA CATARINA, 2020), foram declarados 13 estados de emergência devido a fortes chuvas, dos quais seis foram registrados por municípios da região do Vale do Itajaí. Corrêa (2022) e Speckhann (2018) aplicaram o Modelo HAND na região para elaborar mapas

de risco de inundação. Para expandir a escala de estudo, este trabalho visa elaborar um mapa de risco para o Estado de Santa Catarina.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é mapear as áreas de risco de inundação no estado de Santa Catarina, utilizando dados censitários e Modelo HAND.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar o perigo de inundação utilizando o Modelo HAND e cotas máximas;
- Analisar as áreas vulneráveis e de exposição por meio de dados censitários, e:
- Relacionar o perigo e as áreas de vulnerabilidade expostas à inundação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RISCO DE INUNDAÇÃO

Inundações são processos de origem natural ou antrópica que ocorrem quando o rio ultrapassa o seu leito menor e atinge o leito maior (TUCCI, 2005). Estes processos podem ser causados tanto por eventos extremos de precipitação de chuvas quanto pela impermeabilização do solo, provocada pelo aumento da urbanização em áreas ribeirinhas (TUCCI, 2005).

O mapeamento de áreas inundáveis faz parte do grupo de alternativas de controle não estruturais (TUCCI, 2005) e compete aos Municípios (BRASIL, 2012), que visam prevenir à ocupação de áreas susceptíveis a inundação através da incorporação destas áreas no Plano Diretor. Por meio da observação histórica e do registro de dados, são levantados os valores de cotas atingidas por inundação em período inferior a 100 anos de tempo de retorno (TUCCI, 2005), que compõem o mapa de inundação. Como instrumento de prevenção, os mapas de risco podem servir na gestão do planejamento urbano e também como alerta para a população quando da ocorrência de uma inundação (TUCCI, 2005).

De acordo com a definição do *Intergovernmental Panel on Climate Changes - IPCC* (2012), o risco de inundação é a combinação de três fatores:

- a) Perigo de uma inundação ocorrer;
- b) A exposição da sociedade e do meio ambiente a essa inundação, e;
- c) A vulnerabilidade.

Ainda, o IPCC (2012) destaca que a mudança na frequência de inundação não significa que o risco aumente, tendo em vista que a frequência só altera o perigo, e não os demais fatores. Estes podem ser implementados, de forma a melhorar a resposta do sistema afetado por inundações (vulnerabilidade) ou diminuir a exposição da população.

2.1.1 Exposição

A exposição a um perigo está relacionada a condições de uso e ocupação do solo em que existe a possibilidade de um perigo ocorrer (IPCC, 2012). Para delimitá-la, existem

informações georreferenciadas como densidade demográfica, tipos de uso do solo e intensidade luminosa observada do espaço.

A densidade demográfica pode ser obtida por meio de levantamento censitário por órgão governamental de estatísticas, que simultaneamente coleta dados de caracterização populacional, como renda, faixa etária e formação, bem como raça/etnia, mortalidade e sexo (IBGE, 2022).

Quanto ao uso e ocupação do solo, em nível nacional, tem-se o projeto MapBiomas (2022), que classifica em seis classes e suas subclasses o uso do solo, como florestas, áreas não vegetadas (urbanas), corpos d'água e agropecuária. Entretanto, para a utilização deste critério, seria necessário conhecer e atribuir um valor a cada tipo de uso do solo a ser considerado no risco de inundação.

2.1.2 Vulnerabilidade

Pela definição de vulnerabilidade proposta pelo IPCC (2012), tem-se como a propensão de elementos expostos, como humanos e seu habitat, sofrerem efeitos negativos quando impactados por eventos perigosos. Ainda “vulnerabilidade está relacionada à predisposição, suscetibilidade, fragilidade, fraqueza, deficiência, ou ausência de capacidade que favorece efeitos adversos nos elementos expostos” (IPCC, 2012, pág. 70)

Na construção do fator de vulnerabilidade, Cutter et al. propõem um Índice de Vulnerabilidade Social que leva em consideração critérios socioeconômicos e demográficos como rendimentos, etnias, alfabetização e estrutura etária (CUTTER et al., 2003 apud NASCIMENTO JÚNIOR e SANT'ANNA NETO, 2020). Ainda, na construção desse índice são contabilizados parâmetros de qualidade ambiental, como coleta de lixo, provisão de água potável, entre outros, bem como os tipos de construção que provêm abrigo a população. Em estudo realizado na cidade de Santos – SP, Nascimento Júnior e Sant'anna Neto (2020) constataram que o índice mencionado foi composto por 29,98% de critérios de desigualdade social, o que corresponde a 1/3 das componentes analisadas.

Entretanto, a vulnerabilidade não é um fator composto por critérios desconexos, uma vez que a própria condição socioeconômica do indivíduo caracteriza seus costumes e moradias. Kovarick (2009) relaciona periferização de populações desfavorecidas à formação de cortiços e vilas operárias, privando esta parcela da sociedade de direitos sociais e civis, tornando-a vulnerável. Ainda, Silva e Panhoca (2007) relacionam o Índice de

Desenvolvimento Humano (IDH-M) a questões de vulnerabilidade, como mortalidade infantil e expectativa de vida, bem como a taxa de crianças, jovens e mulheres mães e mães solteiras. O estudo mostra que, mesmo no estado com o segundo melhor IDH-M do país na época, existem municípios com parcelas da população em condições de desigualdade significativa (SILVA; PANHOCA, 2007).

Corrêa (2022), Cassiano (2013) e Sousa (2018) utilizaram critérios como IDH, Custo Unitário Básico e o Cadastro Multifinalitário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) para comporem a vulnerabilidade. Ainda, em Sousa (2018) e Cassiano (2013) é introduzida a divisão por setores censitários do IBGE (2022a), que corresponde a menor divisão do território nacional em critérios geográficos, e cujos dados são alimentados em ciclos de dez anos.

2.1.3 Perigo

O perigo é definido como a probabilidade de um evento adverso ocorrer (IPCC, 2012), e, quanto ao de inundações, pode ser calculado através de dados hidrológicos e hidrométricos, como vazão e cota de inundação.

Os dados hidrométricos podem ser obtidos no portal Hidroweb (ANA, 2022), que traz informações de estações pluvio e fluviométricas do país, como vazão, qualidade da água e cota dos rios. Souza, Chaffe e Pinto (2019) desenvolveram um aplicativo – HidroAPP (LABHIDRO, 2022) – em que utiliza os dados do Hidroweb para traçar o perfil transversal de determinados cursos d'água, e delimita as Áreas de Preservação Permanente (APP), analisando a probabilidade destas áreas serem completamente inundadas em uma perturbação hidrológica. Outra fonte de dados são os relatórios divulgados pela Defesa Civil (BLUMENAU, 2022), que informam o nível mínimo e máximo observado em determinada localidade, mas são dados descentralizados, tendo em vista que cada município possui seu respectivo departamento de Defesa Civil.

A posse de dados por si só é insuficiente, de forma que se faz necessária a espacialização das informações para delimitar o perigo. Neste viés, estão compreendidos os descritores de terreno, que são ferramentas de geoprocessamento capazes de descrever o relevo, caracterizando-o de acordo com a declividade, distância dos cursos d'água, entre outros. Malheiros (2018), Silva (2013), Toscano (2018), Szymanski (2020) e Padilha (2017) utilizaram a ferramenta HEC-RAS para delimitar a área de inundação, que necessita de inserir

parâmetros de uso e ocupação do solo. Para isso, foram utilizados arquivos disponíveis como o MapBiomas (2022) ou os elaborados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDE (SANTA CATARINA, 2022), e ou pelos arquivos de elaboração própria a partir de imagens de satélite e software especializado. Observa-se que tais estudos se restringiram a escala de município.

2.2 MODELO HAND

O Modelo HAND é um descritor de terreno que utiliza os Modelos Digitais de Elevação (MDE) para expressar a altura acima da drenagem mais próxima (RENNÓ et al, 2018). Como o cálculo é realizado em relação à rede de drenagem, é necessário que esta seja gerada a partir do MDE ou que seja incluída uma rede pré-definida a ser utilizada como referência.

Das ferramentas para gerar o Modelo HAND, encontram-se disponíveis:

- HANDModel (NOBRE, 2022): é um programa em linguagem C++ que utiliza apenas o MDE como dado de entrada, onde são gerados passo-a-passo cada componente do Modelo HAND. Todavia, existe limitação de dimensões do arquivo MDE e do sistema de coordenadas referenciadas;
- PyFlwDir (DELTARES, 2022): é uma biblioteca para linguagem de programação Python, cujas funções incluem a *FlwdirRaster.hand(drain, elevtn)*, que recebe como atributo os cursos d'água e o MDE, nesta ordem.
- Mancha_HAND_IPH_ANA (IPH; ANA, 2022): é um aplicativo *web based* que executa a mancha de inundação a partir da entrada de um valor de cota para o corte do HAND e a seleção de uma janela da região. O aplicativo utiliza um MDE de resolução de 30 m por pixel, e pode ser realizado para todas as regiões do globo terrestre, mas tem limitação de tamanho da área a ser executado, bem como a mancha ser realizada apenas para a cota de entrada. Tal limitação levaria a trabalhos múltiplos para múltiplas cotas e macro regiões de análise.
- Descriptools (SOUZA, 2022): é uma biblioteca para linguagem de programação Python, criada com a proposta de executar processos em maior velocidade, através de execução computacional paralela. Para executar a

biblioteca, é necessário que o computador possua placa gráfica compatível com plataforma de programação NVIDIA CUDA. Souza (2021) foi o responsável por criar a ferramenta, que permite o processamento de diversos descritores de terreno, posteriormente utilizada por Corrêa (2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina está localizado na região Sul do Brasil, Figura 1. Apresenta o 3º maior Índice de Desenvolvimento Humano no país, conforme do portal IBGE Cidades@ (2022b), e renda mensal *per capita* média de R\$ 1.718,00 para o ano de 2021. Com estimativa de 7,34 milhões de habitantes distribuídos nos 95,7 mil km², teria uma densidade demográfica de 76,7 hab/km² no ano de 2021 (IBGE, 2022b).

Situado na Mata Atlântica, o estado possui cobertura vegetal subdividida em Floresta Ombrófila Densa, Floresta de Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual da bacia do Rio Uruguai (SALERNO; MULLER, 2011), que cobrem o estado de leste a oeste, compondo um relevo diverso. Dessa forma, foi estudada cada uma das dez regiões hidrográficas (RH's) constantes no Plano Estadual de Recursos Hídricos (SANTA CATARINA, 2017).



Fonte: Elaboração própria (2022).

Historicamente, a região do Vale do Itajaí é frequentemente afetada por inundações, como a ocorrida em maio de 2022 no município de Rio do Sul (METSUL, 2022), que levou mais de três mil pessoas a ficarem desabrigadas e desalojadas. O Atlas de Vulnerabilidade a Inundações de Santa Catarina (ANA, 2014) classificou quase todos os cursos d'água da RH 7 com trechos de vulnerabilidade alta, de acordo com a própria metodologia. Outra região destacada no Atlas é a do Rio do Peixe, com 41 trechos de alta vulnerabilidade (ANA, 2014).

Em março de 1974 ocorreu a maior inundação do estado de Santa Catarina (TNSUL, 2022), na bacia do Rio Tubarão, situado na RH 9, que ocasionou em 199 mortes registradas oficialmente, e ficou conhecida como a Enchente de 74. Já em 1983, correu uma forte inundação em Blumenau, atingindo cota de 15,34 m, valor ultrapassado em 1984 no mesmo município, que atingiu 15,46 m (CEOPS, 2022).

3.2 RISCO DE INUNDAÇÃO

Para elaborar o mapa de risco foram consideradas três variáveis: o perigo de uma inundação ocorrer, a distribuição de vulnerabilidade econômica e a exposição populacional. Quanto ao mapeamento do perigo, foi utilizado o Modelo HAND e as cotas de inundação. Ao passo que para a vulnerabilidade foi considerada a renda *per capita* da população. Já a exposição, levou-se em consideração a densidade demográfica do território analisado.

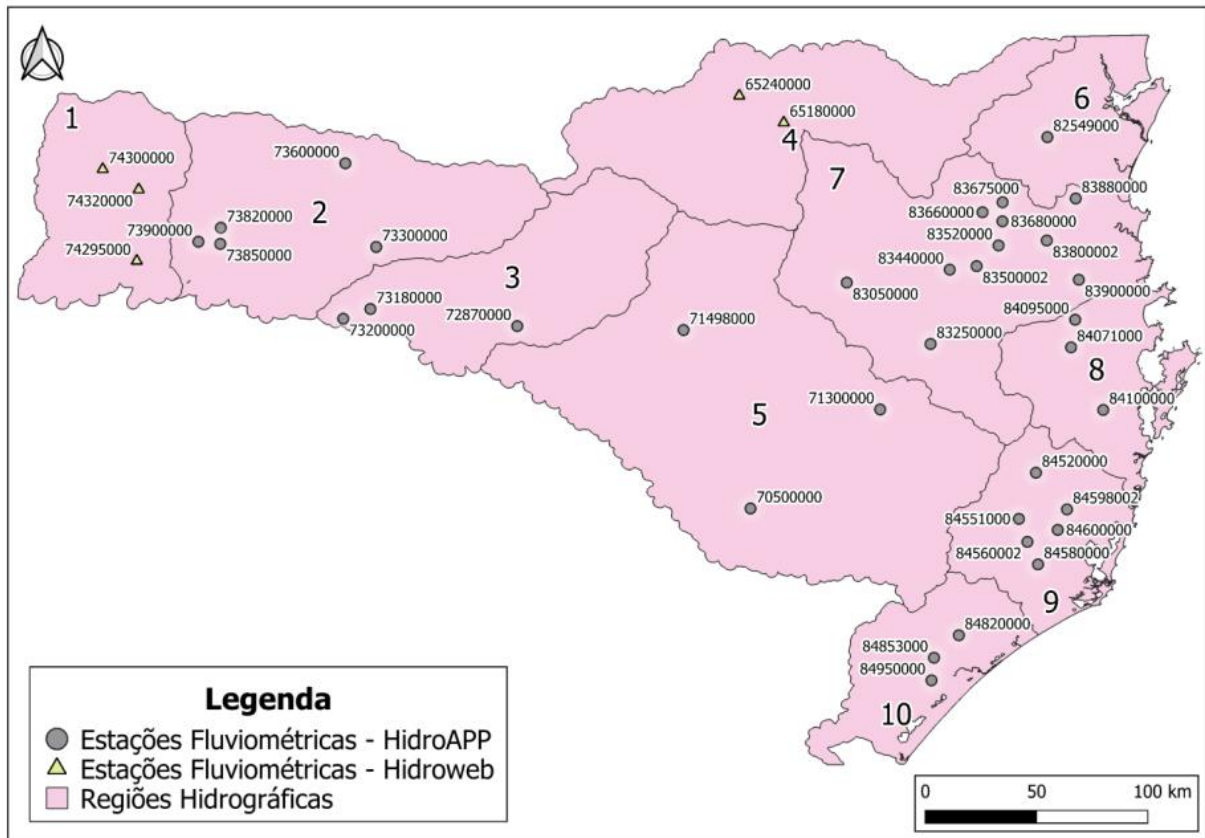
3.2.1 Perigo de Inundação

A construção do perigo de inundação foi realizada pela intersecção de cotas de inundação máximas e o descritor de terreno Modelo HAND.

3.2.1.1 Cotas de Inundação

Para o cálculo da cota de inundação, foram utilizadas as cotas das estações fluviométricas, cujos códigos e localização estão representados na Figura 2, administradas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os dados foram extraídos do portal HidroAPP (LABHIDRO, 2022), onde constam 34 estações presentes em oito das dez RHs. Para as RHs 1 e 4, que não possuem dados no HidroAPP, foram utilizados os dados do Hidroweb (ANA, 2022).

Figura 2 – Localização das Estações Fluviométricas analisadas por Região Hidrográfica.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Foram calculadas as cotas máximas anuais de cada estação fluviométrica, utilizando os ajustes de distribuição Log-Pearson III, Log-Normal e Gumbel para estimar as cotas máximas para os tempos de retorno de interesse.

Para obter a cota de inundação H (em m) em função do TR pelo ajuste de distribuição de Gumbel, foi utilizada a equação (1)

$$H(\text{TR}) = \mu - \sigma \cdot \left\{ 0,45 + 0,7797 \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{\text{TR}}{\text{TR}-1} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

em que μ e σ são a média e o desvio-padrão das cotas registradas, respectivamente.

As cotas de inundação H (em m) em um determinado TR nas distribuições de Log-Normal e Log-Pearson III foram obtidas pela equação (2).

$$\log H(\text{TR}) = \mu + K * \sigma \quad (2)$$

em que μ e σ são a média e o desvio-padrão do logaritmo das cotas registradas, respectivamente. Já K é o fator de frequência da distribuição, e assume valores distintos para cada distribuição. Na distribuição Log-Normal, K é tabelado de acordo apenas com o Tempo de Retorno (TR). Enquanto que na distribuição Log-Pearson III, K depende também do coeficiente de assimetria G , dado pela equação (3).

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu)^3}{n * \sigma^3} \quad (3)$$

em que μ e σ são a média e o desvio-padrão do logaritmo das cotas registradas, respectivamente, x_i corresponde aos valores de cota x (em m) no índice i , e n é o número de cotas registradas.

Os TRs utilizados para o cálculo de cota foram seguiram as recomendações de Tucci (2003): 2 anos, que correspondente ao leito maior dos rios; 25 anos, maior tempo de retorno atendido por sistemas de macrodrenagem; e 100 anos, nível limite de zoneamento de áreas ribeirinhas.

3.2.1.2 Modelo HAND

O Modelo HAND foi utilizado para a espacialização do perigo, com cota de inundação variando de acordo com a Região Hidrográfica e seus rios principais. Ainda, para cada RH foi estabelecido um limiar de contribuição de área de drenagem, conforme Tabela 1, de forma que a rede de cursos d'água resultante fosse o mais próximo possível da rede hidrográfica disponível no portal da ANA (2013).

Tabela 1 – Limiar utilizado no Modelo HAND das RHs.

Região Hidrográfica	Nome	Limiar
RH1	Extremo Oeste	10 km ²
RH2	Meio Oeste	10 km ²
RH3	Vale do Rio do Peixe	10 km ²
RH4	Planalto de Canoinhas	20 km ²
RH5	Planalto de Lages	10 km ²
RH6	Baixada Norte	20 km ²
RH7	Vale do Itajaí	10 km ²
RH8	Litoral Centro	10 km ²
RH9	Sul Catarinense	5 km ²
RH10	Extremo Sul Catarinense	10 km ²

Fonte: Elaboração própria (2022).

A ferramenta Descriptools (SOUZA, 2022) foi utilizada para execução do Modelo HAND, que tem como dados de entrada:

- a) o modelo digital de elevação;
- b) a direção de fluxo, e;
- c) a acumulação de fluxo.

Os MDEs utilizados no HAND foram retirados do portal Mapas Digitais de Santa Catarina (EPAGRI, 2022), que tem resolução de 30 metros. Entretanto, para RH 1 foram utilizados os MDE disponíveis no portal Topodata (INPE, 2022), também com resolução de 30 metros, dado que o MDE da EPAGRI não apresentou resultados satisfatórios do Modelo HAND para a RH 1.

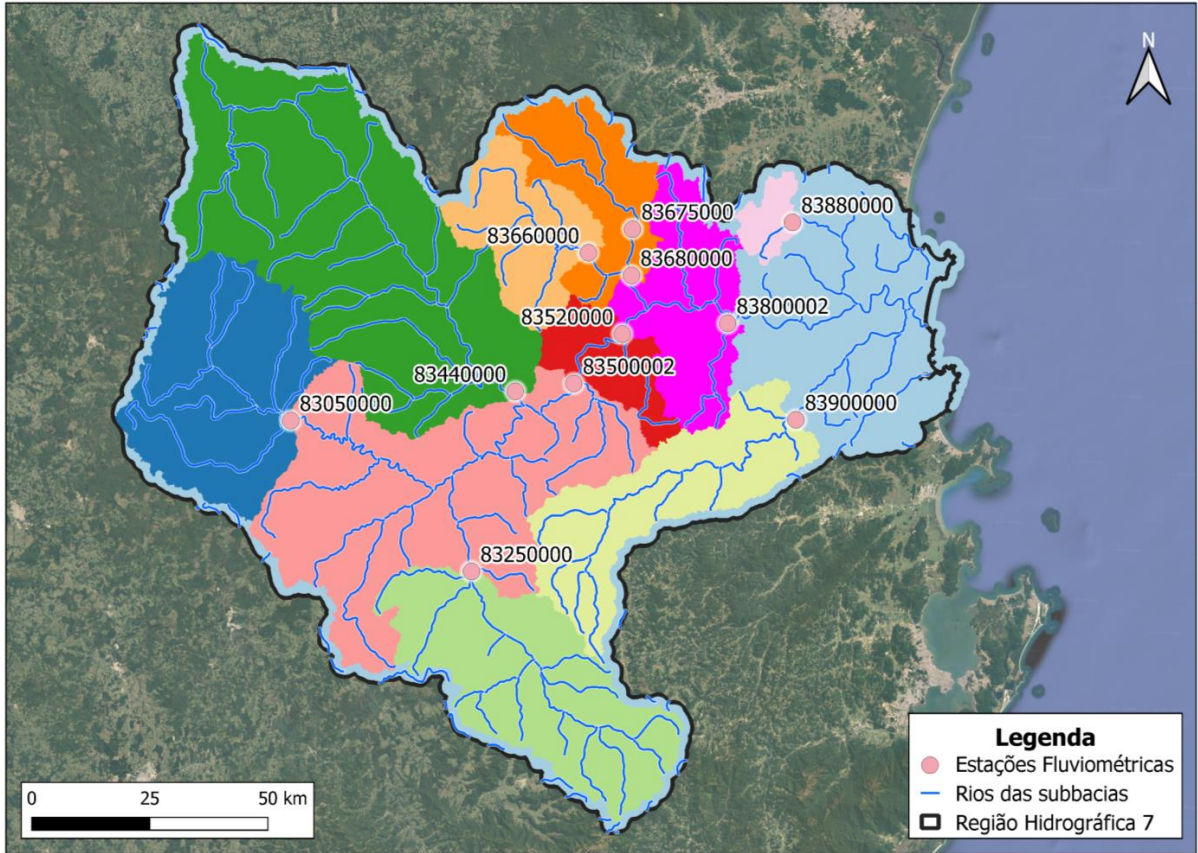
A direção de fluxo e a acumulação de fluxo foram geradas pela biblioteca PyFlwDir (DELTARES, 2022).

3.2.1.3 Proposta de simplificação da delimitação de perigo

Com o objetivo de simplificar o processo de delimitação do perigo de inundações, foi analisada qual estação fluviométrica era a mais representativa em cada RH. Para isso, foi subdividida apenas a RH 7 – Vale do Itajaí em subbacias, conforme a Figura 3. A divisão em subbacias tomou como ponto exutório as estações da RH 7 e foram atribuídos os valores de corte do Modelo HAND para cada uma dessas subbacias.

A análise de subbacias pode ser exaustiva quando o mapeamento se dá em escala estadual, como o objeto de estudo deste trabalho. Visando solucionar o problema mencionado, foram considerados três métodos alternativos para a escolha da cota de inundação, Figura 4, levando em consideração o menor, o maior e o médio valor de cota de inundação entre as estações da RH 7 e realizadas análises do risco de inundação.

Figura 3 – Divisão da Região Hidrográfica 7 em Subbacias.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 4 – Métodos de escolha da cota de inundação.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Calculado o mapa de risco para cada método, foi comparado o resultado com o método das subbacias e escolhido qual método utilizar nas demais RHs. Vale destacar que o método das subbacias foi realizado apenas na RH 7, e que, de posse do erro obtido, foi reproduzido o método adotado para as demais regiões. Como exemplo:

- obtém-se que o método da média entre as cotas de inundação, para o TR de 100 anos, das estações da RH 7 apresentou o menor erro;
- então, adota-se o método das médias entre as cotas das estações;
- assim, aplica-se o método das médias entre as estações de cada RHs.

3.2.2 Exposição

A delimitação da exposição foi realizada pela densidade populacional do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2022a). A densidade populacional por setor censitário - DPSC (em hab/km²) foi calculada pela equação (4).

$$DPSC = NHSC / ASC \quad (4)$$

em que NHSC é o número de habitantes por setor censitário (em hab.) e ASC é a área do setor censitário (em km²). Os valores foram obtidos da tabela Pessoas.xls disponível nos resultados do levantamento censitário de 2010 (IBGE, 2022a).

A classificação utilizada para os níveis de exposição foi realizada com base na definição de Áreas Urbanizadas do IBGE (2017), que as define como áreas com mais de 300 hab/km². Dessa forma, as classes de exposição foram:

- a) áreas com menos de 300 hab/km², classificadas como baixa exposição;
- b) áreas de 300 a 1.000 hab/km²: média exposição, e;
- c) áreas com mais de 1.000 hab/km²: alta exposição.

3.2.3 Vulnerabilidade

A delimitação da vulnerabilidade foi realizada pela renda *per capita* declarada no Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2022a). A renda *per capita* do setor censitário (RpcSC), em R\$/hab., foi calculada pela equação (5).

$$R_{pcSC} = RDSC / NHSC \quad (5)$$

em que RDSC é a renda declarada no setor censitário (em R\$) e NHSC é o número de habitantes no setor censitário (em hab.). Os valores foram obtidos da tabela Pessoas.xls disponível nos resultados do levantamento censitário de 2010 (IBGE, 2022a).

A classificação utilizada para os níveis de vulnerabilidade foi realizada com base na renda de corte utilizada por programas assistenciais de governo no ano de 2010 (IBGE, 2011): meio salário mínimo, o que corresponde a R\$ 255,00. Dessa forma, as classes de exposição foram:

- a) renda per capita inferior a R\$ 255,00, áreas de alta vulnerabilidade;
- b) Renda per capita entre R\$ 255,00 e R\$ 510,00, média vulnerabilidade, e;
- c) Renda per capita maior que R\$ 510,00, áreas de baixa vulnerabilidade.

3.2.4 Mapa de Risco

Para cada classe de perigo, exposição e vulnerabilidade calculados, foi atribuído um valor de 1 a 3 do mais baixo ao mais alto, como é apresentado no Quadro 1. Ainda, vale destacar que os mapas de vulnerabilidade e de exposição foram convertidos para o formato raster com resolução de 30 metros, compatível com o Modelo HAND utilizado no mapa de perigo.

Quadro 1 – Valores atribuídos a cada classe dos fatores de risco.

Classe	Exposição	Vulnerabilidade	Perigo
Baixa	1	1	1
Média	2	2	2
Alta	3	3	3

Fonte: Elaboração própria (2022).

O mapa de risco foi obtido pelo produto de cada fator analisado e seus respectivos valores de classe atribuídos, sendo que todos os fatores receberam pesos iguais. O resultado das combinações é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Combinações de risco possíveis.

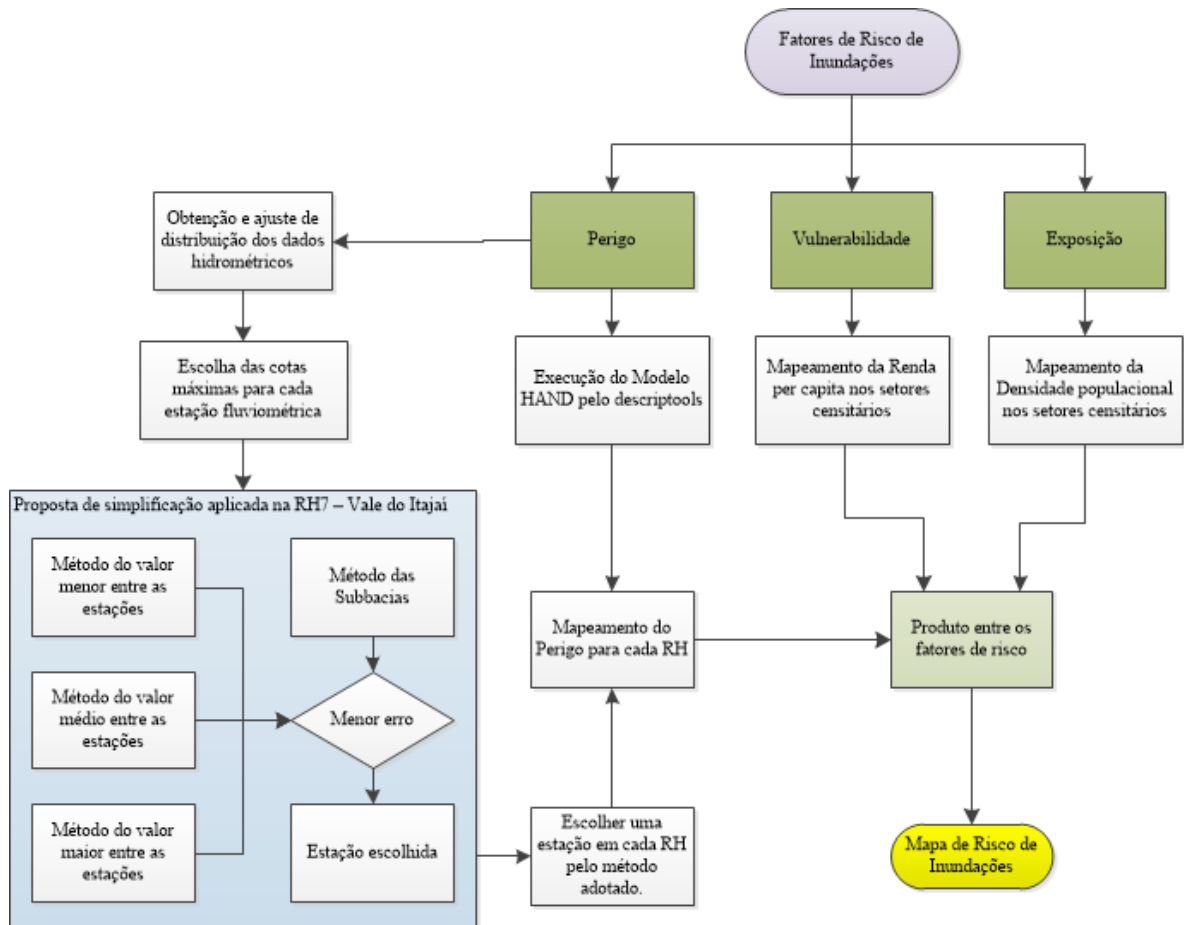
		Classe de Risco Atribuída									
		Baixo				Médio			Alto		
Combinações	Fator 1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3
	Fator 2	1	1	1	2	2	2	3	2	3	3
	Fator 3	1	2	3	2	3	2	3	3	3	3
Produto		1	2	3	4	6	8	9	12	18	27

Fonte: Elaboração própria (2022).

3.3 FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA

Na Figura 5 é apresentado o fluxograma da metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa.

Figura 5 – Fluxograma.



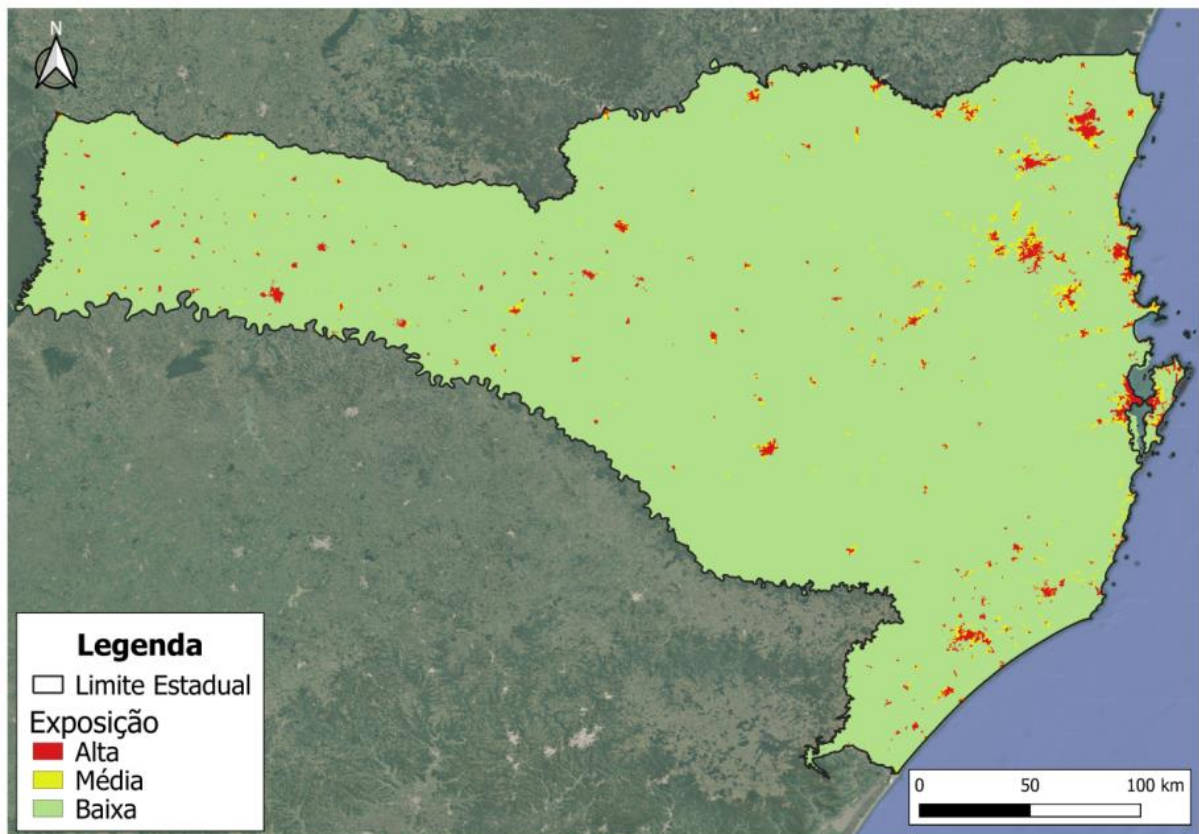
Fonte: Elaboração própria (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPOSIÇÃO

Na Figura 6 é apresentado o mapa de exposição a inundações. As áreas em que a população está mais exposta são as mais urbanizadas, e ocupam área relativamente menor que os demais níveis de exposição. Observa-se que, as manchas de exposição são maiores no litoral do que nas outras regiões do estado. As RHs 8, 6 e 10 foram as que apresentaram maior porcentagem de exposição alta, sendo de 4,35, 4,10 e 2,91%, nesta ordem.

Figura 6 – Mapa de Exposição.

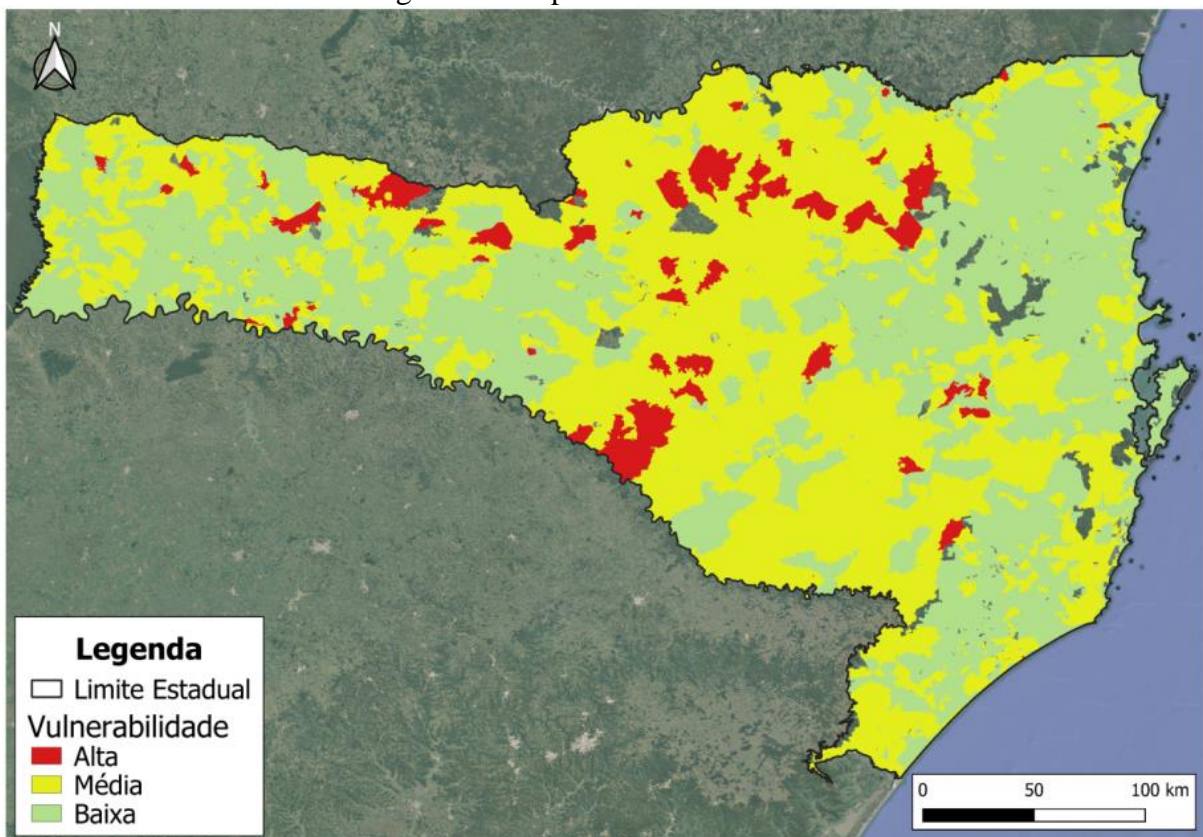


Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2 VULNERABILIDADE

Na Figura 7 é apresentado o mapa de vulnerabilidade a inundações. A região central do estado apresentou as maiores áreas de vulnerabilidade alta, como referenciam Silva e Panhoca (2007) na análise de IDH municipal do estado em 2000, enquanto que a região litorânea apresentou uma predominância de áreas de baixa vulnerabilidade. A RH 4 foi a que apresentou a maior porcentagem de vulnerabilidade alta (11,61%), seguida da RH 2 e RH 5, com 7,47 e 6,93%, respectivamente. Em contrapartida, a RH 10 e a RH 8 tiveram 0,0% do seu território classificado em vulnerabilidade alta. Ainda, algumas áreas dentro dos limites do estado não apresentaram classificação de vulnerabilidade, devido à ausência de informação de pessoas no respectivo setor censitário. Em uma análise exploratória, observou-se que estas áreas podem ser tanto corpos d'água, quanto áreas verdes inabitadas na época do levantamento do IBGE.

Figura 7 – Mapa de Vulnerabilidade.



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3 COTA DE INUNDAÇÃO

Os valores de cota de inundação obtidos pelos ajustes de distribuição são apresentados no Apêndice A. Também é apresentada a distribuição que mais aderente pelo teste Qui-Quadrado. Vale destacar, entretanto, que quando duas distribuições apresentaram erros iguais, a cota foi calculada pela média entre elas. Ainda, quando um intervalo de cota resultou no mesmo valor do intervalo de tempo de retorno menor, o valor de cota para o intervalo maior foi incrementado em um metro. Outro ponto que vale ressaltar é que o método HAND só aceita valores inteiros, desta forma, a cota foi arredondada para o valor inteiro mais próximo.

A distribuição Log-Pearson III foi a que apresentou mais aderência, totalizando 13 estações, seguida de Gumbel com oito estações e Log-Normal com quatro, já as que empataram entre as distribuições totalizaram 14 estações. Todas as Regiões Hidrográficas, com mais de uma estação analisada, apresentaram valores distintos para as cotas de inundação. Os gráficos das cotas de inundação em função do tempo de retorno e os ajustes de distribuição podem ser observados no Apêndice B.

4.4 REGIONALIZAÇÃO DA COTA DE INUNDAÇÃO

Na Tabela 2 é apresentada a área calculada para cada combinação dos fatores de risco, de acordo com o método de escolha da cota de inundação adotado para efetuar a simplificação nas demais regiões.

Tabela 2 – Área (km²) das combinações de risco por método para a RH7.

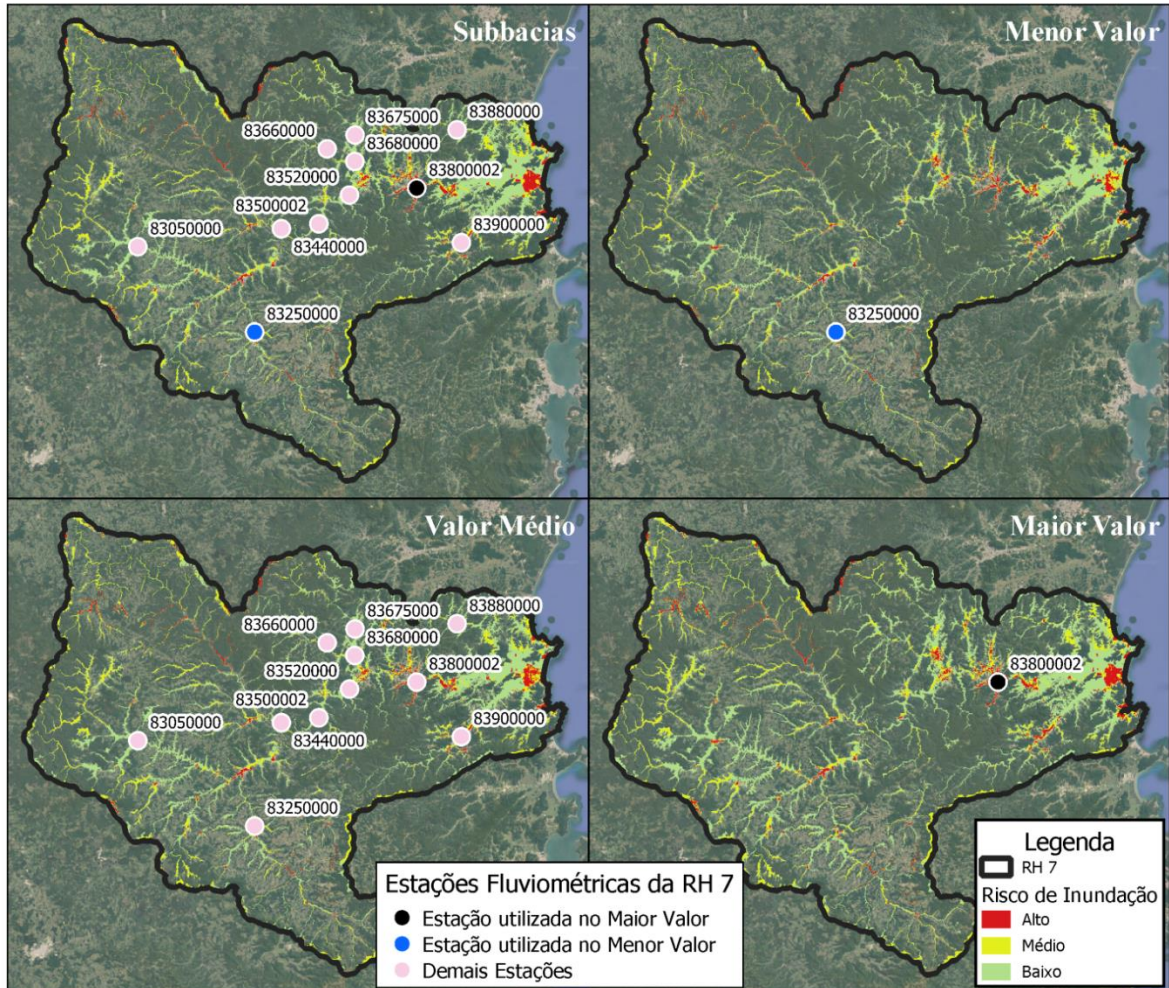
Método do Valor	Combinações de Risco									
	Baixo				Médio			Alto		
	1	2	3	4	6	8	9	12	18	27
Menor	53,6	218,1	127,7	824,3	1,1	621,1	7,4	147,2	7,6	0,0
Médio	95,4	273,0	147,5	953,3	1,2	706,9	6,8	183,4	10,8	0,0
Maior	132,1	416,7	231,7	1.113,5	1,9	830,3	6,6	224,6	13,8	0,0
Método das Subbacias	121,5	318,2	160,2	1.007,2	1,4	731,6	6,0	205,1	13,6	0,0

Fonte: Elaboração própria (2022).

A Figura 8 apresenta os mapas de risco para cada método analisado na RH 7. Na escala apresentada, não é possível observar diferença significativa entre os métodos, apesar de

se inferir que o método do maior valor apresentou uma maior área de risco na região a montante da Região Hidrográfica.

Figura 8 – Mapa de Risco da RH7 para os diferentes métodos analisados.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na Tabela 3 é apresentada a diferença de cada método em relação ao das subbacias. Como pode ser observado, não houve diferença entre os métodos abordados para o produto máximo de risco. Ainda, é possível observar que o método do maior valor obteve as menores diferenças quando o risco é alto. A menor diferença apresentada nas áreas de risco médio foi na combinação de produto 6, pelo método do maior valor, de 37,6%. A maior diferença apresentada entre todas as combinações foi de 55,9% para o método do menor valor na combinação 1.

Tabela 3 – Erro (%) por método de análise das combinações de risco para a RH7.

Método do Valor	Combinações de Risco									
	Baixo				Médio			Alto		
	1	2	3	4	6	8	9	12	18	27
Menor	-55,9	-31,4	-20,3	-18,2	-19,5	-15,1	24,1	-28,2	-44,3	0
Médio	-21,5	-14,2	-7,9	-5,4	-10,4	-3,4	13,4	-10,6	-20,7	0
Maior	8,7	31,0	44,6	10,6	37,6	13,5	10,2	9,5	0,8	0

Fonte: Elaboração própria (2022).

Para analisar o conjunto de cada classe de risco, e não o resultado de cada combinação, a Tabela 4 apresenta a soma dessas áreas. Observa-se que a classe de baixo risco apresentou as maiores áreas entre todos os métodos, enquanto que as áreas de alto risco apresentam as menores.

Tabela 4 – Área (km²) de risco por método de análise para a RH7

Método do Valor	Classes de Risco		
	Baixo	Médio	Alto
Menor	1.223,80	629,53	154,85
Médio	1.469,16	714,85	194,23
Maior	1.893,89	838,69	238,39
Método das Subbacias	1.607,13	738,89	218,78

Fonte: Elaboração própria (2022).

Na Tabela 5, observa-se que o método que apresentou a menor diferença foi o do valor médio de cota entre as estações para o risco médio de inundações (3,25% a menos que o método das subbacias). Já o método do maior valor foi o que apresentou a menor diferença na classe de risco alto (8,96% a mais que o método das subbacias). No que diz respeito ao método do menor valor, este subestimou todas as classes em média de 22,62%.

Tabela 5 – Erro (%) por método de análise de risco para a RH7.

Método do Valor	Classes de Risco			Média dos Erros
	Baixo	Médio	Alto	
Menor	-23,85	-14,80	-29,22	-22,62
Médio	-8,58	-3,25	-11,22	-7,69
Maior	17,84	13,51	8,96	13,44

Fonte: Elaboração própria (2022).

Dessa forma, para avaliar o conjunto de todas as regiões hidrográficas do estado de Santa Catarina, e tomando como base os resultados apresentados nesta seção, optou-se por utilizar o método do maior valor de cota entre as estações da mesma RH, pois as áreas de alto risco são as mais críticas, e o subdimensionamento destas regiões pode resultar em danos à

sociedade. Na Tabela 6 são apresentados os valores de cota utilizados no corte do Modelo HAND para cada RH.

Tabela 6 – Cota de inundação (m) por TR utilizada no perigo de cada RH.

Região	TR: 2 anos	TR: 25 anos	TR: 100 anos
RH-1	5	10	13
RH-2	7	12	14
RH-3	5	7	8
RH-4	3	6	8
RH-5	8	13	15
RH-6	4	7	9
RH-7	8	15	18
RH-8	4	9	11
RH-9	4	7	9
RH-10	6	9	11

Fonte: Elaboração própria (2022).

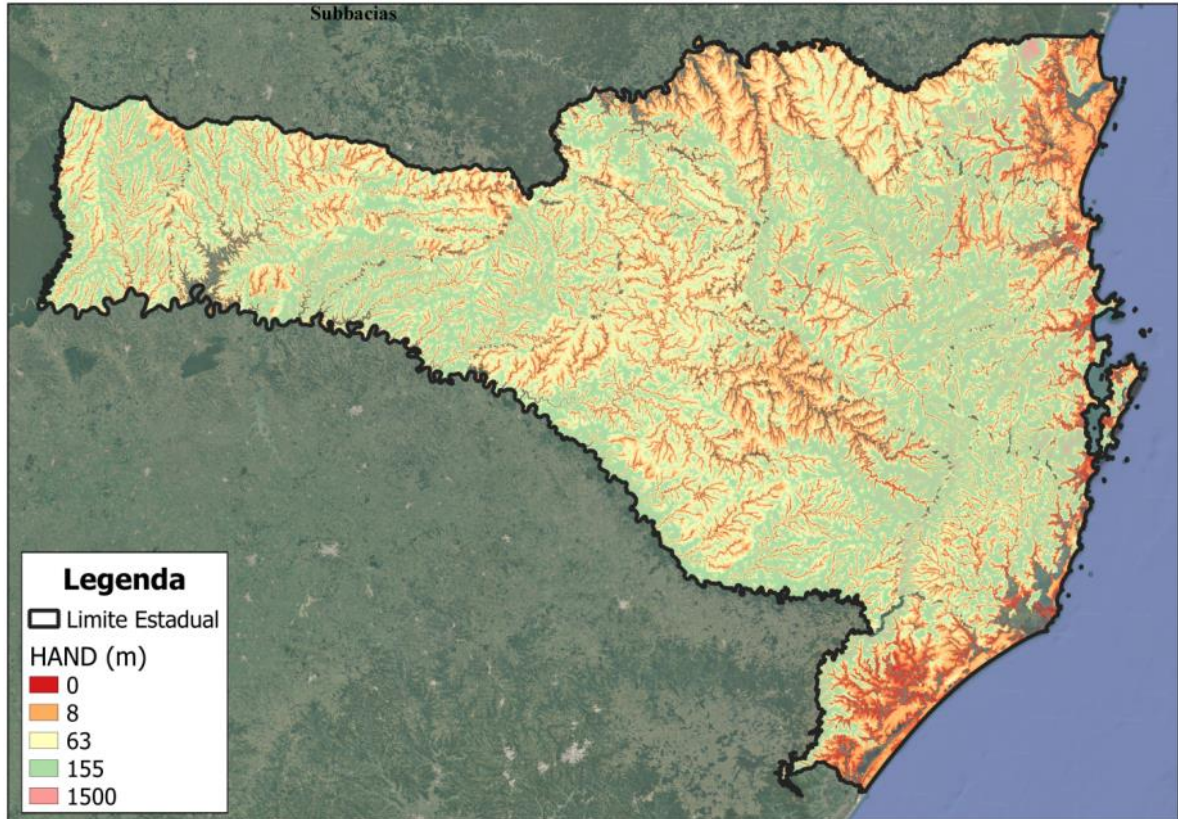
4.5 PERIGO

O mapa de perigo foi realizado de forma independente para cada Região Hidrográfica, seguindo os valores de cota já apresentados na Tabela 6, e pode ser observado no Apêndice C. A RH 10 apresentou a maior porcentagem de perigo alto, 36,76%, seguida da RH 6 com 20,24%, bem como foram as regiões que apresentaram a menor área relativa fora do perigo de inundações com tempo de retorno de 100 anos, devido a 47,18% da RH 10 e 31,22% da RH 6 estarem em situação de perigo alto, médio ou baixo.

Apesar de ser uma região afetada por inundações, a RH 7 apresentou a terceira menor área relativa de perigo, com 15,56% do seu território dentro do mapeamento dos 100 anos de tempo de retorno. Nesse sentido, a RH 1 foi a que apresentou a menor relação entre áreas de perigo alto e a área total, resultando em 6,19%.

A Figura 9 apresenta o Modelo HAND gerado para o estado de Santa Catarina, sendo que as cores representadas são apenas ilustrativas.

Figura 9 – Modelo HAND do estado de Santa Catarina.



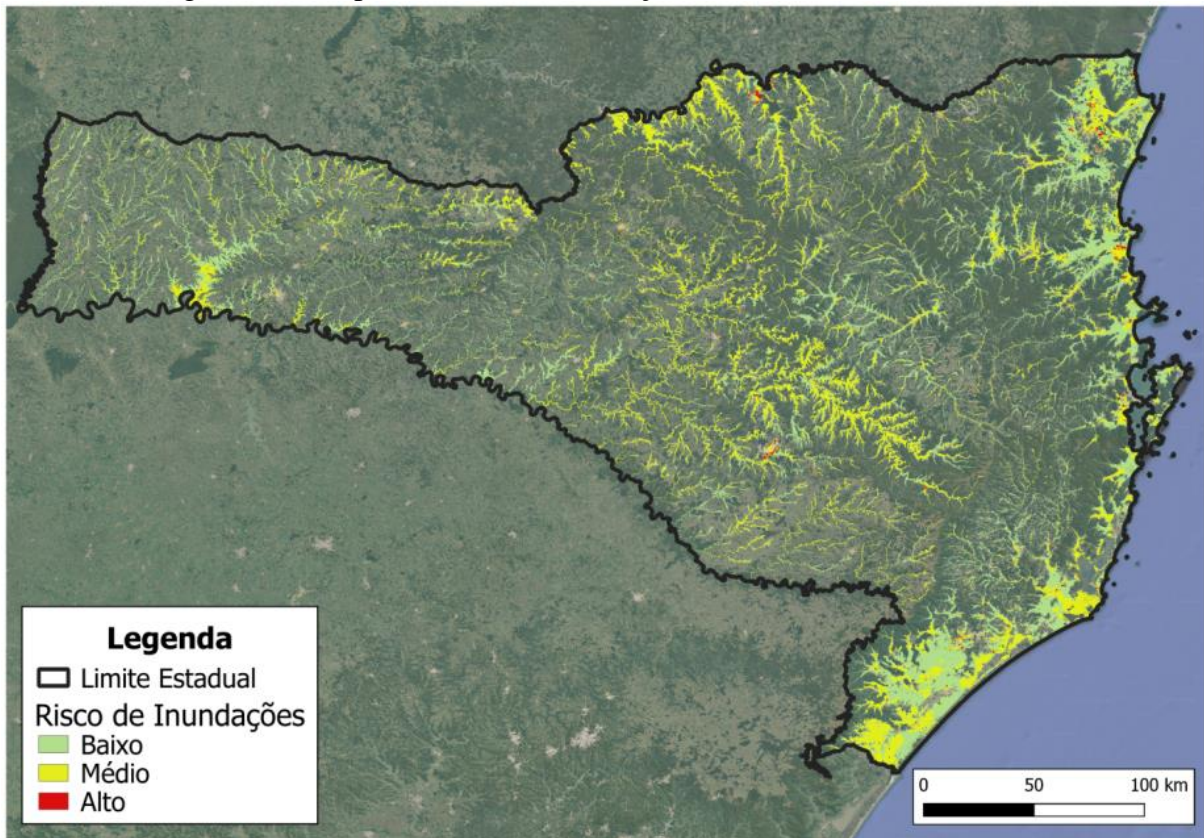
Fonte: Elaboração própria (2022).

4.6 ÁREAS DE RISCO

Finalmente, a Figura 10 apresenta o mapa de risco de inundação no estado de Santa Catarina com base nos fatores de vulnerabilidade, exposição e perigo apresentados no decorrer do trabalho. A RH 6 apresentou a maior porcentagem de área de risco alto, com 0,44%, seguida da RH 10, 0,34%. Esta última apresentou a maior relação de área de risco médio e área total, com 18,87%, bem como a relação de risco baixo, 27,37%.

Dessa forma, é possível afirmar que as regiões do Extremo Sul Catarinense e a da Baixada Norte são as que apresentaram o maior risco de inundações de acordo com a metodologia aplicada.

Figura 10 – Mapa de Risco de Inundação do estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaboração própria (2022).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram mapeados os riscos de inundação no estado de Santa Catarina pelo uso do Modelo HAND e dados censitários, através da regionalização dos valores máximos de cota de inundação.

Com a análise das cotas máximas de inundação, concluiu-se que o ajuste de distribuição por Log-Pearson III foi o mais aderente aos valores obtidos no banco de dados. Quanto à metodologia de escolha do valor de cota de inundação, obteve-se que escolher o maior valor entre as estações na mesma RH é o mais indicado, com base no não subdimensionamento de áreas de risco alto.

Apesar da baixa vulnerabilidade no litoral do estado, as RHs 6 e 10 apresentaram as maiores áreas de risco alto. Ao analisar os resultados de cada fator de risco, observou-se que, apesar de serem atribuídos pesos iguais, o valor final de risco foi mais influenciado pela exposição e pelo perigo. Todavia, não é possível justificar o resultado de a região mais vulnerável (RH-4) não ser a de maior risco, pois esta ficou com a terceira maior área relativa de risco alto.

Como sugestão para próximos estudos, recomenda-se a utilização de dados censitários atualizados, ao passo que já se passaram 12 anos do último levantamento realizado pelo IBGE (2022a). Inclusive, podem-se utilizar diferentes períodos para relacionar o processo de urbanização ao de ocupação das áreas de risco. Assim como, utilizar o cadastro multifinalitário para descrever a população vulnerável ou relacionar a dados como doenças de veiculação hídrica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2013**: geoft_bho_cursodagua. 2013. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7bb15389-1016-4d5b-9480-5f1acdadd0f5>. Acesso em: 28 nov. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **HIDROWEB v3.2.7**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 30 jul. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Vulnerabilidade a Inundações do Estado de Santa Catarina**. 2014. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/6e280f65-7411-4086-8fb4-3091a310955f>. Acesso em: 28 nov. 2022.

BLUMENAU. Defesa Civil. Prefeitura Municipal de Blumenau. **Lista de ruas e cotas de cheia**. Disponível em: <https://www.blumenau.sc.gov.br/previsao/wpcontas.aspx>. Acesso em: 28 nov. 2022.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC**; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; e dá outras providências. Brasília, 2012.

CAPRARIO, Jakcemara. **Desenvolvimento de um instrumento para o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações urbanas**. 2017. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

CASSIANO, Karla Regina Mendes. **Análise geográfica de áreas de risco na bacia hidrográfica no Igarapé do Mindu - Manaus (AM)**. 2022. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

CENTRO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA - CEOPS. **Picos de Enchentes Registrados na Bacia do Rio Itajaí-Açú.** (online), 2022. Disponível em: <http://ceops.furb.br/index.php/sistema-de-alerta/picos-de-enchentes>. Acesso em: 28 nov. 2022.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais.** Porto Alegre: ABRH, 2013. 332 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS - CNM. **Prejuízos causados pelas chuvas em todo país entre 2017 e 2022.** Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/>. Acesso em: 30 jul. 2022.

CORRÊA, Deborah Dotta. **Mapeamento de risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí utilizando descritor de terreno e aspectos socioeconômicos.** 2022. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

DELTARES. **PyFlwDir:** fast methods to work with hydro- and topography data in pure python. Fast methods to work with hydro- and topography data in pure Python. Disponível em: <https://deltares.github.io/pyflwdir/latest/index.html>. Acesso em: 28 nov. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. **Mapas Digitais.** Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>. Acesso em: 28 nov. 2022

GOERL, Roberto Fabris; KOBIYAMA, Masato; PELLERIN, Joel Robert Georges Marcel; Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia.** Maringá. v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS - IBGE (Brasil). **Indicadores Sociais Municipais 2010: incidência de pobreza é maior nos municípios de porte médio.** 2011. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 nov. 2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS - IBGE (Brasil). **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação.** 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS - IBGE (Brasil). **Censo Demográfico.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>. Acesso em: 28 nov. 2022a

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS - IBGE (Brasil). **IBGE Cidades@.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 nov. 2022b

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS - IPH; AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Mancha_HAND_IPH_ANA: mapping flooded areas - hand 30m.** Disponível em: <https://leolaipelt.users.earthengine.app/view/manchahandiphana>. Acesso em: 28 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TOPODATA: Banco de dados geomorfométricos do brasil** Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 28 nov. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGES – IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.** Cambridge, p. 592. 2012.

KOWARICK, Lúcio. **Viver em risco: sobre a vulnerabilidade socioeconômica e civil.** São Paulo: Editora 34, 2009. 320 p.

LABHIDRO (Florianópolis). **HidroAPP - Ferramenta para análise de cenários hidrológicos para definição de áreas de preservação permanente nas margens de rios brasileiros.** Disponível em: <https://www.labhidro.ufsc.br/hidroapp/index.html>. Acesso em: 28 nov. 2022.

MALHEIROS, Caroline. **Mapeamento das áreas de inundação na sub-bacia do rio Águas Vermelhas na cidade de Joinville.** 2018. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Curso de Engenharia de Infraestrutura, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

MAPBIOMAS. **MapBiomias**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

METSUL. **Emergência, mortes e estragos pela chuva em santa catarina**. 2022. Disponível em: <https://metsul.com/emergencia-mortes-e-estragos-pela-chuva-em-santa-catarina/> Acesso em: 28 nov. 2022.

MIRANDA, Nívea Morena Gonçalves. **Análise espacial da suscetibilidade à inundação da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Cuiabá – MT**. 2016. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MOMO, Marcos Rodrigo et al. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **RBRH** [online]. 2016, v. 21, n. 1 , pp. 200-208.

NASCIMENTO JÚNIOR, Lindberg ; SANT'ANNA NETO, João Lima. Índice de vulnerabilidade social à desastres naturais para áreas urbanas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, p. 65-72, 2020.

NOBRE, Antônio Donato. Breve histórico sobre o desenvolvimento do modelo HAND: Uma narrativa contextualizadora. **HANDModel A new look over the landscape**. Disponível em: < <http://handmodel.ccst.inpe.br/> >/. Acesso em: 05 dez. 2022.

PADILHA, Victor Luís. **Modelagem hidrológica orientada por eventos de inundação em Lages/SC**. 2017. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PROCHMANN, João Ricardo. **Análise espacial da susceptibilidade à inundações na bacia hidrográfica do Córrego Grande, Florianópolis – SC**. 2014. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469–3481, 2008.

SALERNO, Airton Rodrigues; MULLER, Juarez José Vanni; Mata Atlântica Catarinense. **Agropecuária Catarinense**. (online). v. 24, n. 2, p. 34-36, 2011.

SANTA CATARINA. Defesa Civil. Governo de Santa Catarina. **Decretação de SE e ECP: Decretos municipais de 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/municipios/documentos/decretacao-de-se-e-ecp/> Acesso em: 28 nov. 2022.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Governo de Santa Catarina. **SIGSC**. Disponível em: <http://sigsc.sc.gov.br/mapa-publico.html>. Acesso em: 28 nov. 2022.

SANTA CATARINA. Secretaria Executiva do Meio Ambiente. Governo de Santa Catarina. **SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS HÍDRICOS DE SANTA CATARINA: Plano Estadual de Recursos Hídricos**. 2017 Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/instrumentos/planoestadual-instrumentos>. Acesso em: 28 nov. 2022.

SANTOS, Guilherme Vanz dos. **Expansão urbana em áreas suscetíveis à inundação no município de Itajaí (SC) entre 1985 e 2021**. 2021. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Curso de Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SENGER, Gabriel. **Mapeamento de mancha de inundação no Vale do Itajaí: uma comparação entre os métodos HAND e AHP**. 2021. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SILVA, Filipe Viezzer da. **Mapeamento de áreas de inundação na zona urbana do município de Rio dos Cedros (SC) por meio do modelo HEC-RAS**. 2013. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVA, Olga Maria Panhoca da; PANHOCA, Luiz. A contribuição da vulnerabilidade na determinação do índice de desenvolvimento humano: estudando o estado de Santa Catarina. **Ciência & Saúde Coletiva** [online]. 2007, v. 12, n. 5

SOUSA, Daniela Prá S. de. **Proposta metodológica para estimativa de danos e mapeamento de risco associados a inundações em áreas urbanas**. 2018. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SOUZA, José Vinícius Boing de. **Descriptools**. Disponível em: <https://github.com/JVBSouza/descriptools>. Acesso em: 28 nov. 2022.

SOUZA, José Vinícius Boing de. **Uso de descritores de terreno para o mapeamento de áreas suscetíveis à inundação**. 2021. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SOUZA, Kleber Isaac Silva de; CHAFFE, Pedro Luiz Borges; PINTO, Cátia Regina Silva Carvalho de. Um software para a análise de seções transversais e de leitos fluviais regulares de rios do Brasil. In: XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, nov. 2019, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais**. Porto Alegre: ABRHidro, 2019.

SPECKHANN, Gustavo Andrei. **Mapeamento de áreas de inundação em três municípios localizados na bacia do rio Itajaí**. 2015. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SPECKHANN, Gustavo Andrei. **Uma proposta de mapeamento de risco de inundação na bacia do Rio Itajaí-Açu utilizando descritores de terreno**. 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SZYMANSKI, Fernanda Dagostin. **Análise de inundações em bacias montanhosas no sul do Brasil por meio de monitoramento e modelagem**. 2020. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de Energia e Sustentabilidade, Centro de Ciência, Tecnologias e Saúde, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2020.

TNSUL. **Há 48 anos, Tubarão sofria com a maior enchente da história de SC**. Disponível em: <https://tnsul.com/2022/geral/ha-48-anos-tubarao-sofria-com-a-maior-enchente-da-historia-de-sc/>. Acesso em: 28 nov. 2022.

TOSCANO, Bruna. **Aplicação e análise dos dados de entrada no modelo matemático HEC-RAS para o mapeamento de áreas de inundação no Campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC)**. 2018. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

TUCCI, Carlos E. M.. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco, 2005

TUCCI, Carlos E. M.. **Inundações Urbanas na América do Sul**. ABRH, 2003

APÊNDICE A – Cota de inundação por TR de cada estação fluviométrica analisada

Tabela 7 – Cota de inundação (m) por TR de cada estação fluviométrica analisada.

Código	Região	Distribuição	TR: 2 anos	TR: 25 anos	TR: 100 anos
74295000	1	Empate	4	7	8
74300000	1	Gumbel	5	10	13
74320000	1	Log-Pearson III	5	8	9
73300000	2	Log-Normal	3	5	6
73600000	2	Empate	2	4	5
73820000	2	Gumbel	6	9	11
73850000	2	Empate	7	12	14
73900000	2	Empate	4	7	9
72870000	3	Empate	4	7	8
73180000	3	Log-Pearson III	5	7	8
65180000	4	Log-Pearson III	3	6	8
65240000	4	Empate	4	5	6
70500000	5	Log-Pearson III	4	6	7
71300000	5	Log-Pearson III	8	13	15
71498000	5	Empate	5	8	9
82549000	6	Gumbel	4	7	9
83050000	7	Log-Normal	7	12	14
83250000	7	Empate	3	6	7
83440000	7	Log-Normal	4	6	8
83500002	7	Empate	4	8	10
83520000	7	Log-Pearson III	4	9	12
83660000	7	Log-Pearson III	3	8	11
83675000	7	Empate	5	9	11
83680000	7	Empate	5	8	9
83800002	7	Log-Normal	8	15	18
83880000	7	Log-Pearson III	5	7	8
83900000	7	Log-Pearson III	5	10	12
84071000	8	Gumbel	4	9	11
84095000	8	Log-Pearson III	5	7	8
84100000	8	Log-Pearson III	3	5	6
84520000	9	Empate	4	6	7
84551000	9	Empate	2	3	4
84560002	9	Gumbel	4	6	7
84580000	9	Empate	4	7	9
84598002	9	Gumbel	4	7	9
84600000	9	Log-Pearson III	4	7	9
84820000	10	Log-Pearson III	4	7	8
84853000	10	Gumbel	4	6	7
84950000	10	Gumbel	6	9	11

Fonte: Elaboração própria (2022).

APÊNDICE B – Gráficos dos ajustes de distribuição por estação fluviométrica

Figura 11 – Gráfico da estação 65180000.

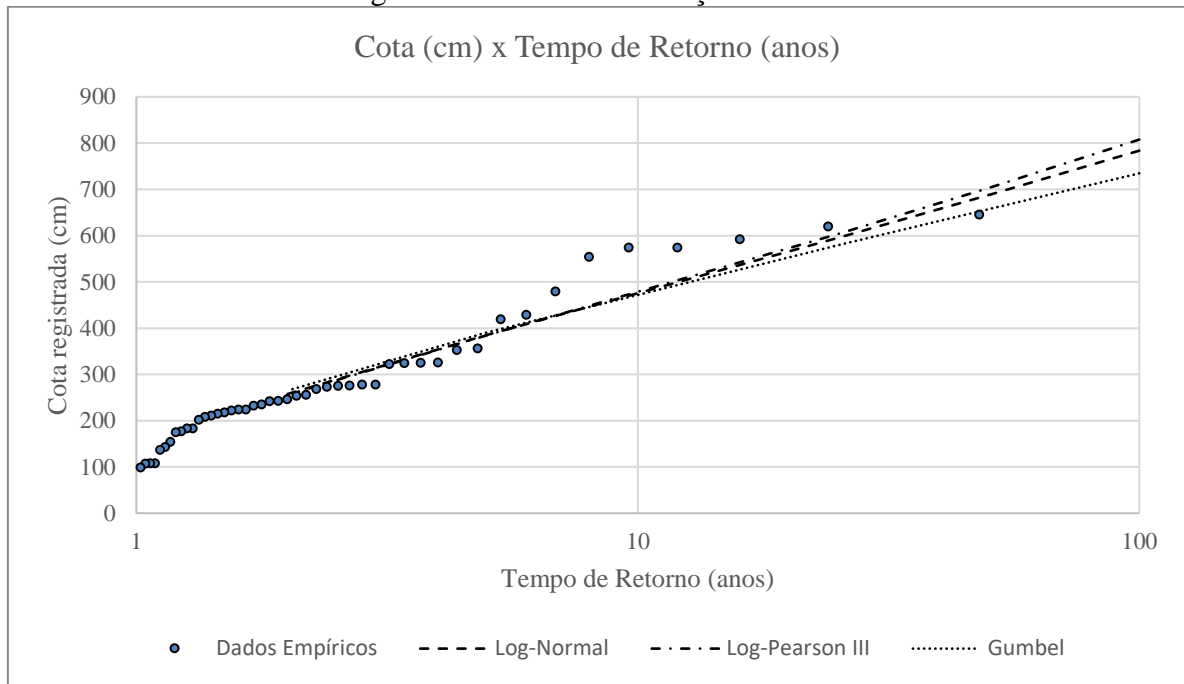


Figura 12 – Gráfico da estação 65240000.

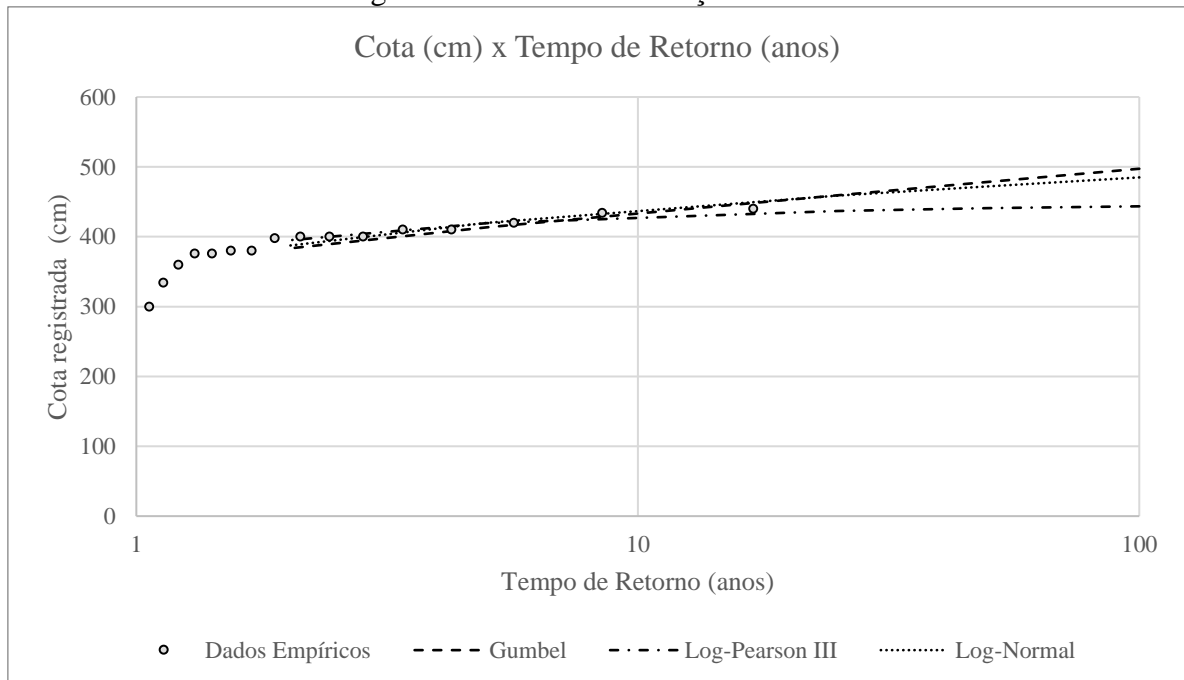


Figura 13 – Gráfico da estação 70500000.

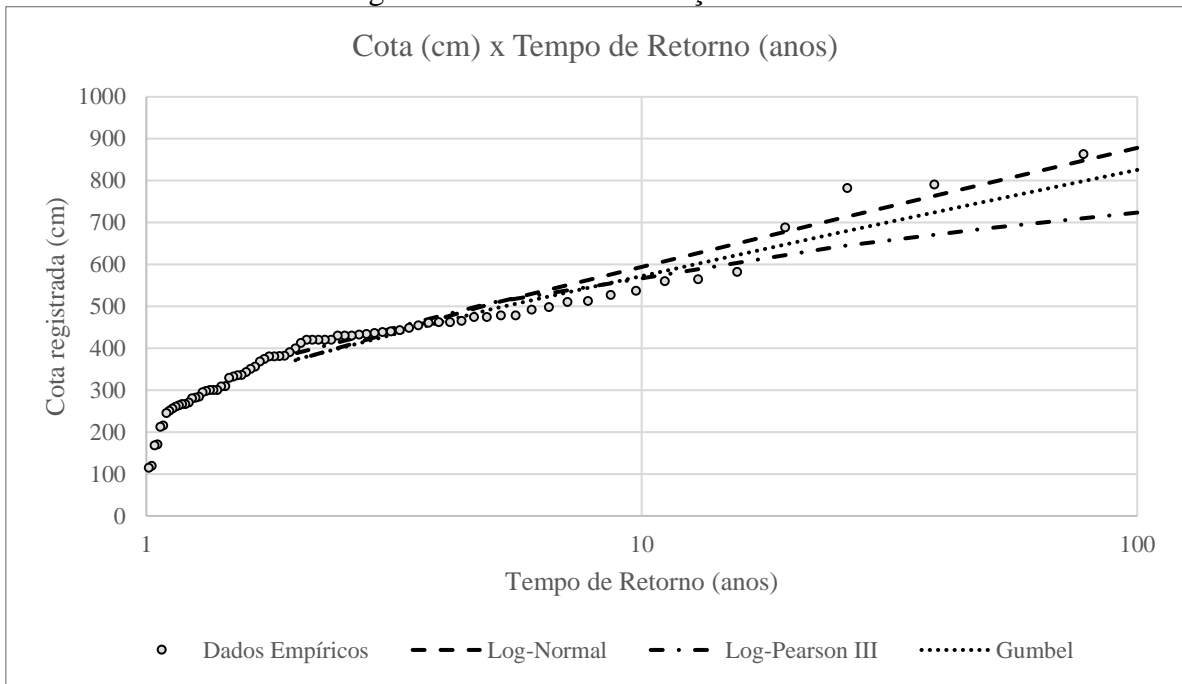


Figura 14 – Gráfico da estação 71300000.

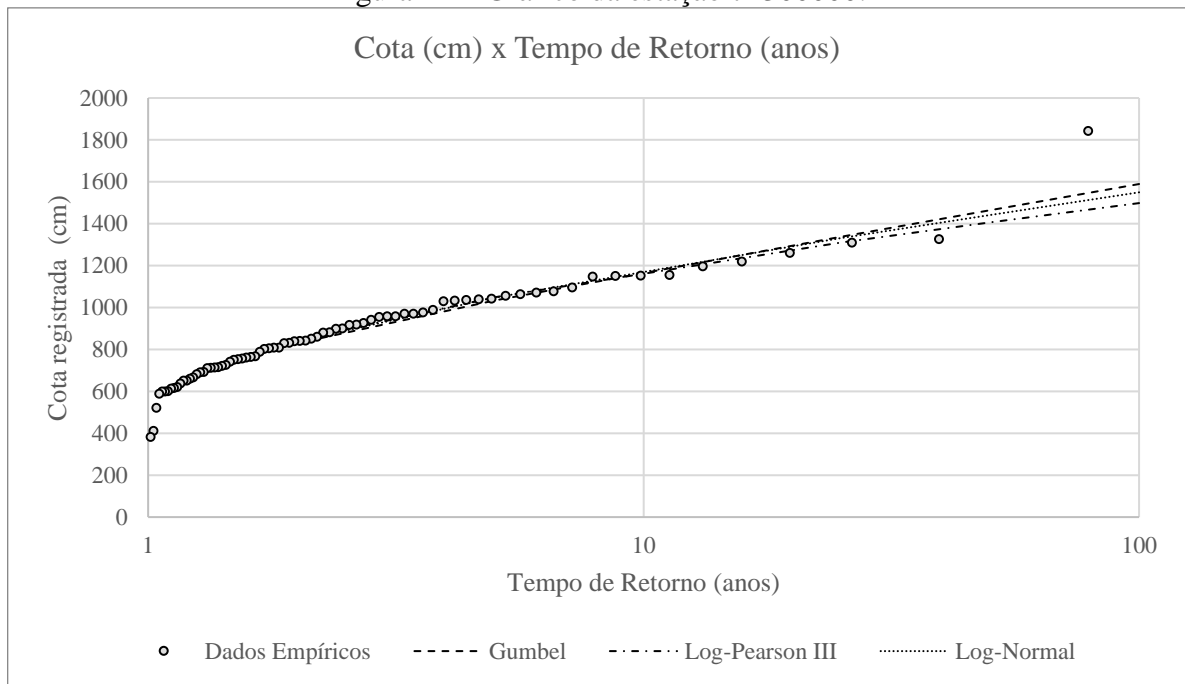


Figura 15 – Gráfico da estação 71498000.

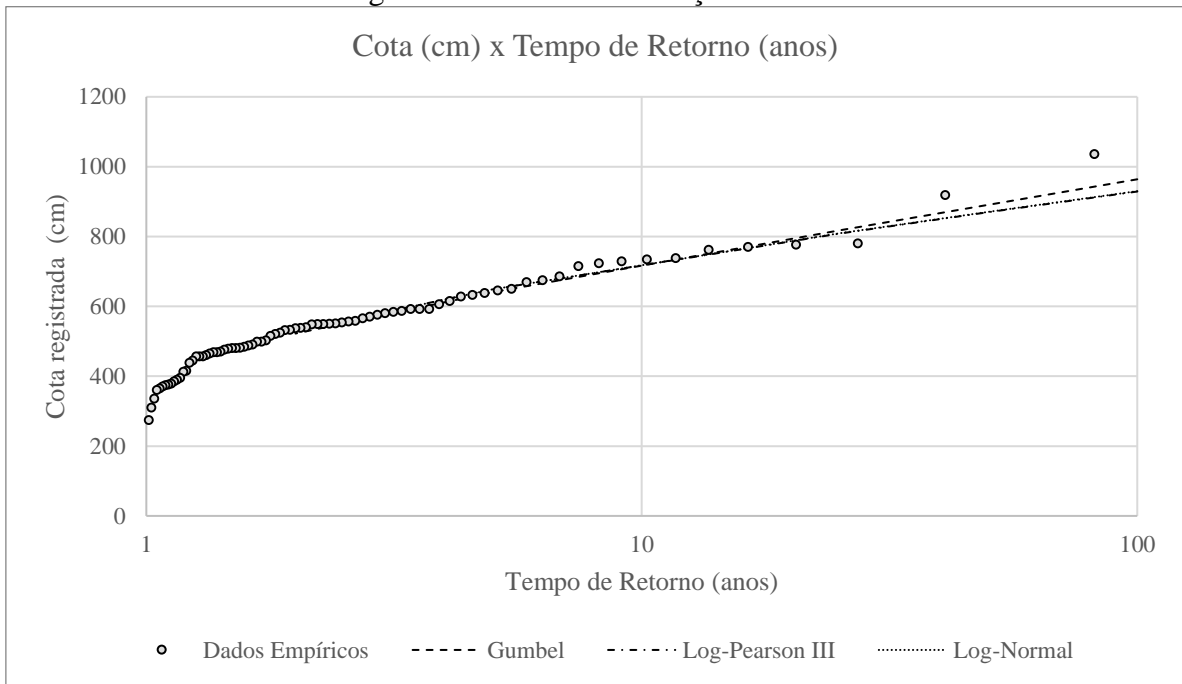


Figura 16 – Gráfico da estação 72870000.

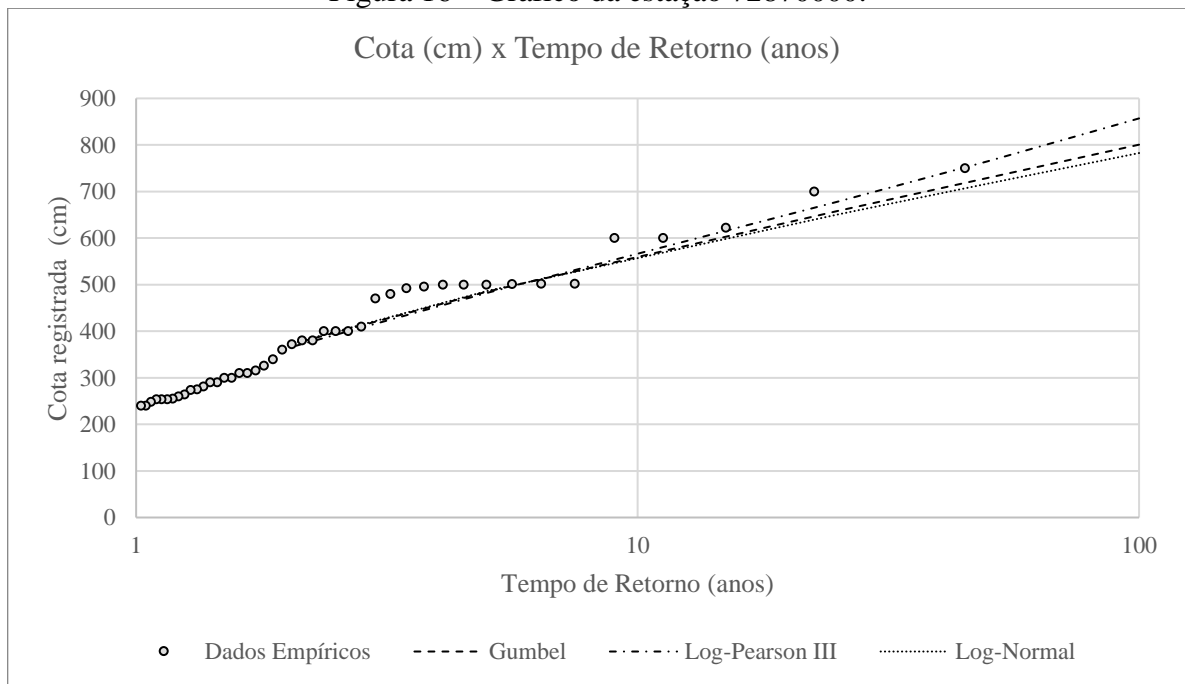


Figura 17 – Gráfico da estação 73180000.

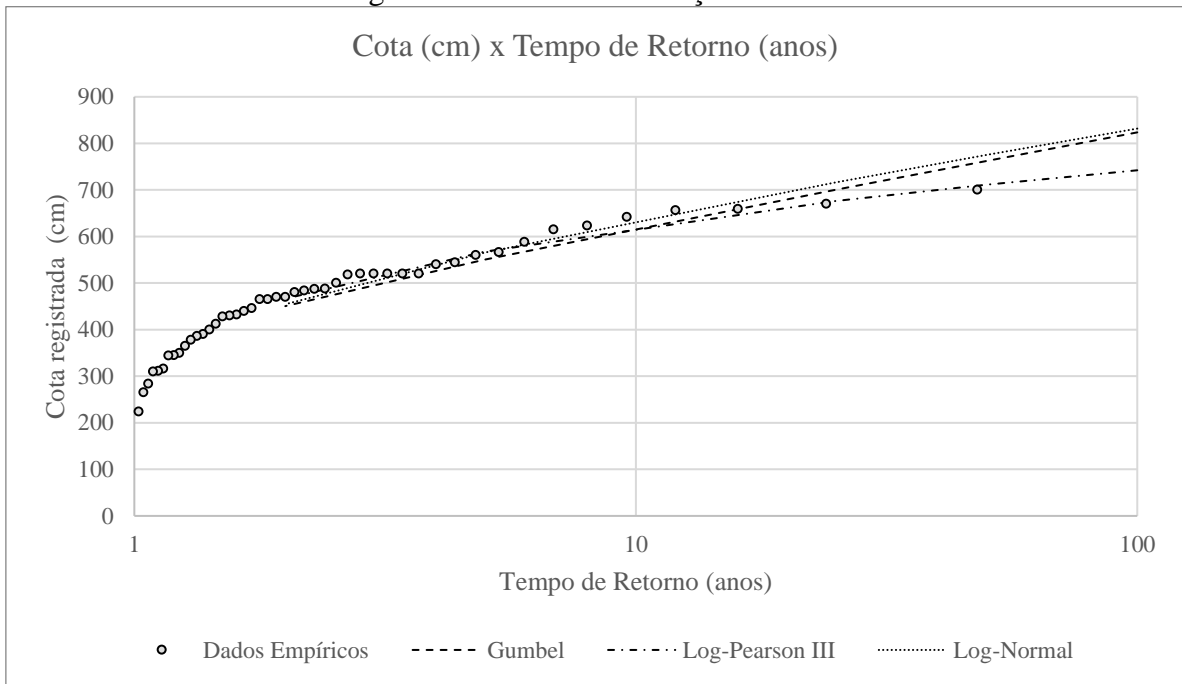


Figura 18 – Gráfico da estação 73300000.

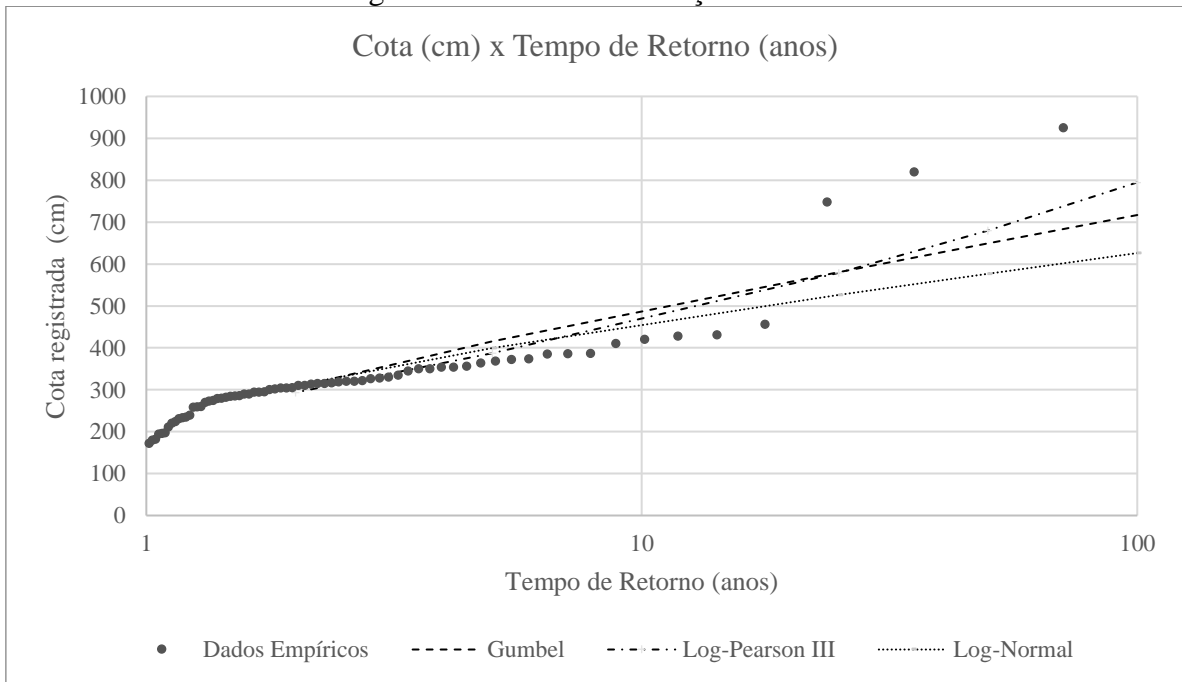


Figura 19 – Gráfico da estação 73360000.

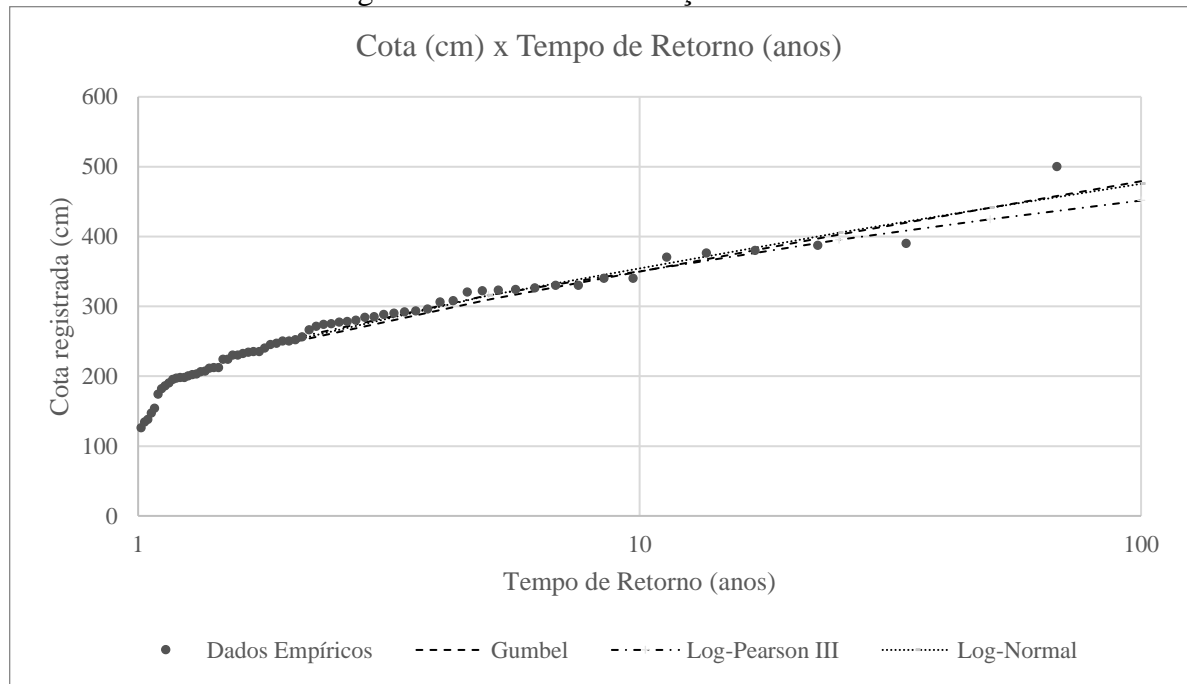


Figura 20 – Gráfico da estação 73820000.

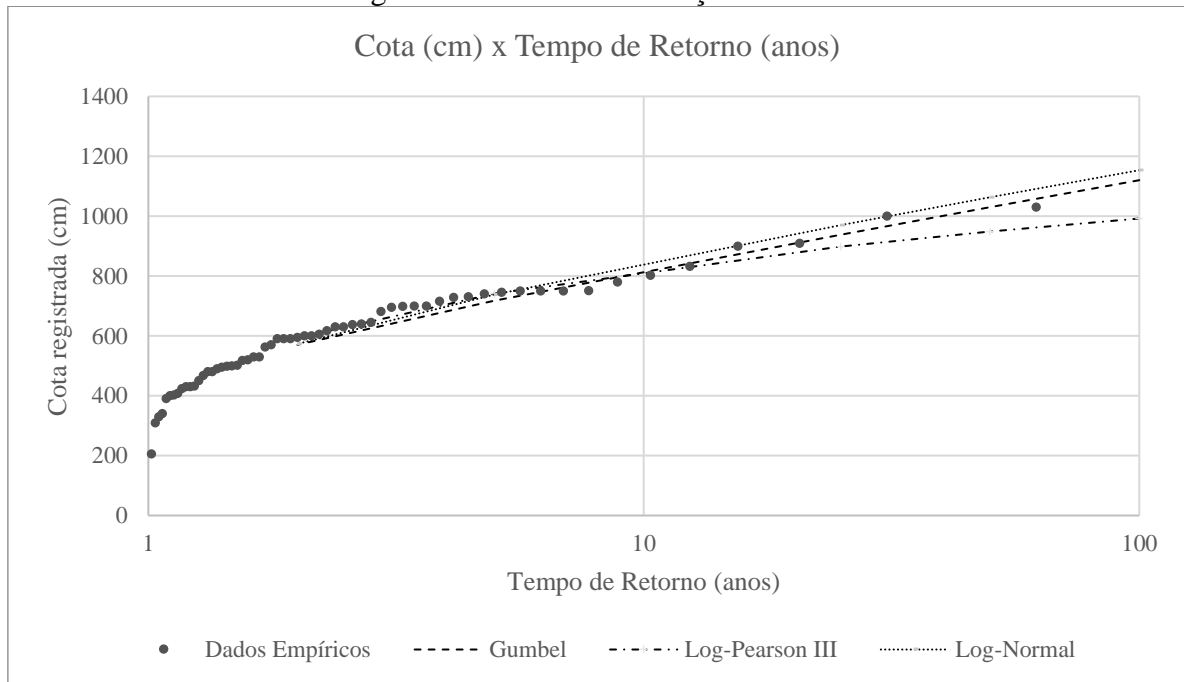


Figura 21 – Gráfico da estação 73850000.

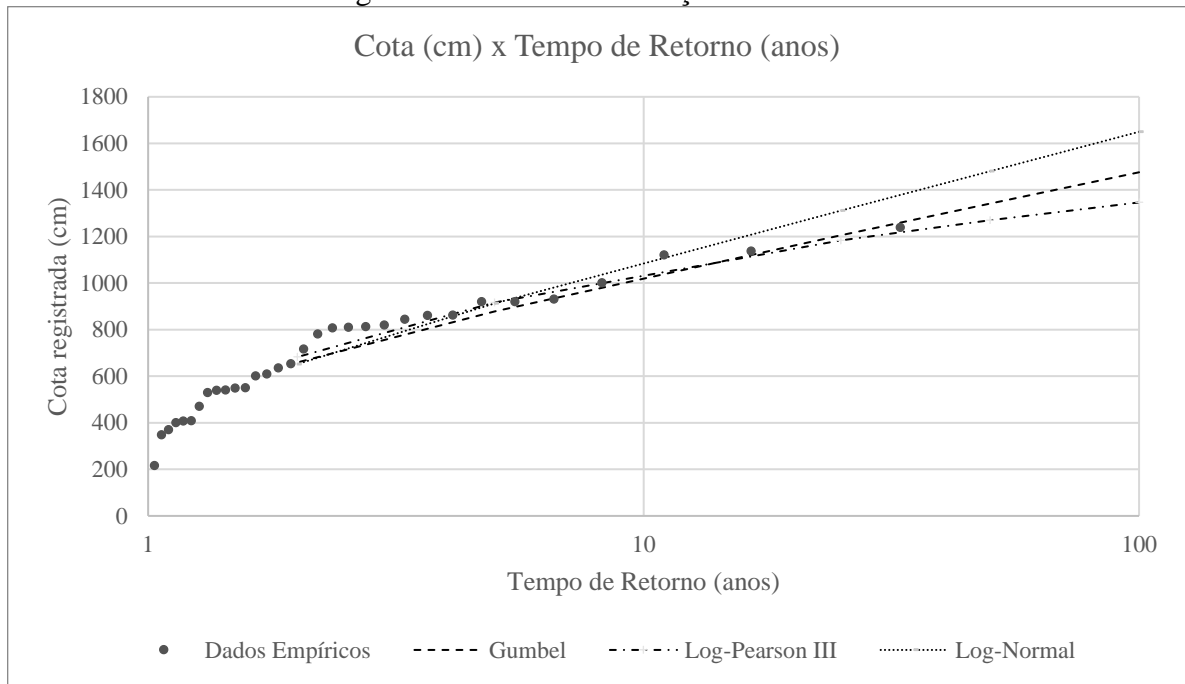


Figura 22 – Gráfico da estação 73900000.

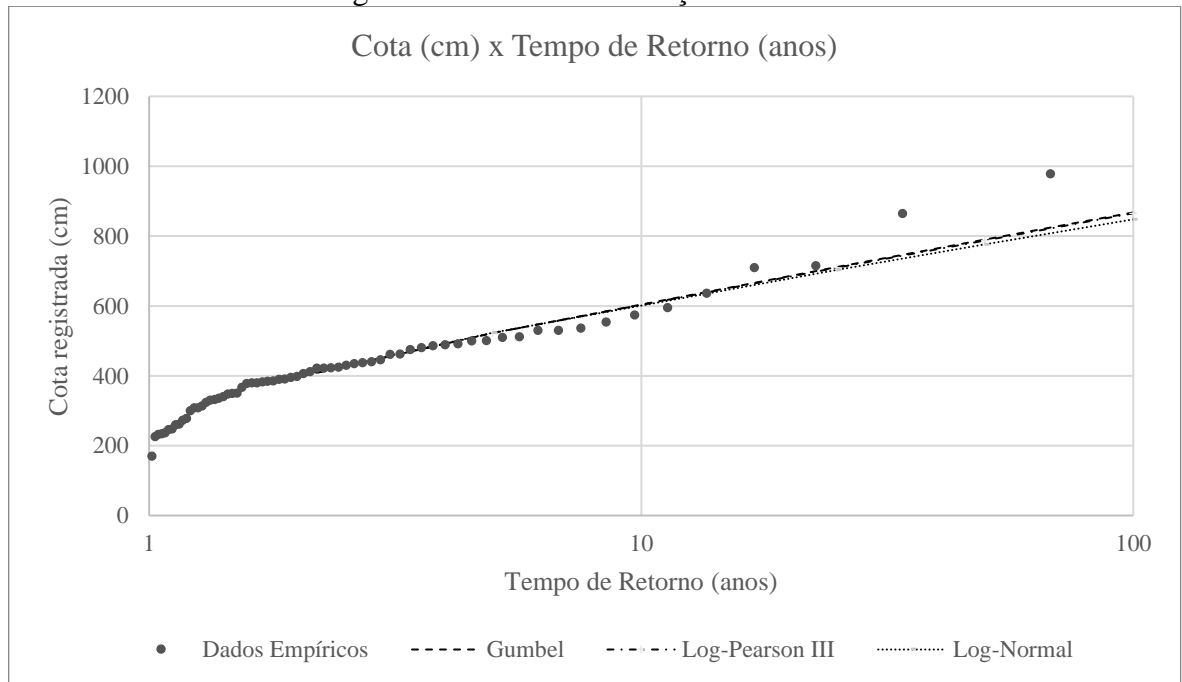


Figura 23 – Gráfico da estação 74295000.

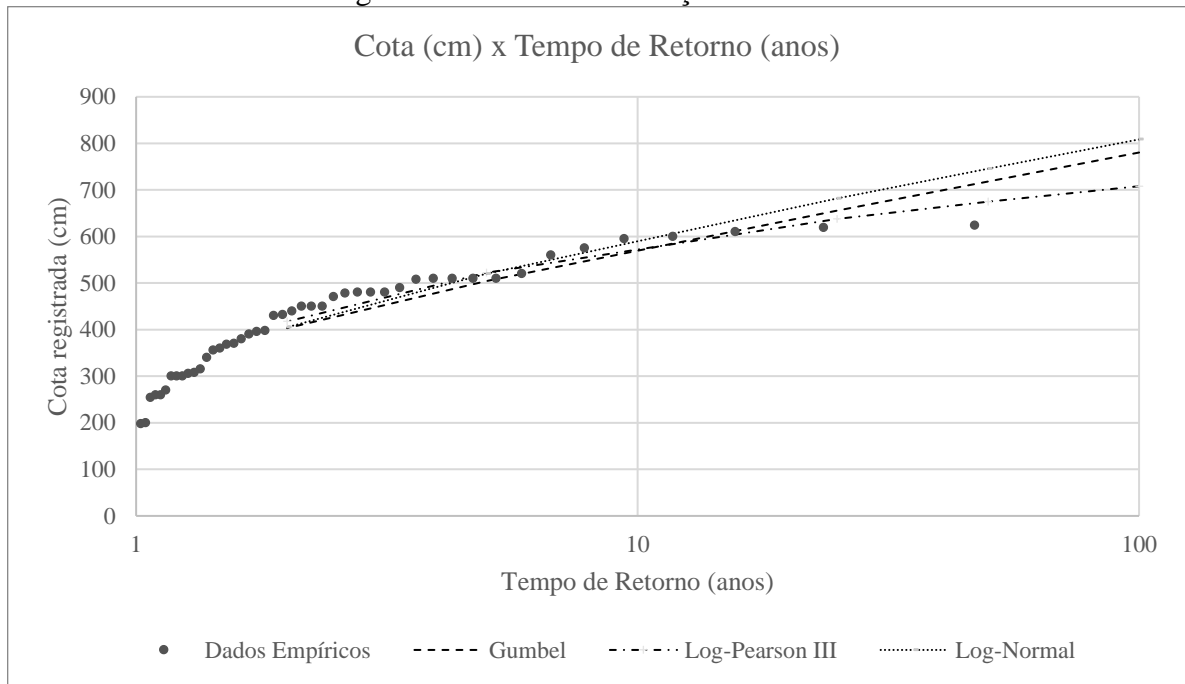


Figura 24 – Gráfico da estação 74300000.

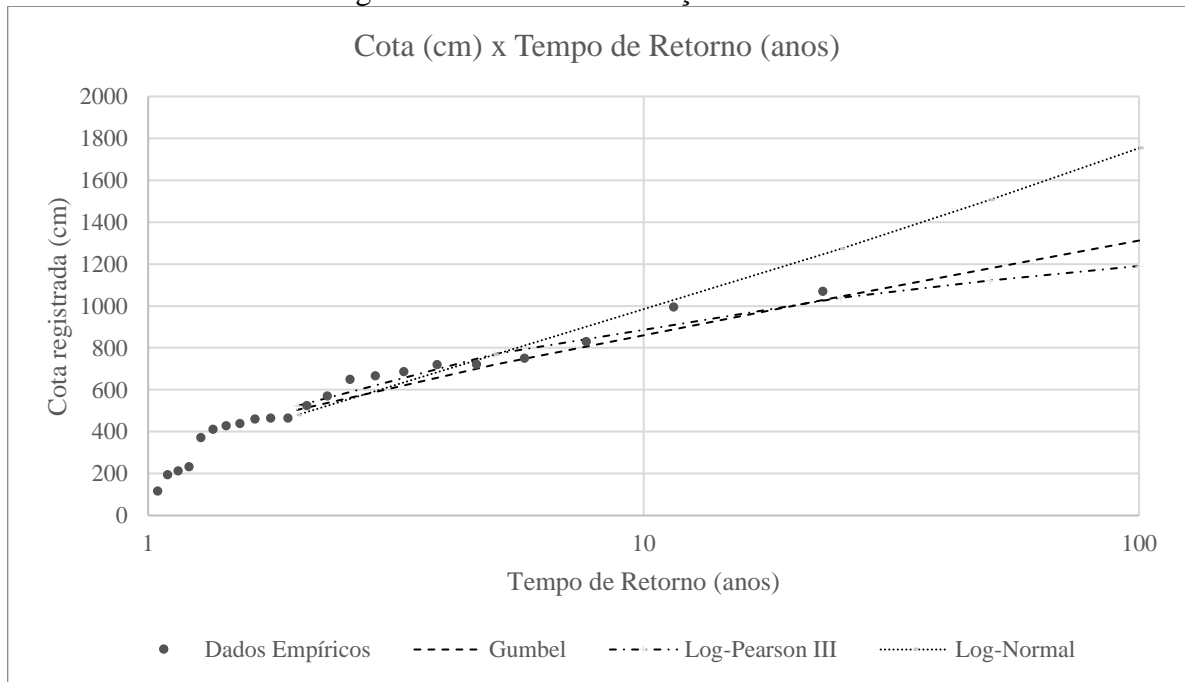


Figura 25 – Gráfico da estação 74320000.

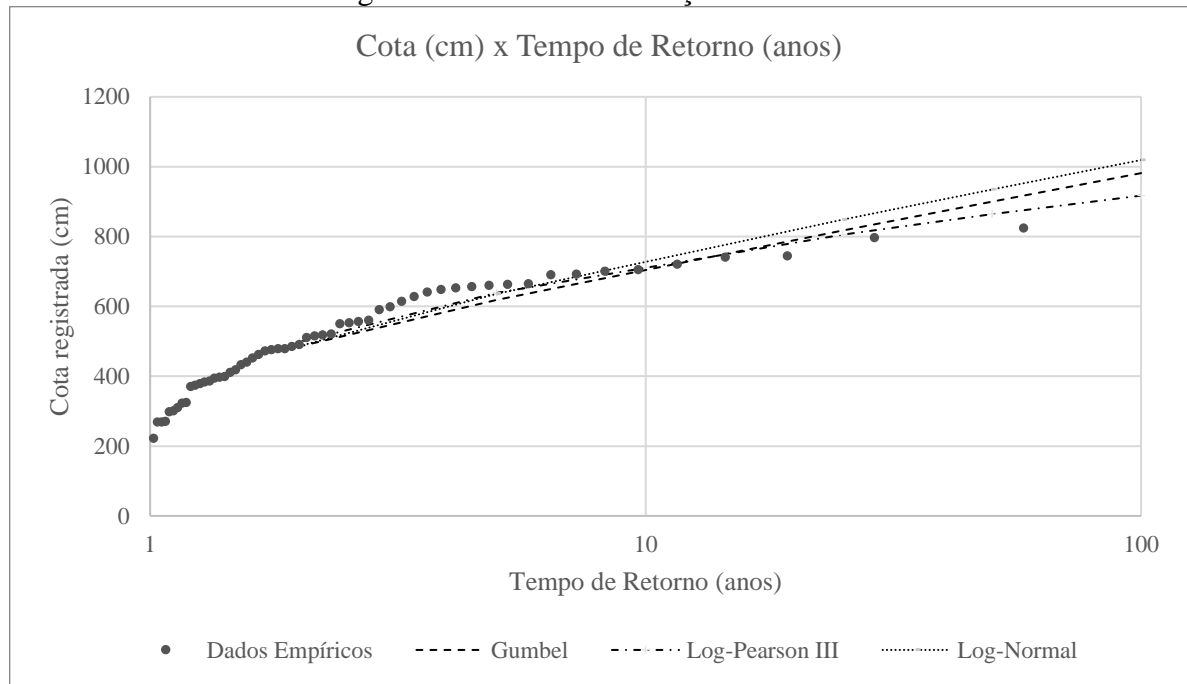


Figura 26 – Gráfico da estação 82549000.

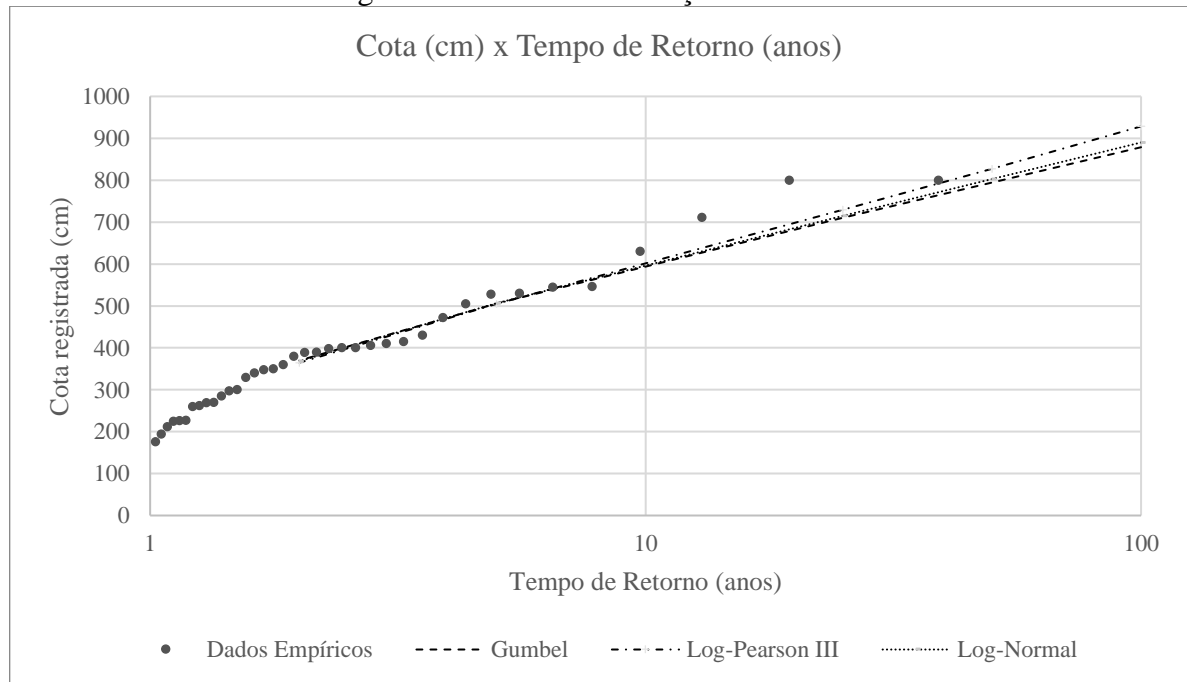


Figura 27 – Gráfico da estação 83050000.

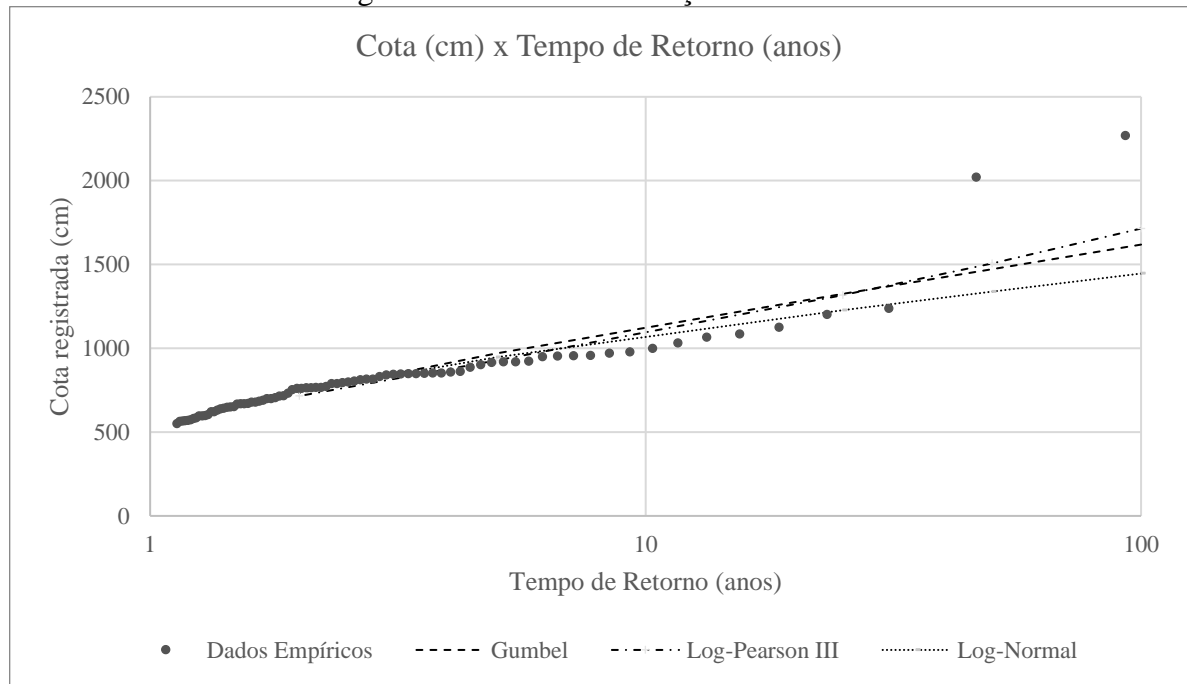


Figura 28 – Gráfico da estação 83250000.

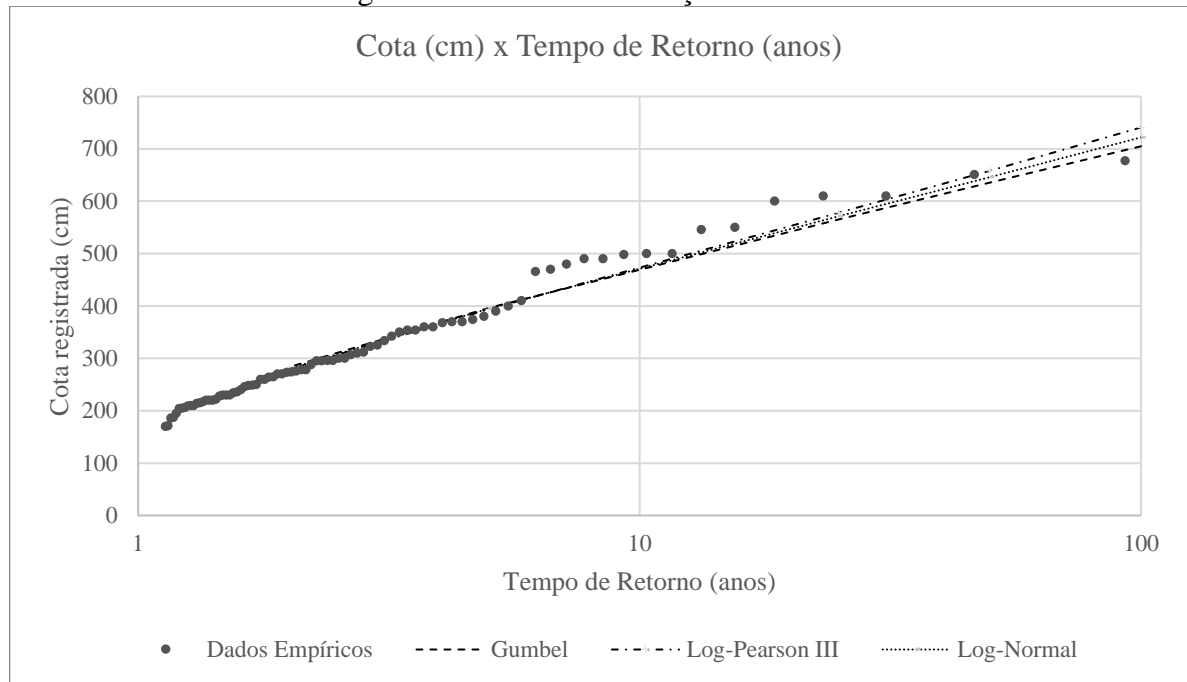


Figura 29 – Gráfico da estação 83440000.

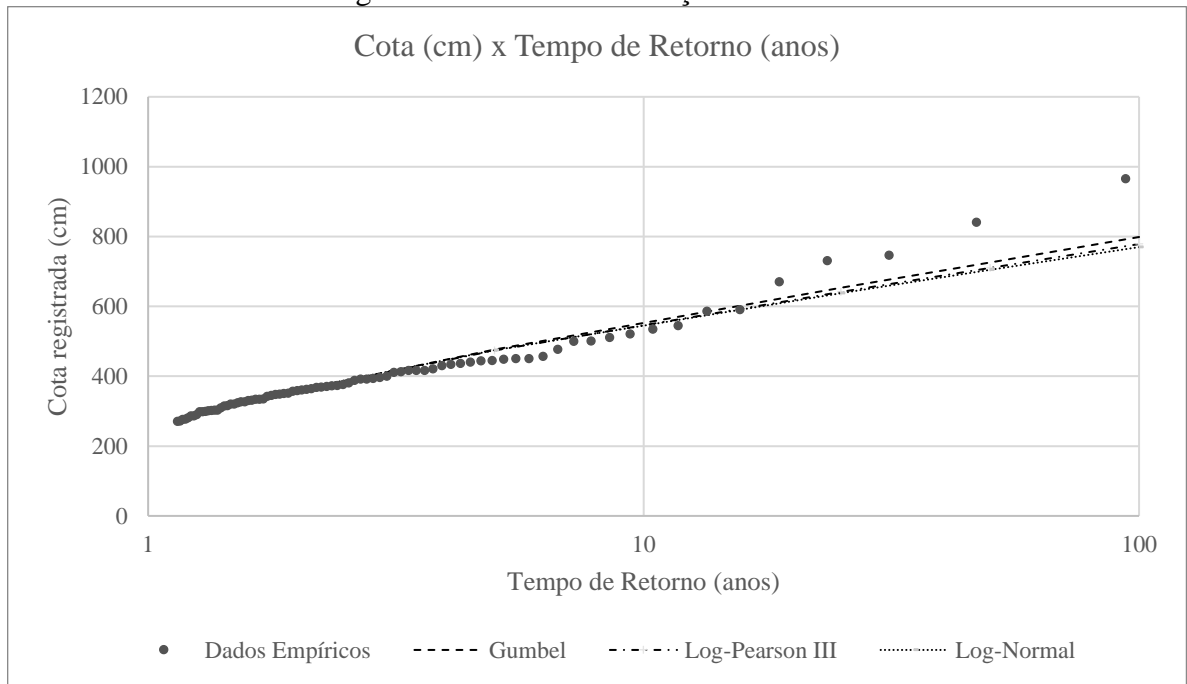


Figura 30 – Gráfico da estação 83500002.

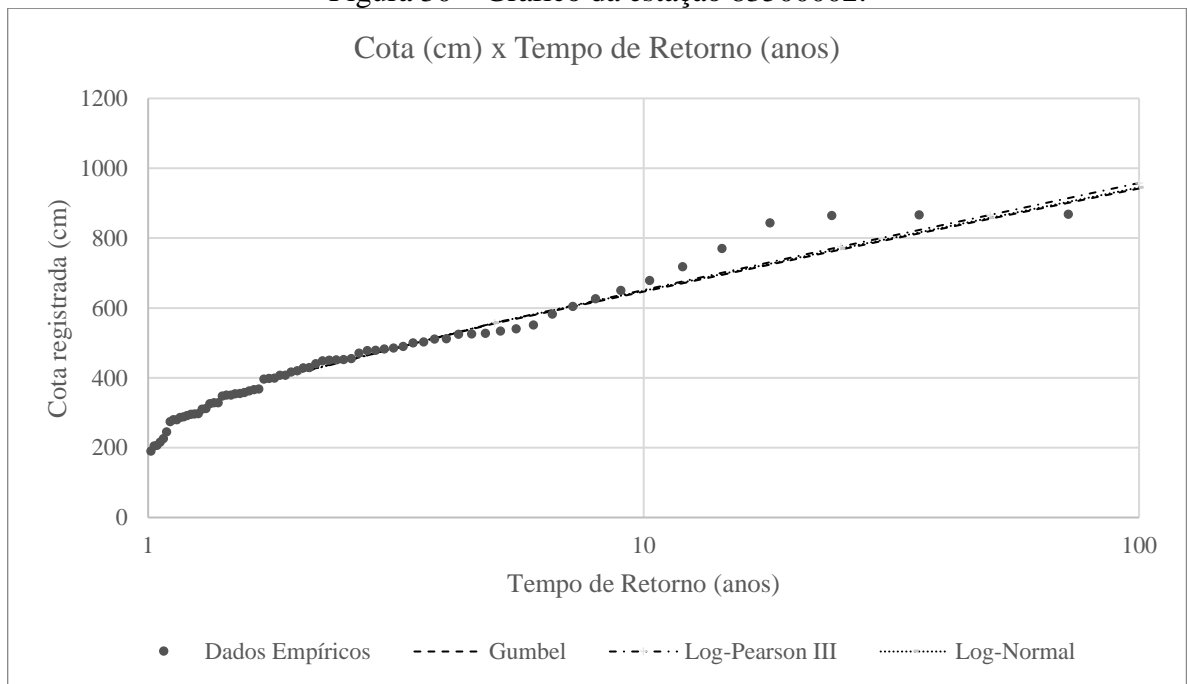


Figura 31 – Gráfico da estação 83520000.

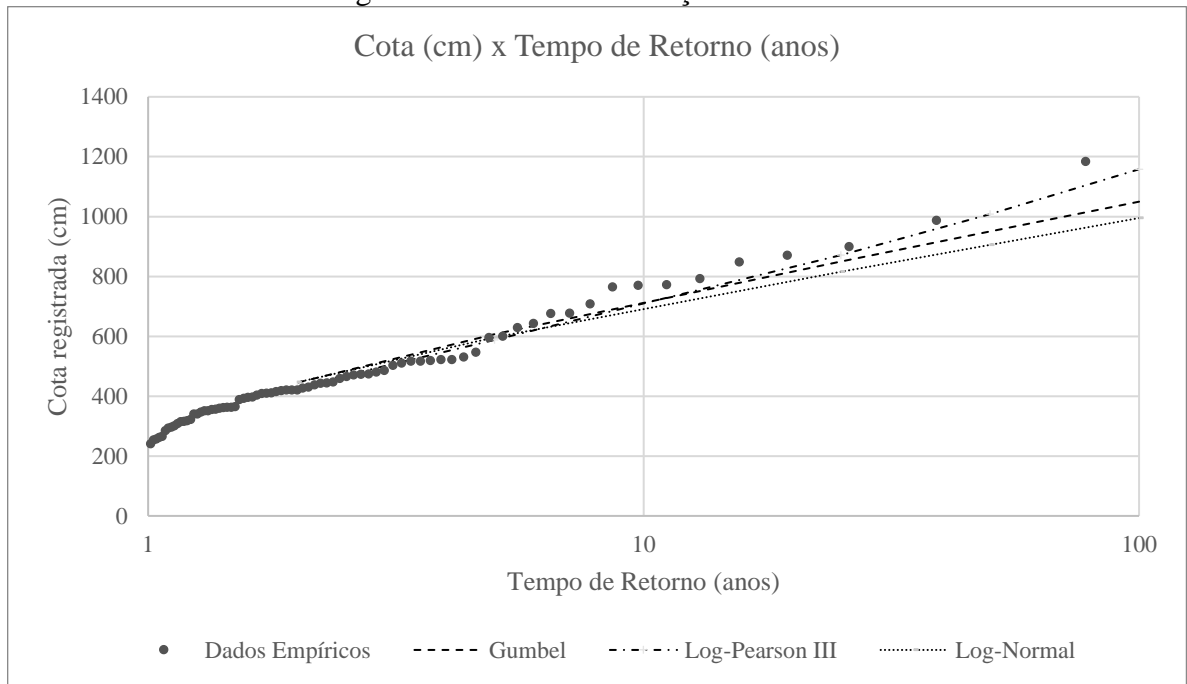


Figura 32 – Gráfico da estação 83660000.

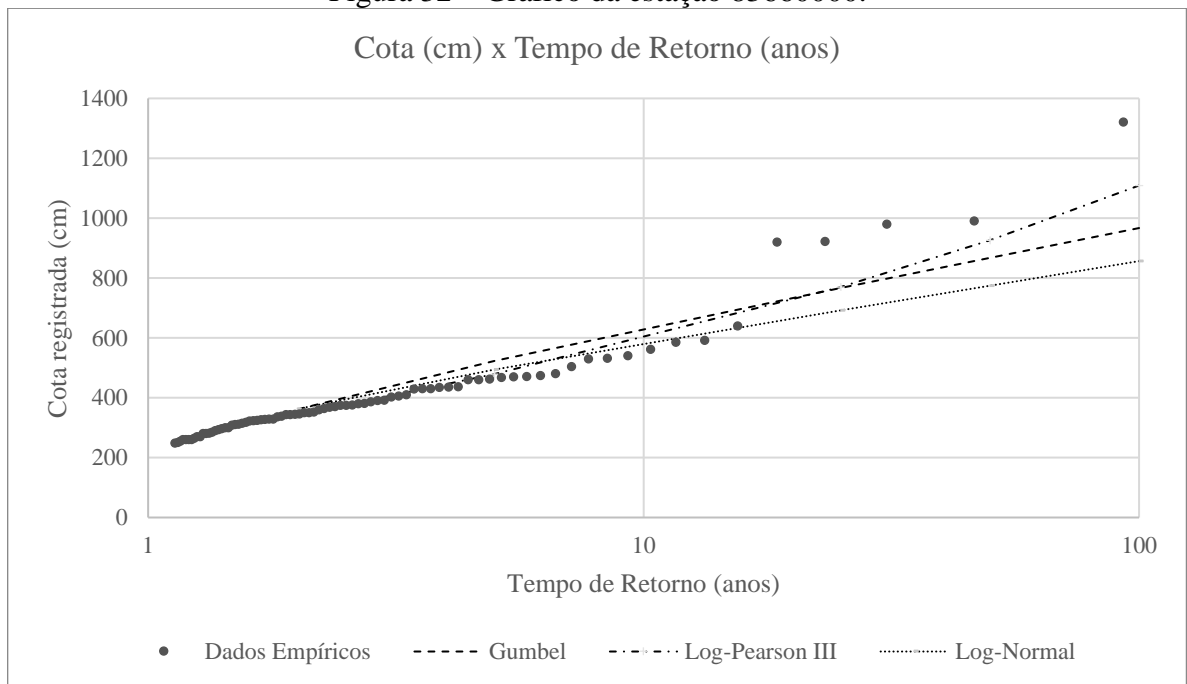


Figura 33 – Gráfico da estação 83675000.

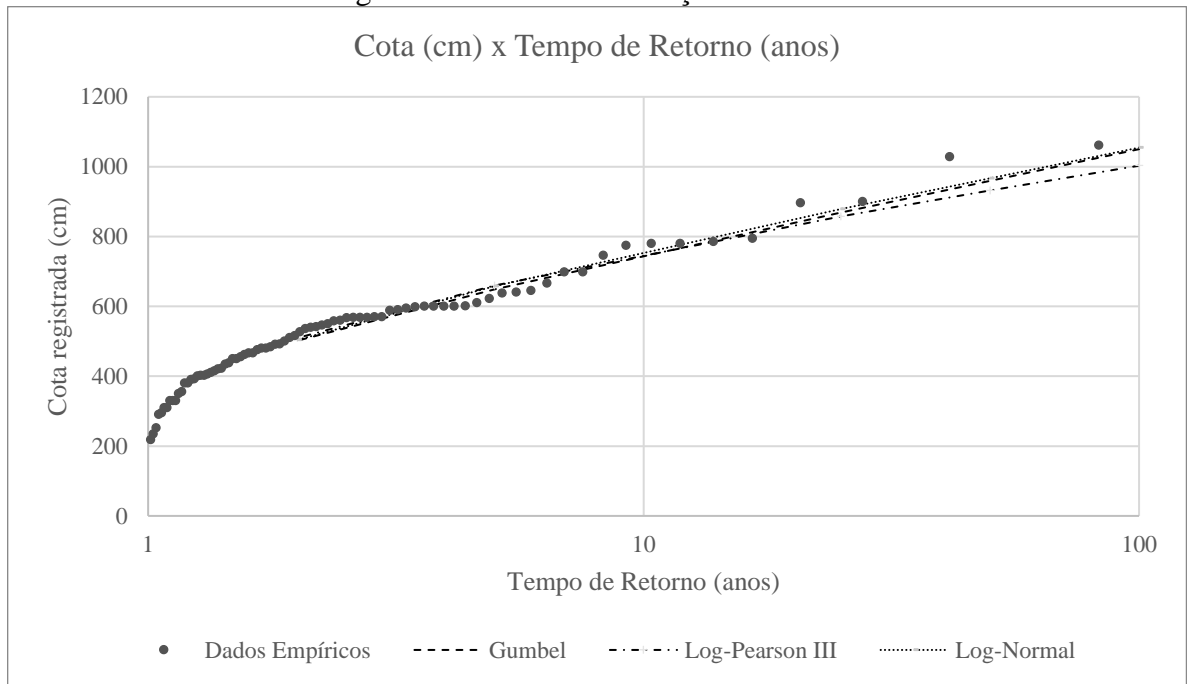


Figura 34 – Gráfico da estação 83680000.

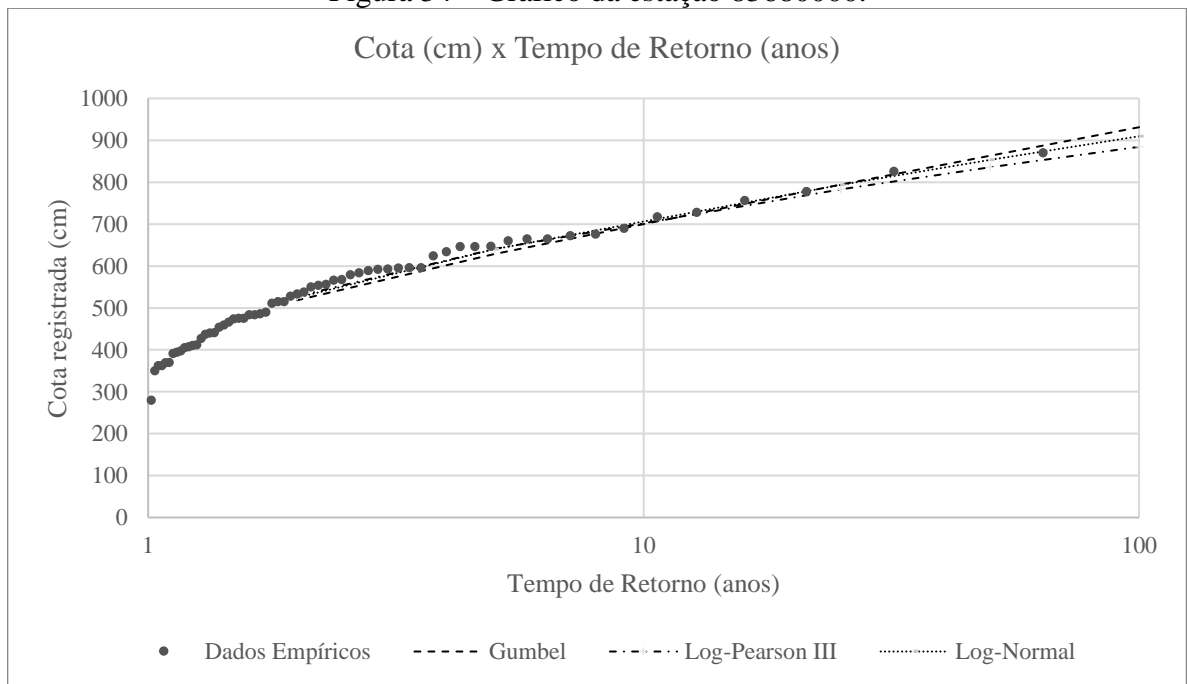


Figura 35 – Gráfico da estação 83800002.

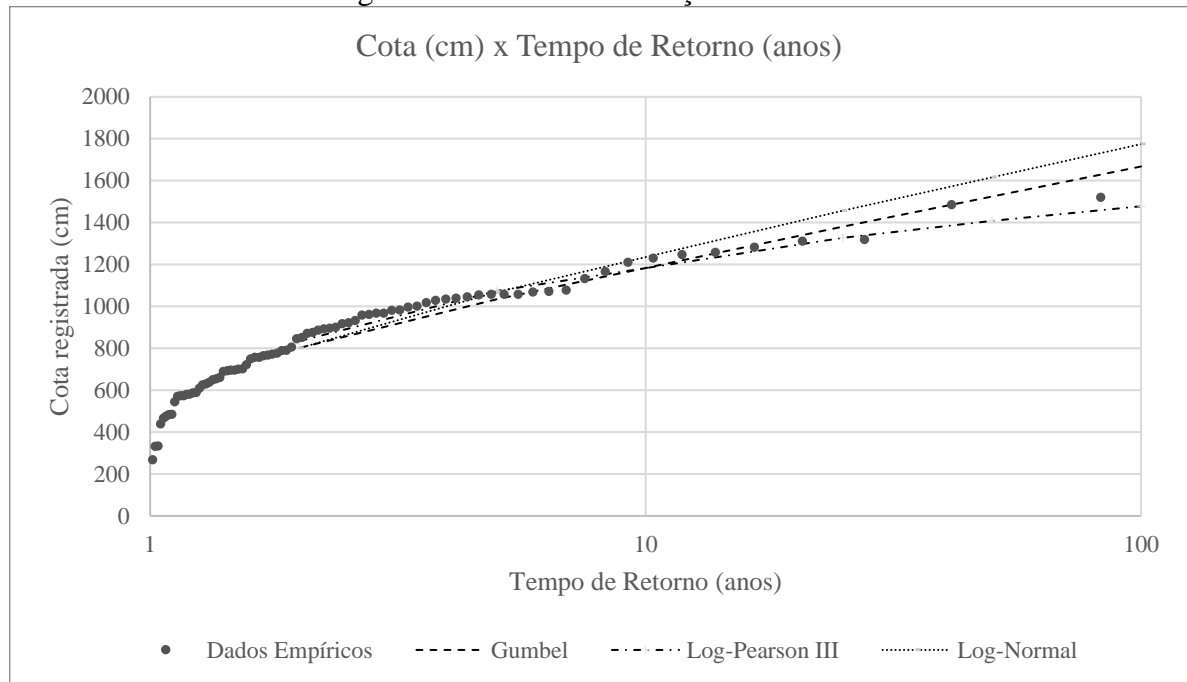


Figura 36 – Gráfico da estação 83880000.

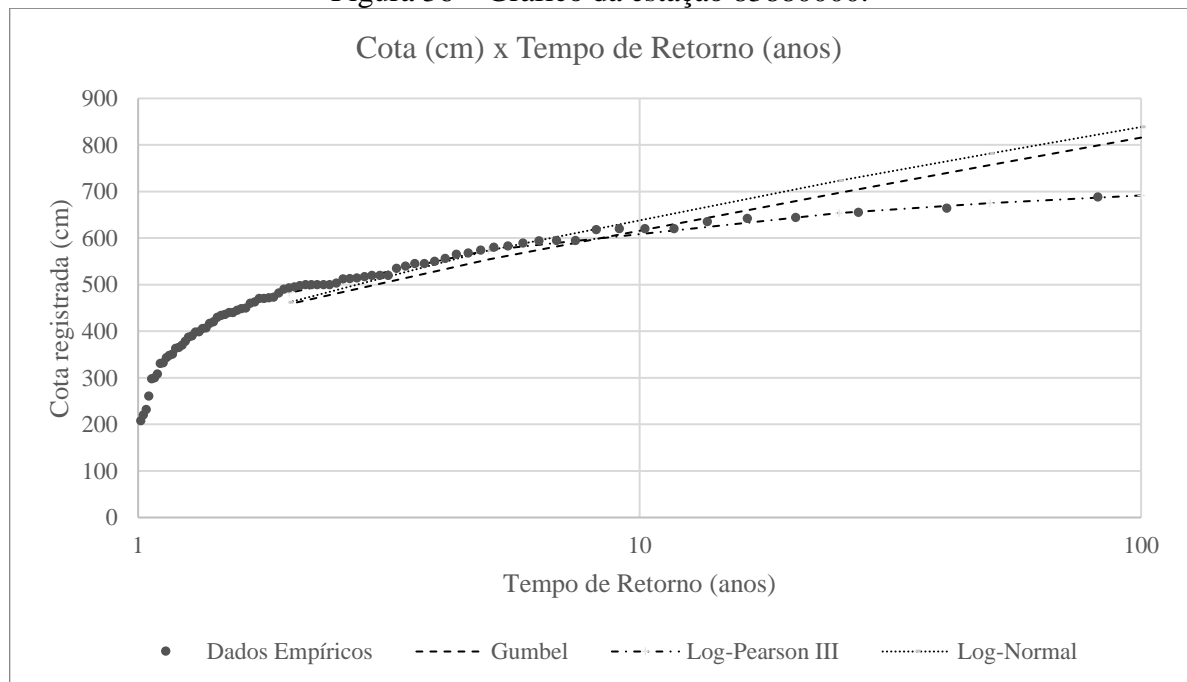


Figura 37 – Gráfico da estação 83900000.

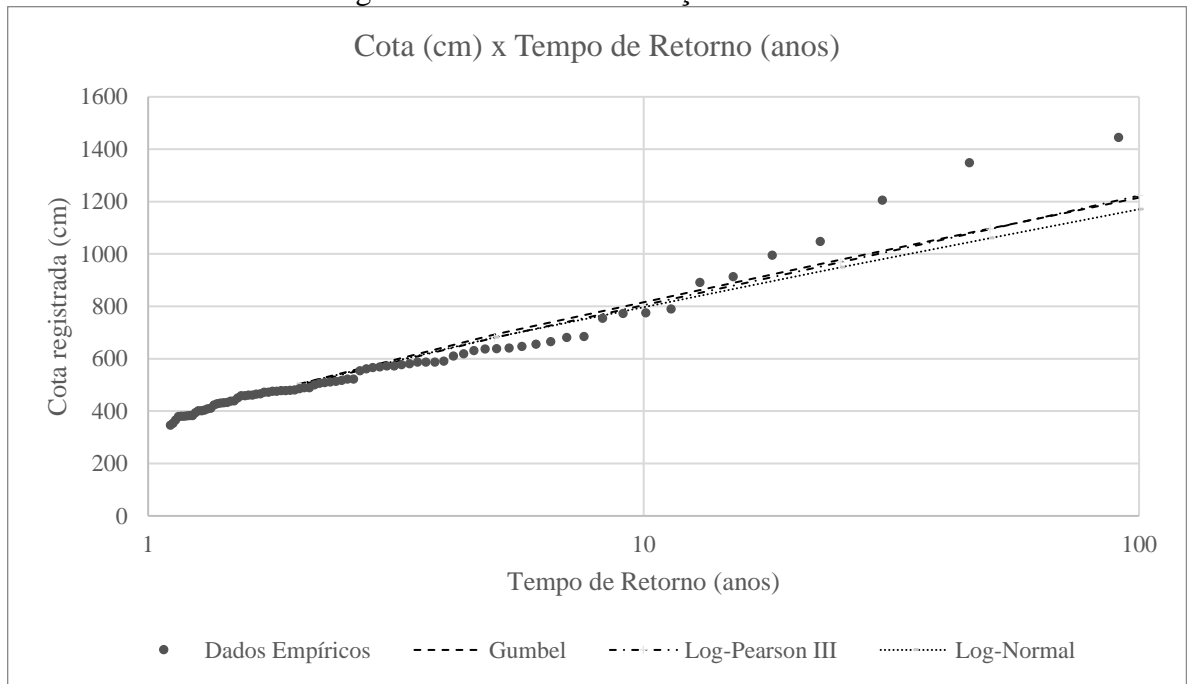


Figura 38 – Gráfico da estação 84071000.

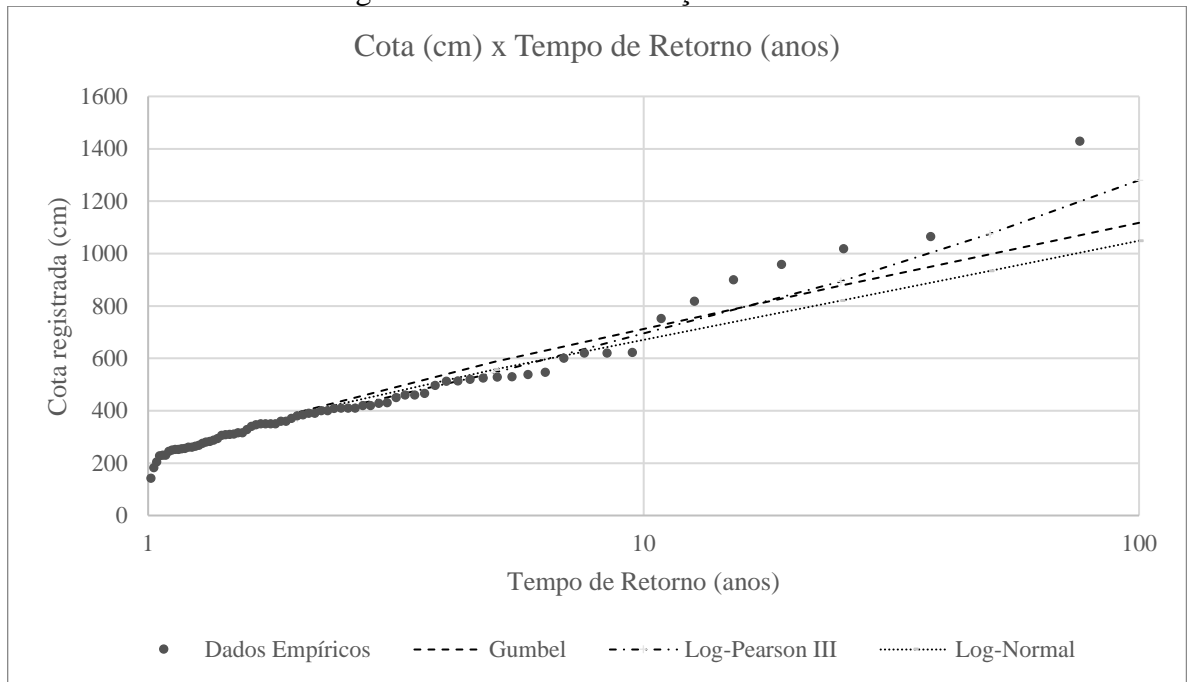


Figura 39 – Gráfico da estação 84095000.

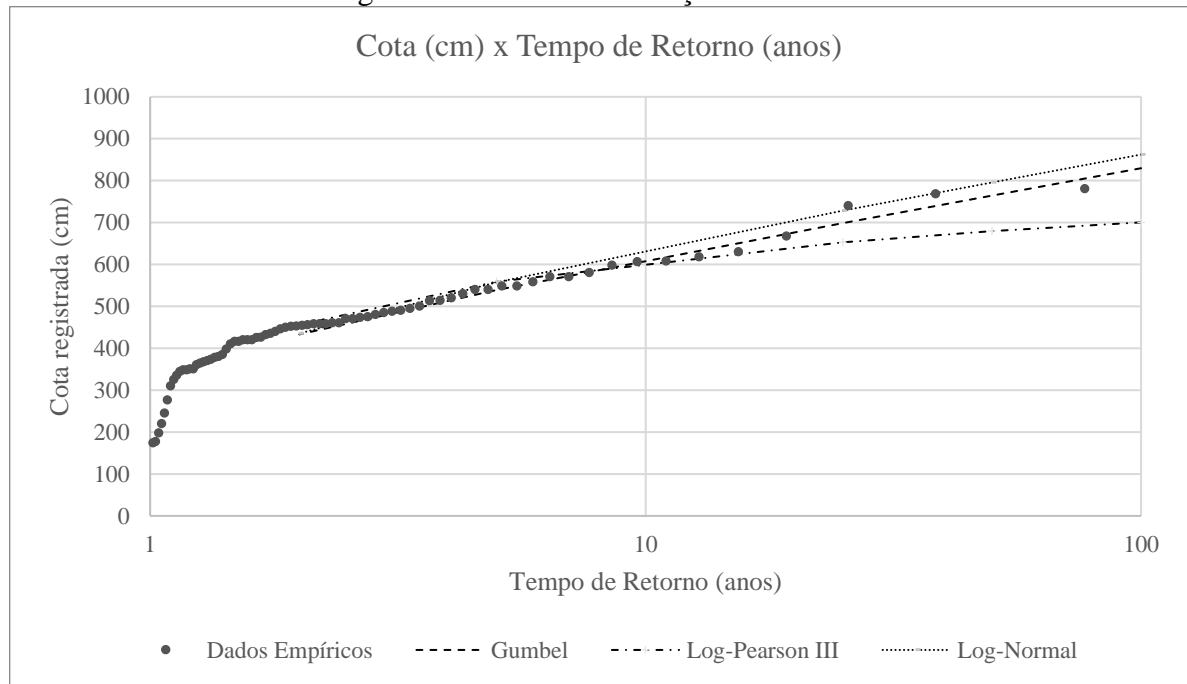


Figura 40 – Gráfico da estação 84100000.

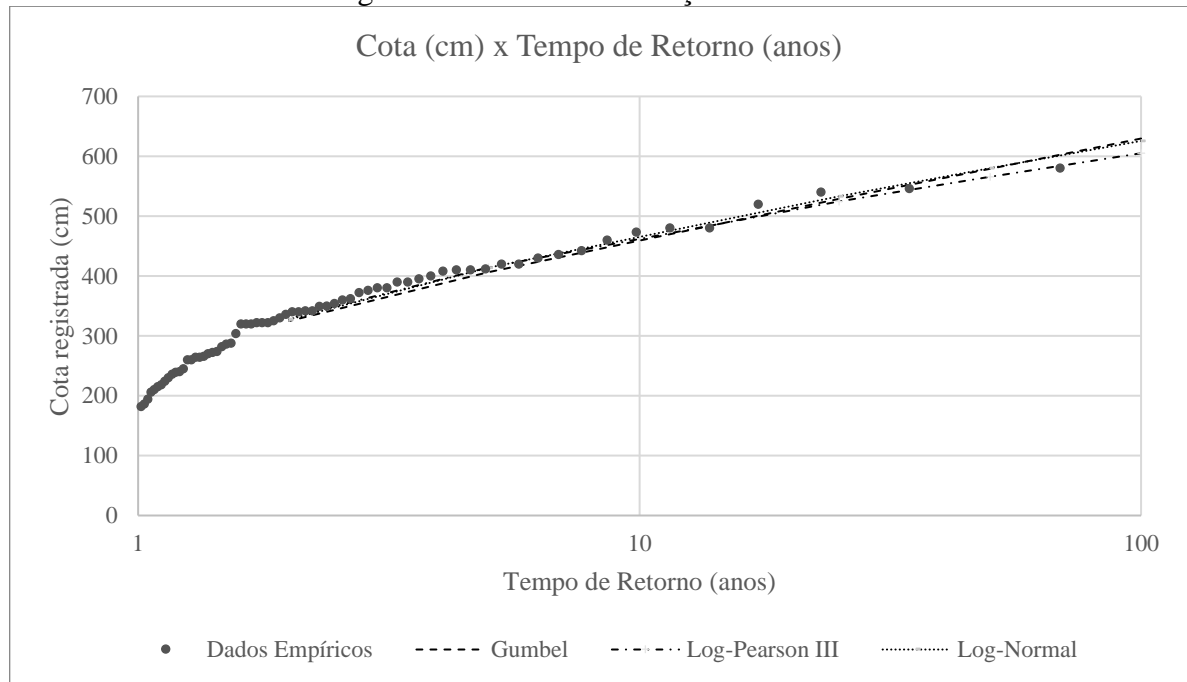


Figura 41 – Gráfico da estação 84520000.

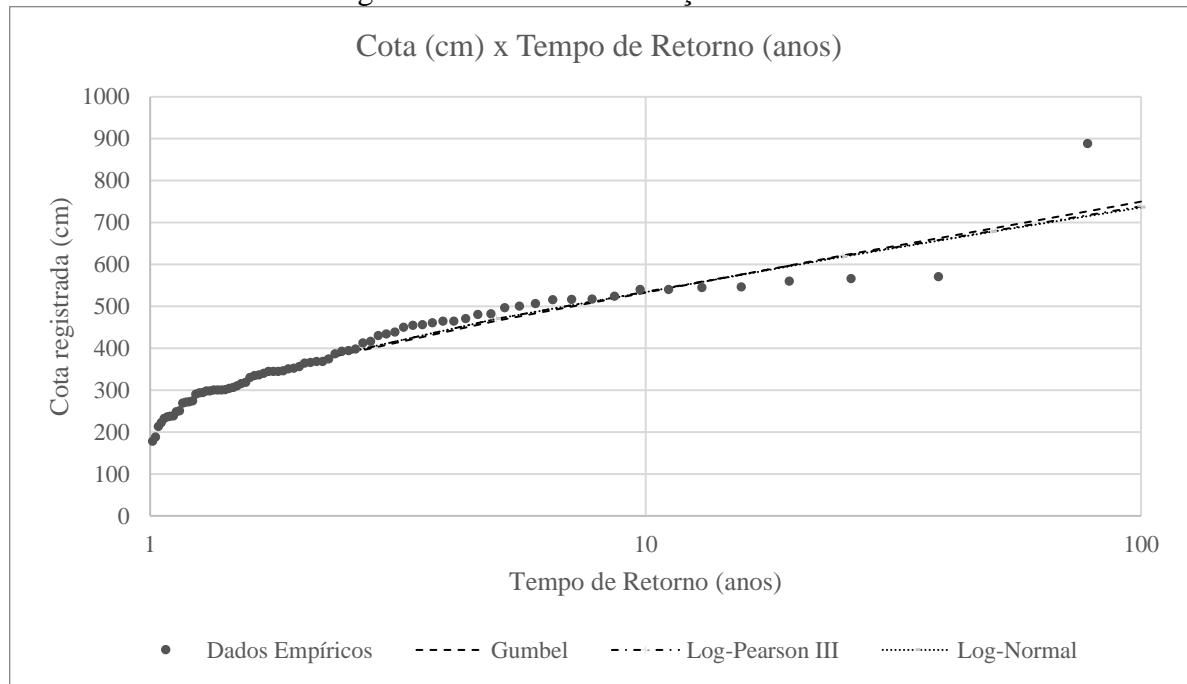


Figura 42 – Gráfico da estação 84551000.

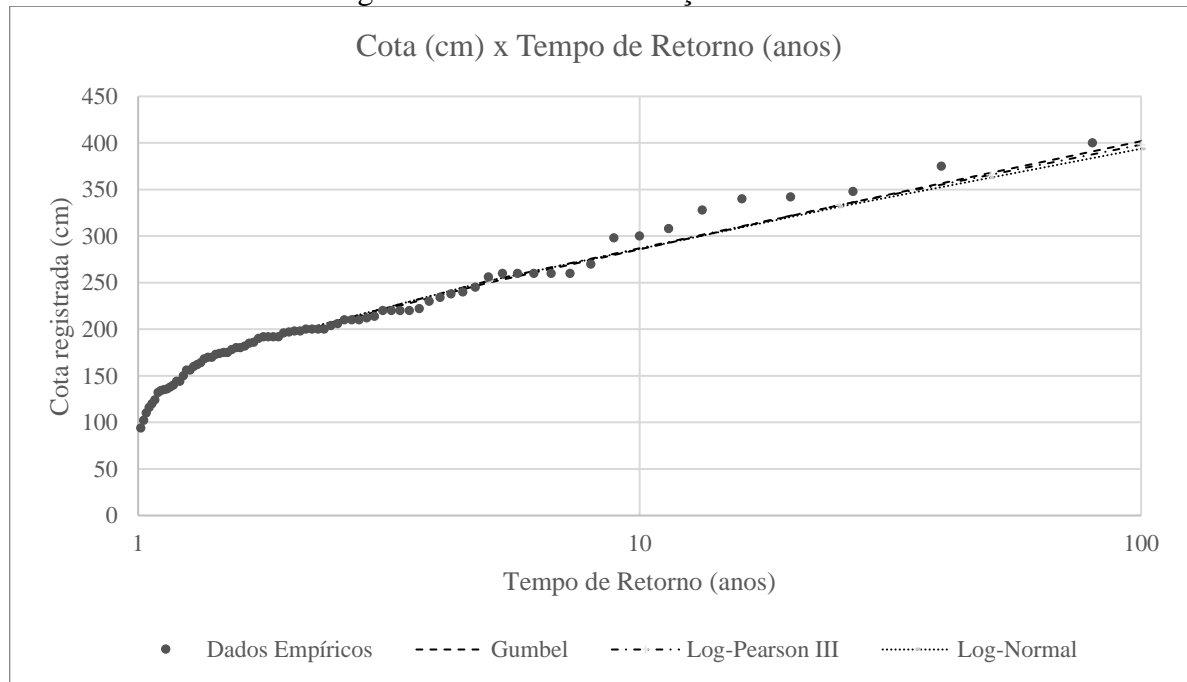


Figura 43 – Gráfico da estação 84560002.

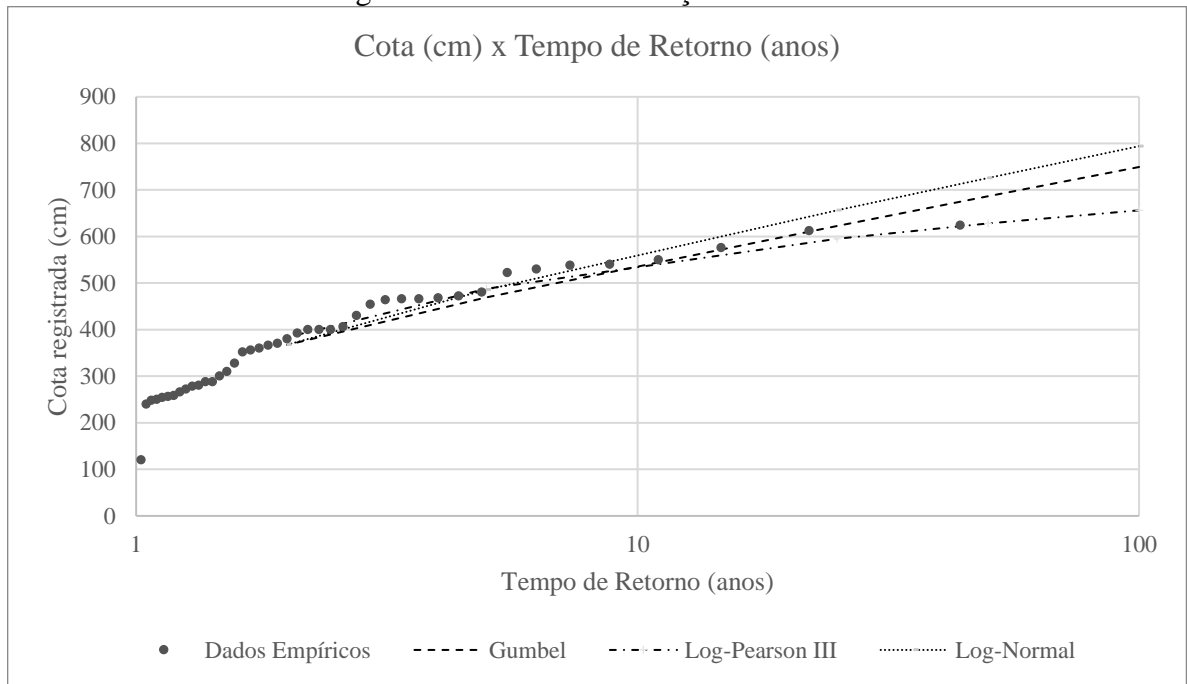


Figura 44 – Gráfico da estação 84580000.

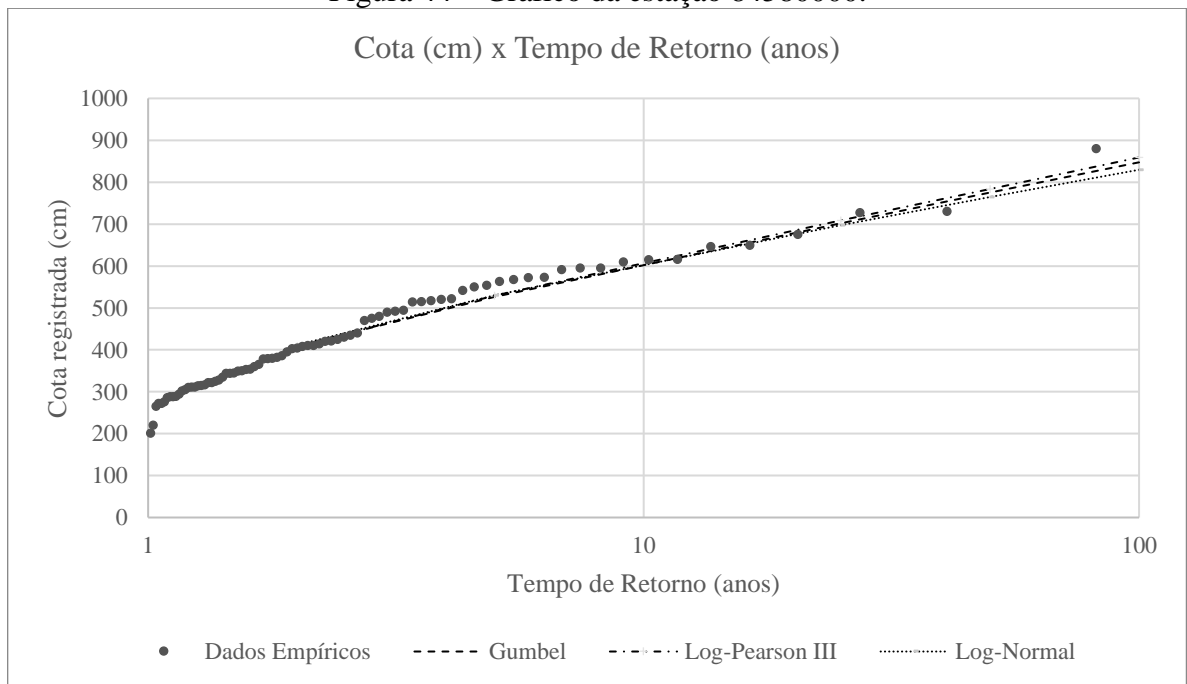


Figura 45 – Gráfico da estação 84598002.

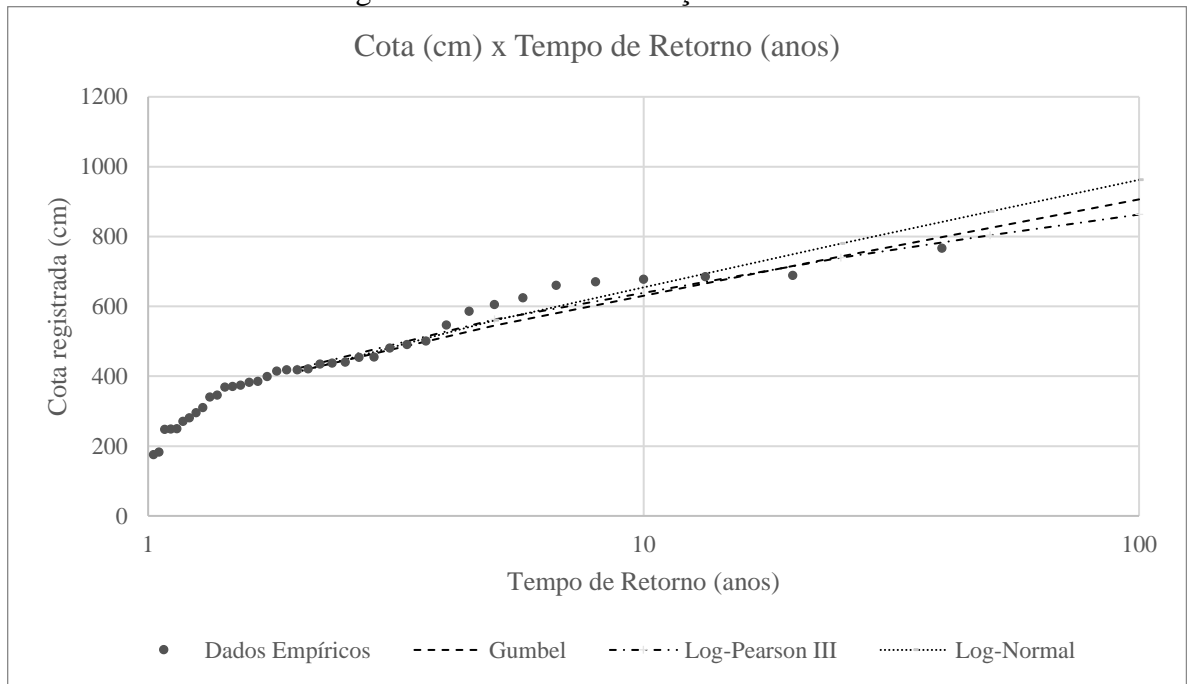


Figura 46 – Gráfico da estação 84600000.

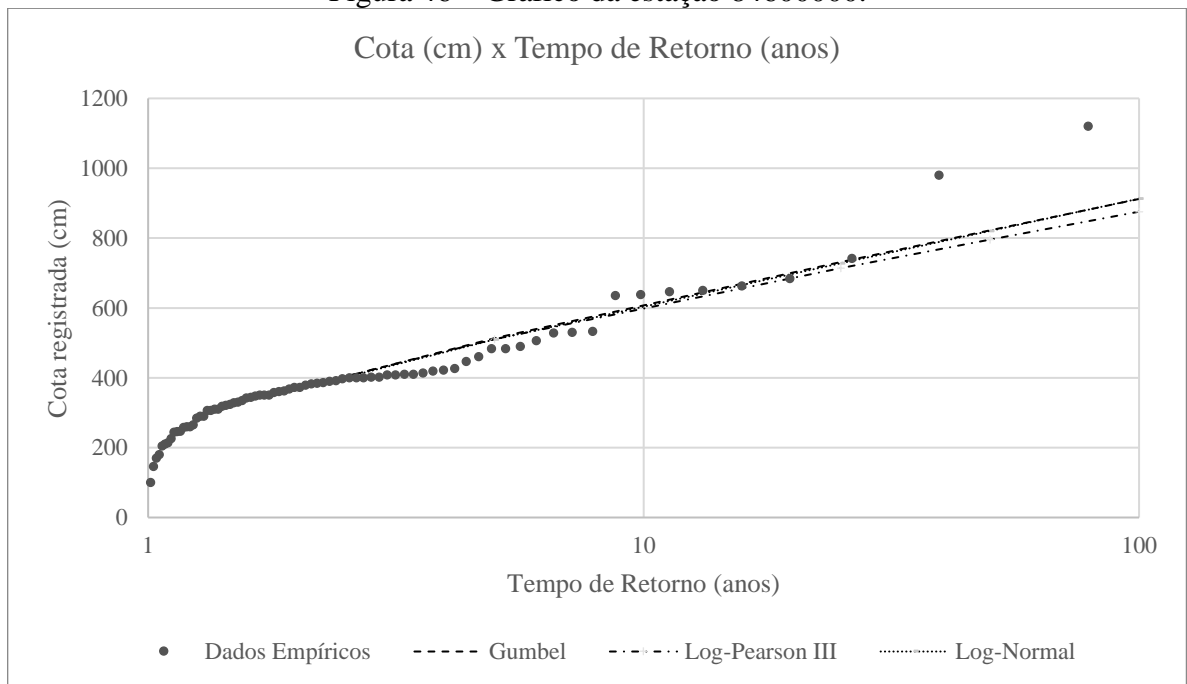


Figura 47 – Gráfico da estação 84820000.

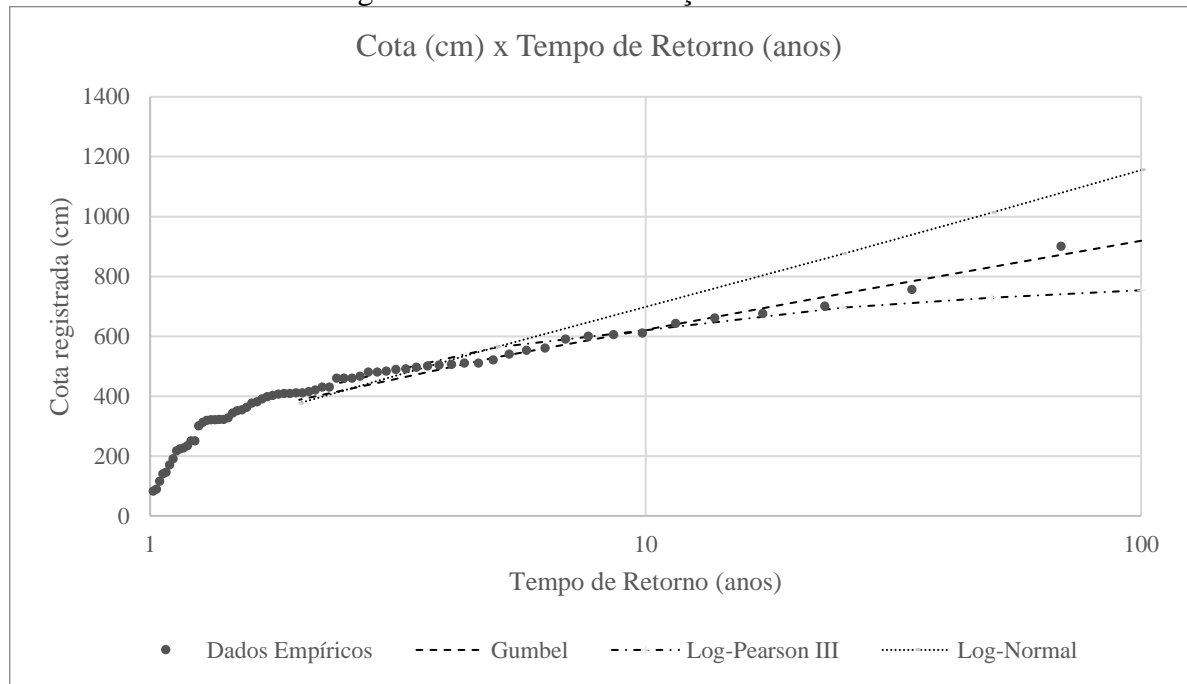


Figura 48 – Gráfico da estação 84853000.

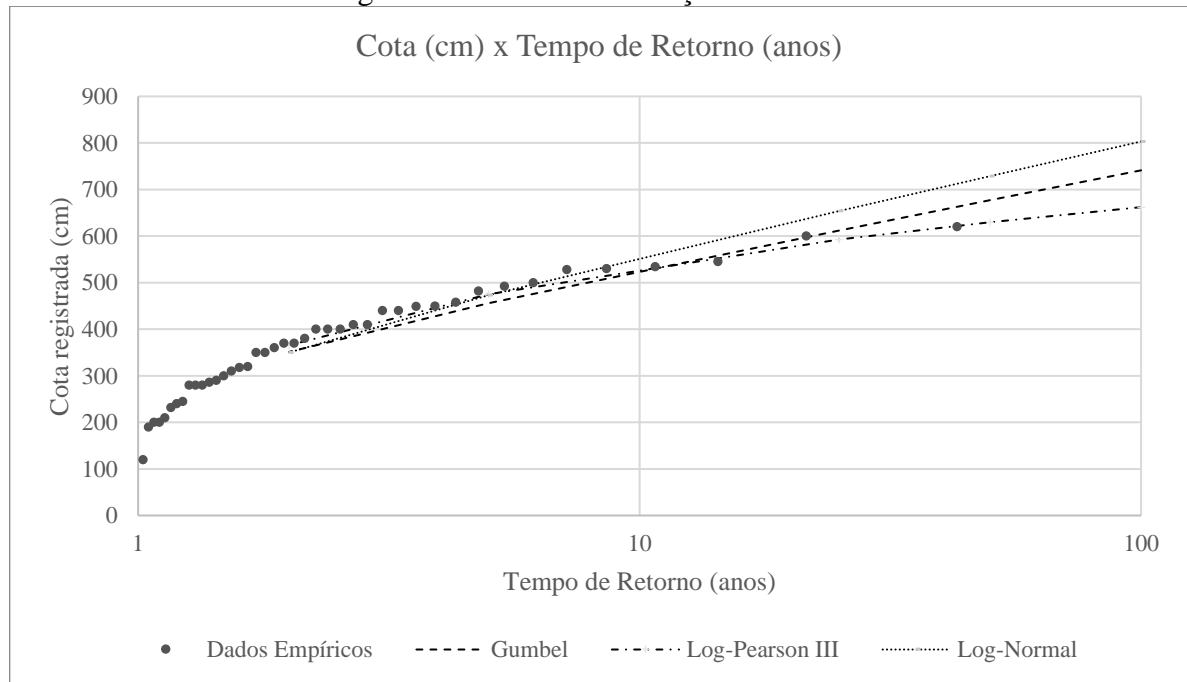
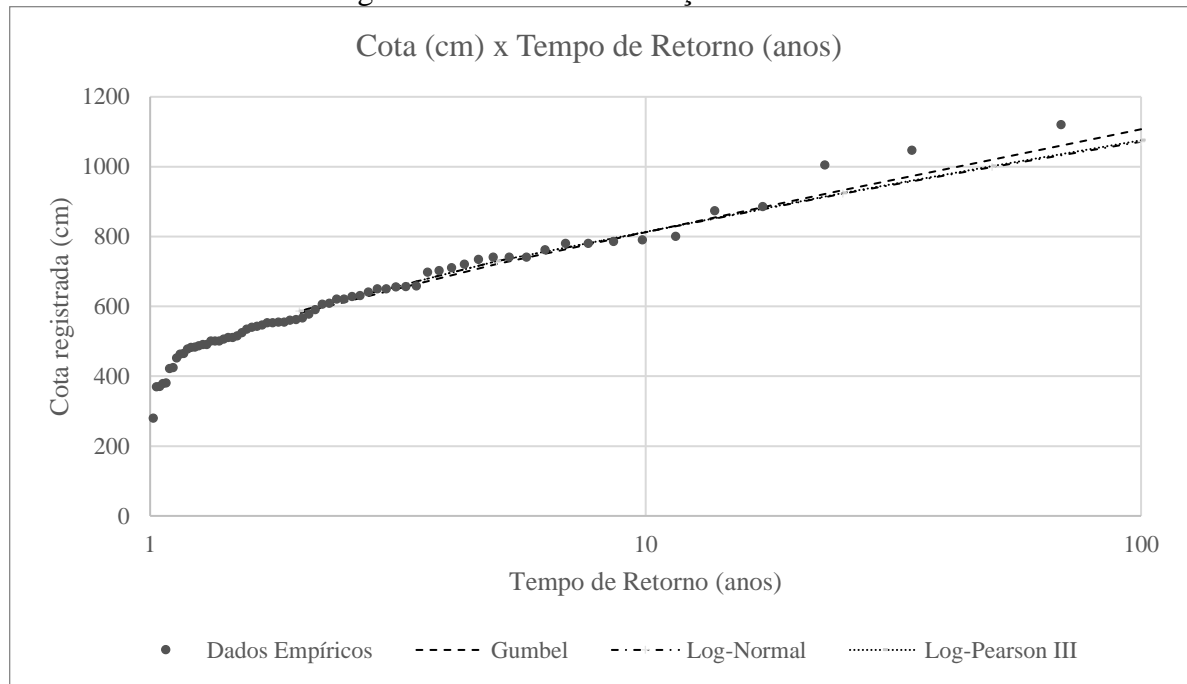
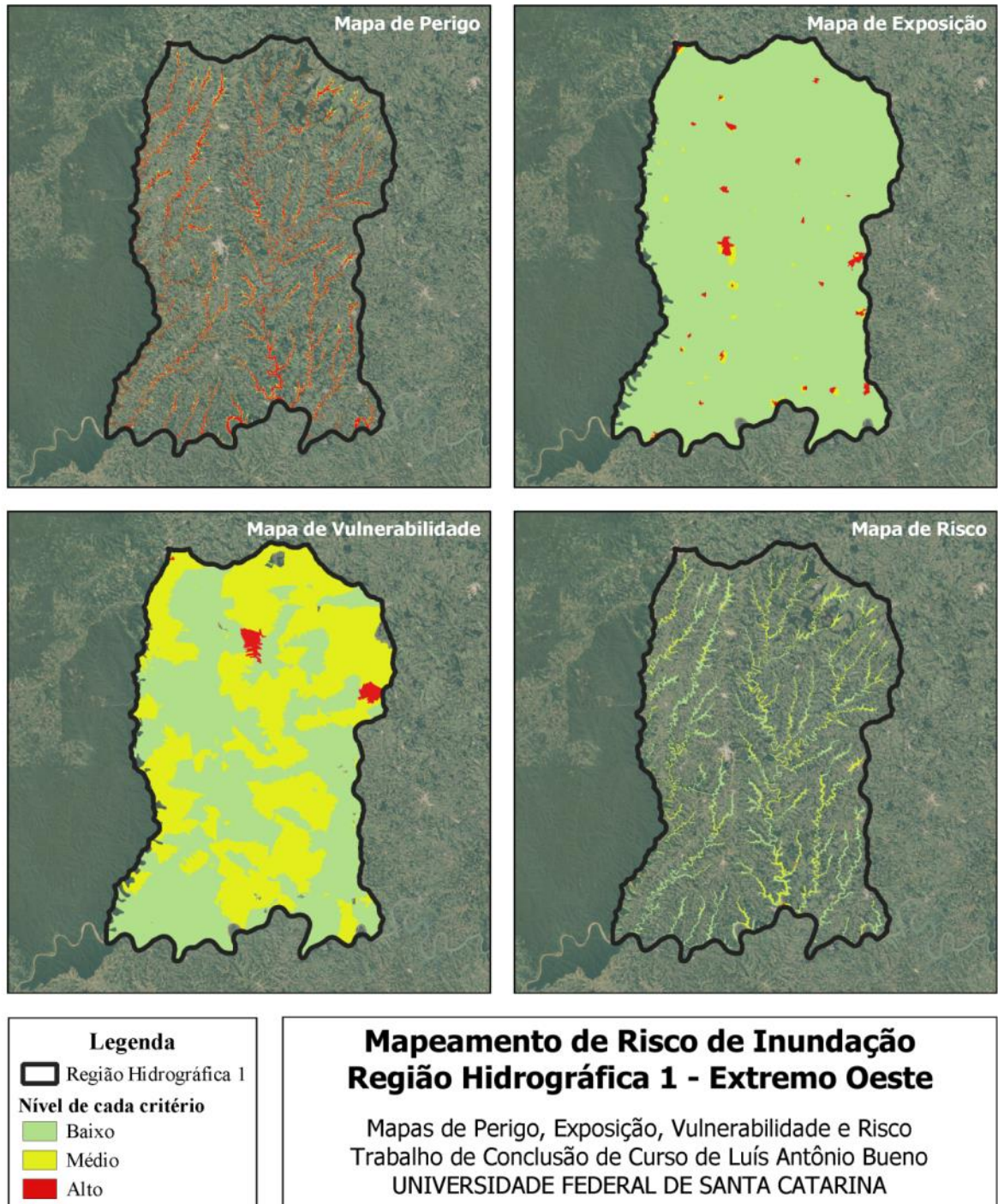


Figura 49 – Gráfico da estação 84950000.



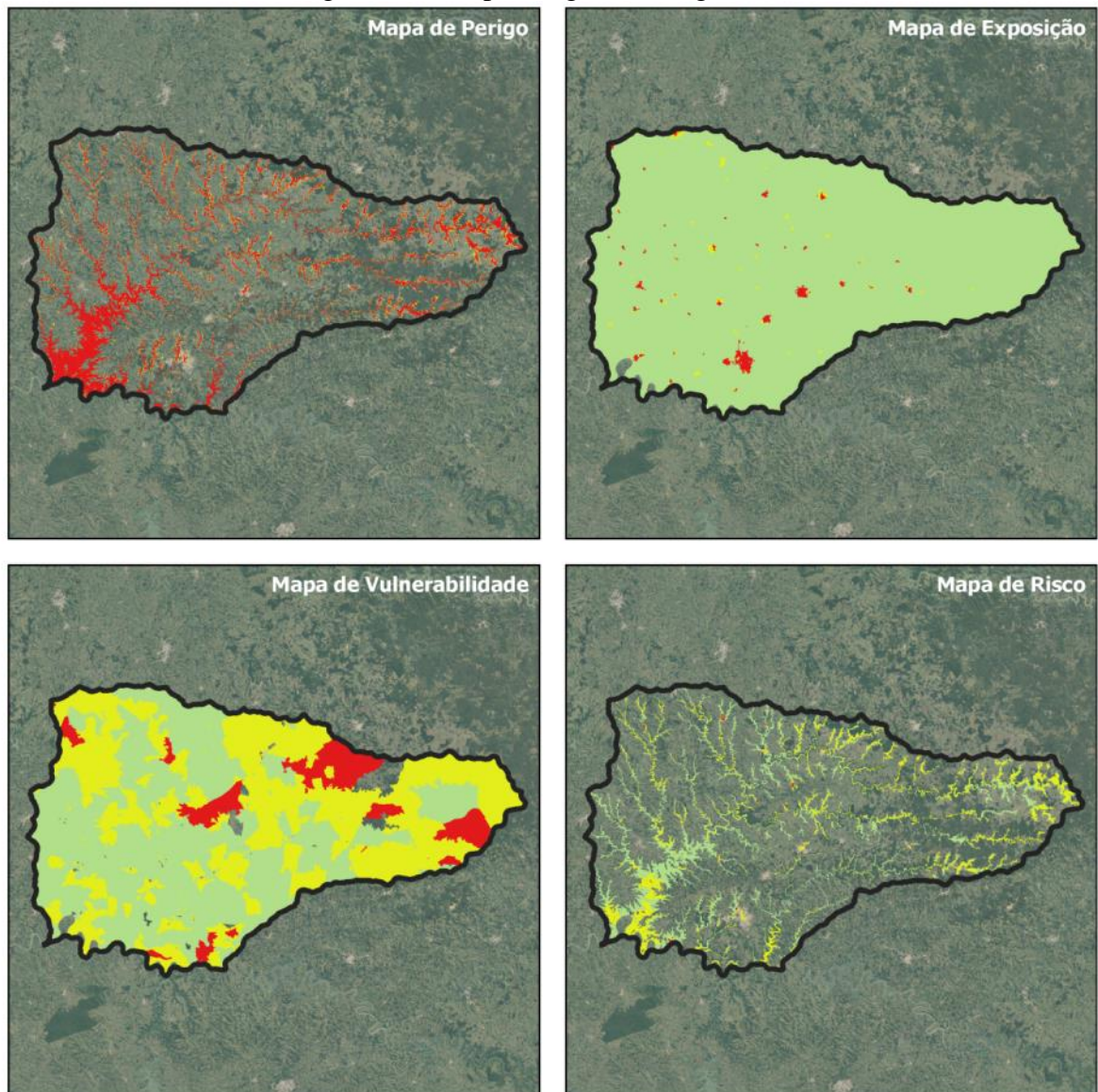
APÊNDICE C – Mapas das Regiões Hidrográficas

Figura 50 – Mapas Região Hidrográfica 1.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 51 – Mapas Região Hidrográfica 2.



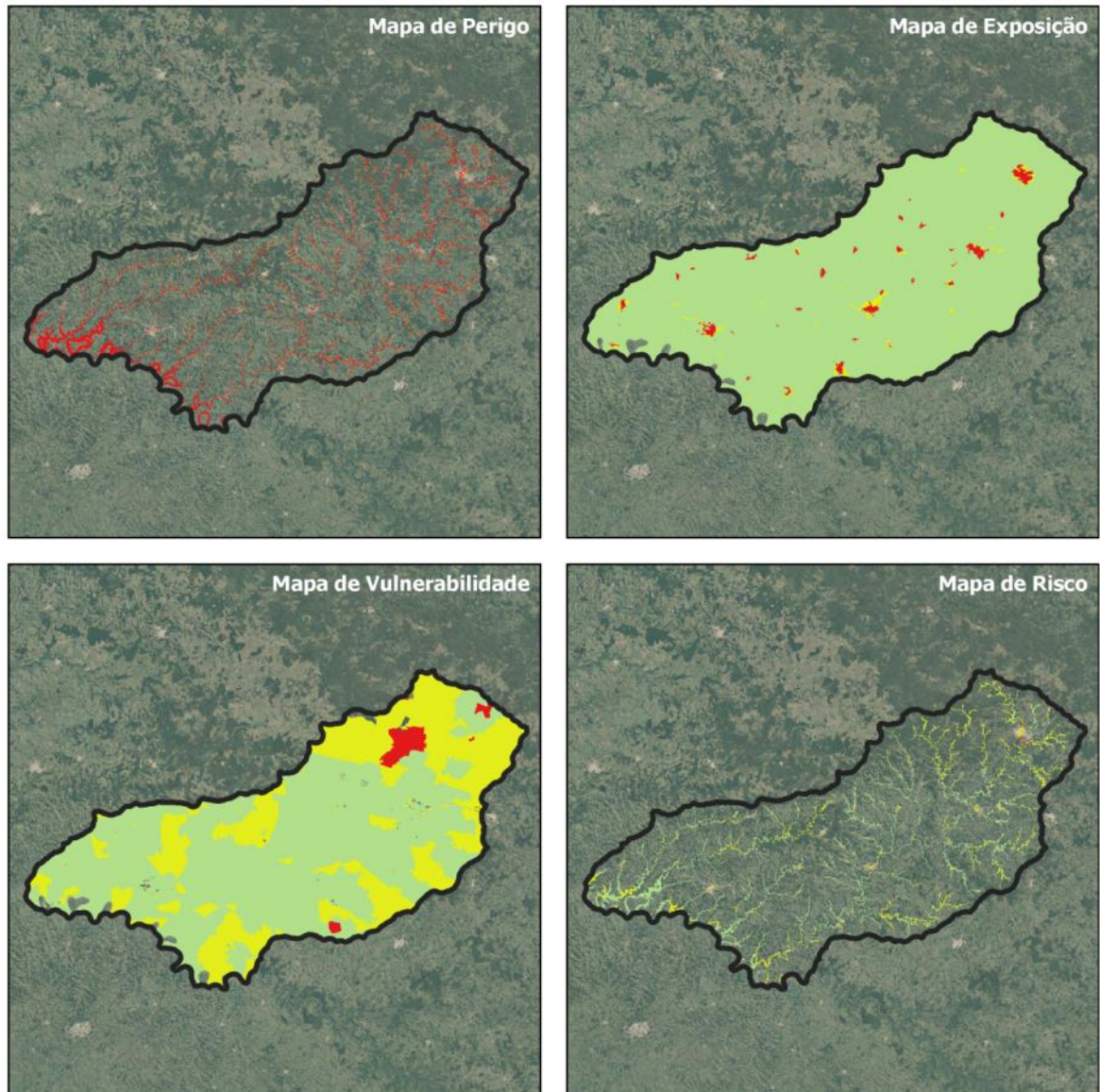
Legenda	
	Região Hidrográfica 2
Nível de cada critério	
	Baixo
	Médio
	Alto

Mapeamento de Risco de Inundação Região Hidrográfica 2 - Meio Oeste

Mapas de Perigo, Exposição, Vulnerabilidade e Risco
Trabalho de Conclusão de Curso de Luís Antônio Bueno
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 52 – Mapas Região Hidrográfica 3.



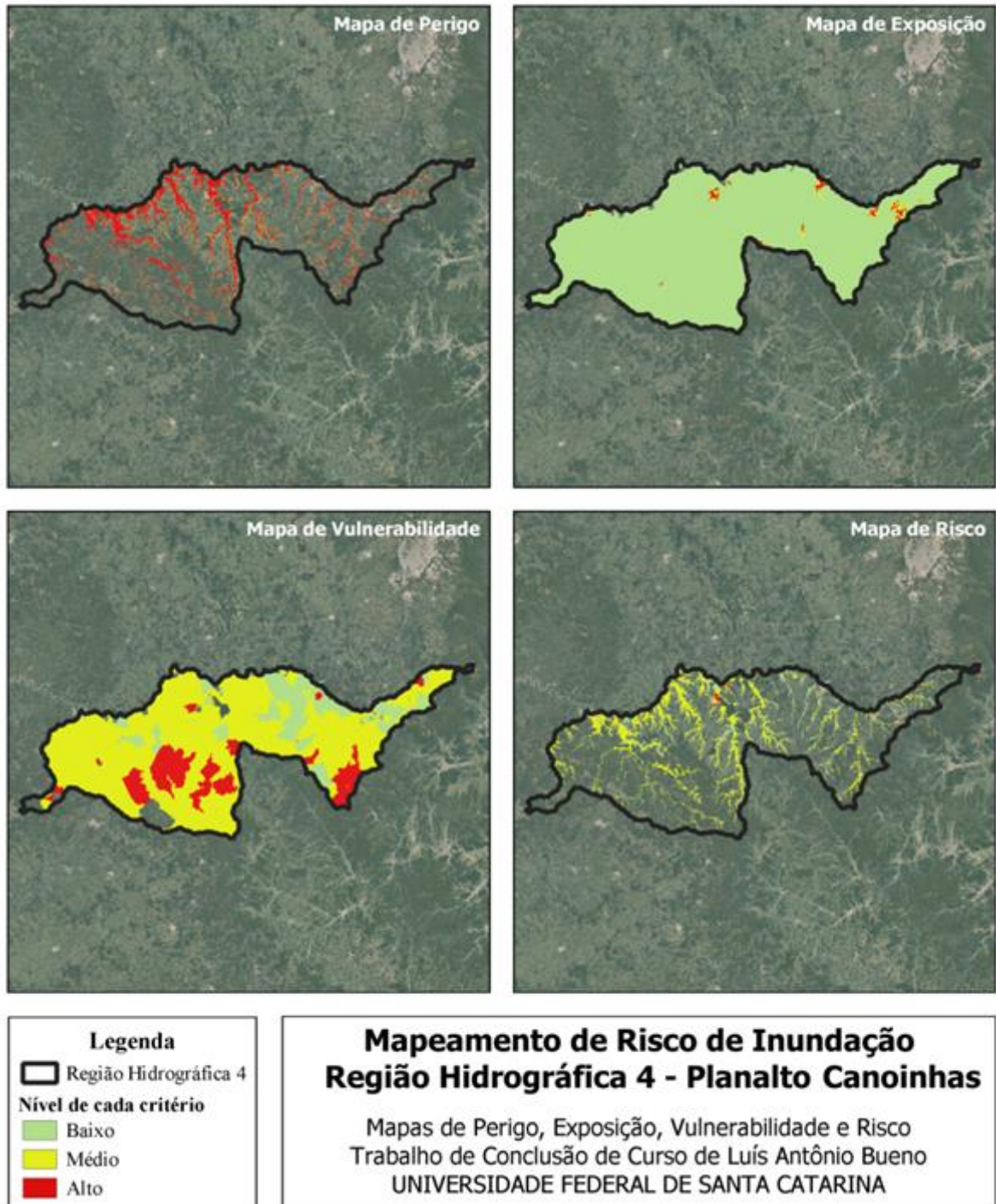
Legenda	
	Região Hidrográfica 3
Nível de cada critério	
	Baixo
	Médio
	Alto

Mapeamento de Risco de Inundação Região Hidrográfica 3 - Vale do Rio do Peixe

Mapas de Perigo, Exposição, Vulnerabilidade e Risco
Trabalho de Conclusão de Curso de Luís Antônio Bueno
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

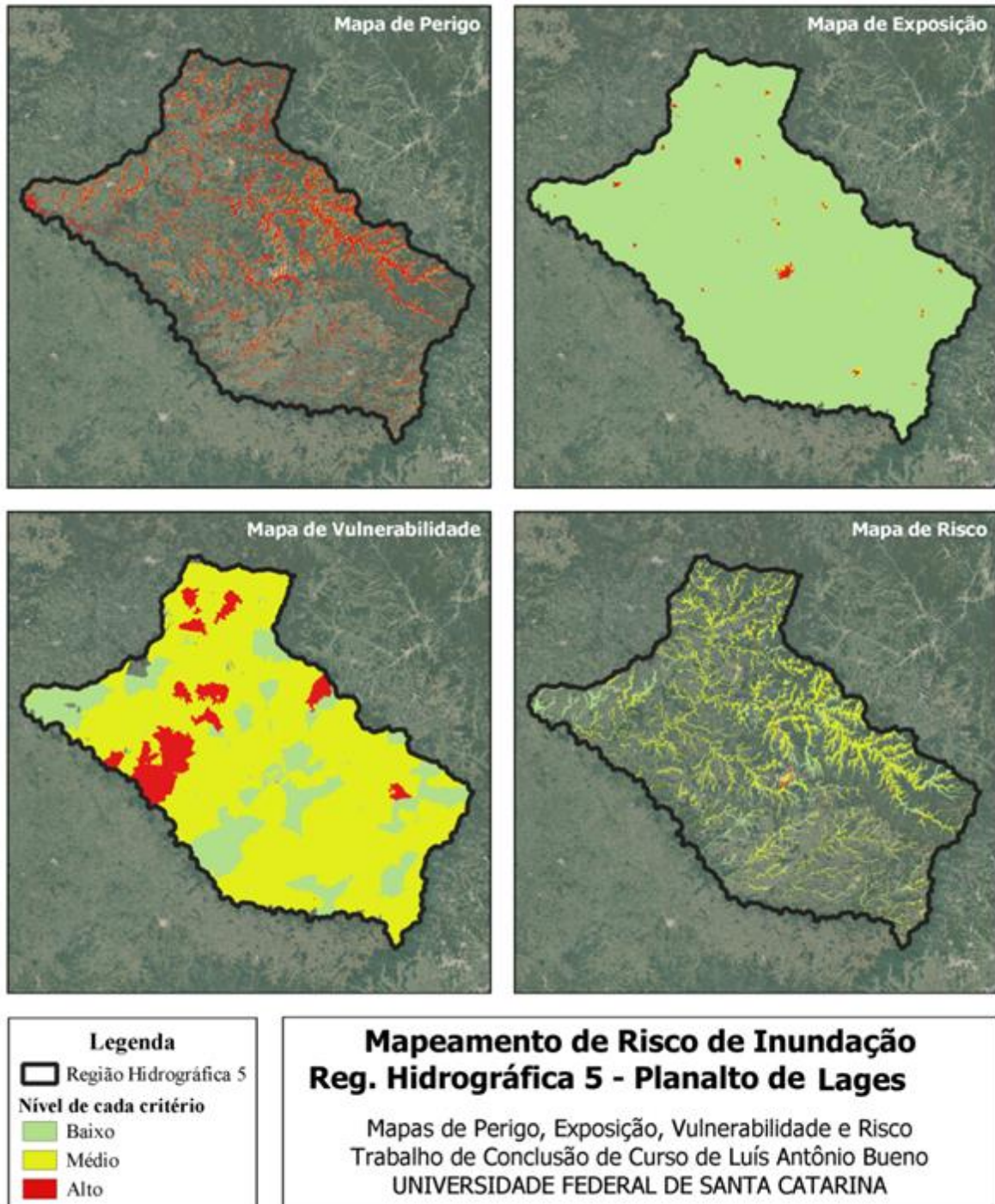
Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 53 – Mapas Região Hidrográfica 4.



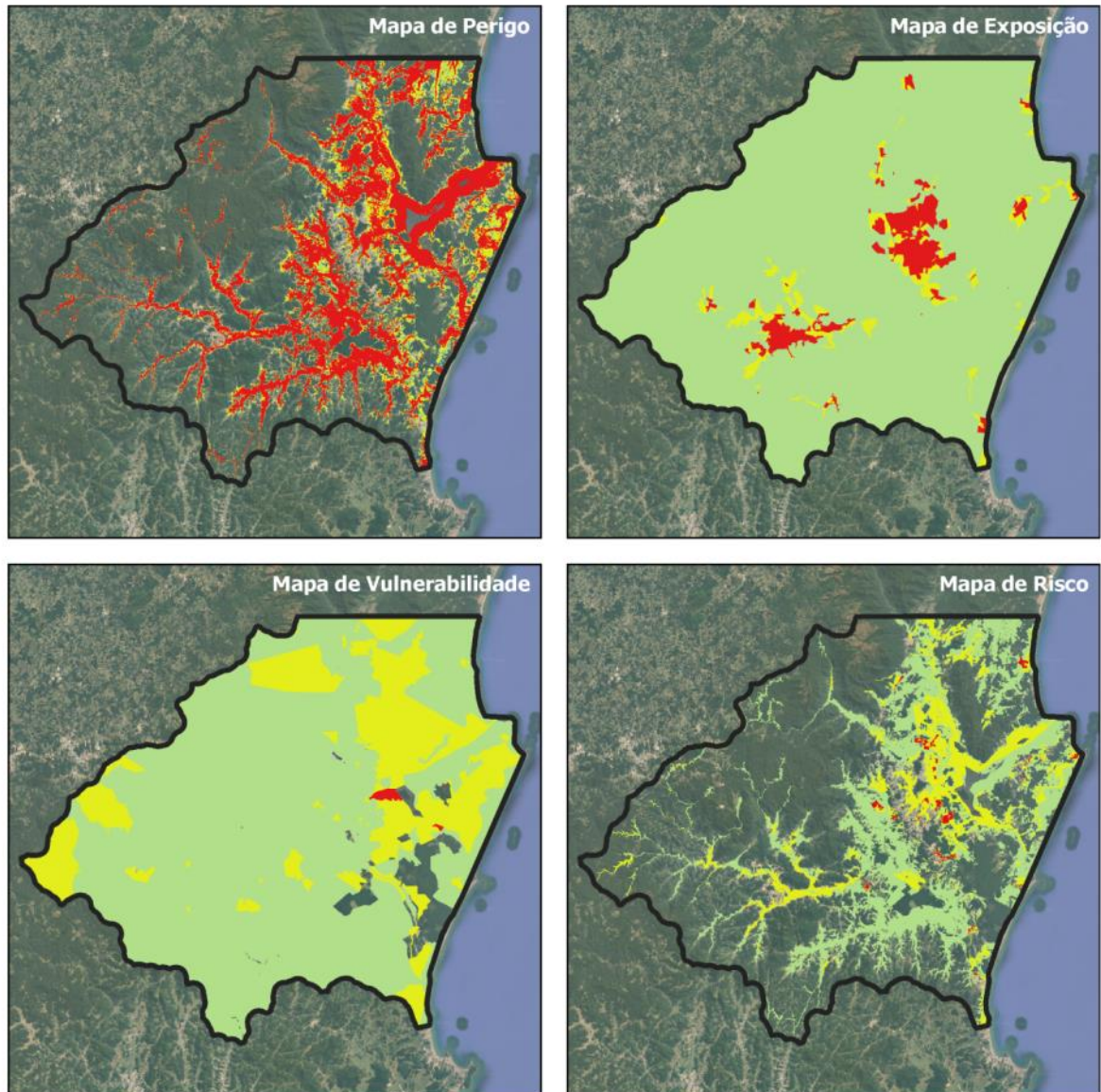
Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 54 – Mapas Região Hidrográfica 5.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 55 – Mapas Região Hidrográfica 6.



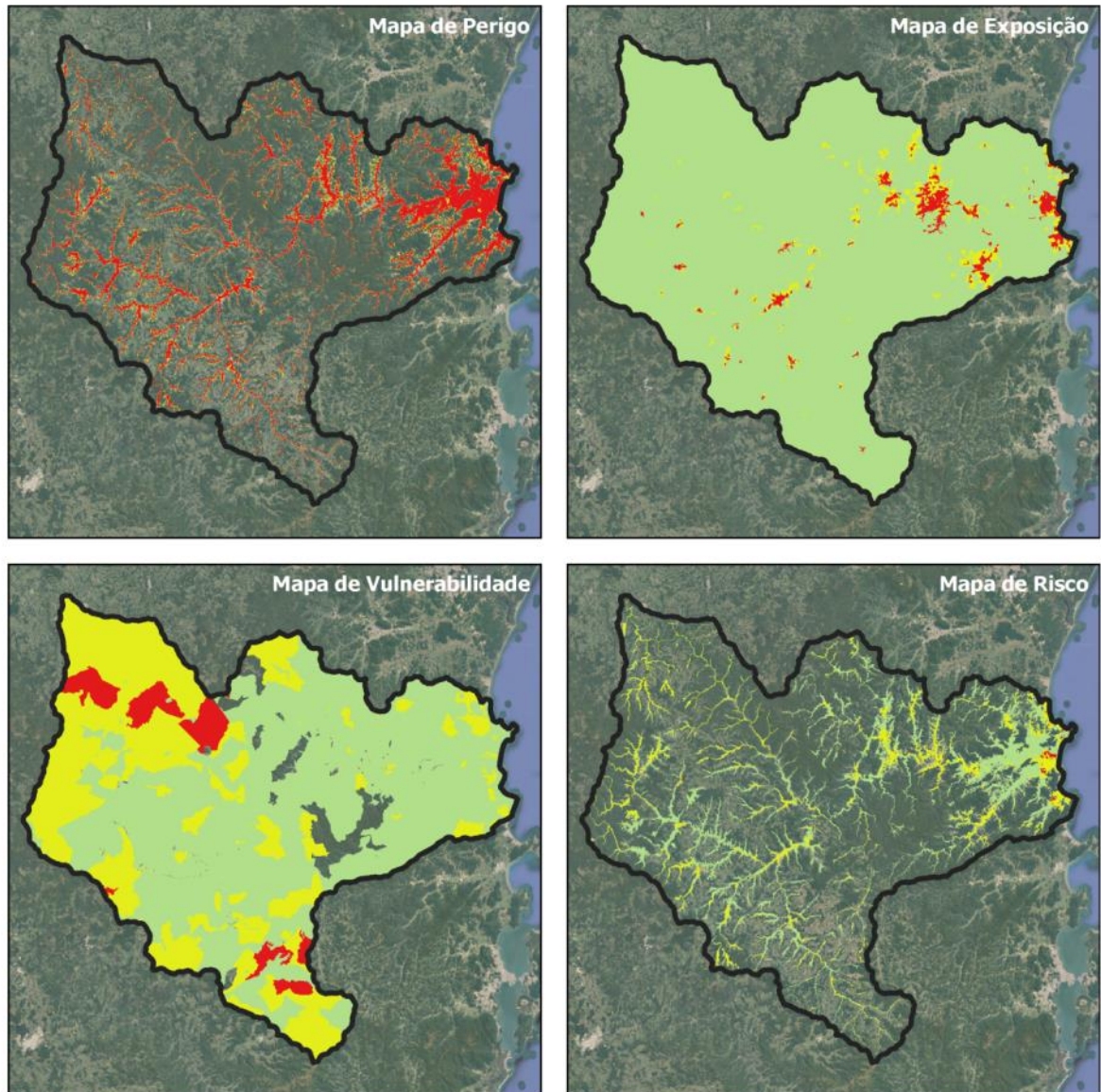
Legenda	
	Região Hidrográfica 6
Nível de cada critério	
	Baixo
	Médio
	Alto

Mapeamento de Risco de Inundação Região Hidrográfica 6 - Baixada Norte

Mapas de Perigo, Exposição, Vulnerabilidade e Risco
Trabalho de Conclusão de Curso de Luís Antônio Bueno
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 56 – Mapas Região Hidrográfica 7.

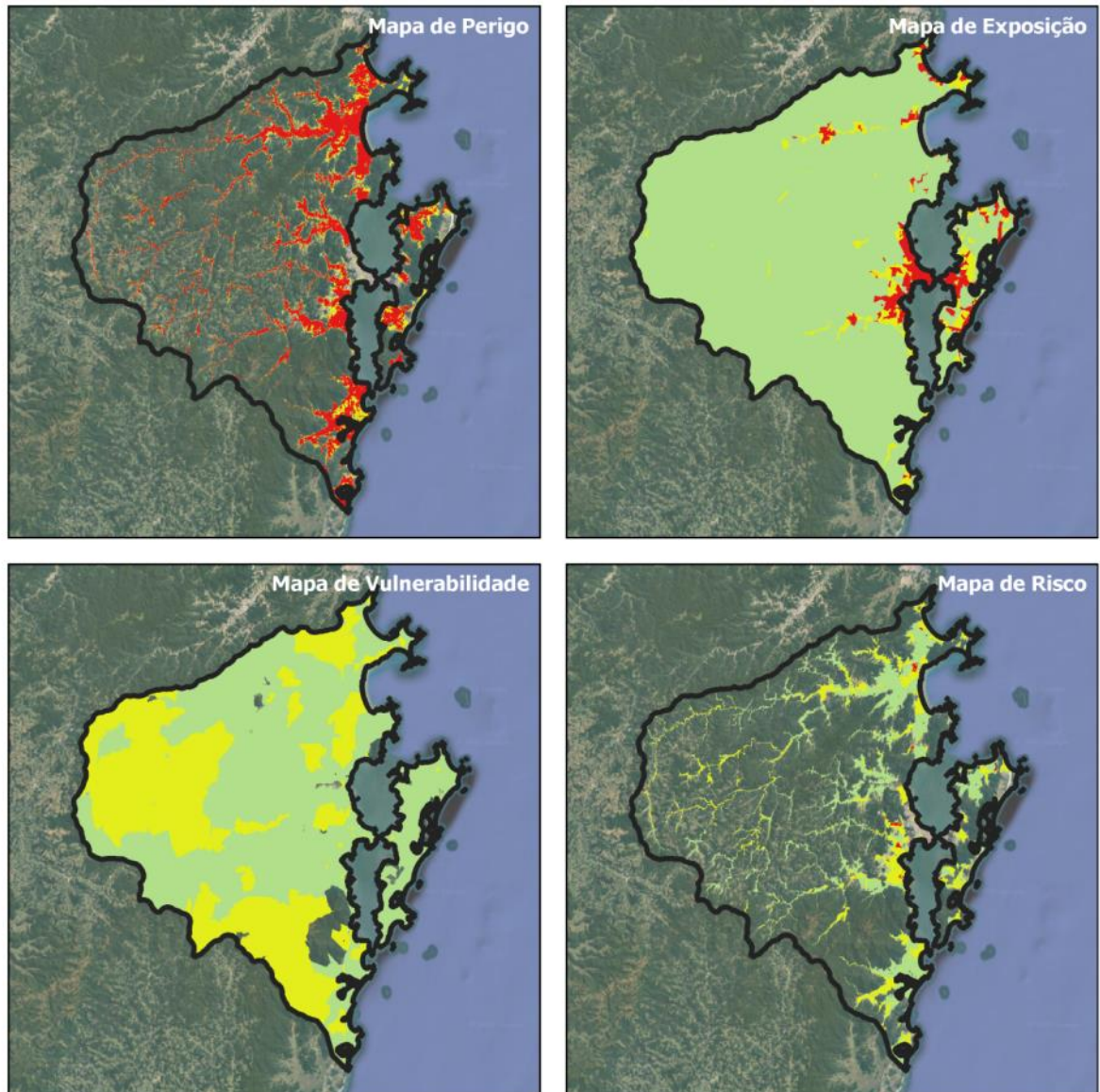


Legenda	
	Região Hidrográfica 7
Nível de cada critério	
	Baixo
	Médio
	Alto

Mapeamento de Risco de Inundação
Região Hidrográfica 7 - Vale do Itajaí
 Mapas de Perigo, Exposição, Vulnerabilidade e Risco
 Trabalho de Conclusão de Curso de Luís Antônio Bueno
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 57 – Mapas Região Hidrográfica 8.

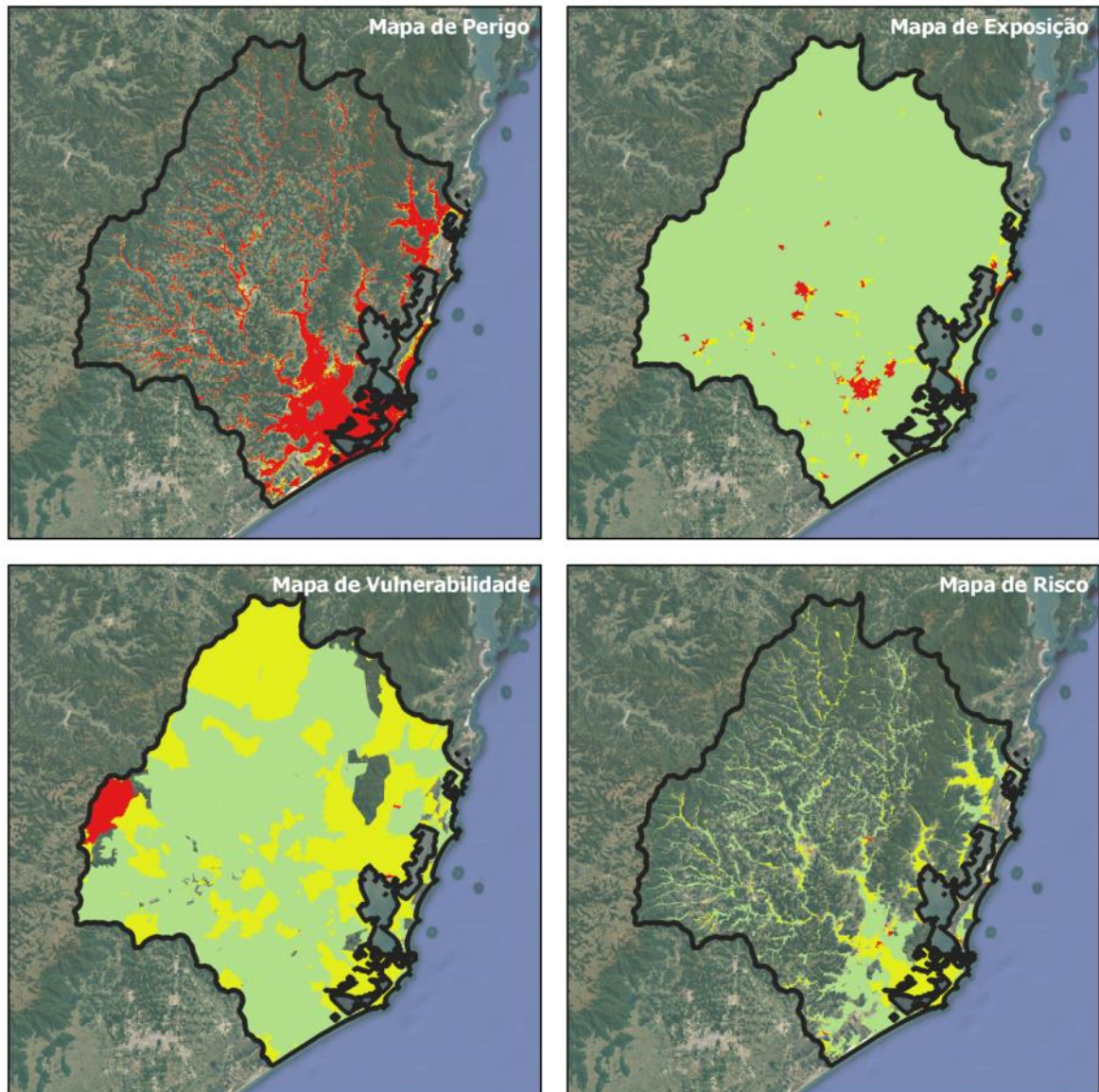


Legenda	
	Região Hidrográfica 8
Nível de cada critério	
	Baixo
	Médio
	Alto

Mapeamento de Risco de Inundação
Região Hidrográfica 8 - Litoral Centro
 Mapas de Perigo, Exposição, Vulnerabilidade e Risco
 Trabalho de Conclusão de Curso de Luís Antônio Bueno
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 58 – Mapas Região Hidrográfica 9.



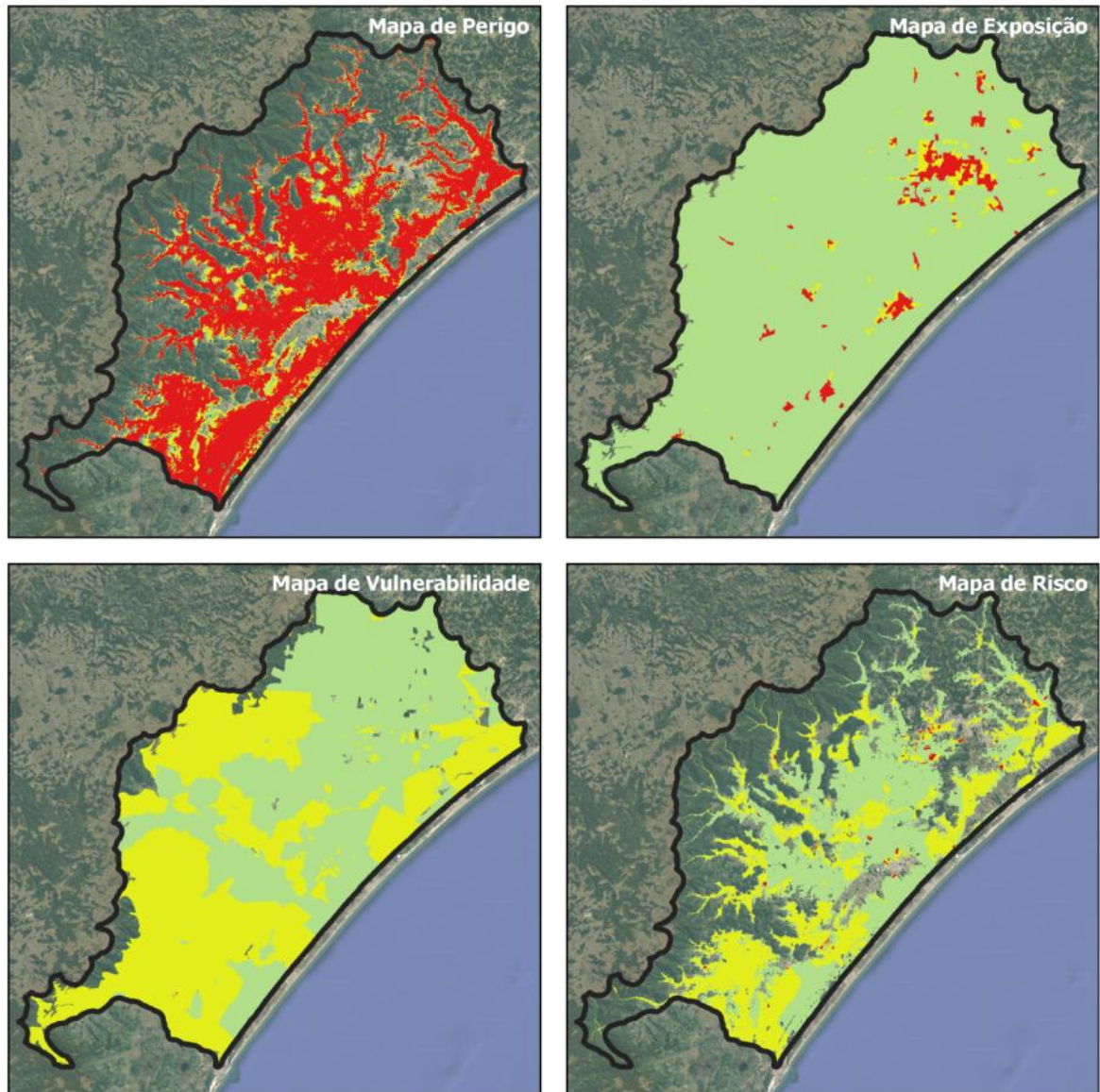
Legenda	
	Região Hidrográfica 9
Nível de cada critério	
	Baixo
	Médio
	Alto

Mapeamento de Risco de Inundação Região Hidrográfica 9 - Sul Catarinense

Mapas de Perigo, Exposição, Vulnerabilidade e Risco
Trabalho de Conclusão de Curso de Luís Antônio Bueno
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 59 – Mapas Região Hidrográfica 10.



**Mapeamento de Risco de Inundação
RH 10 - Extremo Sul Catarinense**

Mapas de Perigo, Exposição, Vulnerabilidade e Risco
Trabalho de Conclusão de Curso de Luís Antônio Bueno
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Fonte: Elaboração própria (2022).