

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E DA EDUCAÇÃO – FAED
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL E
DESENVOLVIMENTO SOCIOAMBIENTAL – PPGPLAN

STHEFANIE AGUIAR DA SILVA

COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO E ANÁLISE DE AMEAÇAS DO MEIO
FÍSICO-NATURAL: ESTUDO DE CASO NO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA
ENSEADA DO SACO GRANDE, FLORIANÓPOLIS/SC

FLORIANÓPOLIS

2025

STHEFANIE AGUIAR DA SILVA

**COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO E ANÁLISE DE AMEAÇAS DO MEIO
FÍSICO-NATURAL: ESTUDO DE CASO NO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA
ENSEADA DO SACO GRANDE, FLORIANÓPOLIS/SC**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental do Centro de Ciências Humanas e da Educação - FAED, da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc.
Orientadora: Profa. Dra. Edna Lindaura Luiz

FLORIANÓPOLIS

2025

STHEFANIE AGUIAR DA SILVA

**COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO E ANÁLISE DE AMEAÇAS DO MEIO
FÍSICO-NATURAL: ESTUDO DE CASO NO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA
ENSEADA DO SACO GRANDE, FLORIANÓPOLIS/SC**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental do Centro de Ciências Humanas e da Educação - FAED, da Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc.
Orientadora: Profa. Dra. Edna Lindaura Luiz

BANCA EXAMINADORA

Orientador:

Profa. Dra. Edna Lindaura Luiz
Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc

Membros:

Profa. Dra. Janete Josina de Abreu
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira
Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc

Florianópolis, 29 de outubro de 2025.

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

da Silva, Sthefanie
COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO E ANÁLISE DE
AMEAÇAS DO MEIO FÍSICO-NATURAL : ESTUDO DE
CASO NO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO
SACO GRANDE, FLORIANÓPOLIS/SC / Sthefanie da Silva.
-- 2025.
133 p.

Orientadora: Edna Lindaura Luiz
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Humanas e da Educação,
Programa de Pós-Graduação , Florianópolis, 2025.

1. Mapeamento Geomorfológico de Detalhe. 2. Ameaças
do meio físico-natural. 3. Sistema Hidrográfico. I. Lindaura
Luiz, Edna . II. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Humanas e da Educação, Programa de
Pós-Graduação . III. Título.

RESUMO

Esta pesquisa analisa as ameaças do meio físico-natural sobre o Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande, em Florianópolis (SC), através de uma compartimentação do relevo. O recorte de estudo, localizado na região centro-oeste da ilha de Santa Catarina, apresenta características e dinâmicas ambientais que o tornam suscetível a eventos como: inundações, alagamentos, erosão de margens dos rios, enxurradas, fluxos torrenciais, tombamento/rolamento de blocos e deslizamentos rasos. A ocorrência destes eventos é condicionada por fatores como a geologia, clima, solos, vegetação, mas principalmente pelo relevo, que é o condicionante investigado por esta pesquisa. A interação destes eventos com a ocupação humana, que tem se estendido cada vez mais sobre as planícies inundáveis e encostas íngremes da área de estudo, principalmente a partir da década 60, pode configurar estes eventos como ameaças do meio físico-natural. Para identificar as formas de relevo presentes neste sistema hidrográfico, foi gerado um mapa geomorfológico de detalhe em escala 1:25.000, produzido com base em interpretação visual de fotografias e ortofotos digitais e classificação semiautomática utilizando o método IPT (Índice de Posição Topográfica). Foram, então, identificadas as ameaças do meio físico-natural através da revisão de literatura sobre os processos característicos de cada compartimento de relevo, visitas em campo e processamento e análise de dados em ambiente SIG. Isto resultou na identificação de áreas suscetíveis a ameaças em todos os compartimentos mapeados, diferenciado o tipo de ameaça de acordo com os processos atuantes em cada forma de relevo. As formas de acumulação estão muito sujeitas aos eventos de alagamentos e inundações, sejam estas fluviais ou costeiras, e as formas de dissecação aparecem com grande probabilidade de ocorrência de eventos perigosos como a tombamento/rolamento de blocos, enxurradas, fluxo torrencial de rios e deslizamentos rasos. Ficou claro, ainda, que apesar destas ameaças serem condicionadas por processos naturais de modelagem e evolução do relevo, estas são muito influenciadas pela antropização do terreno. As ocupações humanas, além de estarem instaladas sobre os locais perigosos, também agem condicionando ameaças.

Palavras-chave: Mapeamento Geomorfológico de Detalhe; Ameaças do meio físico-natural; Sistema Hidrográfico.

ABSTRACT

This research analyzes the threats related to the natural-physical environment on the Hydrographic System of Enseada do Saco Grande, in Florianópolis (SC), through a compartmentalization of the relief. The study area, located in the center-west region of the island of Santa Catarina, has characteristics and environmental dynamics that make it susceptible to events such as: inundation, flooding, erosion of river banks, falling/rolling of blocks and shallow landslides. The occurrence of these events is conditioned by factors such as geology, climate, soils, vegetation, but mainly by the relief, which is the condition investigated by this research. The interaction of these events with human occupation, which has spread increasingly over the flood plains and steep slopes of the study area, especially since the 1960s, may configure these events as threats related to natural-physical environment. To identify the relief forms present in this hydrographic system, a detailed geomorphological map was generated in a 1:25,000 scale, based on visual interpretation of photographs and digital orthophotos and semi-automatic classification using the TPI (Topographic Position Index) method. The threats of the natural-physical environment were then identified through the review of literature on the characteristic processes of each relief compartment, field visits and data processing and analysis in a GIS environment. This resulted in the identification of areas susceptible to threats in every mapped compartments, differentiating the type of threat according to the processes acting in each relief form. The forms of accumulation are very susceptible to flooding and inundation events, whether river or coastal, and the forms of dissection appeared with a high probability of occurrence of dangerous events such as the falling/rolling of blocks, sheet washes, flash floods and shallow landslides. It was also clear that although these threats are conditioned by natural processes of modeling and evolution of the relief, they are greatly influenced by the anthropization of the terrain. Human occupations, in addition to being installed on dangerous sites, also act conditioning threats.

Keywords: Detailed Geomorphological Mapping; Threats of the natural-physical environment; Hydrographic System.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de movimento de massa	46
Quadro 2 - Parâmetros combinatórios do IPT detalhado e generalizado para classificação das formas de relevo	71
Quadro 3 – Ameaças identificadas por compartimento de relevo	120

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito de forma sobre o hidrograma de bacias hidrográficas radiais e alongadas	33
Figura 2 – Hidrograma de bacias hidrográficas sob ocupação rural e urbana	36
Figura 3 - Potencial de deslizamentos (%) por forma da encosta, medido através de Modelo Digital de Elevação em New County (EUA)	43
Figura 4 - Localização da área de estudo: Sistema hidrográfico da enseada do Saco Grande, Florianópolis (SC)	53
Figura 5 - Climograma de Florianópolis (SC)	54
Figura 6 – Comparativo de imagens históricas das encostas próximo à rua Rancho do Oliveira, em 2002 e 2024	60
Figura 7 – Comparativo de imagens históricas das encostas da Comunidade Morro da Maura, em 2003 e 2024	60
Figura 8 – Ocupações recentes nas encostas laterais da rua Mané Vicente	63
Figura 9 – Vista da comunidade da Maura a partir da Rod. SC-401	64
Figura 10 – Vista do Morro do Caju a partir da Rod. SC-401	65
Figura 11 – Vista do Caminho da Cruz a partir da Rod. SC-401	65
Figura 12 – Vista do Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande a partir de encosta na rua Mané Vicente	67
Figura 13 – Correção e adensamento da rede hidrográfica a partir de interpretação visual e visitas em campo	69
Figura 14 – Mapa geomorfológico de detalhe do Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande	78
Figura 15 - Evolução dos cordões arenosos entre 1938 e 2025	83
Figura 16 - Lineamentos estruturais, formas de relevo e sistema hidrográfico da área de estudo	87
Figura 17 – Área urbanizada e formas de relevo do sistema hidrográfico da enseada do Saco Grande	88
Figura 18 - Ravinamento no setor norte das encostas do sistema hidrográfico	89
Figura 19 - Cicatriz de movimento de massa no setor norte das encostas do sistema hidrográfico	90
Figura 20 – Modificações antrópicas e avanço da urbanização sobre a área de estudo entre 1938 e 2025	91

Figura 21 - Rio com leito modificado por canalização e aterro sobre o terraço colúvio-aluvionar	92
Figura 22 - Afloramentos de blocos rochosos de acordo com a situação	94
Figura 23 - Afloramentos de blocos rochosos sobre o mapa geológico de Caruso Júnior (1993)	96
Figura 24 - Distribuição espacial dos afloramentos perigosos	97
Figura 25 - Afloramentos de blocos rochosos na rua Donícia Maria da Costa, comunidade da Barreira do Janga.....	99
Figura 26 - Afloramentos de blocos rochosos na rua da Apicultura, comunidade da Barreira do Janga	99
Figura 27 - Afloramentos de blocos rochosos no loteamento Recanto da Ilha	100
Figura 28 - Afloramento de blocos rochosos e leito rochoso na servidão Rancho do Oliveira (Morro do Caju)	100
Figura 29 - Afloramento de blocos rochosos na servidão Pedra de Listra (Morro do Caju)	101
Figura 30 - Afloramento de blocos rochosos na servidão João Emílio Batista	101
Figura 31 - Exemplos de interações das ocupações humanas com o afloramento de blocos rochosos.....	102
Figura 32 - Acumulação de fluxos na área de estudo e áreas urbanizadas sujeitas a enxurradas e fluxo torrencial (rios)	104
Figura 33 - Possibilidade de ocorrência de enxurradas e fluxo torrencial (rios) nas áreas urbanizadas do recorte de estudo	105
Figura 34 - Detalhe do mapeamento de edificações e arruamentos suscetíveis a enxurradas e fluxo torrencial nas comunidades da Barreira do Janga (A) e Morro da Cláudia (B)	106
Figura 35 - Efeito das enxurradas em arruamentos da área de estudo	107
Figura 36 - Fundo de vale sujeito a fluxo torrencial na servidão Firmino Linhares.	107
Figura 37 - Ameaças de tombamento/rolamento de blocos, enxurradas e fluxo torrencial em relação à compartimentação do relevo	109
Figura 38 - Ameaças de tombamento/rolamento de blocos, enxurradas e fluxo torrencial em relação às áreas urbanizadas e com modificações antrópicas do relevo	110

Figura 39 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) sobre a compartimentação do relevo no cenário de precipitação de 100 mm/dia	113
Figura 40 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) sobre a compartimentação do relevo no cenário de precipitação de 251 mm/dia	114
Figura 41 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) em relação à área urbanizada e às ameaças identificadas no cenário de precipitação de 100 mm/dia	115
Figura 42 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) em relação à área urbanizada e às ameaças identificadas no cenário de precipitação de 251 mm/dia	116
Figura 43 – Detalhe das áreas saturadas (Modelo de O'Loughlin, 1986) para o setor junto ao condomínio Central Park	117
Figura 44 – Detalhe das zonas saturadas (Modelo de O'Loughlin, 1986) para o setor junto à comunidade do Morro do Atanázio e Morro do Caju.....	118
Figura 45 - Afloramento de blocos rochosos na praça de esportes do Morro do Caju	118
Figura 46 – Acúmulo de blocos rochosos na servidão Evangélicos (Morro do Caju)	119

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO	17
2.2	AMEAÇA, VULNERABILIDADE E RISCO	21
2.3	AMEAÇAS RELACIONADAS AO PROCESSO PLUVIAL.....	24
2.4	AMEAÇAS RELACIONADAS AO PROCESSO FLUVIAL	30
2.5	PROCESSO GRAVITACIONAL DE MASSA.....	39
2.5.1	Tipos de movimentos de massa	45
3	ÁREA DE ESTUDO	52
3.1	ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS DO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE	52
3.2	ASPECTOS DA OCUPAÇÃO HUMANA SOBRE O SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE.....	61
4	MATERIAIS E MÉTODOS	68
4.1	MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE DETALHE	68
4.2	IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS AMEAÇAS DO MEIO FÍSICO- NATURAL.....	73
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
5.1	COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO DO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE	77
5.1.1	Formas de acumulação no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande.....	79
5.1.2	Formas de dissipação no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande.....	84
5.1.3	Feições erosivas no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande.....	89
5.1.4	Feições antrópicas no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande.....	90

5.2	AMEAÇAS DO MEIO FÍSICO-NATURAL NO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE	92
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
	REFERÊNCIAS.....	126

1 INTRODUÇÃO

O planejamento urbano sustentável demanda, inicialmente, de um diagnóstico completo das características ambientais, sociais e econômicas que compõem um determinado recorte espacial (Modenesi-Gauttieri; Hiruma, 2004; Simões, 2005; Duarte, 2009). E, se pensado para manter a população que o habita segura frente aos riscos ambientais, este planejamento deve considerar abordar as ameaças do meio físico-natural como critérios cruciais nos diagnósticos produzidos e analisados.

O processo de urbanização brasileiro, caracterizado pela especulação imobiliária e pouca ou nenhuma reserva de terras para a instalação de moradias populares, leva a população mais pobre – já economicamente vulnerável – a ocupar áreas vazias desprezadas pelo mercado, construindo habitações precárias em áreas naturalmente fragilizadas, como margens de rios, manguezais e encostas íngremes. Estas áreas são formadas por processos naturais de modelagem do relevo, que podem se tornar perigosos caso atinjam ocupações humanas.

Nesse contexto,

“ [...] a precariedade da ocupação (representada por aterros instáveis, taludes de corte em encostas íngremes, palafitas, ausência de redes de abastecimento de água e coleta de esgoto), aumenta a vulnerabilidade das áreas já naturalmente frágeis, fazendo com que surjam setores de alto risco” (Brasil, 2007, pág. 9).

A explosão demográfica, a migração da população rural para os centros urbanos e a falta de ações que melhorem a qualidade de vida da população urbana vulnerável levam a criação de assentamentos humanos em ambientes cada vez mais propensos a ameaças do meio físico-natural (Villagrán, 2023). A escala e a forma em que se dá esta ocupação urbana gera uma maior exposição a eventos perigosos através de, por exemplo, “...abrigo inadequado, moradias mal construídas, vulnerabilidade dos locais de instalação e planejamento e policiamento ineficazes do código de construção” (Chardon, 1999, pag. 198).

O município de Florianópolis (SC) e o recorte de estudo desta pesquisa - o Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande, na região centro-oeste da ilha de Santa Catarina - são exemplos característicos deste processo de ocupação irregular e ampliação das ameaças do meio físico-natural. O Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande se estende em parte sobre os modelados de dissecação da unidade geomorfológica Serras do Leste Catarinense e parte sobre as formas de acumulação

da Planície Costeira. Estas formas possuem processos modeladores próprios que podem significar ameaças se alcançarem ocupações humanas. O avanço da especulação imobiliária pressiona ainda mais estes ambientes já naturalmente instáveis.

“Sobre terrenos de mangue, protegidos por lei, foram e continuam sendo construídos estabelecimentos comerciais e de lazer, além de loteamentos residenciais. A partir da rodovia Virgílio Várzea, foram e continuam sendo abertas várias servidões encosta acima. De acordo com dados obtidos em campo, algumas delas chegam a atingir 30° de inclinação. Durante chuvas intensas, são responsáveis pela concentração e o aumento da velocidade dos fluxos superficiais de água e detritos, contribuindo para aceleração dos processos erosivos, a instabilização das encostas, além de agravar o problema das enchentes” (Dias, 2000, pag. 75).

Nota-se, então, a influência das formas do relevo nos padrões de ocupação humana e o despreparo destas em conviver com os processos modeladores naturais destes ambientes. É buscando se tornar fonte para a consulta e melhor entendimento sobre os processos do meio físico que ocorrem no recorte de estudo, ou em ambientes similares, que este trabalho pode contribuir, mesmo que localmente, com o planejamento urbano sustentável em Florianópolis, visto que

“A interface entre a Geomorfologia e o Planejamento é bastante intrigante, e o geomorfólogo pode fornecer técnicas de pesquisa e conhecimentos sobre a superfície da Terra, relacionados às formas de relevo e aos processos associados, de tal maneira que essas informações sejam vitais para o Planejamento, no sentido de prevenir contra a ocorrência de catástrofes e danos ambientais generalizados” (Guerra; Marçal, 2006, pág. 37).

Nesse sentido, esta pesquisa pretendeu se tornar uma contribuição científica que fique disponível para comunidade acadêmica, gestores públicos e privados, comunidade local e organizações sociais consultarem sobre as suscetibilidades a ameaças do meio físico-natural na área de estudo e, portanto, teve como pergunta orientadora: *“quais são as ameaças do meio físico-natural associadas aos compartimentos de relevo encontrados no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande, em Florianópolis (SC)?”*.

Alguns trabalhos acadêmicos já foram realizados na área de estudo, como o de Luiz (1992), o de Dias (2000) e o de Senna (2014), contudo, eles não abordaram diretamente a influência da compartimentação do relevo em relação ao tipo de processo geomorfológico que representa ameaça para a ocupação humana. Além disso, haja vista a rápida urbanização que a região tem vivenciado, estes trabalhos já estão desatualizados em relação à criação de ameaças induzidas pelo homem.

1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho pretende contribuir com a gestão de riscos em uma área de estudo que representa um cenário comum a muitos municípios de Santa Catarina: um local de ocupação urbana crescente, com pouca ou nenhuma consideração pelos processos e formas da natureza que caracterizam a área ocupada. No caso do Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande, no município de Florianópolis (SC), a ocupação tem se estendido sobre terrenos de encostas graníticas íngremes e áreas inundáveis de planície costeira, suscetíveis a ameaças do meio físico como as relacionadas aos processos pluvial, fluvial e de movimento de massa.

Nesse sentido, este trabalho pretende utilizar do processamento e análise de dados georreferenciados, além de visitas em campo, para identificar e definir os compartimentos mais suscetíveis a enxurradas, fluxo torrencial de rios, inundações, alagamentos e/ou movimentos de massa, como os deslizamentos e quedas de blocos, por exemplo. Considerando os riscos geoambientais como um produto das ameaças e vulnerabilidades sobre uma área, os resultados buscados por este trabalho podem servir como referência para o planejamento urbano e gestão de riscos neste Sistema Hidrográfico.

A metodologia desenvolvida e aplicada para a compartimentação do relevo e identificação de ameaças do meio físico também pode servir como modelo para aplicação em outras áreas similares no município de Florianópolis, bem como em outros municípios de Santa Catarina. Ainda, os resultados desta pesquisa poderão ser acessados pela população que ocupa a área que, se munindo de conhecimento sobre o funcionamento do ambiente que ocupa, pode estar mais preparada para possíveis eventos perigosos.

Apesar desta pesquisa não compreender todos os fatores que podem deflagrar perigos na área de estudo (como o estudo dos padrões de chuva, vazão dos rios, estabilidade do solo, etc.), esta ajuda a visualizar quais ambientes estão mais suscetíveis a determinadas ameaças em razão da forma do relevo e, com isso, indicar os locais com necessidade de estudos mais pontuais e detalhados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

- Analisar as ameaças do meio físico-natural no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande a partir de uma compartimentação do relevo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os compartimentos de relevo da área de estudo;
- Caracterizar os compartimentos encontrados em termos de aspectos físicos, ocupação urbana e modificações antrópicas do relevo para identificação dos processos geomorfológicos que atuam em cada compartimento;
- Analisar e mapear as possíveis ameaças para a área de estudo com base nas referências para cada compartimento identificado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o mapeamento geomorfológico de detalhe e sobre características e condicionantes dos processos do meio físico que serão considerados para a análise na área de estudo desta pesquisa. A dinâmica de atuação destes processos acaba, muitas vezes, se configurando como ameaças/perigos para a ocupação humana distribuída sobre as diferentes formas de relevo. Assim, este capítulo divide-se em cinco tópicos para conceituar o mapeamento geomorfológico (2.1), ameaça, vulnerabilidade e risco (2.2) e as ameaças criadas pelos processos pluvial (2.3), fluvial (2.4) e gravitacional de massa (2.5).

2.1 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO

O mapa geomorfológico é uma ferramenta de expressão gráfica que objetiva identificar a distribuição e configuração espacial dos elementos mais significativos para a definição do terreno (Monné, 1997). Enquanto mapas geomorfológicos de pequena escala focam em fenômenos morfoestruturais, os mapas geomorfológicos detalhados são estabelecidos em escala menores de, geralmente, 1:5.000, 1:10.000, 1:20.000 ou 1:25.000, e focam nos processos morfogenéticos e as formas produzidas por estes. Estas formas se alteram com mais rapidez do que as formas mapeadas na pequena escala (Tricart, 1965). A escolha da escala do mapeamento é feita, geralmente, com base no seu objetivo e na complexidade da área a ser mapeada (Florenzano, 2008).

O mapa geomorfológico “se constitui em importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades” (Cassetti, 2005, pág. 1). Para Cooke e Doornkamp (1974), o mapeamento das formas de relevo deve identificar a natureza dos materiais que as compõem e o tipo e magnitude dos processos que agem sobre estas. Para Tricart, o mapa geomorfológico deve “[...] mostrar as relações no espaço e no tempo das unidades que nele constam” (Tricart, 1965, pág. 187). Assim, para o autor é importante que o mapa geomorfológico detalhado faça uma descrição justa e completa para todos os elementos do relevo da área mapeada (Tricart, 1965).

Para Klimaszewski (1982), esta abordagem completa do relevo deve envolver as formas e seus elementos de uma forma qualitativa (incluindo informações sobre formação e evolução das formas) e quantitativa (incluindo dados como dimensão, distribuição e densidade). Tricart (1965) propõe que um mapa geomorfológico de detalhe deve comportar dados: 1) morfométricos, que são medidas quantitativas do recorte mapeado, como área, elevação, densidade, etc.; 2) morfográficos, fornecendo um inventário completo das formas da área de estudo; 3) morfogenéticos, relacionando as formas identificadas com a sua origem e gênese; e 4) cronológicos, associando as formas identificadas ao período geológico em que surgiram.

Embora a primeira citação sobre um mapa geomorfológico ser datada de 1914, foi apenas após a Segunda Guerra Mundial que a sistematização do mapeamento de formas do relevo teve maior avanço. Discussões realizadas pela subcomissão para o mapeamento geomorfológico da União Geográfica Internacional (UGI) durante a década de 60 definiram alguns princípios de elaboração dos mapas geomorfológicos de detalhe, como: 1) um mapeamento geomorfológico deve ser baseado em trabalhos de campo, com uso de interpretação de fotografias aéreas como método complementar; 2) deve ter escala entre 1:10.000 e 1:100.000; 3) deve ser uma representação completa do relevo, permitindo visualizar as características do relevo, a reconstrução do seu passado e suas tendências futuras; 4) todas as formas devem ser marcadas por símbolos coloridos fiéis à sua área; 5) deve conter a determinação de idade das formas; 6) os dados litológicos devem ser marcados com caracteres especiais; e 7) a legenda deve ser estabelecida em uma ordem genética-cronológica (Klimaszewski, 1982).

Ainda não existe, entretanto, um método unificado internacional para o mapeamento geomorfológico de detalhe (Florenzano, 2008), visto que estes produtos são incomparáveis (Klimaszewski, 1982) e complexos (Tricart, 1965). As decisões sobre legendas, nível de detalhamento e escala dos mapas depende dos objetivos do mapeamento, da resolução dos dados disponíveis, das características da área de estudo e da realização de trabalho de campo, por exemplo (Florenzano, 2008). Estas decisões geralmente variam de acordo com os objetivos e enfoques de cada país (Cooke e Doornkamp; 1974; Klimaszewski, 1982; Ribeiro, 1998; Florenzano, 2008).

Os holandeses Verstappen e Zuidam (1968 apud Cooke e Doornkamp, 1974) dão algumas instruções mais flexíveis e gerais para o mapeamento geomorfológico de detalhe, como: a adoção de legenda mais apropriada possível; a facilidade de

leitura dos mapas; o uso de cores para distinguir unidades geomorfológicas; e a integração de trabalhos de campo com fotointerpretação. Para o brasileiro Argento (1994), a legenda deve se adaptar à escala do mapeamento e aos seus objetivos para a utilização em outras áreas, como engenharia, planejamento urbano, saneamento, etc, o que também é citado pelo espanhol Monné (1997). Ainda no Brasil, Ribeiro (1998, pág. 85-86) cita que “para um mapa ser consistente deverá respeitar três parâmetros: o nível de detalhamento desejado, a definição de unidades de área capazes de representar os detalhes e a escala”.

A elaboração de um mapa geomorfológico, para Monné (1997), depende de uma interpretação subjetiva da paisagem geomorfológica e deve seguir cinco passos na definição de sua metodologia: 1) escolher o tipo de mapa em função dos seus objetivos, seja para a criação de um produto básico, aplicado ou especial; 2) a determinação da escala mais adequada de acordo com as características dos dados disponíveis e da aplicação do mapa; 3) reconhecimento dos dados cartográficos disponíveis para definir a generalização necessária ou alcançar a escala desejada; 4) definir o sistema de cartografia geomorfológica que melhor se aplica ao tipo de mapa e a sua escala; 5) decidir a legenda do mapa de acordo com os passos anteriores. Os documentos básicos para o autor são o mapa topográfico, o mapa geológico e as fotografias aéreas, e, ainda, se disponíveis, podem ser utilizados mapas pedológicos, de vegetação, hidrologia, etc., para estudos mais detalhados (Monné, 1997).

No Brasil, os trabalhos publicados sobre mapeamento geomorfológico têm focado em produções aplicadas através da identificação das unidades geomorfológicas das áreas estudadas. Ainda, não há metodologia uniforme para o mapeamento geomorfológico de detalhe no Brasil, visto que a maior parte das produções científicas são voltadas para áreas isoladas. Desde a década de 70, no entanto, os mapas detalhados no Brasil têm tido maior apoio de dados como imagens de satélite e de radar para a sua elaboração (Ribeiro, 1998).

Atualmente, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) contribuem na automatização da extração de dados topográficos que permitem a identificação e segmentação de determinadas características das formas e seus elementos (Valeriano, 2008). O mapa geomorfológico pode ser “[...] digitalizado e integrado como uma camada ou tema em um SIG, a fim de analisar e manipular seus dados, juntamente com outras camadas de informações, e estudar determinados fenômenos, que serão representados em novos mapas” (Tena, 1997, pág. 201).

Os SIG possibilitam o armazenamento, manipulação e integração de uma grande quantidade de dados de diversas fontes, que podem facilitar a elaboração de um mapa-síntese das características do relevo. Ainda, esta integração de dados deve ser feita com atenção à comparabilidade das escalas e limites das unidades morfológicas (Florenzano, 2008). Embora os mapas geomorfológicos possam contar com ferramentas de geoprocessamento que facilitam a sua elaboração, esse deve ser dirigido principalmente pelo terreno, visto que o trabalho em campo permite um ponto de vista dinâmico das formas sendo mapeadas (Tricart, 1965).

Além da aplicação científica, como na regionalização de áreas morfogenéticas, os mapas geomorfológicos são muito importantes também para aplicações práticas, como para o planejamento econômico, urbano e de desenvolvimento industrial. Também podem servir para o gerenciamento de risco, por exemplo, ao indicar formas mais suscetíveis a eventos erosivos e deposicionais que podem ser perigosos para ocupações humanas vulneráveis, dando informações sobre as características das formas, sua distribuição e dimensão (Klimaszewski, 1982). Assim, os mapas detalhados servem para melhorar o conhecimento sobre o local de produção do fenômeno/evento perigoso e averiguar a produção do risco (Monné, 1997).

Em geral, os riscos naturais derivam das possíveis interações entre as atividades humanas e os sistemas geomorfológicos funcionais. Essas interações se traduzem na necessidade de estabelecer uma série de limitações e/ou recomendações de usos do território que aparecem plasmadas em diferentes tipos de cartografia aplicada. Desta forma, é possível elaborar um conjunto de mapas que refletem os parâmetros característicos das principais unidades territoriais, indicando uma série de características significativas e úteis no planejamento (Marcén, 1997, pág. 181).

Assim, o estudo e a descrição das formas de relevo “[...] dos materiais que as compõem e dos processos que nelas atuam é um instrumento valioso para a compreensão do meio ambiente e para a solução de problemas ambientais existentes ou que venham a acontecer” (Ribeiro, 1998, pág. 4). Os mapas geomorfológicos de detalhe voltados para a identificação de riscos devem ter como características básicas, de acordo com Cendrero (1975 *apud* Arnedo, 1997): a representação objetiva dos aspectos físicos e ambientais da área; a inclusão de fatores úteis para o uso de território; a versatilidade do seu uso; sua compreensibilidade para todos os usuários, incluindo os não especializados; e a delimitação de áreas homogêneas de acordo com características ou parâmetros determinados.

Os mapas geomorfológicos de detalhe podem, portanto, ter diversos usos práticos, científicos ou aplicados, de acordo com o objetivo dos autores. O nível de detalhamento, a escala e a simbologia aplicadas vão depender da metodologia de identificação das formas, da escala dos materiais disponíveis e do objetivo da sua execução. No entanto, terão sempre as formas de relevo como foco da sua representação.

2.2 AMEAÇA, VULNERABILIDADE E RISCO

O Manual de Planejamento em Defesa Civil (Castro, 1999) define ameaça como a estimativa da ocorrência de eventos medidos pela 1) probabilidade de concretização de um evento e 2) provável magnitude desta ocorrência. Uma ameaça (ou perigo) se refere, portanto, à probabilidade de ocorrência de um evento natural, tecnológico, antrópico ou ecológico, por exemplo (Palacios *et al.*, 2005; Thywissen, 2006), que podem ser “individuais, sequenciais ou combinados em sua origem e efeitos” (ONU, 2004, pág. 16, tradução nossa). As ameaças não tratam do evento real, mas das chances que este ocorra, “[...] Em outras palavras, se pode ser medido em termos de danos reais, este não é mais um perigo, mas tornou-se um evento, desastre ou catástrofe” (Thywissen, 2006, pág. 35, tradução nossa).

Estes perigos podem ser caracterizados de acordo com a sua localização, intensidade, frequência e probabilidade (ONU, 2004). Através da caracterização de ameaças se define a probabilidade de um fenômeno natural ou induzido pelo homem ocorrer (Palacios *et al.*, 2005) e

“[...] Uma vez que a ameaça é adequadamente caracterizada por estudos de seu comportamento (intensidades, períodos de retorno, cobertura geográfica), procede-se à criação de mapas de ameaça, nos quais a ameaça é representada na forma de polígonos de iso-intensidade. Isso permite que as autoridades e os funcionários de defesa e proteção civil determinem o impacto dos desastres. De forma similar, permite que as autoridades municipais gerem esquemas de uso do solo e do território com base nas ameaças presentes” (Villagrán, 2023, pág. 23, tradução nossa).

Entre as ameaças naturais estão, por exemplo, as ameaças geológicas, que se referem a perigos condicionados por fenômenos geológicos, induzidos ou não (Cerri; Amaral, 1998); as ameaças geológico-geomorfológicas, impostas pelos processos de modelação do relevo, como movimentos de massa e processos erosivos da encosta (Reckziegel; Robaina, 2005); e as ameaças hidrológicas, como as enchentes e as inundações (Cerri, 1993).

A ideia de que os ambientes físico-naturais são feições cristalizadas na paisagem é criadora de riscos (Luiz, 2004), visto que permite a ocupação de ambientes instáveis ao longo do tempo, sujeitos a alterações características de processos naturais que podem ser perigosos para aqueles que ocupam as áreas instáveis e suas margens. Algumas formas de relevo são mais estáveis ao longo do tempo do que outras, no entanto, todas passam por transformações (Schumm, 1977; Christofolletti, 1980).

“Fenômenos como deslizamentos, enchentes, enxurradas, furacões, entre outros, são comuns e fazem parte da dinâmica superficial da terra. Os sistemas físico-naturais, em diferentes escalas, apresentam um funcionamento que os fazem evoluir e mudar ao longo do tempo através da ocorrência de determinados eventos” (Luiz, 2004, pág. 368).

Não se deve, no entanto, considerar que as ameaças naturais estão completamente isoladas dos aspectos sociais que compõem o risco. São as populações mais pobres, por exemplo, que costumam ocupar as áreas sob as mais altas ameaças (Villagrán, 2023). As modificações introduzidas nos sistemas naturais pelo homem também podem criar uma ameaça onde naturalmente não haveria uma, além de agir como condicionante para a intensificação de ameaças geradas por processos naturais. Por exemplo, cortes na encosta aumentam a sua declividade e aumentam o valor da tensão cisalhante no jogo de forças que mantém os materiais (solos, manto de alteração, colúvios, blocos de rocha) estáveis em superfície inclinada (Luiz, 2004).

A humanidade também pode agir sobre o relevo, por exemplo, induzindo o escoamento superficial ao impermeabilizar solos através de construção de edifícios e arruamentos (Christofolletti, 1994) ou através da retificação de cursos d'água, que pode alterar a dinâmica fluvial e a geometria dos leitos (Derruau, 2011). A ação antrópica pode, portanto, criar ou intensificar ameaças (Mitchell; Cutter, 1997 *apud* Thywissen, 2006), tornando-se parte ativa na construção de ameaças do meio físico-natural.

“[...] as áreas urbanizadas não são apenas receptoras ou vítimas dos azares naturais. Há também de se analisar os impactos no meio ambiente ocasionados pela urbanização, considerando as transformações provocadas [...] diretamente, pela construção de áreas urbanizadas, e indiretamente, pela sua ação de influência e relações” (Christofolletti, 1994, pág. 424).

A vulnerabilidade aparece no Manual de Planejamento em Defesa Civil (Castro, 1999) como uma condição intrínseca do corpo ou sistema receptor dos eventos. A vulnerabilidade se refere “[...] às características de uma pessoa ou grupo

em termos da sua capacidade para antecipar, lidar, resistir e recuperar do impacto de um perigo natural ou causado pelo homem” (IFRC, 1999, pág. 11, tradução nossa). Matematicamente, pode se expressar a vulnerabilidade em termos de probabilidade que o sistema ou indivíduo exposto será afetado pelo perigo (Cardona, 2003).

Podem-se definir vulnerabilidades, portanto, como “o conjunto de condições ambientais, sociais, econômicas, políticas e educativas que fazem com que uma comunidade esteja mais ou menos exposta a um desastre, seja pelas condições inseguras existentes ou pela sua capacidade de responder ou recuperar frente aos desastres” (Palacios *et al.*, 2005, pág. 12, tradução nossa).

São exemplos de comunidades vulneráveis

“[...] aqueles com menos opções, aqueles cujas vidas são limitadas, por exemplo, pela discriminação, impotência política, deficiência física, falta de educação e emprego, doença, ausência de direitos legais, e outras práticas historicamente fundamentadas de dominação e marginalização” (Bolin; Stanford, 1998, pág. 9, tradução nossa).

As vulnerabilidades também estão associadas a fatores físicos, visto que o grau de perdas e danos de um elemento exposto à uma ameaça depende de condições relacionadas à urbanização, instalação de ocupações precárias sobre terrenos instáveis e alterações na paisagem como a supressão vegetal, modificações nos canais de drenagem e contaminação dos recursos hídricos, por exemplo (Feldbrügge; von Braun, 2002).

O risco será abordado para os fins desta pesquisa como a possibilidade de um fenômeno perigoso (uma ameaça) gerar perdas e danos para um grupo de pessoas ou elementos vulneráveis. Sendo, portanto, uma medida de probabilidade e severidade que fenômenos têm sobre uma população ou infraestrutura. No Manual de Planejamento em Defesa Civil, riscos são definidos como danos potenciais de um evento expressos por 1) a probabilidade estatística de ocorrência e 2) a intensidade das consequências possíveis (Castro, 1999).

O risco depende da existência de dois componentes principais: “o fenômeno natural potencialmente danoso (a ameaça) e a sociedade ameaçada suscetível a sofrer os danos (a sociedade vulnerável)” (Chardon, 1998, pág. 2, tradução nossa). Para Kobiyama *et al.* (2006, p. 17) “risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo”.

O risco envolve, portanto, a possibilidade de que um fenômeno seja acompanhado de danos e perdas (Cerri; Amaral, 1998) e isto implica que este fenômeno esteja agindo sobre um local vulnerável ao seu acontecimento. Para Palacios *et al.* (2005) o risco é simplesmente = ameaças x vulnerabilidades, ou seja, o resultado da combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e as consequências sociais e econômicas potenciais (Fernandes; Amaral, 2019).

São parâmetros para as medidas de riscos, por exemplo, as perdas e danos esperados sobre a vida humana (perdas de vidas, feridos, etc.), sobre os equipamentos humanos (danos a residências, rodovias, sistemas de saúde, comunicação, saneamento básico, etc.) e sobre o desenvolvimento das atividades econômicas e políticas (Thywissen, 2006).

Áreas de expansão urbana desigual costumam ser exemplos da combinação entre ameaças do meio físico-natural e vulnerabilidades dos equipamentos e população expostos, visto que

“[...] As áreas desvalorizadas do espaço urbano são as ambientalmente mais frágeis à ocupação e susceptíveis ao desenvolvimento de processos de dinâmica superficial desencadeadores de risco. Estas áreas estão comumente localizadas em encostas e em margens de arroios e são ocupadas pela parcela da população de menor poder aquisitivo que, desfavorecida pelo processo de reprodução do capital, é obrigada a se estabelecer em áreas desprovidas de condições básicas de infraestrutura e saneamento.[...]. Desta forma, as áreas de risco surgem como uma interação do meio natural com o meio social. O meio natural impõe obstáculos para a ocupação de certas áreas, mas é o meio social, ao ocupar as áreas naturalmente susceptíveis, que acaba provocando o surgimento do risco” (Reckziegel; Robaina, 2005, pág. 66-67).

A interação dos meios social, econômico e político com o meio físico, é, portanto, responsável pela criação e atenuação dos riscos naturais. O ambiente urbano é um grande receptor dos impactos dos riscos, além de participante importante na evolução de algumas ameaças do meio físico-natural para riscos concretos. Os processos pluvial, fluvial e gravitacional de massa são naturais de diversos ambientes e formas de relevo e possuem meios característicos para a erosão, transporte e deposição de materiais (solo, regolito, blocos rochosos, etc.) que, quando em contato com ocupações humanas, podem tornar-se perigosos.

2.3 AMEAÇAS RELACIONADAS AO PROCESSO PLUVIAL

Processo pluvial é aquele que a chuva é o agente de erosão, transporte e depósito, atuando através dos mecanismos de salpicamento (*splash*) e escoamento superficial (*runoff*) (Guerra, 1994, Penteado, 1983). O escoamento superficial ocorre “[...] durante um evento chuvoso, quando a capacidade de armazenamento de água no solo é saturada. Ele pode também se dar caso a capacidade de infiltração seja excedida” (Guerra, 1994, pág. 170).

Quando a chuva atinge uma área, parte do seu volume de água será interceptado pela vegetação e outros obstáculos, de onde posteriormente será evaporada. Da água que chega ao solo, parte será infiltrada, dependendo da capacidade do terreno e características da chuva, e parte será retida em depressões. A porção de chuva que não for retida por nenhum destes obstáculos, escoará pelo terreno a partir do momento que a capacidade de infiltração do solo for saturada (Martins, 1976). As ameaças relacionadas às chuvas estão, portanto, relacionadas às suas interações com o terreno, que permitem o acúmulo ou escoamento dos fluxos de água e detritos.

Além da chuva ser elemento condicionante para ameaças geradas por outros processos, como as cheias dos rios e os deslizamentos de terra, por exemplo, sua ação através de processo próprio pode ser criadora de ameaças quando em contato com ambientes ocupados. Para este trabalho, serão descritos os alagamentos e o escoamento superficial concentrado (enxurradas) como eventos perigosos causados pelas chuvas, bem como os condicionantes para a geração ou ampliação destas ameaças.

Os alagamentos, apesar de serem comumente confundidos com as enchentes e inundações, não dependem da ação dos rios para sua ocorrência, mas do acúmulo de água da chuva sobre terrenos deprimidos. Estes estão geralmente relacionados a problemas na drenagem (Castro, 2003), que não é capaz de amortecer grandes quantidades de chuva, gerados, por exemplo, pela disposição imprópria de resíduos, chegada de grande quantidade de sedimentos ou galhos e folhas de árvores até o sistema de drenagem e construção de sistemas ineficazes para a captação em episódios excepcionais de chuvas.

Além do acúmulo momentâneo de água gerado por deficiências no sistema de drenagem urbano, os alagamentos também podem ocorrer de forma natural pelo acúmulo de água em depressões no terreno ou extravasamento do lençol freático em terreno saturado (Luiz; Santos; Rosa, 2019). Os alagamentos se caracterizam por

velocidades baixas ou nulas de escoamento que se concentra sobre superfícies impermeáveis e/ou deprimidas até que a água volte a drenar após o fim das chuvas. Durante este tempo de concentração, a água parada pode entrar em contato com poluentes e resíduos urbanos e tornar-se transmissora de doenças.

O escoamento superficial concentrado (enxurrada) pode ser iniciado de forma gradual a partir do escoamento difuso. O escoamento difuso trata de pequenos filetes de água formados a partir de asperezas ou vegetação distribuídas pela superfície, sem hierarquia ou fixação de leitos, mas que, à medida que descem a encosta, se concentram, ganham maior poder erosivo e fixam seus leitos, tornando-se escoamento superficial concentrado (Christofoletti, 1980; Garcez; Alvarez, 1988). O escoamento concentrado depende, então, da existência de uma área de contribuição na encosta, com tamanho suficiente para que os filetes gerados pelo escoamento difuso se concentrem.

A enxurrada nada mais é, portanto, do que o escoamento superficial concentrado com alta energia de transporte, fenômeno comum em vias localizadas em antigos talvegues e em terrenos com grande inclinação, que se tornam caminhos preferenciais para o escoamento de alta velocidade. Com grande capacidade erosiva, as enxurradas deixam marcas sensíveis na superfície do terreno (Christofoletti, 1980).

O processo pluvial é muito influenciado pela capacidade de infiltração do terreno, que é, por sua vez, “[...] função das características geológicas do solo, do relevo e dos obstáculos oferecidos ao escoamento superficial, notoriamente do tipo e porte da vegetação da área” (Garcez; Alvarez, 1988, pág. 199). Assim, para que uma área esteja suscetível à ocorrência de eventos de enxurradas e alagamentos, esta deve estar sujeita a um ou mais de seus condicionantes. Estes condicionantes são dados, principalmente, pelas características do regime de chuvas, da permeabilidade do solo, da morfologia do terreno e da ocupação do solo.

Quanto ao regime de chuvas, as características que mais contribuem para a suscetibilidade às ameaças do processo pluvial estão relacionadas à sua quantidade, duração e intensidade. A quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal é definida como altura pluviométrica (h), e é geralmente expressa em milímetros (mm). A duração se refere ao tempo decorrido de início ao fim de um evento de chuva e a intensidade é a velocidade da precipitação, expressa em mm/min ou mm/h (Garcez; Alvarez, 1988). A altura pluviométrica importa já que, quanto maior a quantidade de água precipitada, maior a possibilidade de a precipitação ultrapassar

a capacidade de infiltração do terreno, gerando escoamento. O mesmo também é verdade para a duração e intensidade das chuvas, quanto maior a duração e/ou velocidade de precipitação, maiores as chances de saturação do terreno ou de formação de escoamento superficial e alagamentos.

“[...] quanto maior a intensidade, mais rapidamente o solo atinge a sua capacidade de infiltração, provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for sua duração. Outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorra quando o solo já está úmido devido a uma chuva anterior terá mais facilidade de escoamento” (Machado; Torres, 2013, pág. 104).

Ainda, considerando que fatores como ventos, disposição do relevo e cobertura vegetal influenciam na distribuição desigual das chuvas sobre uma área, principalmente em bacias hidrográficas maiores, é importante considerar também a distribuição territorial das chuvas sobre o terreno como condicionantes das ameaças (Machado; Torres, 2013).

Outro condicionante para a ocorrência de escoamento superficial concentrado e/ou alagamentos está relacionado com a permeabilidade do solo. Solos mais permeáveis permitem melhor infiltração das chuvas e, portanto, dependem de chuvas muito intensas, volumosas e/ou duradouras para saturar. Ao contrário, terrenos de solos menos permeáveis estão mais suscetíveis às enxurradas e alagamentos, mesmo em episódios de chuva de menor quantidade, duração e/ou intensidade, já que têm um processo de infiltração mais lento.

Considerando que “[...] a permeabilidade de um solo determinado depende do volume de vazios do mesmo e, portanto, da pressão a que está submetido” (Garcez; Alvarez, 1988, pág. 202), as características do solo que o deixam mais ou menos permeáveis estão relacionadas com a sua textura, profundidade e estrutura, já que estas determinam a quantidade, distribuição e forma dos “vazios” do solo. Também é característica importante a quantidade de água e ar já presentes no solo no momento de precipitação, levando em conta que solos úmidos já estão mais próximos da saturação e geração de escoamento/alagamentos (Garcez; Alvarez, 1988; Tucci, 1993; Machado; Torres, 2013).

Quanto à sua textura e profundidade, solos arenosos profundos com pouco silte e argila produzem pouco escoamento superficial, devido à sua grande capacidade de infiltração; Solos com percentagem considerável de argila e pouco

profundos geram escoamento superficial acima da média e infiltração abaixo da média; E solos com argilas expansivas e pouca profundidade têm capacidade muito baixa de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci, 1993). Nota-se, nesse sentido, que solos rasos e de partículas finas, principalmente os constituídos de argilas (devido à sua capacidade de coesão) são os mais suscetíveis às enxurradas e formação de alagamentos.

Quando estes grãos de argila se estruturam em agregados, no entanto, estes podem ser responsáveis por diminuir ou aumentar a infiltração do solo, dependendo do tipo de estrutura formada. Assim, cita-se a importância do teor de matéria orgânica no solo como fator que interfere na formação de escoamento concentrado e alagamentos, visto que a matéria orgânica é capaz de contribuir com a coesão das partículas do solo e na formação de agregados. Nesse sentido, "...o decréscimo de matéria orgânica, devido à agricultura, possui várias implicações no processo mecânico de erosão" (Guerra, 1994, pág. 157), tornando as partículas do solo mais suscetíveis à erosão, transporte e deposição pela chuva.

Ainda, a proximidade de uma zona de saturação (como o lençol freático) da superfície colabora com a capacidade de escoamento e de formação de alagamentos, diminuindo a capacidade de infiltração, assim como colaboram as mudanças de granulometria e/ou estrutura do solo em profundidade, que desaceleram o processo de infiltração (Tucci, 1993). A proximidade de rocha inalterada da superfície (formações superficiais rasas) também contribui para a criação de alagamentos e enxurradas (Tucci, 1993).

Algumas características relacionadas à morfologia dos terrenos são determinantes também para a formação de escoamento superficial e alagamentos: "[...] a forma das encostas possui um papel altamente relevante para a compreensão dos processos erosivos" (Guerra; Marçal, 2006, pág. 81), encostas convexas¹ dispersam os fluxos, enquanto em formas côncavas estes se concentram e em formas retas estes fluem com maior velocidade. Ainda, formas como anfiteatros, por exemplo, são áreas da paisagem muito suscetíveis a desenvolver voçorocamento, sulcos característicos do processo pluvial (Peixoto; Moura; Silva, 1989).

"Essas características relativas à declividade, comprimento e forma das

¹"*convexidade*, consiste no conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual não há diminuição dos ângulos em direção à jusante; *concavidade*, consiste no conjunto de todas as partes de um perfil de vertente no qual não há aumento dos ângulos em direção à jusante" (Christofolletti, 1980, pág. 39).

encostas atuam em conjunto entre si e com outros fatores relativos à erosividade da chuva, bem como às propriedades do solo, promovendo maior ou menor resistência à erosão” (Guerra, 1994, pág. 165).

Como citado, formas convexas dispersam os fluxos, não permitindo o acúmulo das águas fluviais, mas contribuindo para o volume de água recebido à jusante. Formas côncavas e deprimidas acumulam água, sendo mais suscetíveis aos perigos associados aos alagamentos. As formas retas são responsáveis por dar grande velocidade ao fluxo, principalmente se associadas a altas declividades, e são, portanto, mais suscetíveis às enxurradas.

As características de declividade da encosta são muito importantes para definir a sua capacidade de tornar-se produtora de escoamento concentrado, já que declividades muito acentuadas aceleram a dispersão de água e diminuem a infiltração, processo que é dependente do tempo de permanência da água no terreno (Machado; Torres, 2013). Nesse sentido, ocupações sobre áreas de alta declividade do terreno devem atentar-se à velocidade que a água transportada pelo escoamento superficial as atinge, enquanto ocupações sobre áreas de menor declividade, mas de grande extensão, estão sujeitas à quantidade de água que se acumula em declividades superiores (área de contribuição) e escoam até o seu local de instalação. São também ambientes suscetíveis a acumulação de água e ocorrência de enxurradas os arruamentos construídos perpendicularmente às encostas, que formam rampas de alta declividade e sem permeabilidade para a descarga de água e materiais acumulados no processo pluvial (Reno Neto, 1987 *apud* Luiz, 1992).

As mudanças na declividade do terreno ao longo da encosta também interferem na energia do escoamento superficial. Quebras de declive de maiores inclinações para menores impõem uma desaceleração do fluxo d'água e podem até levar a formação de depósitos. Por outro lado, declives mais suaves que mudam abruptamente para segmentos mais íngremes ao longo da encosta aumentam a energia do fluxo e podem provocar erosão dali em diante. A presença de barreiras naturais e/ou antrópicas (muros, estradas, edificações) podem desviar o caminho natural das águas em relação à inclinação do terreno.

A extensão da encosta também deve estar entre os fatores analisados na geração de enxurradas, já que encostas mais extensas possuem maior área de contribuição, o que permite a concentração de grandes quantidades de água que se movem em direção a jusante. Desse modo, “[...] quanto mais extensas e declivosas

são as encostas, maior tende a ser a energia do escoamento superficial e seu potencial erosivo” (Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020a, pág. 123).

A cobertura do solo é outro fator importante para a condição de retenção ou escoamento de água no terreno. A vegetação é capaz de reter as altas quantidades e intensidades de chuvas, seja agindo como obstáculo para a precipitação, interceptando a água em suas folhas antes desta atingir o terreno ou melhorando a permeabilidade do solo através de suas raízes e produção de matéria orgânica, o que contribui para a formação de agregados no solo e interfere como obstáculo para o escoamento superficial concentrado. Este processo depende, no entanto, não somente da presença de vegetação, mas de fatores como espécie e estágio de desenvolvimento das plantas, visto que vegetações mais densas são mais capazes de reter a precipitação antes da sua chegada ao terreno, pois elas costumam produzir raízes maiores e mais ramificadas e fornecem maior teor de matéria orgânica para o solo (Garcez; Alvarez, 1988; Machado; Torres, 2013).

As encostas desnudas são, nesse sentido, mais suscetíveis ao escoamento superficial concentrado e suas consequências, como a formação de sulcos no terreno (Christofolletti, 1980). Considerando, portanto, que a vegetação é capaz de reduzir as taxas de escoamento superficial, de erosão e geração de sedimentos (Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020a) a sua supressão e substituição por terrenos impermeáveis, como os pavimentados e de alta ocupação urbana, pode ser responsável por tornar os terrenos mais suscetíveis ao escoamento superficial concentrado (enxurradas) e aos alagamentos. Como abordado, terrenos impermeáveis estão mais suscetíveis aos impactos gerados pelos alagamentos e enxurradas, e, nesse sentido, instalações humanas que diminuem a capacidade de infiltração do solo condicionam e estão expostas às ameaças do processo pluvial, como é o caso de rodovias asfaltadas, calçamentos e residências, por exemplo (Garcez; Alvarez, 1988; Tucci, 1993; Guerra, 1994; Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020a, entre outros).

2.4 AMEAÇAS RELACIONADAS AO PROCESSO FLUVIAL

O processo fluvial é aquele em que o trabalho de erosão, transporte e depósito é realizado pelos rios. Este trabalho depende da velocidade do fluxo (que aumenta com a declividade, por exemplo), do gradiente (perfil longitudinal do rio), vazão

(volume de água) e carga sedimentar do rio (que pode aumentar com processos de movimento de massa e erosão de margens, por exemplo) (Penteado, 1983; Christofolletti, 1980). Ao ocupar as margens dos rios, a população e/ou equipamentos e benfeitorias humanos estão sujeitos aos fenômenos fluviais que podem provocar perdas e danos caso se manifestem. Estes fenômenos são as inundações e as erosões de margens. Para este trabalho, serão conceituados e apresentados os condicionantes que influenciam a erosão de margens e inundações, vista a sua frequência e capacidade de gerar danos para as ocupações situadas nas margens.

As inundações resultam da chegada de quantidade e/ou velocidade de água que supera a capacidade de drenagem do rio, extravasando para as áreas ribeirinhas (Tucci, 1993). Apesar de haver confusões no vocabulário costumeiro, as inundações são fenômenos diferentes do alagamento e enxurradas, conceituados anteriormente, assim como são diferentes das enchentes. As enchentes também são fenômenos relacionados às cheias dos rios, mas se referem à elevação temporária dos cursos d'água, sem que haja extravasamento além das margens.

A partir do momento que o fluxo extravasa as margens, este é considerado como inundação e pode se comportar de forma brusca (fluxo torrencial), agindo como um escoamento superficial concentrado de alta velocidade e energia, ou de forma gradual, caracterizando as inundações cíclicas e sazonais dos rios de planície ou de grandes bacias (Barros; Magalhães Júnior, 2020). Pode se dizer, portanto, que se o aumento da vazão dos rios (cheia) está contido dentro das margens, este é considerado enchente, e se ultrapassa as margens do rio é considerado inundação, que pode ser brusca (fluxo torrencial) ou gradual.

Pode-se definir as inundações, portanto, como um “[...] processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio” (Brasil, 2007, pág. 91). A probabilidade deste processo se tornar uma ameaça depende, porém, do grau de ocupação da planície inundável e da frequência destes eventos (Tucci, 1993), que é condicionada por fatores como os meteorológicos, hidrológicos, geomorfológicos, geológicos e pedológicos, bem como pelo modo de uso e ocupação do terreno da bacia hidrográfica (Garcez; Alvarez, 1988; Tucci, 1993; Stevaux; Latrubesse, 2017).

Algumas características da bacia hidrográfica a tornam mais suscetíveis a

inundações, entre elas, destacamos a sua área, que definirá a quantidade e velocidade de fluxo que chegará aos canais fluviais.

“Em regiões de clima homogêneo, a área é indiscutivelmente um fator fundamental, uma vez que, quanto maior a bacia de captação, maior a vazão [...]. Por outro lado, a dimensão da bacia pode ser um fator limitante de ocorrência de cheia” (Stevaux, Latrubesse, 2017, pág. 87).

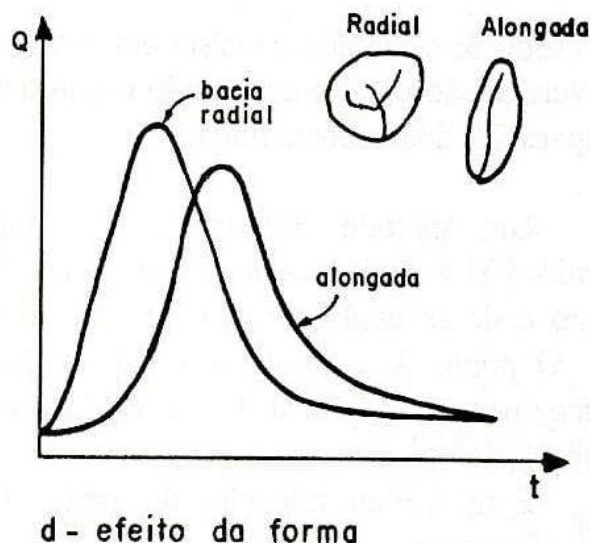
A área de contribuição de uma bacia “[...] corresponde a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, em projeção horizontal, inclusa entre seus divisores topográficos” (Machado; Torres, 2013, pág. 53) e tem, portanto, grande influência no volume de água que chega aos cursos. Este valor, descrito em m² ou km², pode ser determinado através de cálculos matemáticos sobre mapas arquivados em plataformas SIG (Silveira, 1993).

Bacias hidrográficas pequenas (<500 km²) estão mais suscetíveis a perigos relacionados às cheias durante eventos de chuvas intensas e de curta duração, vista a sua pequena área para amortecimento de altos volumes de água que atingem seus canais de forma simultânea e concentrada e em altas velocidades. Para bacias hidrográficas maiores, no entanto, as precipitações mais impactantes em termos de cheias são aquelas de longa duração, que dispõe grande volume de água por um longo período de tempo, além de cobrirem grandes áreas (muitas vezes, precipitando sobre múltiplos municípios), sendo, então, capazes de alimentar grandes extensões de terreno e grandes cursos com volume de água suficiente para as cheias. Também é comum que bacias maiores possuam mais reservatórios em sua extensão, aumentando a sua capacidade de amortecimento para maiores volumes de água (Tucci, 1993).

Outra característica importante das bacias hidrográficas que ajuda a indicar a sua suscetibilidade a eventos de cheias é a sua forma, visto que esta pode indicar o tempo de concentração da bacia, ou seja, “[...] o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo” (Machado, Torres, 2013, pág. 59). Bacias circulares estão mais sujeitas a enchentes súbitas no canal principal, visto que todos seus afluentes tendem a um movimento simultâneo de despejo de fluxo, gerando um hidrograma com altos picos de vazão, menor tempo de concentração e curta duração, enquanto em bacias alongadas, onde os fluxos chegam em momentos diferentes ao canal principal, os picos de vazão tendem a ser menos acentuados e com maior duração, indicando melhor distribuição (Machado, Torres, 2013; Stevaux; Latrubesse, 2017; Barros; Magalhães Júnior,

2020). A Figura 1 apresenta o comparativo dos hidrogramas de bacias radiais e alongadas.

Figura 1 – Efeito de forma sobre o hidrograma de bacias hidrográficas radiais e alongadas



Fonte: Tucci (1993)

A morfologia das encostas da bacia hidrográfica pode ser analisada pelas suas concavidades e convexidades, que também podem condicionar as inundações e a forma que estas acontecem, tendo em conta que encostas côncavas tendem a acumular o fluxo, estando mais suscetíveis a inundações duradouras, além de retardarem o pico de vazão dos canais a jusante, enquanto encostas convexas dispersam o fluxo, podendo contribuir para inundações bruscas a jusante. Encostas retas estão mais sujeitas a inundações bruscas e menos duradouras que em formas côncavas, visto que tendem a dar maior velocidade ao fluxo (Tucci, 1993; Magalhães Júnior; Barros, 2020). No entanto, formas retas em áreas de baixa declividade têm fluxo mais lento, diminuindo a velocidade dos rios e permitindo o espreado destes sobre a área, principalmente se não há vegetação ciliar para amortecer o seu alargamento.

Assim, a declividade das encostas da bacia hidrográfica também é elemento importante na análise dos perigos de inundações a que está exposta, uma vez que, como visto para os eventos de enxurradas, terrenos mais íngremes drenam o fluxo com mais velocidade para o canal principal e não permitem o armazenamento de grandes volumes de água, oportunizando os picos de cheia e eventos de fluxos torrenciais (Machado, Torres, 2013).

Considerando que a maior parte dos trabalhos do processo fluvial ocorre em períodos de chuva, quando há aumento significativo de vazão e energia dos fluxos (Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020a), as características do regime de chuva têm grande importância na definição das probabilidades de eventos de cheia. Ao determinar a quantidade e velocidade do volume de água e sedimentos que chega aos canais, as variações de quantidade, duração e intensidade de chuvas, bem como sua distribuição temporal, interferem na geometria e padrões dos canais fluviais, além de influenciar na cobertura vegetal da bacia hidrográfica (Magalhães Júnior; Barros, 2020). Precipitações mais intensas, como as convectivas e orográficas, geralmente atingem áreas localizadas no terreno, sendo mais importantes, portanto, para bacias hidrográficas menores e eventos de inundações súbitas, enquanto chuvas frontais, que atuam sobre áreas maiores e durante maior tempo, são responsáveis por cheias graduais de grandes rios (Tucci, 1993).

As características de permeabilidade do terreno dadas pela geologia também podem ser condicionantes de inundações, interferindo, principalmente, “[...] na rapidez e no volume das enchentes e na parcela levada às vazões de estiagens pelos lençóis subterrâneos” (Garcez; Alvarez, 1988, pág. 50). Nesse sentido, terrenos de substrato rochoso mais permeável e com boa capacidade de armazenamento em aquíferos tendem a ser menos suscetíveis a inundações do que terrenos de substrato rochoso menos permeável e com baixa capacidade de armazenamento, onde a pouca água que infiltra logo exfiltra novamente, podendo atingir canais e contribuir para as cheias (Barros; Magalhães Júnior, 2020).

Em bacias hidrográficas de embasamento impermeável, como rochoso ou argiloso, por exemplo, as chuvas de alta intensidade contribuirão mais facilmente para ameaças relacionadas a inundações súbitas, enquanto bacias mais permeáveis dependem de chuvas de maior quantidade e/ou duração para que o volume de água exfiltre e ultrapasse o fluxo de base (Stevaux; Latrubesse, 2017). A estruturação das rochas (em falhas, fraturas ou dobras) também pode impactar na ocorrência de inundações, influenciando o arranjo da rede de drenagem e forma dos canais fluviais (Stevaux, Latrubesse, 2017; Magalhães Júnior; Barros, 2020). Ainda, a geologia pode determinar a densidade de drenagem da bacia hidrográfica, tendo que

“Rochas pouco porosas e permeáveis (como granitos) tendem a favorecer maior densidade hidrográfica, pois os fluxos têm circulação restrita em subsuperfície. Por sua vez, rochas de alta porosidade (primária, como arenitos, ou secundária, como nos calcários) e permeabilidade tendem a

favorecer a percolação da água, até sua armazenagem em aquíferos profundos” (Magalhães Júnior; Barros, 2020, pág. 38).

Os produtos da ação do intemperismo sobre as constituições rochosas do terreno também têm grande influência na produção de inundações, uma vez que solos mais profundos e permeáveis podem armazenar grandes quantidades de água, diminuindo a parcela do fluxo que escoar e atinge os canais fluviais. Além da constituição natural do terreno, alterações na sua cobertura podem ser responsáveis por alterar a permeabilidade e gerar mais probabilidade de inundações e, neste caso, destacam-se as ações antrópicas, visto que “A tendência cada vez mais acentuada de ocupação de todo o globo pelo homem [...] faz com que o tipo de cobertura do terreno de uma bacia se modifique, em alguns casos substancialmente, alterando as características da bacia no tempo” (Garcez, Alvarez, 1988, pág. 43). ”.

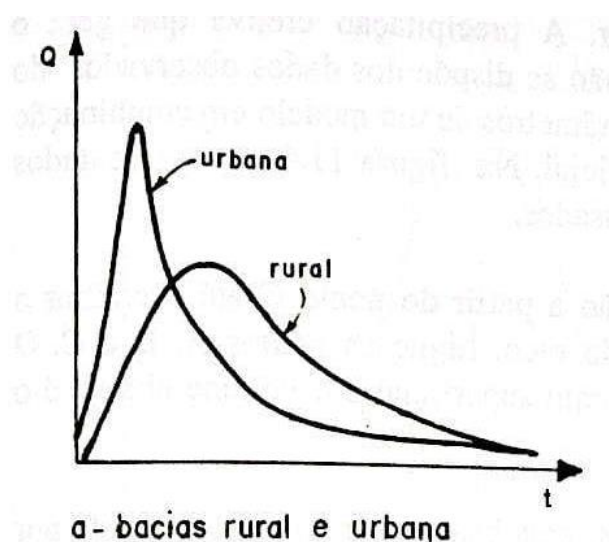
A supressão vegetal, seja esta em terrenos rurais ou urbanos, influencia, entre outros fatores, no percentual de água que é interceptada pela vegetação, possibilitando o maior abastecimento do canal fluvial e acelerando o pico de cheias. É importante destacar que a capacidade de interceptação das plantas também tem grande relação com o regime de chuvas: chuvas intensas diminuem a capacidade de interceptação, principalmente se acompanhadas por ventos fortes, e chuvas que ocorrem após períodos úmidos encontram vegetação já saturada de água, sem potencial para maior armazenamento (Tucci, 1993).

A vegetação também desempenha papel importante na movimentação de sedimentos na bacia, diminuindo processos erosivos e a quantidade de sedimentos que chega ao canal fluvial. Quando a vegetação é suprimida, maior é a quantidade de sedimentos disponíveis para transporte e maiores são os eventos de escoamento superficial que carregam estes detritos até os canais, podendo gerar assoreamento dos rios e alterações na sua forma que deixam o terreno mais suscetível a inundações (Tucci, 1993; Stevaux; Latrubesse, 2017; Magalhães Júnior; Barros, 2020). Além da supressão vegetal,

“Diversos são os condicionantes antrópicos que podem induzir ou potencializar as inundações [...]: o uso e ocupação irregular das planícies de inundação (margens) e leitos de cursos d’água; disposição irregular de lixo nos canais fluviais, além da erosão dos solos e consequente assoreamento dos cursos d’água, diminuindo a calha natural para o escoamento da água; alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d’água (execução de aterros em áreas de planície, instalação de pontilhões, retificação e canalização de cursos d’água, impermeabilização do solo etc.)” (Barros; Magalhães Júnior, 2020, pág. 395).

Terrenos urbanizados, nesse sentido, tendem a ser mais suscetíveis a eventos de inundação, considerando a impermeabilização dos solos, a retirada da vegetação e a construção sobre planícies inundáveis do rio. Comparado a bacias rurais, os terrenos urbanos costumam possuir menor interceptação vegetal, menos áreas permeáveis, maiores taxas de escoamento superficial concentrado e maior velocidade de drenagem (Tucci, 1993). A Figura 2 compara o comportamento hidrológico entre áreas urbanizadas (com altas taxas de impermeabilização) e áreas rurais. As áreas urbanizadas apresentam maior pico de vazão em menor tempo de concentração, uma vez que a água que chega ao terreno não encontra tempo de atraso decorrido do período de infiltração, enquanto as rurais têm um pico de vazão mais suave e melhor distribuído pelo tempo, caracterizando cheias menos bruscas do que aquelas que acontecem em áreas urbanizadas.

Figura 2 – Hidrograma de bacias hidrográficas sob ocupação rural e urbana



Fonte: Tucci (1993)

As ações antrópicas sobre o processo fluvial podem ser, ainda, classificadas em diretas e indiretas. Ações diretas são aquelas que agem diretamente sobre o canal, como o represamento, retificação e construção de diques, por exemplo, enquanto ações indiretas são aquelas que acontecem na bacia hidrográfica e impactam o processo fluvial, como alterações no uso e ocupação do solo, alterações na morfologia das encostas e atividades relacionadas ao planejamento urbano e uso de recursos hídricos (Tucci, 1993; Stevaux; Latrubesse, 2017; Magalhães Júnior;

Barros, 2020).

Obras de represamento nos canais fluviais provocam retenção do escoamento na bacia. As cheias dos rios ficam retidas em certos trechos, o mesmo acontecendo com a carga sedimentar que chega dos rios (Tucci, 1993; Stevaux; Latrubesse, 2017). Todas estas obras impactam não somente o canal modificado, como alteram o funcionamento do fluxo a jusante e a montante da sua instalação, podendo aumentar ou diminuir a quantidade de fluxo e sedimentos disponível para o trabalho dos rios.

Para rios cuja foz ocorre no oceano, outro condicionante importante para as cheias e inundações é o efeito das marés astronômicas e meteorológicas, com períodos de cheias marítimas e fluviais combinadas podendo apresentar grandes perigos, principalmente sobre áreas de baixa declividade até onde a água do mar consegue alcançar, aumentar o nível dos rios e impedir a saída de água acumulada no continente. Estes fenômenos são especialmente perigosos quando o período de maré alta é combinado com eventos chuvosos no continente.

“[...] as águas marinhas retidas na costa e aquelas que invadiram o continente durante as marés altas diminuirão o escoamento ao longo de todo o canal principal. Também os afluentes, em especial o de ordem n-1, serão afetados com forte redução da sua velocidade, empurrando as águas para cima e causando inundações (Souza, 1998, pág. 363)”.

No litoral catarinense, as inundações costeiras resultam, principalmente dos “[...] efeitos somados das preamares de sizígia, sobretudo em fase de lua nova, e ventos do quadrante sul, associados à passagem de frentes frias na região e à formação de ciclones no Atlântico Sul” (Souza, 2022, pág. 93) e costumam atingir áreas de planícies costeiras de baixas altitude e declividade e densamente ocupadas, criando ameaças do meio físico-natural para estas ocupações.

A erosão de margens é um processo relativamente comum nos canais fluviais, dado pelo turbilhonamento de fluxos em alta velocidade, e ocorre “[...] preferencialmente nas margens altas, de perfil íngreme, de constituição arenoargilosa, e durante períodos de nível baixo de água [...]” (Stevaux; Latrubesse, 2017, pág. 154). Este fenômeno é comum nas margens côncavas dos rios, visto que “[...] a convergência de linhas de fluxo nas margens côncavas (forças centrífugas) leva à superelevação da água e ao aumento do seu poder erosivo nos ápices dos meandros devido aos vetores compressionais” (Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020b, pág. 223), dando maior velocidade e poder erosivo ao fluxo (Penteado, 1983).

O gradiente do perfil longitudinal é diretamente proporcional à geração de erosão de margens, pois este interfere na velocidade do rio. Quando há variações bruscas de declividade ao longo do leito do rio, o fluxo tende a turbilhonar. Fluxos turbilhonares têm alto poder erosivo de margens e fundo de leito. Estes fluxos também podem ser criados por sedimentos depositados ao longo das margens e no meio do canal (barras de canal, barras de meandro, etc.).

A relação da vazão com a capacidade de erosão das margens se dá de forma complexa. O aumento de vazão e da velocidade dos fluxos causa erosão, visto o maior impacto do fluxo nas margens. Entretanto, também pode haver solapamento das margens em período de baixa vazão, principalmente quando a vazão diminui de forma rápida. Neste caso, as margens perdem o efeito de confinamento e desmoronam. Desse modo, variações nas precipitações que atingem a bacia, principalmente relacionadas à duração, quantidade e intensidade das chuvas, interferem na erosão de margens (Barros; Magalhães Júnior, 2020).

A resistência do material que constitui as margens também importa neste processo. Margens rochosas são as menos erodíveis e dependem da ação fluvial prolongada ao longo do tempo, enquanto margens compostas de materiais grosseiros, como blocos e seixos, são geralmente erodidas em eventos concentrados de fluxos de alta energia/intensidade em curto período de tempo. Margens com alta participação de argilas na sua composição tendem a ser mais coesas e, portanto, menos erodíveis do que margens de sedimentação fina, mas não coesa, como as areias (Thorne; Tovey, 1981).

A constituição do leito do canal também influencia nos processos erosivos desenvolvidos pelos fluxos d'água canalizados, visto que canais com leitos menos permeáveis (como rochosos e argilosos) tendem a apresentar maior gradiente e energia de fluxo (Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020a), aumentando o seu poder erosivo. Além disso, leitos rochosos não permitem que o fluxo d'água gaste sua energia em escavá-lo, o que leva a esta energia ser gasta nas margens laterais. Os leitos rochosos sem blocos soltos, em geral, não possuem muitas rugosidades o que também não diminui a energia das correntes de água, que é direcionada para as margens.

Como visto para o processo pluvial, a vegetação contribui para diminuir a erosão do solo através da extensão de suas raízes e formação de agregados, por exemplo, aumentando a resistência e contribuindo para estabilizar o ambiente que

ocupa. Assim como também amortece o impacto das gotas da chuva no solo e permite maior infiltração de água no solo por intermédio de suas raízes, o que diminui ou evita a formação do escoamento superficial.

As vegetações características das margens de corpos d'água, a vegetação ciliar, com suas raízes e ramificações seguram o solo das margens e dão um certo grau de proteção contra a energia do fluxo. A sua supressão, dada sobretudo por ações antrópicas, condiciona ameaças relacionadas ao processo erosivo. Outra ação humana que pode estimular o processo erosivo é a construção de residências sobre as margens, que adiciona peso sobre estas e as desestabiliza (Magalhães Júnior; Barros; Cota, 2020a).

Entendendo a complexidade dos agentes e interações que tornam as margens dos rios suscetíveis aos eventos de erosão, a melhor forma de evitar os danos gerados neste ambiente é evitar ocupar as margens, deixando espaço para que o rio realize seu trabalho rotineiro sem atingir ocupações humanas. Logo,

“[...] os desastres provocados por erosão das margens fluviais são reduzidos, principalmente, por medidas não estruturais, relacionadas com a definição das áreas de risco intensificado desses fenômenos, evitando-se a construção de estruturas de engenharia e de habitações nessas áreas” (Barros; Magalhães Júnior, 2020, pág. 386-388).

Nota-se, então, que variáveis naturais de clima, geologia, relevo e cobertura vegetal condicionam as ameaças fluviais. Contudo, a ação antrópica sobre os canais fluviais e terrenos da bacia hidrográfica, além de instalar ocupações em áreas suscetíveis, pode contribuir para condicionar e ampliar estas ameaças.

2.5 PROCESSO GRAVITACIONAL DE MASSA

Os movimentos de massa são processos naturais que modelam a paisagem da superfície terrestre. Neste processo, a gravidade é o agente de erosão, transporte e deposição das formações superficiais (solo, regolito ou depósitos).

“O fato, em princípio, é consequência da própria dinâmica de evolução das encostas, quando as massas de solo, formadas a partir da progressiva alteração das rochas que compõem tais vertentes, atingem paulatinamente espessuras que podem ser consideradas críticas para a estabilidade. A partir de então, movimentos de massa podem ocorrer, de maneira relativamente isolada, no tempo ou no espaço ou, então, se concentrar em ocorrências praticamente simultâneas, afetando regiões inteiras” (Guidicini; Nieble, 1983, pág. 5).

Os movimentos de massa ocorrem quando a força da gravidade vence a resistência dos materiais que compõem a encosta (Penteado, 1983; Fernandes; Amaral, 2019). A força de resistência de uma formação superficial é dada pela sua coesão, propriedade química que lhe é fornecida pelas ligações eletrostáticas entre os grãos menores do próprio material e/ou pelo efeito de sucção da água nos seus poros, e pelo seu ângulo de atrito interno, propriedade física que lhe é fornecida pelo peso do material e a forma em que seus grãos se encaixam, mais forte quanto mais irregulares e quanto mais asperezas possuírem os grãos que constituem a formação (Selby, 1993). Assim, quando a força de resistência de uma encosta é superior a força de gravidade que age sobre esta, ela está em situação de equilíbrio estável; quando a força de resistência se iguala a força de gravidade, está em situação de equilíbrio instável; e quando a força de resistência é menor que a força que tende a deslocar esta massa, esta se encontra instável, suscetível a rupturas nos materiais da encosta e deslocamentos (Luiz, 2003).

São condicionantes dos movimentos de massa, portanto, fenômenos ou eventos que aumentem a força do efeito cisalhante da gravidade (ao aumentar o peso do terreno e/ou a declividade da encosta) ou diminuam a força de resistência do material sujeito aos efeitos da gravidade. Alguns fatores capazes de determinar a probabilidade de ocorrência de um movimento de massa são: a geologia do terreno (como características e estrutura da rocha, presença de falhas ou fraturas, etc.), a textura e condutividade hidráulica dos solos, fatores hidrológicos (como precipitação, infiltração, por exemplo), sismicidade e atividades vulcânicas e fatores geomorfológicos (Sidle; Ochiai, 2006).

Nota-se que a água, apesar de não ser o agente erosivo como nos processos anteriores, tem papel importante no condicionamento de ocorrências de movimentos de massa, visto que “[...] exerce função importante no movimento do regolito por reduzir o coeficiente de fricção e por aumentar o peso da massa intemperizada, preenchendo os espaços entre os poros” (Christofolletti, 1980, pág. 28).

Movimentos de massa induzidos por chuvas são muito comuns e tratam de processos em que a força de resistência do material diminui durante ou após períodos chuvosos nas encostas (Lu; Godt, 2013 *apud* Gonzalez-Ollauri; Mickovski, 2017; Lu, 2014). Dependendo do tipo de material e forma da encosta, quanto maior o acumulado de precipitações (em horas ou dias), maiores as chances de uma precipitação condicionar um movimento de massa (Tatizana *et al.*, 1987; Castro,

2006; Soares; Ramos Filho, 2014), o que não necessariamente será o caso para movimentos induzidos por chuvas intensas e concentradas (Gao; Zhang; Cheung, 2018).

A interação das chuvas com a geração de movimentos de massa é difícil de medir “[...] porque a chuva só influencia a estabilidade da encosta indiretamente, através do seu efeito sobre as condições de água nos poros do material da encosta, e porque sua influência requer uma interação com outras características do manto de alteração” (Caine, 1980, pág. 23, tradução nossa), no entanto, é notável que os parâmetros de quantidade, duração e intensidade das chuvas ajudam a definir as probabilidades e os tipos de movimento de massa. Movimentos com superfície de ruptura mais profundas dependem de maior volume de água e, portanto, maior quantidade e/ou duração da precipitação para iniciarem, enquanto movimentos com superfície de ruptura rasa estão mais associados a chuvas intensas (Van Asch; Buma; Van Beek., 1999). Logo, chuvas intensas de duração relativamente longa serão as com maior probabilidade de induzir movimentos de massa (Gao; Zhang; Cheung, 2018).

Mesmo que em boa parte dos casos a pluviosidade seja elemento necessário para os movimentos de massa, nem sempre esta é a condição suficiente para iniciá-los (Guidicini; Nieble, 1983). Assim, mesmo considerando a influência das chuvas na geração dos movimentos de massa, a previsibilidade de ocorrências com base na pluviosidade histórica só será precisa se ponderadas outras variáveis como “[...] geologia, geometria, drenagem, manutenção, idade e tipo de encosta” (Finlay; Fell; Maguire, 1997, pág. 824, tradução nossa).

Assim como para os processos anteriores, a constituição geológica do terreno age como condicionante de movimentos de massa, determinando os padrões de infiltração. Ainda, o resultado do intemperismo sobre as rochas contribui para a definição da coesão e do atrito interno dos materiais da encosta. Fatores litológicos também podem condicionar movimentos de massa, como, por exemplo, nos casos de falhas, fraturas, dobras ou juntas, assim quando: 1) dispostas paralelamente às encostas, darão pouco suporte para a camada de material superior e facilitam o movimento e concentração de água sub-superficial; 2) planas, que proporcionam caminhos preferenciais para a percolação de água; 3) profundas, que favorecem a entrada de água em profundidade e movimentos de grande quantidade de material; e 4) próximas da superfície, que “[...] enfraquecem a camada superficial e permitem a

rápida percolação até à superfície de ruptura” (Sidle; Ochiai, 2006, pág. 44, tradução nossa).

Do mesmo modo, a formação de regolitos e solos a partir destes materiais intemperizados pode determinar as propriedades físicas e químicas da formação superficial e, portanto, a força de resistência do terreno. Terrenos ricos em argila possuem maior coesão que os demais, haja vista a capacidade de ligação entre esses grãos menores. Fisicamente, o tamanho, a forma e o arranjo dos grãos influenciam no ângulo de atrito interno da formação e, nesse sentido, grãos maiores e com superfícies mais angulares dão maior resistência contra os movimentos de massa graças à sua maior superfície de contato e capacidade de interligação (Sidle; Ochiai, 2006). A profundidade do regolito/solo e as suas descontinuidades verticais também influenciam na localização da superfície de ruptura do movimento (Brooks; Richards; Anderson, 1993), definindo a quantidade de material transportado e as condições necessárias para que o movimento ocorra.

A declividade do terreno influencia proporcionalmente de forma direta na instabilidade da encosta. Esta característica também ajuda a compreender a quais tipos de movimento de massa o ambiente está sujeito, com deslizamentos translacionais, corridas de detrito e tombamentos/rolamentos de blocos sendo mais característicos de altas declividades, enquanto deslizamentos rotacionais e rastejos são menos dependentes desta variável (Sidle; Ochiai, 2006). Além disso, apesar de áreas de maior inclinação geralmente apresentarem maior instabilidade, a concentração de áreas úmidas nas bases mais planas das encostas também pode condicionar movimentos de massa relacionados à declividade do terreno (O’Loughlin, 1986), mas, nestes casos, com efeito inversamente proporcional.

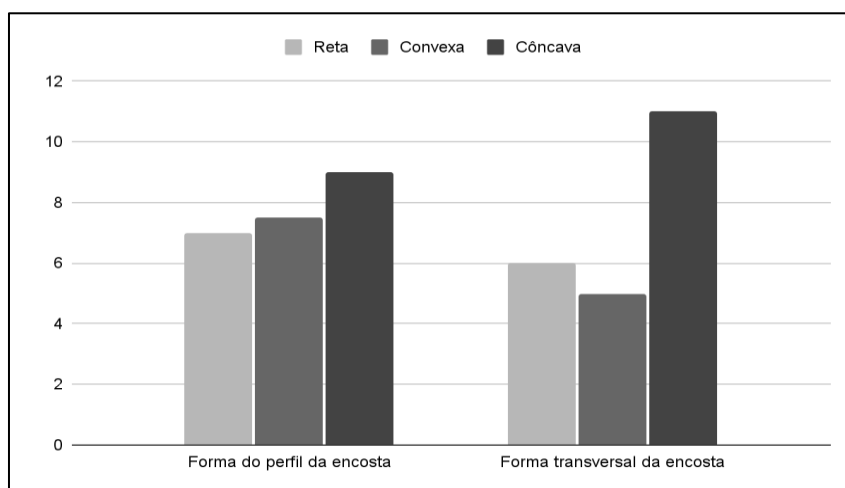
A forma da encosta tem forte influência sobre sua estabilidade, concentrando ou dispersando fluxos superficiais e subsuperficiais de água. Formas que dispersam o fluxo, como as convexas, são as mais estáveis, seguidas das formas retas e, por último e menos estáveis, as formas côncavas, que concentram fluxos, desenvolvem condições de saturação, aumentam a poro-pressão positiva e diminuem a força de resistência da área (Fernandes *et al.*, 2001; Sidle; Ochiai, 2006; Fernandes; Amaral, 2019).

“[...] a distribuição espacial dos deslizamentos é estatisticamente dependente da forma de inclinação. Isto é devido ao fato de que a forma da inclinação governa a redistribuição da água da chuva. A porção de água da

chuva infiltrada é aparentemente maior em encostas côncavas do que em encostas convexas de condições semelhantes. Mais infiltração inevitavelmente levará a uma maior carga da encosta e tornará a inclinação menos estável” (Gao, 1993, pág. 586, tradução nossa).

Visto que “[...] as formas do relevo, em planta e em perfil, irão definir os níveis de convergência hidrológica de uma determinada topografia e, em última análise, os níveis de poro-pressão desenvolvidos” (Fernandes *et al.*, 2001, pág. 54), a forma da encosta deve ser medida tanto em perfil como transversalmente para determinar a probabilidade de ocorrência e o tipo de movimento de massa. O estudo conduzido por Jay Gao (1993) no condado de Nelson, nos Estados Unidos, dividiu os potenciais de deslizamentos para encostas retas, côncavas e convexas em perfil ou transversalmente e constatou uma maior influência das concavidades transversais na geração de movimentos de massa devido à maior acumulação de volumes de água superficial e subsuperficial nestas formas, deixando-as altamente saturadas. A Figura 3 apresenta o gráfico resultante deste estudo.

Figura 3 - Potencial de deslizamentos (%) por forma da encosta, medido através de Modelo Digital de Elevação em New County (EUA)



Fonte: Traduzido de Gao (1993)

Formas de anfiteatro nas encostas também são mais suscetíveis ao processo gravitacional de massa quando, por exemplo, há exfiltração de água “[...] no contato entre as vertentes íngremes do anfiteatro e seu fundo chato, não existindo desenvolvimento de poro-pressões positivas ao longo das vertentes, a não ser na sua base” (Luiz, 2003, pág. 17). Isto é capaz de gerar deslizamentos na saída de frente de exfiltração, que perde seu suporte basal e desenvolve alta declividade, gerando

um processo de retroalimentação positiva, em que quanto mais erosão acontece nestas saídas, maior o poder erosivo da vazão que exfiltra (Onda, 1994; Luiz, 2003).

A cobertura vegetal tem influência variada na estabilidade das encostas em relação aos movimentos de massa. A presença de raízes densas e profundas gera um efeito de coesão nos materiais do solo que estão envolvidos por elas. Mas, se é formada uma superfície de ruptura abaixo da zona de raízes, este efeito de coesão fica anulado. A melhor infiltração das águas das chuvas no solo por causa da presença da vegetação e suas raízes é importante para amortecer os efeitos do processo pluvial, mas não é tão benéfica para evitar movimentos de massa.

De acordo com Fiolleau *et al.* (2023), a contribuição para a infiltração pode aumentar a suscetibilidade da encosta para movimentos de massa, principalmente aqueles com superfície de ruptura pouco profunda e, nestes casos, quanto mais densa for a cobertura vegetal, maior será a suscetibilidade a erosão por movimentos de massa (Zhang *et al.*, 2022), vista a capacidade das raízes das plantas de conduzir água para até onde se estendem no solo e, portanto, saturar os solos em maior profundidade. Caso a extensão das raízes encontre uma camada impermeável, este acúmulo de água pode saturar a formação superior e induzir movimentos de massa. Ainda, a função da evapotranspiração para diminuir a quantidade de água infiltrada tem pouca importância em movimentos de massa pouco profundos (Van Asch; Buma; Van Beek., 1999). A cobertura vegetal é, então, um elemento complexo para a análise de suscetibilidade a movimentos de massa e depende da interação com as demais características da encosta para entender a sua participação neste processo.

As modificações antrópicas na geometria da encosta ou no grau de umidade do terreno podem ser condicionantes de movimento de massa. A modificação mais comum são os cortes de encosta, que aumentam a força de cisalhamento, a qual é muito dependente da inclinação das encostas. Além do impacto gerado pela alteração da declividade de uma encosta, os cortes geram material inconsolidado que, dependendo de onde e como são depositados, podem estar sujeitos ao processo gravitacional (Carvalhais *et al.*, 2019). Outras ações humanas, como o despejo de águas servidas sobre o terreno, leva a infiltração de água nos materiais da encosta com possibilidade de diminuir sua resistência (Porto *et al.*, 1993).

A implantação de rodovias é outro exemplo de intervenção capaz de induzir movimentos de massa. Esta age, por exemplo, promovendo a desestabilização dos materiais e alterando os canais de fluxo de água e sedimentação (Montgomery, 1994).

Quando construídas sobre cortes de encosta, as rodovias podem gerar superfícies livres para o escoamento que promovem a desestabilização do material e o deixam mais suscetível a processos erosivos. Também é condicionante relacionado a construção de rodovias o efeito gerado pelo movimento dos meios de transporte sobre o terreno, que é capaz de gerar vibrações que desarranjam os grãos e/ou agregados do solo (diminuição do atrito interno) e propiciam os movimentos de massa, principalmente sobre encostas saturadas e/ou de grande inclinação. As ocupações humanas, portanto

[...] além de serem os principais afetados, são em alguns casos também, um dos fatores responsáveis pelo deflagramento dos movimentos de massa, ao ocupar áreas com alta declividade, promover cortes no solo e aterros instáveis para a construção de moradias e estradas de acesso, além da deposição de resíduos sólidos, ausência de drenagem de águas pluviais e retirada da cobertura vegetal (Riffel; Guasselli, 2016, pág. 467).

Considerando que há diferentes tipos de movimento de massa, que ocorrem segundo condicionantes climatológicos, geológicos, pedológicos, geomorfológicos e de uso de solo específicos, serão apresentadas as diferentes tipologias de movimentos de massa e seus principais locais de ocorrência que, caso comportem instalações humanas, podem gerar ameaças do meio físico com velocidade e impactos próprios para cada tipo de movimento.

2.5.1 Tipos de movimentos de massa

Os movimentos de massa diferenciam-se pelos materiais, processos e fatores condicionantes, além dos ambientes em que ocorrem e formas que deixam na paisagem. Inicialmente, pode-se diferenciá-los pela existência ou não de uma superfície de ruptura definida. Um movimento de massa possui superfície de ruptura definida quando este permite uma distinção clara entre o material que foi transportado e o material que ficou no terreno.

“A superfície de ruptura é antes de mais nada, o limite regular ou irregular de onde os materiais das formações superficiais (solos, camadas de sedimentos ou rochas alteradas) das encostas se desprendem do restante do conjunto em função da força da gravidade, auxiliada por fatores condicionantes” (Luiz, 2003, pág. 2).

Neste trabalho são abordados dois tipos de movimentos de massa com superfície de ruptura definida, os deslizamentos e as quedas de blocos, e dois tipos de movimentos sem superfície de ruptura definida, os rastejos e as corridas de detrito.

Os dois últimos tipos são fruto de deformações dos materiais das formações superficiais das encostas.

O Quadro 1 apresenta a classificação de movimentos de massa proposto por Augusto Filho (1992 *apud* Brasil, 2007) de acordo com as características do movimento, tipo e geometria do material movido.

Quadro 1 - Tipos de movimento de massa

	Processos	Características do movimento/Material/Geometria
Com superfície de ruptura definida	Escorregamentos/ Deslizamentos (slides)	poucos planos de deslocamento (externos)
		velocidades médias (m/h) a altas (m/s)
		pequenos a grandes volumes de material
		geometria e materiais variáveis
		Planares: solos pouco espessos, solos e rocha com um plano de fraqueza
		Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas
		Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
	Quedas (falls)	sem planos de deslocamento
		movimento tipo queda livre ou em plano inclinado
		velocidades muito altas (vários m/s)
		material rochoso
		pequenos a médios volumes
		geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.
		rolamento de matacão/tombamento
Sem superfície de ruptura definida	Corridas (flows)	muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)
		movimento semelhante ao de um líquido viscoso
		desenvolvimento ao longo das drenagens
		velocidades médias a altas
		mobilização de solo, rocha, detritos e água
		grandes volumes de material
		extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas
	Rastejo (creep)	vários planos de deslocamento (internos)

		velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade
		movimentos constantes, sazonais ou intermitentes
		solo, depósitos, rocha alterada/fraturada
		geometria indefinida

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992 *apud* Brasil, 2007)

Deslizamentos (ou escorregamentos) são movimentos rápidos, de curta duração e com superfície de ruptura definida (Fernandes; Amaral, 2019) que movimentam massas de terreno geralmente bem definidas com direção para baixo e para fora do talude (Guidicini; Nieble, 1983). A diminuição da força de resistência, nestes casos, se dá de forma gradual, havendo uma deformação progressiva do material situado acima da superfície de ruptura e um movimento em declive deste material até um limite rígido, ou seja, um material de resistência superior à do material mobilizado (Guidicini; Nieble, 1983). Este limite pode ser dado “[...] por uma rocha sã ou por um horizonte do regolito possuidor de maior quantidade de elementos finos, de siltes ou argilas, favorecendo atingir mais rápido o limite de plasticidade e o de fluidez” (Christofoletti, 1980, pág. 29). A velocidade deste movimento é condicionada pela inclinação da superfície de ruptura, da sua causa inicial e da natureza do material do terreno, sendo geralmente mais velozes os deslizamentos que ocorrem em terrenos íngremes e homogêneos (Guidicini; Nieble, 1983).

Os deslizamentos são subdivididos de acordo com seu mecanismo de ruptura, geometria e material que mobilizam (Brasil, 2007) e, para este trabalho, são considerados os deslizamentos rotacionais e planares. Deslizamentos rotacionais são aqueles cuja superfície de ruptura é côncava devido ao movimento rotacional do material rompido conforme desliza para baixo, que faz com que a superfície superior do bloco desmoronado vá inclinando para trás até que o movimento encontre uma camada mais resistente ou o efeito cisalhante da gravidade diminua (através da diminuição da inclinação da encosta, por exemplo).

Caracterizam-se pelo deslocamento de material que gera o aprofundamento do topo da parte da encosta em que o movimento ocorre e projeção da base para fora, podendo atingir edificações e vegetação (Penteado, 1983). Os ambientes mais suscetíveis a este movimento são os de morros e colinas, com topos mais suaves e

encostas menos íngremes, onde é possível encontrar mantos de alteração mais intemperizados e solos mais profundos e homogêneos que permitem este movimento de rotação sem o contato com camadas mais resistentes (Guidicini; Nieble, 1983).

Deslizamentos translacionais possuem superfície de ruptura planar, acompanhando descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas no interior da formação superficial (Fernandes; Amaral, 2019). Este movimento é capaz de transportar grandes massas terrosas, bem como blocos rochosos mais ou menos alterados contidos no perfil de alteração, através de altas velocidades e curtos períodos de duração. Este diferencia-se do deslizamento rotacional pelo ambiente em que ocorre, além da sua extensão, que é geralmente maior que a atingida pelos deslizamentos rotacionais, e pode atingir centenas ou milhares de metros (Guidicini; Nieble, 1983). O deslizamento translacional costuma ser raso e de grande extensão, ocorrendo comumente em ambientes montanhosos ou de morros com encostas mais íngremes, onde o manto de alteração é raso e há contato de uma fina camada de solo/regolito com um material pouco alterado, ou a rocha ainda sã, gerando uma descontinuidade mecânica e hidrológica na formação.

Também com superfície de ruptura definida, as quedas (ou tombamentos) e rolamentos tratam de movimentos rápidos de blocos ou lascas de rochas em queda livre, compreendendo desde quedas isoladas de blocos até o colapso de complexos rochosos inteiros. Estes movimentos são definidos como “[...] uma ação de queda livre a partir de uma elevação, com ausência de superfície de movimentação” em que “[...] blocos de rocha, descolados do maciço por intemperismo, caem por ação da gravidade” (Guidicini; Nieble, 1983, pág. 42). É uma das causas básicas para este tipo de movimento de massa a existência de descontinuidades no maciço rochoso que permitam o isolamento de blocos unitários de rocha (Brasil, 2007) localizados sobre encostas íngremes com afloramentos rochosos ou em cortes de encostas rochosas.

Este descolamento do material pode se dar ao longo de fraturas e juntas da rocha através do tempo por processos de intemperismo químico e físico, por vibrações ou ciclagem térmicas na massa rochosa (Guidicini; Nieble, 1983). Nesse sentido, “[...] planos de diáclases, fraturas, falhas ou superfícies de acamamento” podem condicionar ou ampliar os impactos do deslocamento de blocos (Penteado, 1983, pág. 102). Em certas encostas, blocos rochosos podem ficar intactos no meio da massa mais intemperizada e ficarem expostos em superfícies mais inclinadas por

ação da erosão do material mais fino a sua volta. Com o avanço desta erosão, os blocos podem ficar soltos na superfície e rolar encosta abaixo.

Terrenos desnudos também estão entre os mais suscetíveis aos tombamentos e rolamento de blocos, vista a capacidade da vegetação de evitar o descolamento e formação de blocos únicos (Afonso, 1990 *apud* Luiz, 1992). Terrenos constituídos por rochas graníticas costumam apresentar grande suscetibilidade a este tipo de movimento, graças à sua resistência ao intemperismo e capacidade de formação de grandes blocos rochosos isolados sobre altas declividades (Brasil, 2007). Também há um caso particular de queda de blocos é aquele que ocorre em paredes de voçorocas onde são mobilizados blocos de material terroso (solos/regolitos) em superfícies de ruptura praticamente verticais.

Rastejos são movimentos lentos e contínuos, envolvendo grandes massas de material a se deslocar de milímetros a centímetros ao ano sobre o terreno inclinado (Brasil, 2007), associados a variações cíclicas da poro-pressão do material e geralmente gerados pelo movimento de expansão e contração da formação superficial condicionada a eventos sazonais (como a variação da temperatura e a umidade do solo) ou pelo peso da própria formação, principalmente em materiais argilosos (Luiz, 2003). O rastejo tem como características o movimento a partir de uma deformação plástica, muito lenta, de sólidos viscosos em camadas superiores da formação, transportando o material predominantemente de forma horizontal e em todas as direções e sentidos por uma longa duração de tempo, sem que haja necessariamente uma diferenciação visível entre o material em movimento e o material estacionário (Guidicini; Nieble, 1983).

A velocidade deste processo diminui em profundidade, chegando a zero a poucos centímetros abaixo da superfície (Guidicini; Nieble, 1983). Por se tratarem de movimentos lentos e contínuos sem superfície de ruptura definida, os rastejos são difíceis de perceber na paisagem, mas algumas marcas como árvores, cercas e postes inclinados/encurvados, assim como pequenos terraços ao longo das encostas, ajudam a indicar ambientes com a presença deste tipo de movimento de massa (Penteado, 1983). Terrenos com cobertura de solos residuais e acumulação de tálus são exemplos de locais suscetíveis ao movimento de rastejo no Brasil (Guidicini; Nieble, 1983).

Corridas de detritos, de lama ou de terra são movimentos rápidos em que os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos, normalmente associadas à

“[...] concentração excessiva de fluxos d’água superficiais em algum ponto da encosta e deflagração de um processo de fluxo contínuo de material terroso” (Fernandes; Amaral, 2019, pág. 131). Se configura, portanto, como um movimento de caráter hidrodinâmico, no qual a água é capaz de anular o ângulo de atrito interno da formação, a partir da destruição da estrutura dos grãos/agregados (Guidicini; Nieble, 1983), e romper o limite de fluidez (quantidade de água acima da qual o terreno se comporta como um líquido) do material, que escoar pela vertente (Christofoletti, 1980). São elementos essenciais para a ocorrência de corridas a ação da gravidade, o excesso de água, a inclinação da encosta e a natureza incoerente do material da vertente (Guidicini; Nieble, 1983; Montgomery; Dietrich, 1994; Van Asch; Buma; Van Beek, 1999).

Este tipo de movimento está geralmente relacionado a eventos pluviométricos excepcionais e intensos (Caine, 1980; Blijenberg, 1998 *apud* Van Asch; Buma; Van Beek, 1999; Brasil, 2007) e possui grande capacidade de mobilização e transporte de material, escoando-os por um ou mais canais de drenagem. Nesse sentido, as corridas são alguns dos processos com maior poder destrutivo sobre as ocupações humanas, considerando a rapidez com que acontece, a quantidade de material que transporta (Brasil, 2007) e, ainda, a possibilidade de chegada de todo este material até os rios, que colabora com o processo fluvial pela adição de carga sedimentar e de água (Brasil, 2018).

Diferentes tipos de movimento de massa deixam diferentes marcas na paisagem e, “[...] em geral, a evolução da instabilização das encostas acaba por gerar feições que permitem analisar a possibilidade de ruptura” (Brasil, 2007, pág. 37). Isto quer dizer que as formas produzidas pelos movimentos de massa são informações importantes para entendê-los e classificá-los, bem como perceber ambientes em que estes movimentos têm histórico de ocorrência. Os movimentos de massa deixam formas de cicatrizes nos locais de saída do material e formas de colúvios e talus nos locais de deposição (Fernandes; Amaral, 2019; Penteado, 1983). Os colúvios correspondem a depósitos de materiais pouco selecionados, mais finos e com poucos fragmentos rochosos, geralmente decorrentes de deslizamentos, e os talus são os depósitos com maior presença de blocos rochosos, geralmente decorrentes de tombamento de blocos ou de áreas próximas de depósitos de corridas de detritos (Guidicini; Nieble, 1983).

A morfologia do terreno determina o local de deposição e concentração dos materiais (Fernandes *et al.*, 2001) e, nesse sentido, os sopés de encostas, ambientes onde é comum encontrar ocupações humanas, estão sujeitos a presença de material inconsolidado, com chances de ser movimentado novamente caso algum dos condicionantes citados atue sobre o local (Guidicini; Nieble, 1983).

“As atuais formas do relevo são, assim, o produto de um intenso e longo processo de erosão diferencial que acumulou, ao longo do tempo, grandes volumes de detritos na encosta e em seu sopé. Quando o homem dela se aproxima e aí pretende efetuar qualquer tipo de obra, as massas de detritos, em condições precárias de estabilidade, se movimentam à procura de uma nova condição de equilíbrio” (Guidicini; Nieble, 1983, pág. 36).

Estas áreas de depósitos são impróprias para a ocupação “[...] devido à instabilidade deste tipo de material quando localizadas sobre rocha, quando abaixo de cristas fraturadas e sobre morfologia propícia ao escorregamento” (Afonso, 1990 *apud* Luiz, 1992, pág. 52). É recomendado, nestes casos, que sejam evitados cortes no terreno e que obras de contenção sejam executadas no local e a montante. As áreas com cicatrizes de deslizamento também podem ser perigosas, pois ainda podem ter suas paredes se ajustando ao novo ângulo de inclinação e apresentar fendas de tração a montante de si, o que leva a novas instabilidades.

O conhecimento dos mecanismos e condicionantes dos movimentos de massa permitem uma aproximação dos locais mais suscetíveis a cada uma das suas tipologias, contudo sabe-se que é difícil a previsão exata da ocorrência deste fenômeno (Fernandes *et al.*, 2001). A presença de cortes de encostas e de aterros sobre superfícies muito inclinadas (superfícies livres), modificações antrópicas muito comuns, provoca o aumento da suscetibilidade a este fenômeno nas áreas de ocupação humana, o que pode criar novas áreas perigosas.

3 ÁREA DE ESTUDO

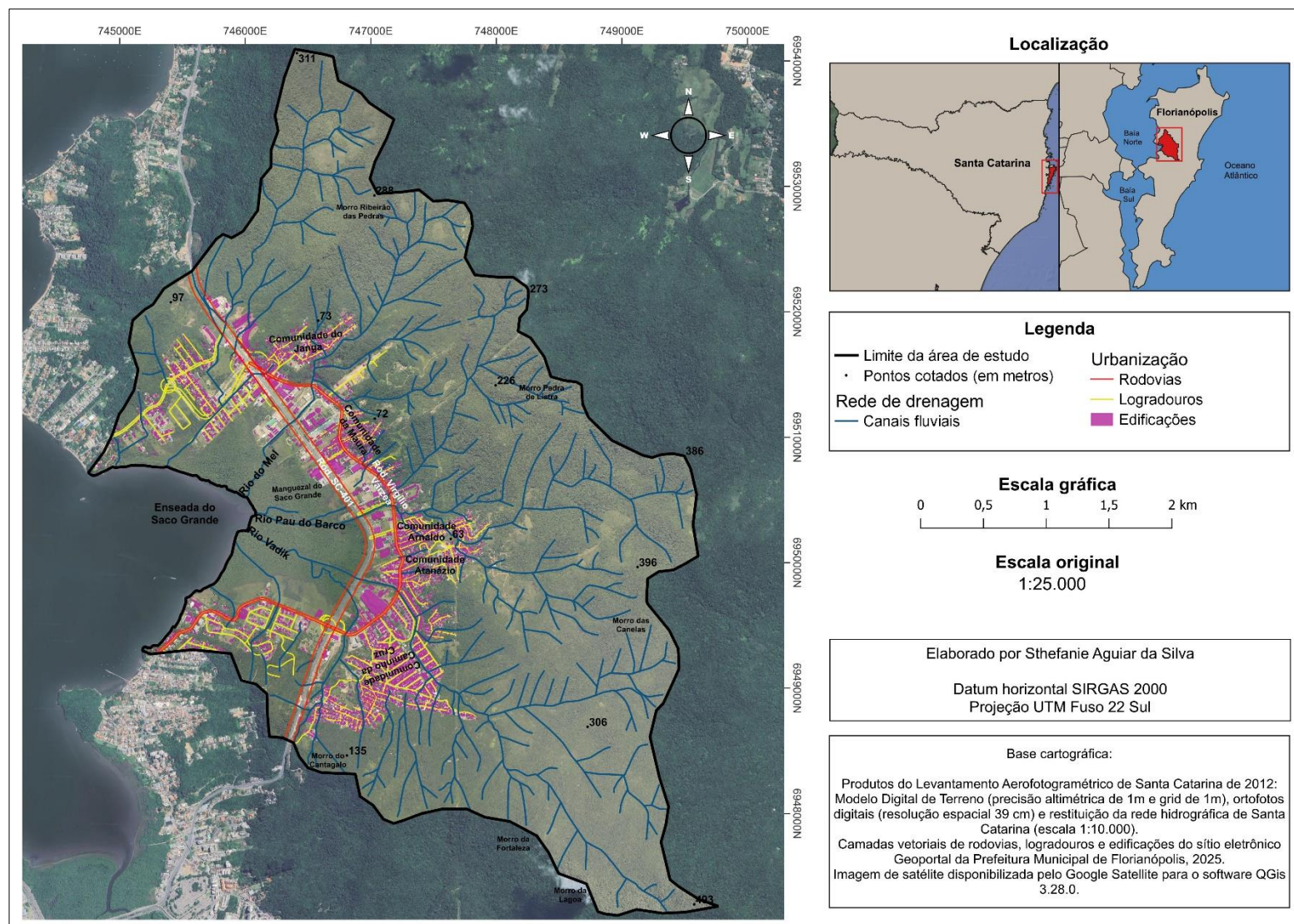
A área de estudo desta pesquisa é o sistema hidrográfico que tem como exultório a enseada do Saco Grande, nas águas da Baía Norte. O bairro Saco Grande no município de Florianópolis/SC ocupa os terrenos deste sistema hidrográfico, que está situado entre as coordenadas UTM 6.954.094 m N, 6.947.262 m N e 749.769 m E, 746.395 m E, englobando as bacias do ribeirão Vadik, do rio do Mel e do rio Pau do Barco, além de outras pequenas bacias, que desaguam em forma de estuário na Baía do Saco Grande, onde sofrem influência das marés. A Figura 4 apresenta a localização da área de estudo.

3.1 ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS DO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE

A área se caracteriza por uma enseada circundada pelas encostas de um maciço cristalino único que faz parte da dorsal que ocorre no centro da ilha de Santa Catarina. Entre a enseada e as encostas, existe um conjunto de terrenos baixos de planícies. Estes terrenos foram modelados por processos de longo tempo subordinados pelo clima e mudanças do nível do mar.

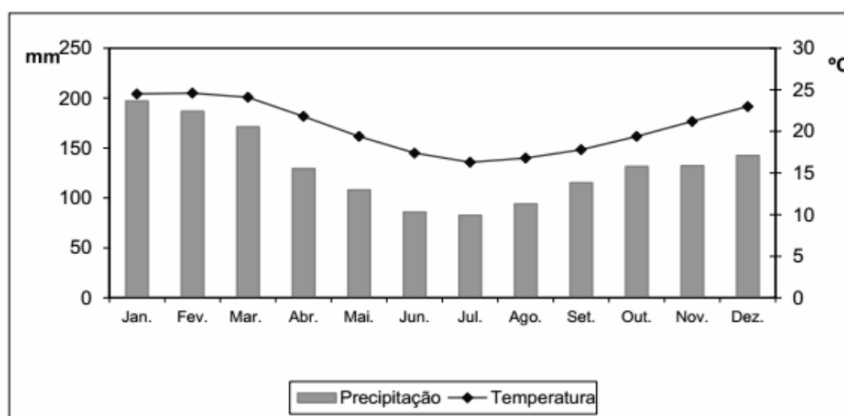
Atualmente, o clima da região onde se encontra o sistema hidrográfico do recorte de estudo é subtropical úmido, do tipo Cfa de acordo com a classificação de Köppen, com ocorrência de verões quentes e invernos amenos e com chuvas bem distribuídas por todo o ano, mas com concentração nos meses de verão e primavera (Monteiro, 2001). A Figura 5 apresenta o climograma do município de Florianópolis, elaborado com dados da Estação meteorológica de São José (SC).

Figura 4 - Localização da área de estudo: Sistema hidrográfico da enseada do Saco Grande, Florianópolis (SC)



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5 - Climograma de Florianópolis (SC)



Fonte: Senna (2014)

A proximidade do litoral possui um importante papel de reguladora térmica na região, além de colaborar com as altas taxas anuais de umidade relativa do ar (Luiz, 1992). De acordo com a Figura 5, o verão tem temperaturas médias em torno dos 25° e os invernos em torno dos 18°, contudo, pode-se ter temperaturas máximas diárias de mais de 30° no verão e de menos de 10° no inverno. Massas tropicais dominam no verão e a incursão de massas frias no outono, inverno e primavera diminuem a temperatura. Em relação ao comportamento das chuvas, estas são mais abundantes na primavera e no verão e diminuem no inverno, em especial nos meses de junho e julho, como visto na Figura 5.

Entre os 18 municípios de diferentes regiões brasileiras analisados no estudo de 1982 de Otto Pfafstetter (Pfafstetter, 1982 *apud* Garcez; Alvarez, 1988), Florianópolis está entre os que apresentaram maior frequência de precipitações de longa duração, com grande participação de chuvas com duração acima de 1 hora e até 6 dias. A maior parte dos episódios de pluviosidade na região está relacionada, em ordem, com a circulação marítima, chegada de frente fria e formação de cavados (Martins, 2021).

O grande maciço cristalino que compõe a área de estudo é constituído em sua maior parte por rochas magmáticas plutônicas da unidade geológica do Granito Ilha, de acordo com o mapeamento executado por Caruso Júnior (1993). A unidade geológica Granito Ilha é constituída por monzogranito a biotita-granito, sienogranitos e leucosienogranitos, de granulação média a grossa (Caruso Júnior, 1993). Estas rochas possuem como minerais essenciais o quartzo, o feldspato alcalino e a biotita, além de minerais acessórios como o zircão, alanita, apatita e minerais e óxidos de

Fe-Ti e minerais secundários como a muscovita, clorita, carbonatos e fluorita (Tomazzoli; Pellerin, 2023).

Na parte sul da área de estudo, há uma porção dos terrenos do maciço constituídas por rochas da unidade Granito Itacorubi, que, segundo Caruso Júnior (1993) é resultado da ocorrência de rochas sub-vulcânicas (granitos) relacionadas à vulcânicas ácidas (riolitos) Suíte Vulcano-Plutônica Cambirela e apresenta “contato com as demais unidades graníticas através de falhamentos, normalmente alinhados na direção NNE e acompanhando os lineamentos materializados pelos diques riolíticos ocorrentes na área” (Caruso Júnior, 1993, pág. 19). Esta unidade é constituída por monzo a sienogranitos, com textura predominantemente fina.

Tomazzoli e Pellerin (2023) mapearam lineamentos estruturais na área de estudo. A maior parte dos lineamentos tem direção nordeste-sudoeste e estão preenchidos por rochas básicas, porém há um extenso lineamento que é preenchido por rochas ácidas. Este lineamento é descontinuado na área das planícies da área de estudo. Existem também outros lineamentos sem preenchimento de mesma direção ou com direções diferentes. Os diques básicos, que compõem a maior parte dos diques encontrados sobre o Granito Ilha na área de estudo é de diabásio de cor escura e possuem espessura variada, enquanto o dique ácido é constituído por dacito de cor cinza médio (Tomazzoli; Pellerin, 2023).

Caruso Júnior (1993) identificou nos terrenos baixos da área de estudo diferentes depósitos de sedimentos, os depósitos transicionais-lagunares do Holoceno e/ou Pleistoceno e depósitos de manguezais do Holoceno. Os depósitos transicionais-lagunares foram formados em ambientes que adquiriram características lagunares temporariamente através dos processos de inundação e erosão dados pela oscilação positiva do nível do mar (transgressão marinha). Como geralmente estes ambientes se dão em cotas mais baixas ou próximos à rede de drenagem, estes têm histórico de alagamentos de longo período no Pleistoceno e no Holoceno (Caruso Júnior, 1993).

Tomazzoli e Pellerin (2023) denominam estes depósitos de flúvio lagunar-lacustre e explicam que eles são constituídos por sedimentos de silte e argila e por areia fina que foram depositados em depressões que correspondem a antigos corpos lagunares ou lacustres. Os depósitos de manguezais são sedimentos recentes criados por sedimentação fina trazida por rios em estuários e por influência de marés, ricos em matéria orgânica (Caruso Júnior, 1993; Tomazzoli; Pellerin, 2023). Esta

deposição ainda está ativa e avança sobre os fundos rasos da enseada do Saco Grande.

Tomazzoli e Pellerin (2023) também mapearam depósitos colúvio-aluvionares na transição das encostas com a planície costeira na área de estudo. Estes materiais são sedimentos mal selecionados com frequente presença de blocos, matacões, seixos e material pelítico-arenoso, resultantes do processo de intemperismo sobre as rochas graníticas das encostas do maciço e transportados pelos processos movimento de massa ou pluvial, formando rampas ou leques no sopé da encosta quando depositados. Estes acabam por suavizar o contato entre as encostas cristalinas e a planície (Luiz, 2004).

O relevo da área de estudo faz parte das unidades geomorfológicas Serras do Leste Catarinense e Planície Costeira, com seus diferentes modelados (Herrmann; Rosa, 1991). As Serras do Leste Catarinense tratam de um conjunto de serras cristalinas subparalelas entre si, predominantemente de disposição Nordeste-Sudoeste. Na região que compreende a ilha de Santa Catarina, este relevo se apresenta mais dissecado, com topos angulosos e encostas íngremes resultantes do intemperismo de rochas granitóides, além de vales mais encaixados e rede de drenagem que segue lineamentos estruturais (Luiz, 2016). Neste ambiente,

“[...] a declividade acentuada determina a ocorrência ocasional e localizada de movimento de massa do tipo solifluxão e deslizamentos, que resultam em cicatrizes de arranque de material e nichos erosivos. O escoamento superficial difuso promove a lavagem do material de menor granulometria e concentra blocos e matacões graníticos ao longo das vertentes / Muitos desses blocos rochosos encontram-se em condições precárias de equilíbrio e se constituem num fator de alto risco para a população que ocupa as áreas adjacentes” (Herrmann; Rosa, 1991, pág. 10).

No recorte de estudo, o modelado de dissecação desta unidade geomorfológica se dá em montanhas, onde são encontrados vales encaixados, interflúvios angulosos ou convexos e encostas com diferentes graus de declividade, sendo geralmente acentuada - entre 30 e 46,6% - na região (Luiz, 1992), além de amplitudes altimétricas frequentemente superiores a 200 metros (Herrmann; Rosa, 1991). Quanto à Planície Costeira, esta foi “[...] construída ao longo de diferentes ciclos de transgressão e regressão marinhas durante o período Quaternário, com retrabalhamento de sedimentos vindos da plataforma e do continente próximo” (Luiz, 2016, pág. 96). Estes sedimentos podem ser de origem marinha, continental, flúvio-marinhas ou lagunares, por exemplo (Luiz, 2016).

Os modelados de acumulação da unidade geomorfológica Planície Costeira

identificados por Herrmann e Rosa em 1991 nos terrenos baixos que rodeiam a enseada do Saco Grande foram a planície flúvio-marinha, a planície de maré e as rampas colúvios-eluviais. As planícies flúvio-marinhas são áreas planas formadas pela associação do processo fluvial ao marinho, sujeita a inundações periódicas (Herrmann; Rosa, 1991). De acordo com Caruso Júnior (1993) e Tomazzoli e Pellerin (2023), estas foram construídas pela colmatação de corpos lagunares/lacustres com a descida do nível do mar. Em função da colmatação destes terrenos, os rios que descem das encostas passaram a escavá-los, construindo as planícies flúvio-marinhas mapeadas por Herrmann e Rosa (1991).

A presença de planície de maré indica um ambiente com as condições propícias para que estas se desenvolvam, ou seja, com baixa declividade do fundo oceânico (que permite que a água salgada ingresse no terreno) e um mar mais calmo (sem ondulações significativas) (Herrmann; Rosa, 1991). A planície de maré abriga grande parte do Manguezal do Saco Grande e é constituída pelos sedimentos de manguezais descrito por Caruso Júnior (1993).

Ainda, nota-se a importância dos ambientes de depósito que marcam a transição entre as duas unidades geomorfológicas da área de estudo. A feição de rampas colúvios-eluvionais é “[...] tipicamente transacional entre as Unidades Geomorfológicas Serras do Leste Catarinense e Planície Costeira” (Herrmann; Rosa, 1991, pág. 14), e são, neste caso, materiais do intemperismo do granito e dos diques deslocados encosta abaixo. Apesar de Herrmann e Rosa (1991) denominarem as rampas como “colúvios-eluvionais”, a construção delas por sedimentos colúvio-aluvionares de acordo com Caruso Júnior (1993) (depósitos de encosta) e com Tomazzoli e Pellerin (2023) (depósitos colúvio-aluvionares) faz com que a denominação mais adequada para elas seja “rampas colúvio-aluvionares”.

Também são encontrados na área, principalmente sobre suas encostas, alguns modelados de antropismo, como aterros e desmontes, algo percebido desde o início da década de 1980 de acordo com o mapeamento de Herrmann e Rosa (1991). Durante a implantação da rodovia SC-401, algumas encostas a montante foram desmontadas para a geração de aterro, dando origem a grandes movimentações de terra com extensos cortes de encosta, onde afloram vários blocos e matacões. Atualmente, estas encostas foram urbanizadas de forma irregular e sem planejamento, dando origem aos núcleos barreira do Janga e barreira da Cláudia. O termo barreira era empregado pelos moradores na época para se referir as grandes

áreas de onde saiu material para aterro.

A rede hidrográfica que disseca as encostas cristalinas e os modelados de acumulação da área de estudo é constituída por pequenos cursos d'água independentes que desaguam diretamente no mar na enseada do Saco Grande. Destes rios, três se destacam por terem bacias hidrográficas mais amplas, o ribeirão Vadik, o rio Pau do Barco e o rio do Mel. Nas encostas, os vales são geralmente encaixados e muitas vezes seguem os lineamentos estruturais, nas rampas colúvio-aluvionares e nas planícies são mais sinuosos e pouco escavados, apesar de terem sofrido grandes modificações nestas feições de relevo. As modificações são desvios e retificações de leitos e aterros de suas planícies ao longo das últimas décadas. No início da década de 1990, Luiz (1992) já comentava sobre esta questão, contudo, as modificações se intensificaram muito desde então.

Nas áreas graníticas de relevo acidentado da área, encontra-se solo do tipo Argissolo Vermelho Amarelo, de profundidade média a alta, com horizonte A moderado e presença de B textural de coloração vermelho-amarelada e textura média a argilosa, podendo ou não possuir grãos de tamanho cascalho em sua composição. Estes são solos de fertilidade natural baixa, em contraste com os solos do tipo Argissolo Vermelho Escuro que se desenvolvem nas áreas de lineamentos preenchidos por diques de diabásio, os quais apresentam também horizonte B textural e textura mais argilosa (Sommer; Rosatelli, 1991; Luiz, 1992). Contudo, apesar do mapeamento de Sommer e Rosatelli (1991) não mostrar, há nas encostas da área de estudo, solos bem menos desenvolvidos, como Cambissolos e Neossolos Litólicos, como vistos em visitas a campo. Inclusive, é comum a presença de muitos afloramentos rochosos *in situ*.

Na planície, são encontrados solos do tipo Gleissolo Eutrófico de textura siltosa e Gleissolos Tiomórficos (Sommer; Rosatelli, 1991; Luiz, 1992). O primeiro trata de um tipo de solo hidromórfico, com redução de óxidos de ferro e baixa capacidade de drenagem, enquanto o segundo trata de solo halomórfico, alagado, com alto teor de sais, enxofre e material de decomposição de matéria orgânica, o qual compõe o substrato do ecossistema do Manguezal do Saco Grande.

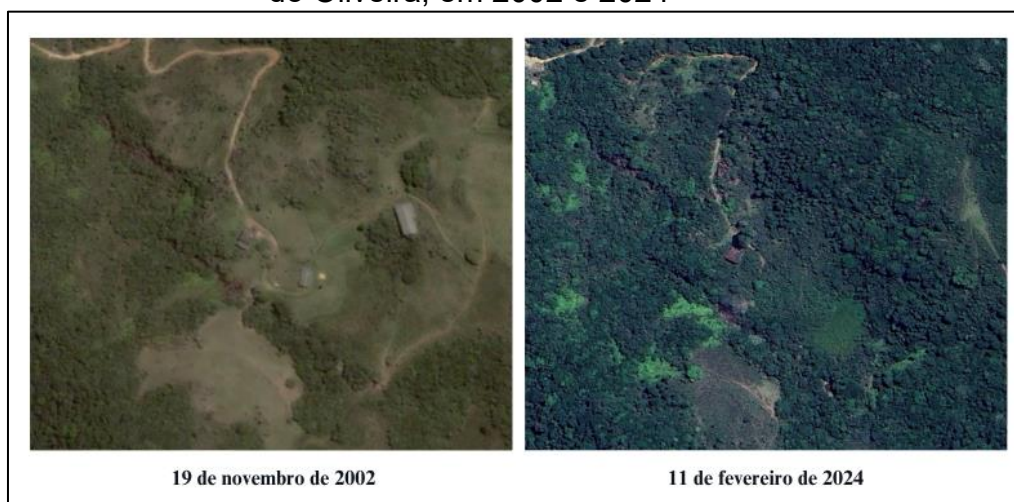
Quanto à vegetação na área de estudo, são encontrados diferentes estágios de regeneração da floresta ombrófila densa em vegetação pioneira, capoeirinha (arbustos), capoeira (arbustos e árvores) e capoeirão (árvores com lianas e epífitas), principalmente seguindo as encostas do bairro, tendo sido o capoeirão o estágio que

recobriu maior parte das encostas cristalinas nos seus segmentos intermediários e mais altos durante a época de mapeamentos como o de Coura Neto e Klein (1991) e Luiz (1992). Os ambientes de rampas colúvio-aluvionares são onde a maior parte da vegetação já foi substituída por ocupações antrópicas, como edifícios e rodovias. Sobre o modelado de planícies flúvio-marinhas se encontram gramíneas e edificações humanas, enquanto sobre os modelados de planície de maré se apresenta uma vegetação particular, o manguezal (Coura Neto; Klein, 1991).

De acordo com o mapa interativo disponível pelo Banco de Dados e Informações Ambientais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (IBGE, 2024), o sistema hidrográfico é coberto por: formação pioneira com influência fluviomarinha arbórea na área do Manguezal do Saco Grande; áreas antrópicas predominantes no restante da planície e nas rampas colúvio-aluvionares da área, principalmente próximos das rodovias SC-401 e Virgílio Várzea, originalmente compostas por Floresta Ombrófila Densa e atualmente com grande influência urbana; e vegetação secundária e pioneira de Floresta Ombrófila Densa nas encostas.

Ainda, foi percebido através das visitas em campo e da análise de fotografias históricas da área de estudo que o uso do solo passou por várias modificações nos últimos anos. Notam-se fenômenos como: o aumento da antropização de áreas para a ocupação urbana; a diminuição de uso do solo para a prática agrícola, permitindo o avanço do estágio de regeneração, inclusive para matas secundárias; e a substituição de áreas de planície anteriormente cobertas de reflorestamento por *pinus* e eucaliptos para usos urbanos. A Figura 6 apresenta o comparativo das imagens de satélite de 2002 e 2024 para as encostas próximas à rua Rancho do Oliveira, na Comunidade Atanázio, onde é notável a regeneração da vegetação às margens de onde corre um rio.

Figura 6 – Comparativo de imagens históricas das encostas próximo à rua Rancho do Oliveira, em 2002 e 2024



Fonte: Imagens de satélite disponibilizadas pelo *Software Google Earth Pro* (2024)

Ainda, o comparativo das imagens históricas de 2003 e 2024 para parte da Comunidade da Maura, próximo da Rodovia Virgílio Várzea, mostram um adensamento das ocupações urbanas subindo as encostas, principalmente pela Rua da Pedra do Balão, o que também foi percebido nas visitas em campo. Como nota-se na Figura 7, esta ocupação é responsável pela supressão de vegetação em regeneração nas encostas da área de estudo, podendo contribuir para a sua instabilidade. Este adensamento tem se intensificado por todas as encostas da área e promovido, além da supressão vegetal, problemas como a impermeabilização do terreno, a contaminação de recursos hídricos e a criação de novos cortes de encosta.

Figura 7 – Comparativo de imagens históricas das encostas da Comunidade Morro da Maura, em 2003 e 2024



Fonte: Imagens de satélite disponibilizadas pelo *Software Google Earth Pro* (2024)

3.2 ASPECTOS DA OCUPAÇÃO HUMANA SOBRE O SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE

O histórico de ocupação do Saco Grande se dá como reflexo do histórico de ocupação de Florianópolis, e, por se localizar entre as regiões central e Norte, torna-se ponto estratégico de ocupação para o município desde as ocupações açorianas que chegaram à Ilha no séc. XVIII (Luiz, 1992). Do início do Séc. XX até antes dos anos 1960, a ocupação na área possuía características rurais, com chácaras para a agricultura de subsistência e do café, que foi se transformando conforme se expandiram os usos comerciais da área central do município (Luiz, 1992). Na obra “Santa Catarina, a Ilha”, escrita por Virgílio Várzea em 1900, a área aparece como pouco farta de culturas, ocupada mais por comerciantes (pombeiros) do que agricultores, mas com uma produção importante de cana e café (Várzea, 1985). Esta produção, juntamente com outras plantações como de milho, feijão e mandioca nas encostas da área, além de pastagens e criação de gado e galinhas nas planícies, é vista até por volta dos anos 1960 (Luiz, 1992).

Neste período, a ocupação urbana se restringia ao longo da Rodovia Virgílio Várzea, a principal via do bairro, mas observam-se outras marcas de antropização da paisagem, como as encostas em estado vegetativo de regeneração (capoeira, capoeirinha e capoeirão) graças ao desmatamento realizado para o plantio. Em 1969, durante um período desenvolvimentista nacional que reflete no município de Florianópolis, o bairro é marcado por uma mudança significativa: a implantação da Rodovia SC-401, que liga o centro ao Norte da Ilha. Além de tornar-se um atrativo para a instalação de ocupações humanas na área, a rodovia gerou impactos de descaracterização do manguezal na região durante tentativas mal sucedidas da sua instalação (Luiz, 1992).

A partir de 1978, já se percebe uma mancha de urbanização bem maior na área de estudo, principalmente ao longo das suas rodovias principais, já iniciando um processo de urbanização das encostas e de criação de servidões que sobem as mesmas (Luiz, 1992). Esta ocupação é reflexo do movimento de transição para uma Florianópolis mais voltada para o serviço e turismo, com um crescimento populacional impulsionado pela migração de populações de regiões próximas para a capital. A população que ocupa a área passa a ter maior participação de trabalhadores de outras regiões da Ilha, como aqueles que trabalham na região central, e menos

daqueles que trabalham em suas propriedades locais com atividades agropecuárias (Luiz, 1992).

É a partir dos anos 1980, no entanto, que o bairro começa a passar por mais transformações na sua ocupação e uso do solo, principalmente dada pela migração rural-urbana na região de Florianópolis e consequente demanda de terras mais baratas pela população que chegava ao município. Estes novos moradores, além de ocupar áreas irregulares e introduzir modificações ao meio físico, desconhecem a dinâmica natural e local e, consequentemente, se colocam em situação de risco (Luiz, 1992; Senna, 2014). Neste período de ocupação, são desmembrados e ocupados diversos terrenos clandestinos, sobre antigas áreas de preservação de acordo com o Planejamento Urbano de Florianópolis da época (Luiz, 1992). A partir daí, a ocupação do bairro cresce rapidamente, com mais moradias subindo as encostas e empresas se instalando na planície, reflexo de um crescimento de Florianópolis para além da sua região central e expansão para a região Norte da Ilha e de um maior fluxo migratório para o município (Luiz, 1992).

Empresas também são atraídas a ocupar a área de estudo, principalmente na sua área plana próxima das rodovias que dão acesso ao centro e Norte da Ilha, a partir do fim dos anos 1980. Inicialmente, se instalaram nas áreas baixas da área empresas com grande diversidade de produções de bens, como de fabricação de móveis, madeireiras, metalúrgicas, vidraçarias e outros, e serviços, como transporte coletivo urbano, restaurantes e supermercados (Luiz, 1992).

Atualmente, são encontradas ocupações humanas sobre áreas definidas como de preservação com uso limitado de acordo com a revisão do Plano Diretor de Florianópolis de 2014, principalmente em áreas classificados como APL-E, Área de Preservação com Uso Limitado de Encosta, com declividades entre 30 e 46,6%, além de áreas acima da cota 100 que ainda não estejam classificadas dentro de uma APP (Área de Preservação Permanente). Também são encontradas edificações sobre Área de Preservação com Uso Limitado de Planície (APL-P), que

[...] são formadas pelas planícies que se caracterizam por serem formadas por depósitos sedimentares predominantemente arenosos e areno-argilosos oriundos de ambientes marinhos, lacustres, eólicos, fluviais, leques aluviais, e colúvio-eluviais, intrinsecamente relacionados às variações do nível marinho ocorridas durante o Quaternário; encontrarem-se localizadas geralmente no entorno imediato das Áreas de Preservação e funcionando como áreas de proteção das unidades de conservação, muitas vezes cobertas por vegetação tipo Floresta Atlântica e/ou de Restinga em estágios médio e avançado de regeneração; configurarem regiões com uso do solo multifuncional, de baixa ocupação e que apresenta ainda características

rurais, onde corredores ecológicos e usos agrários estão mesclados com usos urbanos rarefeitos compatíveis com o entorno natural (Florianópolis, 2014, pág. 22).

Como notado nas visitas em campo e análise de fotografias históricas, a ocupação urbana tem se estendido cada vez mais para montante, subindo as encostas, e tem se instalado sobre áreas cada vez mais íngremes e de solos mais rasos (como no exemplo da Figura 8), criando novos cortes de encosta e/ou removendo os materiais de solo/regolito, inclusive expondo blocos rochosos, que podem ser perigosos.

Figura 8 – Ocupações recentes nas encostas laterais da rua Mané Vicente



Fonte: A autora, 2024

A ocupação das encostas se dá por abertura de arruamentos irregulares (servidões), com instalação de edificações para moradias. O parcelamento do solo é, em geral, também irregular e consiste de lotes abaixo dos padrões previstos no zoneamento do plano diretor. A ocupação destas áreas é de residências uni ou multifamiliares e arruamentos constituídos por paralelepípedo e/ou calçamento, com pouca participação de comércio, serviços ou atividades agrícolas. A população ali instalada é, geralmente, de baixa renda e possui pouco conhecimento da dinâmica local.

As áreas ocupadas sobre as encostas constituem hoje algumas das comunidades mais povoadas e importantes da área de estudo, como a Comunidade da Maura, Morro do Caju e Caminho da Cruz, vistas, respectivamente, nas Figuras 9, 10 e 11 a partir da rodovia SC-401.

Figura 9 – Vista da comunidade da Maura a partir da Rod. SC-401



Em primeiro plano, nota-se a SC-401 e algumas das ocupações sobre as formas de acumulação da área. Em segundo plano, está a Comunidade da Maura subindo as encostas íngremes.

Fonte: Edna Lindaura Luiz, 2025

Figura 10 – Vista do Morro do Caju a partir da Rod. SC-401



Em primeiro plano, nota-se a SC-401 e algumas das ocupações sobre as formas de acumulação da área. Ao fundo, está a comunidade do Morro do Caju subindo as encostas íngremes.
Fonte: Edna Lindaura Luiz, 2025

Figura 11 – Vista do Caminho da Cruz a partir da Rod. SC-401



Em primeiro plano, estão alguns dos empreendimentos que ocupam as formas de acumulação da área. Ao fundo, está a comunidade Caminho da Cruz subindo as encostas íngremes.
Fonte: Edna Lindaura Luiz, 2025

Motivada pelos baixos preços dos terrenos íngremes das encostas, a população ocupa áreas sujeitas a ameaças do meio físico, como enxurradas, fluxos torrenciais de rios e movimentos de massa, por exemplo. Em boa parte da área ocupada são encontrados blocos de rocha resultantes do intemperismo do granito que, dependendo da sua situação e localização, podem significar ameaças às ocupações próximas. Nas áreas planas, onde se concentra a maior parte das empresas e prestadoras de serviço, a ocupação foi responsável por grande supressão vegetal e impermeabilização dos solos, que acelera os processos morfogenéticos (Luiz, 1992) e colabora para a ocorrência de inundações e alagamentos.

A Figura 12, capturada a partir de uma encosta lateral à rua Mané Vicente, apresenta a visão de Sul para Norte da área de estudo e mostra a predominância de ocupações residenciais em primeiro plano na foto e nas encostas por toda a extensão da área de estudo. Ao fundo, na foto, é possível observar o processo de verticalização, a partir da construção de prédios para uso residencial e de comércio, principalmente nos terrenos mais baixos junto às duas rodovias do bairro. São nestes terrenos mais baixos que se percebe, na Figura 12 e anteriores (9, 10 e 11), a maior participação de edificações para comércio e serviços, enquanto as encostas concentram as residências uni ou multifamiliares.

Figura 12 – Vista do Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande a partir de encosta na rua Mané Vicente



Fonte: A autora, 2024

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os passos para o cumprimento dos objetivos desta pesquisa podem ser divididos em duas etapas principais: 1) a elaboração de um mapa geomorfológico de detalhe da área de estudo; 2) a identificação e análise das ameaças do meio físico-natural sobre cada compartimento mapeado na primeira etapa. Os materiais e métodos definidos para cada etapa são descritos neste item.

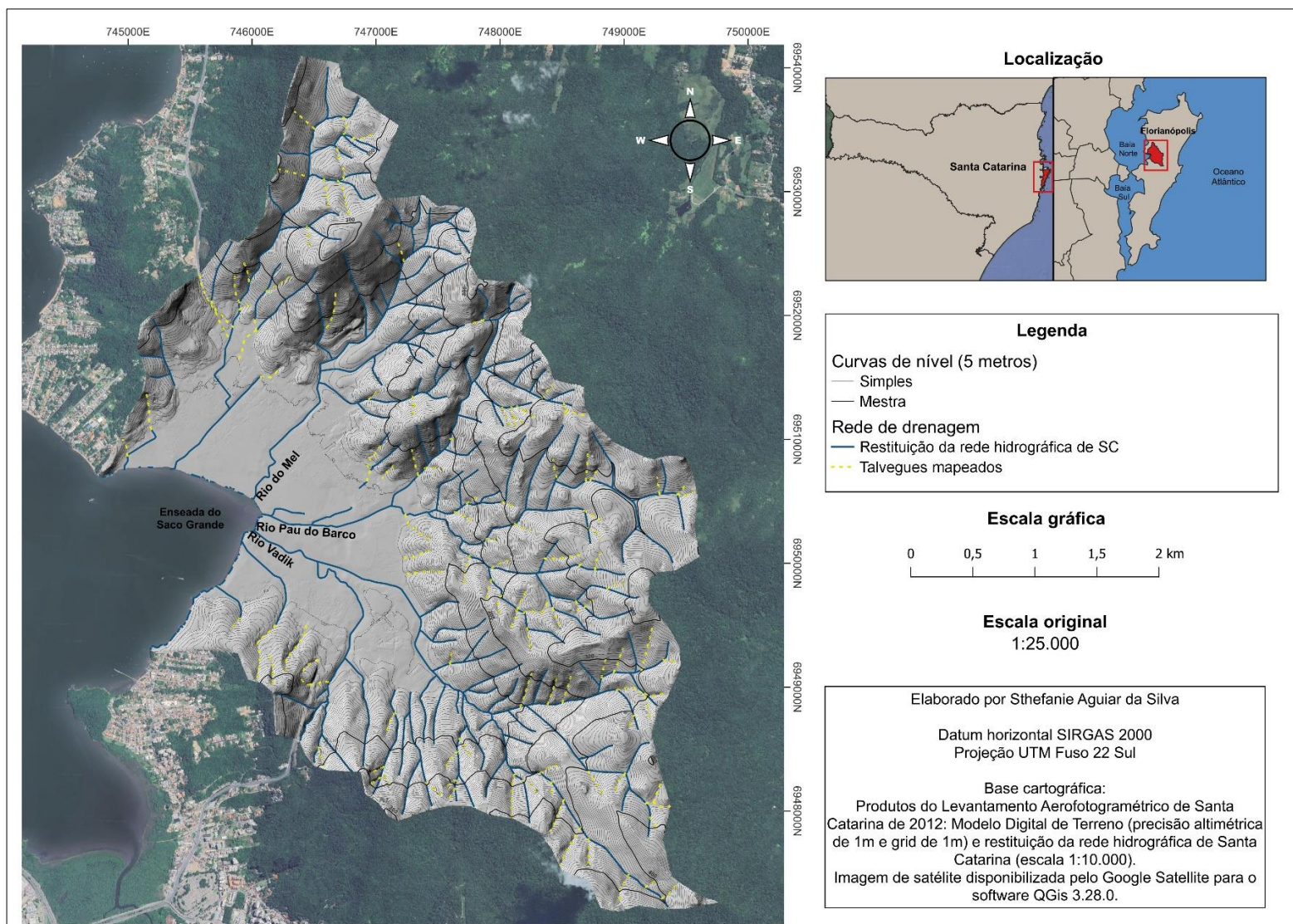
4.1 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE DETALHE

A base cartográfica do mapeamento geomorfológico da área de estudo consistiu nos seguintes produtos do Levantamento Aerofotogramétrico de Santa Catarina de 2012: Modelo Digital de Terreno (MDT) com precisão altimétrica de 1 m e grid com resolução espacial de 1 m; ortofotos digitais com 39 cm de resolução espacial e restituição da rede hidrográfica de Santa Catarina, na escala 1:10.000. Estes materiais foram obtidos junto ao sítio eletrônico do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC).

A partir do MDT, foram produzidos em ambiente SIG (programa QGis 3.28.0) o relevo sombreado e camadas vetoriais com curvas de nível com equidistância de 1 m e 5m da área de estudo, os quais serviram como materiais auxiliares na interpretação do relevo. As ortofotos já estavam mosacaidas e georreferenciadas, o que permitiu utilizá-las como base para o mapeamento das formas de relevo. A rede hidrográfica foi corrigida e complementada a partir de interpretação visual das ortofotos, das curvas de nível e do relevo sombreado, além de visitas a campo, em especial para os terrenos de baixada, onde há muitas modificações antrópicas.

A Figura 13 apresenta o resultado da correção e adensamento da rede hidrográfica, onde as linhas azuis representam a restituição da rede hidrográfica de Santa Catarina de 2012 e as linhas pontilhadas amarelas são os talvegues identificados através da interpretação visual e visitas em campo.

Figura 13 – Correção e adensamento da rede hidrográfica a partir de interpretação visual e visitas em campo



Fonte: Elaborado pela autora

Em virtude das significativas modificações causadas pela urbanização dos terrenos de baixada e do sopé das encostas, foram utilizadas fotografias aéreas de diferentes levantamentos aerofotogramétricos: Fotografias aéreas de 1938 (escala 1:20.000), de 1978 (escala 1:25.000) e de 1994 (escala 1:25.000), cedidas pela Prefeitura Municipal de Florianópolis. Com estas fotografias georreferenciadas, foi possível conhecer as feições originais do relevo e da rede de drenagem.

Desta forma, os terrenos de baixada, onde predominam os processos de sedimentação, foram mapeados no QGis através de interpretação visual das ortofotos de 2012 e das fotografias aéreas antigas, bem como com auxílio do relevo sombreado e das curvas de nível. Também foram utilizados como material de apoio os mapeamentos geológicos de Caruso Júnior (1993), escala 1:100.000, e de Tomazzoli e Pellerin (2023), escala 1:50.000, e o mapeamento geomorfológico de Cruz (1998), na escala 1:100.000.

As formas da baixada foram delimitadas para uma escala 1:25.000, em relação aos seus contornos, geometria, tamanho, altitudes, relações de contiguidade ou não com as feições a sua volta e com a rede drenagem e materiais constituintes (uso dos mapeamentos geológicos citados). Reconhecimentos de campo para conferência do mapeamento e também para verificação dos materiais constituintes foram realizados. Estes últimos foram observados nas margens dos canais de drenagem e rios e a partir de cortes e escavações nos terrenos.

As formas de relevo dos terrenos de baixada foram classificadas de acordo com sua gênese, materiais constituintes e conjunto de processos modeladores passados e atuais. As alterações antrópicas de cortes, movimentações de terra (retirada de material de empréstimo) e aterros foram identificadas em campo e também nas ortofotos e fotografias aéreas, especialmente no sopé das encostas e áreas mais interiores da baixada. Aquelas modificações significativas para aparecer na escala 1:25.000 foram deixadas sobrepostas como hachuras aos polígonos das formas de relevo originais.

As formas de relevo presentes nas encostas do maciço cristalino do Saco Grande, que circunda os terrenos de baixada e a enseada, foram definidas

através da aplicação do Índice de Posição Topográfica (IPT) proposto por Weiss (2001) que é derivado de um algoritmo que mensura a diferença entre a elevação de um ponto central e a média da elevação do seu entorno a partir de um raio predeterminado, obtido através do Modelo Digital de Terreno (MDT), do levantamento aerofotogramétrico de 2012 para a escala 1:25.000. Esta etapa foi realizada em ambiente SIG (ArcGis 10.8).

A análise de vizinhança pode ser feita por uma janela circular (empregada no presente trabalho), anular (proposta original), retangular ou irregular. Os valores positivos obtidos pelo IPT representam locais que são mais elevados que a média do seu entorno, caracterizando, por exemplo, as cristas. Os valores negativos, por sua vez, representam os locais mais rebaixados em relação à sua vizinhança, caracterizando vales ou depressões. Já os valores próximos a zero obtidos pelo IPT representam as superfícies de declive constante, destacando-se as áreas planas.

Wilson e Gallant (2000) apresentando a mesma equação, definem o cálculo como "Diferença da Elevação Média". Weiss (2001), entretanto, propõe uma discretização a partir do valor de desvio padrão da matriz resultante para a determinação de classes morfológicas. A classificação considera o particionamento e combinação de duas matrizes do IPT com variação no tamanho do raio de análise de vizinhança: uma de mais detalhe e outra mais generalizada, resultando em até 10 distintas formas de relevo (Quadro 2). A designação originalmente proposta foi adaptada para as feições de relevo presentes na área de estudo de acordo com o conhecimento de campo e o comportamento das curvas de nível e da rede de drenagem.

Quadro 2 - Parâmetros combinatórios do IPT detalhado e generalizado para classificação das formas de relevo

Formas de relevo	Parâmetros	
Vales abertos	IPT detalhado	≤ -1 desvio padrão
	IPT generalizado	≤ -1 desvio padrão
Ombreiras e divisores de água	IPT detalhado	-1 desvio padrão e 1 desvio padrão
	IPT generalizado	≤ -1 desvio padrão
Vales encaixados	IPT detalhado	≥ 1 desvio padrão / declividade ≥ 8
	IPT generalizado	≤ -1 desvio padrão
Segmentos de encosta convexas	IPT detalhado	≤ -1 desvio padrão
	IPT generalizado	-1 desvio padrão e 1 desvio padrão
Segmentos intermediários	IPT detalhado	-1 desvio padrão e 1 desvio padrão / declividade ≥ 8

	IPT generalizado	- 1 desvio padrão e 1 desvio padrão / declividade ≥ 8
Encostas retilíneas-convexas	IPT detalhado	≥ 1 desvio padrão
	IPT generalizado	- 1 desvio padrão e 1 desvio padrão

Fonte: Elaborado pela autora

Os vales abertos e encaixados representam segmentos côncavos (valores negativos), enquanto os segmentos de encosta convexas, ombreiras e divisores de água representam áreas majoritariamente convexas (valores positivos). Os segmentos intermediários e retilíneos-convexos apresentam variações nos valores, mas, no geral, tratam de áreas retas (valores próximos a 0) ou convexas (valores positivos). Os segmentos intermediários, no entanto, são cortados por diversas zonas côncavas referentes aos talwegues dos rios.

Como o IPT é diretamente afetado pelo fator de escala (ou seja, da análise de vizinhança para o cálculo da elevação média), os valores resultantes do índice variam de acordo com os valores de raio adotados. A etapa de definição do raio de análise de vizinhança, portanto, foi definida analisando o tamanho médio das encostas sobre o MDT, onde o raio de detalhe foi definido como sendo de 430 m e o raio generalizado como sendo de 1.730 m. Após a classificação automática ser realizada e renomeada para a realidade da área de estudos, ela foi validada a partir do mapeamento de relevo de Herrmann e Rosa (1991), escala 1:50.000, bem como pelo conhecimento de campo.

Por fim, o mapa geomorfológico da área de estudo foi montado reunindo as formas de relevo obtidas pelos dois métodos de trabalho: interpretação visual de fotografias e ortofotos e classificação semi-automática utilizando o método IPT. O mapa apresenta formas de relevo em polígonos na escala 1:25.000, divididas em modelados de dissecação e de acumulação. Elas foram organizadas a partir de seus materiais constituintes, altitudes, relações de contiguidade e idade relativa.

As cores adotadas para cada compartimento foram escolhidas de acordo com o que é geralmente apresentado em mapeamentos geomorfológicos do IBGE. Foram utilizados tons de amarelo e laranja para áreas de sedimentação, tons de verde oliváceo para as áreas em que esta sedimentação é mais lamosa e tons de marrom para as áreas altas que são erodidas. A tonalidade de cada uma das cores foi usada como forma de indicar a cronologia dos compartimentos, sendo mais clara conforme mais recente é a formação.

4.2 IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS AMEAÇAS DO MEIO FÍSICO-NATURAL

Considerando os compartimentos mapeados, a revisão de literatura sobre os processos comuns a cada um destes compartimentos e o conhecimento de campo, foram definidas etapas para identificar: 1) afloramentos de blocos rochosos, que podem ser perigosos para tombamento/rolamento; 2) trechos de arruamentos suscetíveis a enxurradas e/ou fluxo torrencial de rios; 3) zonas saturadas, que podem indicar áreas suscetíveis para alagamentos, inundações, enxurradas, fluxo torrencial de rios e deslizamentos.

Os afloramentos de blocos rochosos foram identificados e registrados através de visitas em campo realizadas durante a execução desta pesquisa e focadas nas comunidades que sobem as encostas íngremes da área de estudo, onde há maior quantidade de blocos expostos (seja naturalmente ou pela existência de cortes de encosta ou movimentação antrópica de material) que podem ser perigosos.

Cada afloramento identificado teve suas coordenadas geográficas anotadas, para posterior georreferenciamento em forma de pontos sobre os produtos cartográficos gerados nesta pesquisa. Também foram registradas fotos e descritas informações sobre a situação (*in situ* ou deslocado), tamanho dos blocos, tipo de ocorrência, proximidade de ocupações humanas e sinais de antropismo. Os afloramentos foram considerados perigosos de acordo com o seu tamanho (mais perigoso quanto maior o bloco), existência de faces livres e/ou fissuras, material que os recobre (mais perigoso quanto mais fino) e proximidade de estruturas humanas (como residências e arruamentos).

Para identificar áreas suscetíveis aos fenômenos de enxurradas ou fluxo torrencial de rios, foi analisada a posição da camada vetorial de logradouros da área de estudo, disponibilizada pelo sítio eletrônico Geoportal da Prefeitura Municipal de Florianópolis, sobre o *raster* de acúmulo de fluxo. O acúmulo de fluxo (*flow accumulation*) foi gerado a partir do processamento do MDT da área de estudo na ferramenta “*r.flow*”, disponibilizada pelo complemento GRASS 7 para o *software* QGis 3.28.0. Esta ferramenta analisa a quantidade de pixels

que contribuem para o acúmulo de fluxo em determinado ponto, definindo, portanto, o tamanho da área de contribuição para cada célula em m^2 .

Sobrepondo a camada de logradouros (trechos de arruamentos) sobre o resultado do acúmulo de fluxo, foram traçadas linhas sobre os trechos em que o fluxo acumula sobre estas obras antrópicas. Em relação aos fenômenos de fluxo torrencial, foram mapeados trechos de arruamentos com linhas de fluxo juntos da margem ou atravessando o rio. Quando as linhas de fluxo não estavam relacionadas ao trabalho dos rios, mas aos processos de encosta, foram consideradas como áreas suscetíveis a enxurradas.

Por fim, para a identificação de zonas saturadas foi aplicado o modelo de saturação de O'Loughlin (1986). Este modelo depende de dados topográficos da bacia hidrográfica, que são a área de contribuição (a/b) e a declividade ($\text{seno } \Theta$), bem como os valores de transmissividade do solo (T) e de precipitação (q).

A área de contribuição (a/b) foi definida através da geração do *raster* de acúmulo de fluxo (*r.flow*) a partir do MDT da área de estudo. Este resultado deve ser, ainda, dividido pela área do pixel do MDT. Como o MDT utilizado tem resolução espacial de 1 m, esta divisão não foi necessária.

Para gerar os valores de $\text{sen } \Theta$, foi necessário, inicialmente, gerar uma camada *raster* de declividade em graus a partir do MDT, o que foi feito através da ferramenta "Declividade" do QGis 3.28.0. Esta camada teve o seu seno calculado através da Calculadora *Raster* do *software* QGis, selecionando a expressão "*sin*" disponível nesta ferramenta.

A transmissividade do solo (T) é o produto da condutividade hidráulica do material (K) e a espessura da camada (b). Para este trabalho, foram divididas as áreas sedimentares das cristalinas, vistas as suas diferentes condutividades hidráulicas e espessuras. O limite da área sedimentar foi definido a partir da soma dos polígonos de formas de acumulação identificados no mapeamento geomorfológico.

O valor de K para as áreas cristalinas foi retirado do trabalho de Oliveira, Bim e Espíndola (2012), que analisou este e outros parâmetros em uma cicatriz de deslizamento na SC-401, em área próxima do recorte de estudo e formada por solo residual de granito. O valor de K obtido neste estudo foi de $3,1 \times 10^{-5}$ cm/s que foi convertido para m/dia para a aplicação no cálculo, resultando em

0,26784 m/dia. A profundidade dos solos das áreas cristalinas foi considerada como 5 m, resultando, portanto, na transmissividade de 1,339m²/dia.

Para a área sedimentar o valor de K foi obtido a partir do trabalho de Salgueiro (2005), que analisou este e outros parâmetros em áreas de sedimentos sílico-argilo-arenosos de lagunas e baías no sudoeste da ilha de Santa Catarina. A condutividade hidráulica média obtida pelo autor foi de $1,1 \times 10^{-3}$, que, convertido para m/dia, resultou em 0,9504 m/dia. Como a área sedimentar do recorte de estudo possui o lençol freático muito próximo da superfície, a profundidade considerada foi de apenas 1 metro, gerando, portanto, o valor de transmissividade de 0,9504 m²/dia.

Para o valor de precipitação (q) foram definidos dois cenários diferentes: o primeiro, de 100 mm de chuva por dia, valor que foi obtido com base em Herrmann (1998) por estar acima da precipitação necessária para causar episódios de escorregamentos em ambiente tropical úmido (que é de 80 mm, de acordo com a autora); o segundo, de 251 mm/dia foi obtido através do registro do volume de chuva em 24 horas no bairro Santo Antônio de Lisboa², região norte da ilha de Santa Catarina, no dia 16 de janeiro de 2025. Neste episódio de chuva, foram registrados diversos fenômenos de enxurradas e fluxo torrencial de rios no recorte de estudo.

Os valores obtidos foram inseridos na fórmula que calcula o índice de saturação (W) do terreno, proposta por O'Loughlin (1986), sendo:

$$W = q/T.(a/b)/\text{sen}\Theta$$

Onde:

q = valor da precipitação

T = valor da transmissividade do solo

(a/b) = *flow accumulation*/pixel

sen Θ = valor extraído da ferramenta *Sin*

² Valor registrado pela Defesa Civil de Florianópolis (SC) e publicado em notícia acessada em: NSC TOTAL. **Florianópolis declara situação de emergência após chuva intensa, alagamentos e dia caótico**. 2025. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/florianopolis-declara-situacao-de-emergencia-apos-chuva-intensa-alagamentos-e-dia-caotico>>. Acesso em: 02 fev. 2025.

Esta fórmula foi aplicada através da ferramenta Calculadora *Raster* do software QGis, utilizando os dois cenários de precipitação e os diferentes valores de transmissividade para cada setor (sedimentar ou cristalino). As camadas *raster* resultantes da aplicação deste cálculo foram reclassificadas em três classes, através da ferramenta “Reclassificar por tabela”, sendo: 1) W com valores entre 0 e 0,5; 2) W com valores entre 0,5 e 1,0 e 3) W com valores acima de 1,0. A terceira classe se refere a áreas saturadas, em que resultado do índice de saturação (W) é maior do que 1,0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

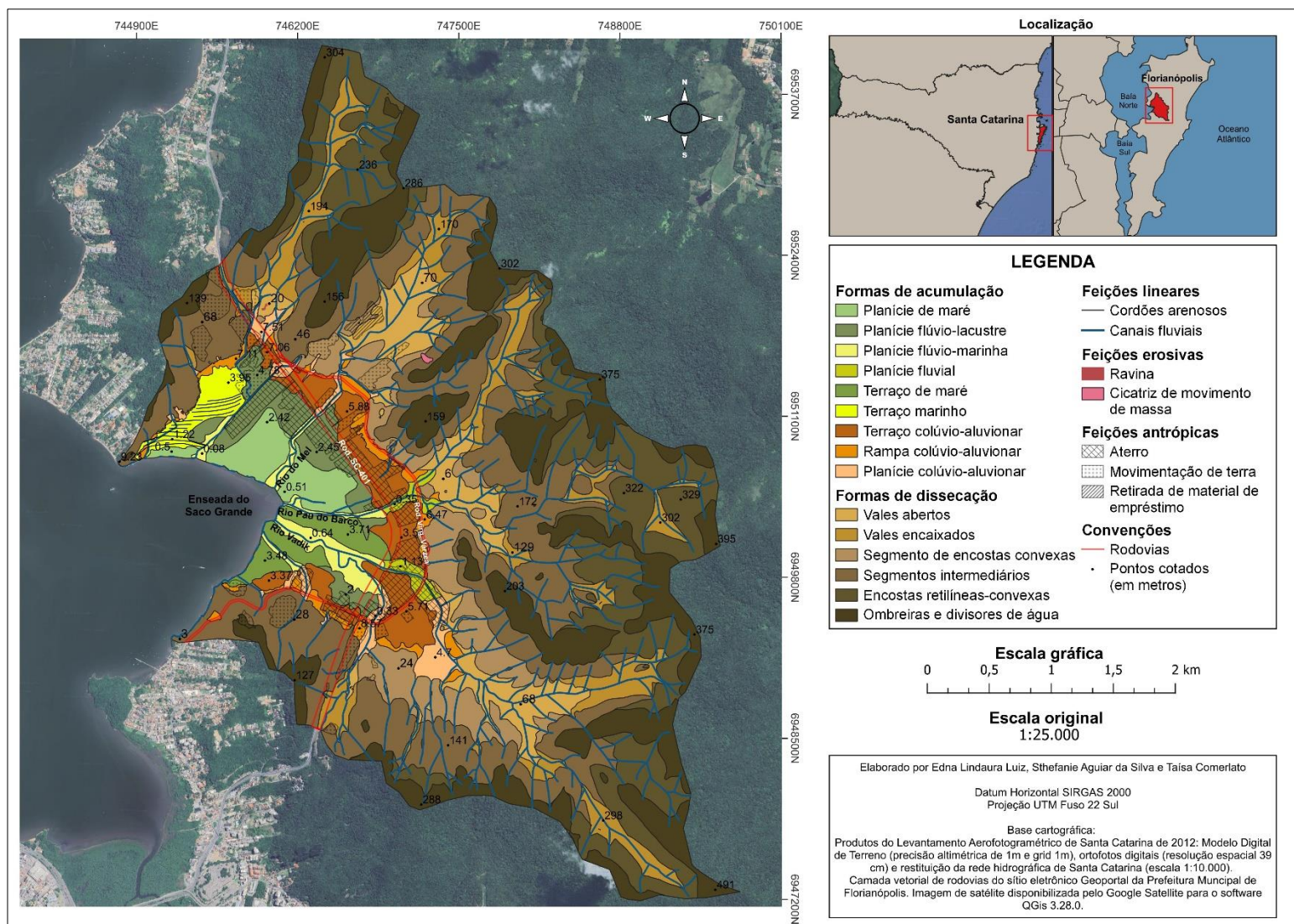
Este item está dividido em dois tópicos que representam os principais resultados atingidos com esta pesquisa: 1) a compartimentação do relevo da área de estudo e 2) a análise de ameaças do meio físico-natural sobre a área de estudo e ao longo dos diferentes compartimentos de relevo. Através da compartimentação do relevo, foi possível verificar que os processos morfogenéticos atuais da dinâmica de cada compartimento podem ser as ameaças para a ocupação humana ali presente.

5.1 COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO DO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE

O mapeamento geomorfológico da área permitiu identificar nove formas de acumulação na baixada e seis formas de dissecação nas encostas, todas identificadas na Figura 14 por polígonos cuja cor indica o material/processo gerador e o tom escolhido indica a cronologia (mais escuros conforme mais antigos). Ainda, estão indicadas duas feições em forma linear: os cordões arenosos sobre o terraço marinho e os canais fluviais da área. Estes últimos são resultado da soma da restituição da rede hidrográfica de Santa Catarina com os talwegues mapeados por esta pesquisa.

Também foram identificadas feições erosivas em campo, sendo uma ravina (feição gerada por processo pluvial) e uma cicatriz de movimento de massa. Quanto às feições antrópicas sinalizadas (movimentos de terra, retirada de materiais e aterros), estas já alteraram e desconfiguraram boa parte da planície costeira e alguma parte das encostas da área de estudo. Estas alterações podem ser responsáveis por modificar o fluxo de matéria e/ou energia envolvidos nos processos naturais do relevo local.

Figura 14 – Mapa geomorfológico de detalhe do Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande



Fonte: Elaborado pela autora

As formas e feições encontradas na área de estudo são influenciadas pelos processos físico-naturais que atuam sobre estas e pelas litologias e estruturas geológicas da área. Elas influenciam e são influenciadas pelos processos erosivos e deposicionais que ali agem, bem como podem influenciar e ser influenciadas pelas ações antrópicas.

Herrmann e Rosa (1991) relacionaram o relevo do recorte de estudo com duas unidades de relevo, são elas as Serras do Leste Catarinense e as Planícies Costeiras. Desse modo, as formas de dissecação identificadas no maciço do Saco Grande fazem parte da unidade Serras do Leste Catarinense e as formas de acumulação pertencem as Planícies Costeiras. A seguir são feitas as descrições destas formas a partir da enseada em direção ao topo do maciço do Saco Grande.

5.1.1 Formas de acumulação no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande

Próximo da foz dos principais rios do sistema hidrográfico é encontrada uma planície de maré, que ainda está em formação. Denominadas por Torres, Marques Neto e Menezes (2013, pág. 226) como áreas de mangue, as planícies de maré tratam de um “[...] terreno baixo, junto à costa, sujeito às inundações das marés [...], constituídos de lamas de depósitos recente”. Estas são dependentes de condições topográficas favoráveis, como baixo declive e águas calmas, que possibilitam o depósito dos sedimentos em suspensão e a invasão da maré. As planícies de maré se formam em áreas muito planas a pouco inclinadas, com influência de marés e pouca ou nenhuma influência de ondas fortes, como em estuários, lagunas e baías (Suguio, 2003).

A baixa declividade destas áreas permite a entrada de água salgada. Os sedimentos mais encontrados neste compartimento são as areias finas, siltes e argilas, dependendo não somente da ação das correntes e marés, mas também da oferta de sedimentos continentais. Geralmente, as areias se encontram cobertas pelos sedimentos de menor granulometria, como as argilas. Nestas planícies, a alta disponibilidade de matéria orgânica permite o desenvolvimento de vegetação típica, o mangue (Suguio, 2003; Cruz, 1998; Herrmann; Rosa, 1991).

Esta forma ainda está ativa (em formação) e, suscetíveis aos movimentos das marés astronômicas, elas são inundadas duas vezes ao dia, nos dois períodos de

preamares diários. Além das maiores amplitudes da entrada de água nas marés de sizígia, também há grande influência das marés meteorológicas na área de estudo. Períodos de tempestade gerados pelas frentes frias com ventos de origem Sul fazem a água do mar acumular na costa, além de não permitir a saída das águas continentais. A entrada de maior fluxo de água durante os períodos de maré alta contribui, inclusive, para a erosão da margem dos canais nas planícies de maré e flúvio-marinhas e para a retenção dos sedimentos continentais transportados pelos rios (Henrique; Mendes, 1999).

As planícies flúvio-lacustres, sobre as quais se encontram a maior parte das feições antrópicas do tipo aterro na área de estudo, são terrenos gerados pela colmatação de corpos lagunares e retrabalhados pelos rios. Geralmente apresentam superfícies planas e sedimentos compostos principalmente por silte e argila (Mateus, 2017). Estas são

“[...] áreas constantemente sujeitas à inundação, pois além de serem áreas mais baixas do que seu entorno e possuírem o lençol freático próximo à superfície, recebem grande quantidade de água das encostas e da subida da maré [...]. Essas áreas servem para armazenar água e drenar lentamente após as chuvas (área tampão de inundações), abastecendo o lençol freático” (Luiz; Lamas, 2017, pág. 180).

Na área de estudo, as planícies flúvio-lacustres, além de estarem sujeitas aos processos continentais, podem ser afetadas pelos processos marinhos que ultrapassam a planície de maré, principalmente em eventos extremos com a combinação de marés astronômica e meteorológica. Nota-se, através dos pontos cotados, que no limite entre as planícies de maré e flúvio-lacustre as altitudes são bem similares, permitindo que as cargas de água e sedimentos marinhos não encontrem barreiras de declive para alcançar este terreno. Estas áreas são muito sujeitas a alagamentos e inundações.

As planícies flúvio-marinhas são formadas por depósitos principalmente marinhos, mas também eólicos e fluviais. Em função da sua baixa altimetria (próxima do nível do mar), os rios das planícies flúvio-marinhas geralmente escoam com baixo gradiente (Luiz; Lamas, 2017). Estas também são feições muito dinâmicas, podem estar sujeitas a processos erosivos dos níveis mais altos (erosões de margens), principalmente pelo trabalho fluvial, e deposicionais em seus níveis mais baixos, seja pela perda de energia e deposição dos rios na sua foz ou pela entrada de fluxo de água e materiais marinhos (Henrique; Mendes, 1999). Os principais rios da área de

estudo escoam em seus baixos vales sobre planícies flúvio-marinhas e a interação destes com a bacia hidrográfica a montante e os processos marinhos a jusante pode ser responsável por inundações e processos erosivos das margens.

As planícies fluviais, vistas em porções da área em que os rios que possuem menor interação com os processos marinhos, são compartimentos formados pelo canal do rio e sua planície de inundação mais para montante na área de estudo. Estas planícies fluviais retrabalham sedimentos de terraços e rampas colúvio-aluvionares. A granulometria dos materiais que as constitui pode variar desde carga depositada pelo canal (de origem fluvial ou de processos da encosta), como cascalhos e areias, e sedimentos de inundação que formam as planícies, como argila, silte e areias mais finas. As feições suavizadas destas planícies indicam os processos de sedimentação periódicos durante os eventos de inundação (Christofolletti, 1981; Stevaux; Latrubesse, 2017; Magalhães Júnior; Barros, 2020).

“Uma planície fluvial é, portanto, uma forma deposicional ativa no período atual, sendo gerada pela sedimentação aluvial durante os períodos de inundação das margens. [...] Nesse sentido, pode possuir sedimentos de diferentes texturas, mas essencialmente finos transportados em suspensão, como argila, silte e areia fina” (Magalhães Júnior; Barros, 2020, pág. 264).

Com formato aplainado em sua maior parte e quebra de declive junto ao leito dos rios (margens) as planícies fluviais são áreas frequentemente atingidas por inundações. Na área de estudo elas são pouco extensas, visto que há outros processos (como marinhos e de encostas) que interagem com os rios e formam outros tipos de compartimentos no sistema hidrográfico. Os processos morfogenéticos responsáveis por sua configuração e dinâmica são as inundações, sedimentação e a migração lateral dos leitos, com a respectiva erosão das margens.

Os terraços de maré, vistos na porção mais ao sul da baixada, já tiveram características de planícies de maré e foram gerados pelo mesmo processo. Entretanto, com a diminuição do nível do mar tornou-se mais alto que as feições próximas construídas posteriormente, como planície de maré e flúvio-marinha, sendo terraço, portanto, graças à uma questão de posição topográfica relativa. Estes são gerados em ambientes de mares calmos e fundos marinhos rasos em um paleonível marinho mais alto. São mais altos que as planícies de maré, apesar de ainda possuírem baixa altitude, por estarem mais protegidos dos fenômenos de maré atuais. Dada a sua ainda baixa altitude (entre 2 e 3 m) e proximidade com mar, pode ser

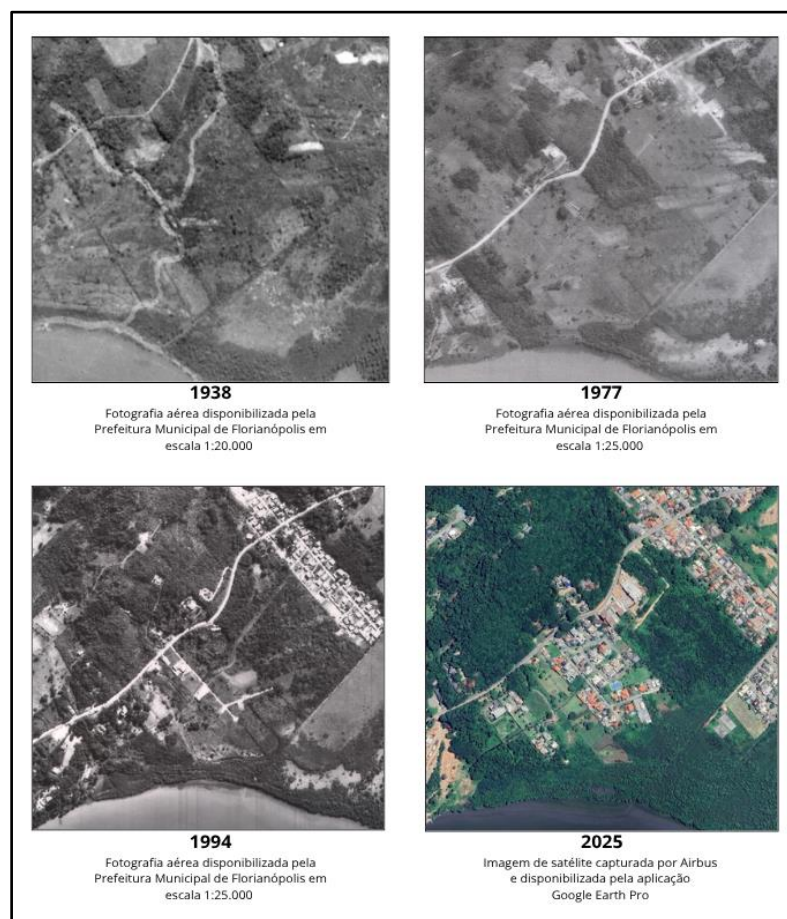
atingido por marés altas excepcionais, além de alagamentos, haja vista que apresenta o lençol freático bem perto da superfície. Também está sendo dissecado por rios que descem das encostas.

O terraço marinho com cordões arenosos, encontrado na parte noroeste da área de estudo foi construído por feixes de cordões arenosos arqueados, sendo testemunha das oscilações do nível do mar e influências paleoclimáticas do Quaternário. Os cordões arenosos que constituem superfícies de terraços ou de planícies marinhas têm formas tabulares ou em cristas, com topos retos ou convexos, separados por cavados, que, graças a sua menor altimetria e forma geralmente côncava, costumam abrigar corpos d'água (Hermann; Rosa, 1991; Cruz, 1998). Como o espaçamento entre os cavados e cristas é curto na área de estudo, este ambiente indica um histórico de rápida progradação sazonal, processo em que sedimentos marinhos foram depositados de acordo com a ação das ondas e das correntes marinhas (Hermann; Rosa, 1991; Cruz, 1998).

As condições favoráveis para a progradação sazonal ocorrem quando o nível do mar diminui ou se estabiliza (Roy *et al.*, 1994). Os cordões arenosos indicam, portanto, “[...] o progressivo recuo do nível do mar até o seu nível atual” (Henrique; Mendes, 1999, pág. 78). São feições subatuais que dependem de um fundo oceânico de baixa declividade e pontos de amarração de sedimentos para a sua formação (Herrmann; Rosa, 1991). Christofolletti (1980, pág. 134) chama de restinga os cordões arenosos presentes na linha de costa. Para ele são áreas formadas por “[...] faixas arenosas, depositadas paralelamente à praia, que se alongam tendo ponto de apoio nos cabos e saliências do litoral”. Inicialmente, no recorte de estudo, esta área constituía uma planície marinha, mas, com o rebaixamento do nível do mar, tornou-se terraço marinho.

Em costas formadas principalmente graças ao movimento das ondas, como é o caso dos terraços de cordões arenosos, os sedimentos são constituídos principalmente de areias e cascalhos, bem selecionados e erodidos (Roy *et al.*, 1994). Na área de estudo os cordões estão descaracterizados em parte do terraço, seja por influência humana (movimentos de terra, aterros...) ou remodelagem do terreno pela ação fluvial e dos processos pluviais ao longo do tempo. A evolução da descaracterização dos cordões arenosos pode ser notada na Figura 15, que apresenta fotografias aéreas históricas e uma imagem de satélite recente da área de ocorrência dos cordões arenosos.

Figura 15 - Evolução dos cordões arenosos entre 1938 e 2025



Fonte: Elaborado pela autora

Antes de chegar aos modelados de dissecação, a área de estudo possui uma zona de transição criada pelo depósito de sedimentos vindos das encostas. As rampas e planícies colúvio-aluvionares são encontradas entre os terraços e planícies de origem marinha, lagunar e fluvial e as encostas graníticas cristalinas, marcando a transição entre estes compartimentos. Estas formas são “[...] modeladas sobre depósitos de sedimentos proveniente das encostas sob ação de enxurradas, deslizamentos e corrida de detritos e, por isso, estes sedimentos são pouco selecionados” (Luiz; Lamas, 2017, pág. 178). Se estes sedimentos foram retrabalhados pelos rios no passado, como é o caso das planícies colúvio-aluvionares, eles são um pouco melhor selecionados. Como indicam os materiais constituintes destes compartimentos, estas estão sujeitas a receber grande fluxo de água e sedimentos provenientes da encosta.

Os materiais destes compartimentos são gerados e depositados pela combinação de processos da encosta (movimentos de massa e enxurradas) e do trabalho dos rios (Herrmann; Rosa, 1991). As rampas possuem materiais menos selecionados, depositados, geralmente, por movimentos de massa e, por vezes, por eventos de enxurradas. São constituídas de material areno-argiloso, com muitos seixos, e apresentam forma suavemente inclinada. As planícies colúvio-aluvionares possuem materiais mais selecionados que as rampas, mas menos selecionados que as planícies fluviais, por exemplo.

Os terraços colúvio-aluvionares são mais aplainados que as rampas e são formados, geralmente, por materiais ainda melhor selecionados que as planícies. Se diferenciam pela sua altimetria e cronologia, sendo mais altos, antigos e estáveis. Também se diferenciam das planícies colúvio-aluvionares por não estarem mais sob influência direta dos rios e da sedimentação das encostas, apesar de terem sido criados e retrabalhados por eles.

5.1.2 Formas de dissipação no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande

As formas de dissipação identificadas correspondem às de dissecação em montanhas descritas por Herrmann e Rosa (1991), como áreas com amplitudes altimétricas frequentemente superiores a 200m, com interflúvios angulosos e encostas com diferentes graus de declividade, apresentando também vales encaixados. Na área de estudo, foram identificados fundos de vale (abertos e encaixados), segmentos de encostas convexas, segmentos de encostas intermediários, encostas retilíneas-convexas e ombreiras/divisores de água convexas no compartimento de dissecação em montanhas descrito por Herrmann e Rosa (1991).

Os vales das encostas são mais abertos conforme mais próximos da planície costeira e mais encaixados conforme mais próximos dos divisores de água. Possuem forma convexa e, em muitos casos, também possuem blocos rochosos aflorando nas suas margens e leitos rochosos, principalmente naqueles mais encaixados. Os vales abertos são áreas de maior transporte e depósito de material gerado pelo trabalho do rio ou processos da encosta, enquanto os vales encaixados são mais declivosos, com maior poder de erosão e, muitas vezes, formados por rios com leitos seguindo

lineamentos estruturais. Os lineamentos são os sistemas de falhas/fraturas do embasamento rochoso. Nas áreas de litologia e estrutura uniformes, a rede de drenagem apresenta forma dendrítica, mas em muitos setores do recorte de estudo são encontradas orientações retangulares da rede de drenagem, formando rios angulosos e evidenciando os lineamentos descritos nos mapas geológicos, como nota-se na Figura 16.

O segmento de encostas convexas ocorre no terço inferior do maciço do Saco Grande, estando próximos dos limites das formas da Planície Costeira e são bem recortadas por rios, formando as encostas laterais dos vales ali presentes. Este setor das encostas do maciço do Saco Grande é o arcabouço das Rampas e Planícies Colúvio-Aluvionares. Os processos morfogenéticos atuantes neste segmento são o escoamento superficial difuso e concentrado, além de tombamento e rolamento de blocos rochosos de forma natural ou induzidos por ação antrópica. Onde há cobertura vegetal, estão se aprofundando o manto de intemperismo e a formação de solos.

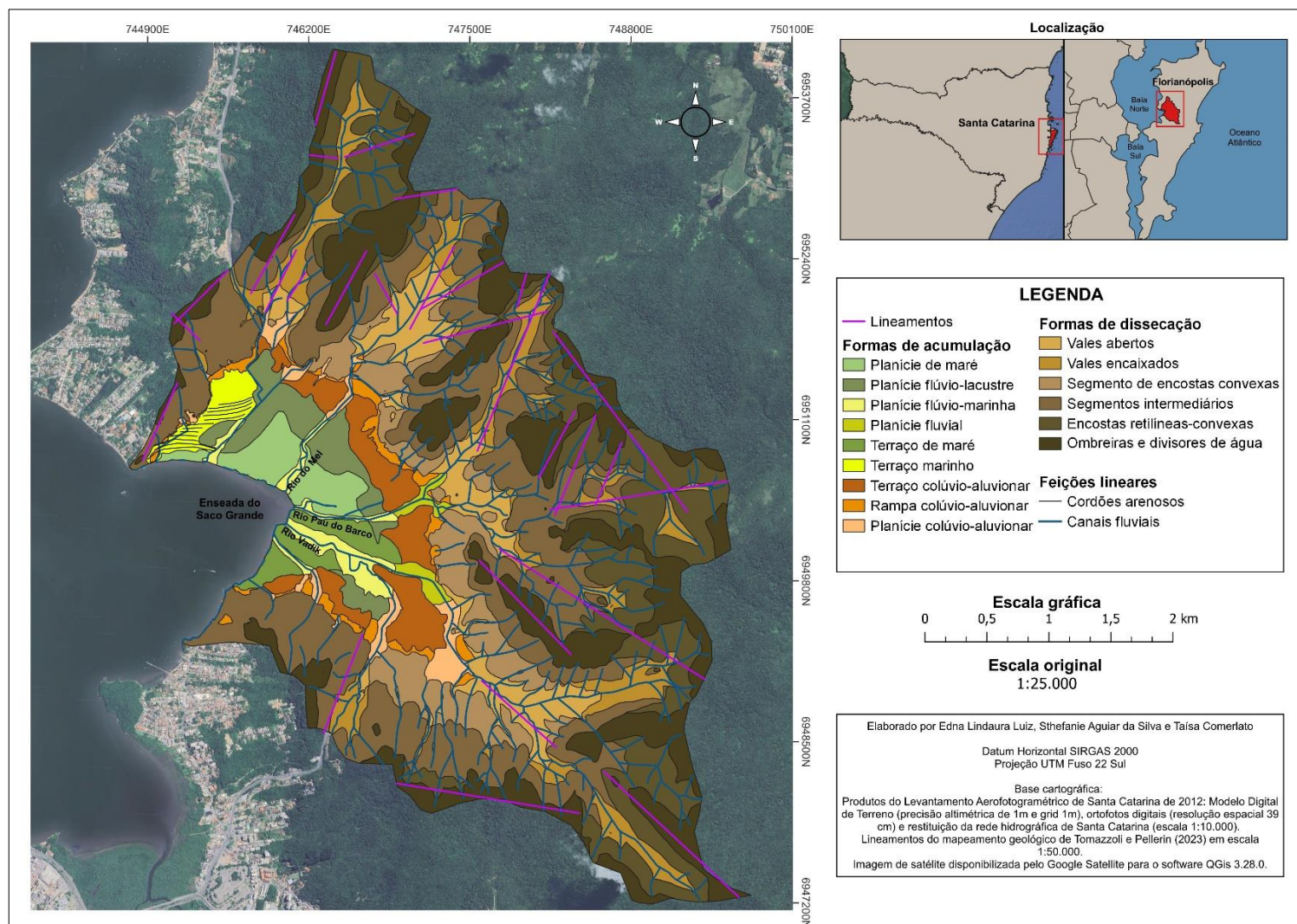
Os segmentos intermediários são áreas de ruptura de declive e de transição entre o segmento convexo de base da encosta, as áreas côncavas (fundos de vale) e os segmentos convexos de alta encosta (divisores convexos e ombreiras). Esta zona de transição já havia sido indicada pelo mapeamento geomorfológico de Herrmann e Rosa (1991). A inflexão das encostas ajuda a pensar a área como um bloco rochoso único que foi sendo erodido (por rebaixamentos do nível de base) até o limite atual, marcado pela convexidade das ombreiras. Neste segmento, os solos são muito rasos e são comuns afloramentos rochosos. A cobertura vegetal impede a formação de intenso escoamento superficial, mas é possível a sua ocorrência, além da possibilidade de deslocamentos de blocos rochosos, especialmente em direção aos fundos de vales que cortam esse setor.

As áreas de encostas retilíneas-convexas constituem o terço superior das encostas e os topos convexos do divisor de água principal do maciço do Saco Grande, sendo dissecada por canais de baixa hierarquia fluvial que seguem principalmente a estrutura de lineamentos estruturais, como visto na Figura 16. Estas encostas possuem solos rasos e pouco desenvolvidos, com vários afloramentos de blocos rochosos. Algumas das ombreiras da área de estudo também seguem lineamentos estruturais, como destacado na Figura 16. As ombreiras são porções de topo convexo a plano que se estendem por toda a área, contendo os pontos de maior elevação, constituindo os divisores de água internos do maciço. A partir destas formas, a água

se dispersa e desce escavando as encostas. As ombreiras estão sob efeito do intemperismo e da pedogênese em virtude das baixas declividades, mas também são encontrados afloramentos rochosos nos seus terrenos.

Quando adicionadas as camadas de urbanização sobre os compartimentos mapeados, nota-se que as encostas retilíneas-convexas, os fundos de vales encaixados e as ombreiras e divisores de água convexos são as formas menos ocupadas do setor cristalino, conforme Figura 17. Estas formas estão densamente vegetadas em sua maior parte. Essa situação ocorre em virtude da urbanização ter começado no sopé do maciço, preservando os terrenos mais de montante. Contudo, isto não impede que a ocupação estabelecida sobre as demais formas, à jusante destas, sofra com as consequências dos processos que ocorrem mais acima em momentos de alta energia (como chuvas muito intensas) e que disponibilizam sedimentos e fluxo de água para os processos locais mais a jusante, uma vez que os diferentes setores das encostas do maciço são um todo interligado.

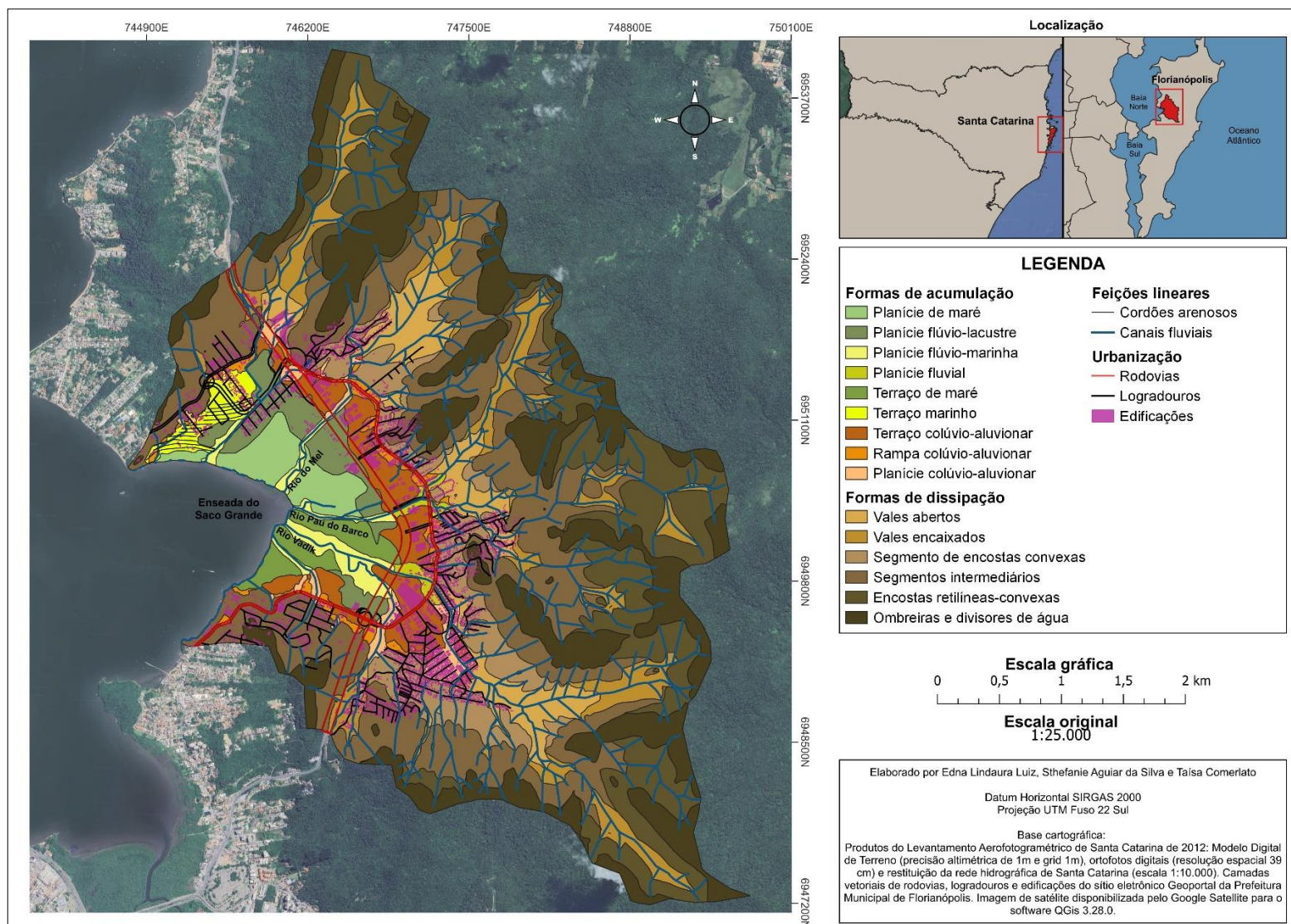
Figura 16 - Lineamentos estruturais, formas de relevo e sistema hidrográfico da área de estudo



Obs. As linhas em rosa são os lineamentos estruturais mapeados por Tomazzoli e Pellerin (2023).

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 17 – Área urbanizada e formas de relevo do sistema hidrográfico da enseada do Saco Grande



Fonte: Elaborado pela autora

5.1.3 Feições erosivas no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande

Dentro do setor cristalino foram identificadas duas feições erosivas em campo, uma criada por processo pluvial (ravina) e outra por movimento de massa (cicatriz de deslizamento raso). O ravinamento, na seção norte da área de estudo, está se formando sobre uma área desnuda na base das encostas, onde anteriormente existia uma área desmatada que servia de caminho até pontos mais altos, mas não ocupados. Boa parte da área que anteriormente servia como caminho já está recuperada e vegetada, mas a parte da base que ainda segue sem vegetação sofre com efeitos do processo pluvial. O material retirado dos sulcos pela erosão pluvial é depositado logo abaixo, quando o terreno perde inclinação, conforme pode ser notado na Figura 18.

Figura 18 - Ravinamento no setor norte das encostas do sistema hidrográfico



Fonte: Imagem de satélite disponibilizada pelo *Software Google Earth Pro* (2025)

A cicatriz de movimento de massa identificada está sobre o setor de segmentos intermediários e é típica de um movimento gravitacional de massa sobre solo raso. Neste caso, ocorreu um deslizamento translacional no manto de alteração do granito, em área de grande declividade, mas sem interferências antrópicas ou ocupações próximas atuais. Com o tempo, a cicatriz tem sido retrabalhada pela chuva e criado sulcos em seu interior (Figura 19). Apesar de não haver registros de quando este movimento ocorreu, esta cicatriz é visível em imagens de satélite disponíveis no Google Earth desde 2002.

Figura 19 - Cicatriz de movimento de massa no setor norte das encostas do sistema hidrográfico



Fonte: Bella Kern, 2024

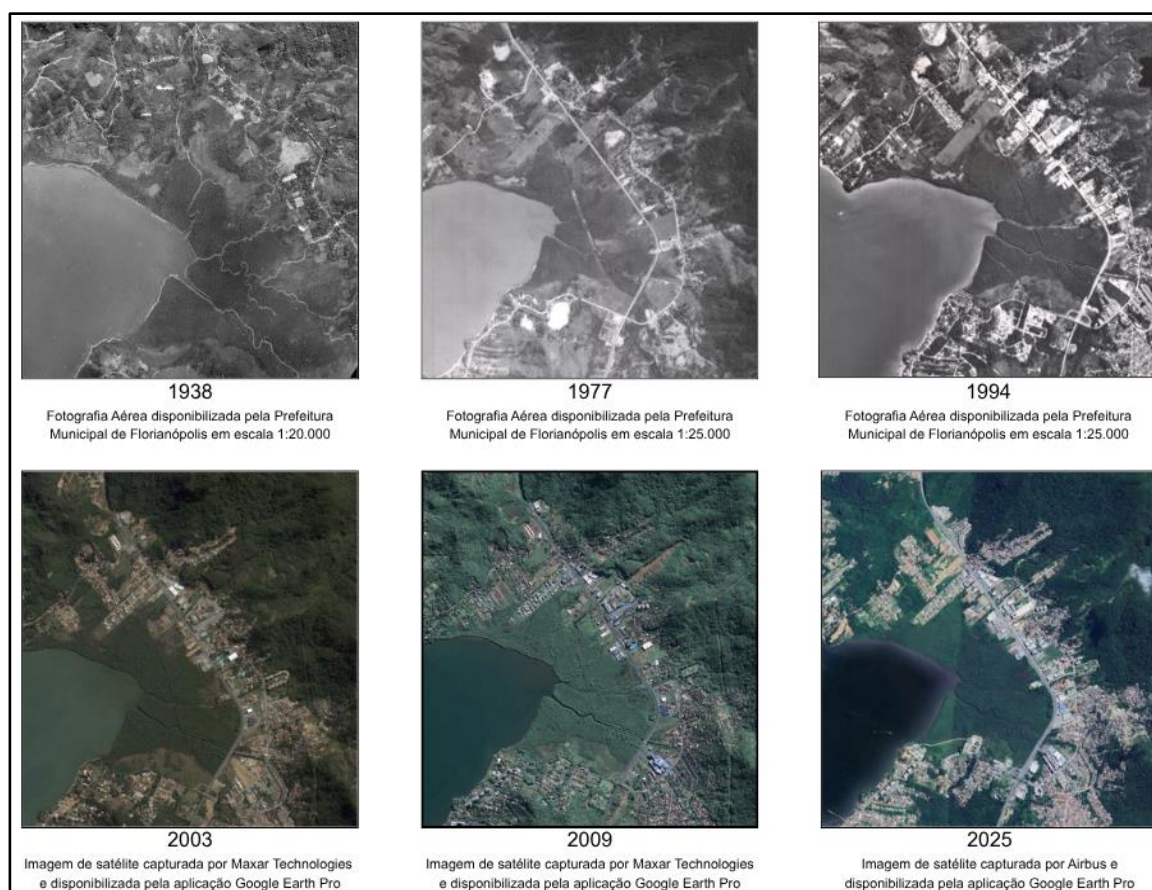
5.1.4 Feições antrópicas no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande

As feições antrópicas mapeadas na área de estudo tratam de intervenções humanas que alteram a forma original da área, como os aterros, responsáveis por adicionar materiais às diferentes formas da Planície Costeira (especialmente à planície flúvio-lagunar) e tornar o terreno mais alto. A movimentação de terra é outra intervenção antrópica que consiste da terraplanagem dos terrenos a partir de cortes e adição de materiais, desconfigurando-os, sendo isso comum nas formas de rampas e terraços colúvio-aluvionares. Enquanto, a retirada de material de empréstimo se refere a retirada de saibro e rochas de pontos nas encostas, deixando formas de bancadas, com solo e blocos rochosos exposto em cortes íngremes. Infelizmente, esses locais (Barreira do Janga e Morro da Cláudia) não foram recuperados, sendo posteriormente ocupados para moradias de população de baixa renda, criando áreas de risco a enxurradas, deslizamentos de terra e tombamento/rolamento de blocos rochosos.

A Figura 20, que apresenta recortes da área de estudo através de fotografias aéreas históricas e imagens de satélite, ajuda a perceber a evolução das intervenções

antrópicas com o tempo. As formas de relevo da baixada sofreram muitos aterros e retificações de leitos fluviais, enquanto as feições da baixa encosta sofreram muitos cortes e terraplanagem dos terrenos.

Figura 20 – Modificações antrópicas e avanço da urbanização sobre a área de estudo entre 1938 e 2025



Obs.: As manchas brancas nas fotografias aéreas de 1938, 1977 e 1994 são áreas de aterros e movimentações de terra. Estes tipos de intervenções nas imagens coloridas são visualizadas em solos expostos com cor avermelhada.

Fonte: Elaborado pela autora

Um dos efeitos mais notáveis entre as intervenções antrópicas na baixada é a redução do número de canais fluviais e da sua sinuosidade, gerada principalmente pelos aterros com canalização e tamponamento de leitos, movimentação de material e retificação dos canais fluviais. Quando se compara a fotografia aérea de 1938 com as demais, estes fenômenos ficam bem visíveis na área de estudo. Os aterros e movimentações de terra na baixada tornam-se cada vez mais comuns a partir da década de 1960, quando foi construída a rodovia SC-401. Os terrenos lamosos e inundáveis da Planície Costeira foram modificados para o estabelecimento de comércios e condomínios próximos da rodovia que dá acesso ao Norte e Centro da

Ilha de Santa Catarina. Alguns canais fluviais tiveram, inclusive, a sua extensão interrompida, como é o caso de um dos afluentes do rio Pau do Barco, que se encontra parcialmente aterrado e com fluxo canalizado e tamponado pelo aterro e pela rodovia SC-401, como se vê na Figura 21.

Figura 21 - Rio com leito modificado por canalização e aterro sobre o terraço colúvio-aluvionar



Fonte: Elaborado pela autora

As áreas de retirada de material de empréstimo, criadas nos anos 1960 nas comunidades da Barreira do Janga e Morro da Cláudia para a construção da rodovia SC-401, são mais visíveis na fotografia de 1977. Outras movimentações de terra na encosta (com ações tanto de retirada quanto de adição de material), realizadas principalmente para a construção de condomínios residenciais, também ficam muito marcantes na fotografia aérea deste ano. A partir de 1994, as áreas de retirada e movimentação de material já se tornam densamente ocupadas e continuam a ser adensadas com o passar dos anos. Estas intervenções se constituem em ameaças induzidas pela ação antrópica, se juntando àquelas de ocorrência natural no recorte de estudo.

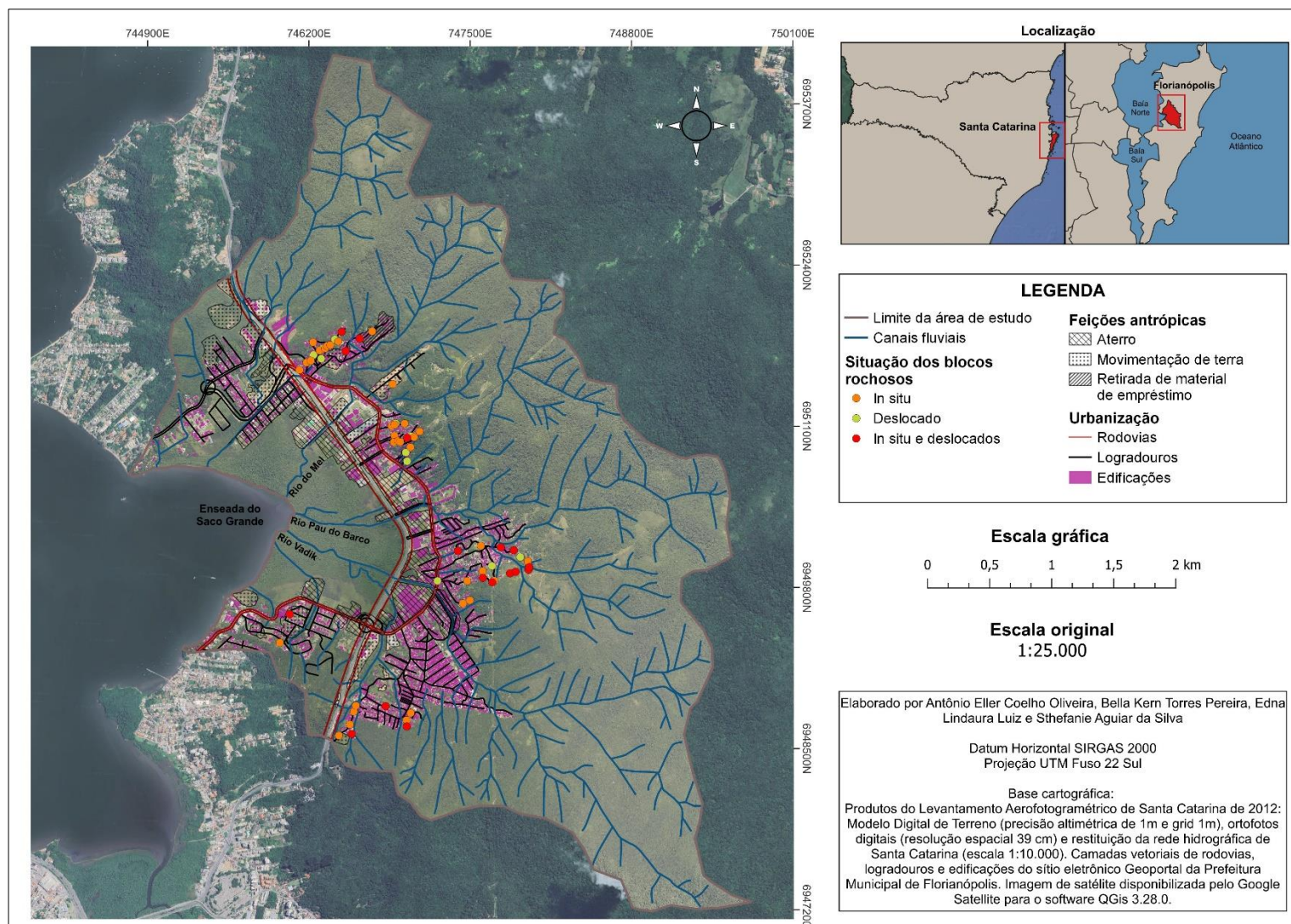
5.2 AMEAÇAS DO MEIO FÍSICO-NATURAL NO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE

Diferentes ameaças do meio físico foram identificadas na área de estudo. Muitas delas têm relação com a rede de drenagem, como inundações, alagamentos e fluxos torrenciais, e, por isso, deve-se analisar os vales fluviais desde suas cabeceiras até sua foz na enseada, pois ao longo do seu percurso vai se acumulando a água que provocará estes fenômenos/ameaças. Outros fenômenos são mais localizados como movimentos de massa dos tipos deslizamentos e tombamento/rolamento de blocos rochosos, apesar de que a mobilização dos materiais pode atingir áreas mais a jusante.

Em geral, as ameaças foram mais estudadas junto das áreas urbanizadas nas encostas e nos terrenos de baixada. É provável que haja compartimentos suscetíveis aos eventos de enxurradas, fluxos torrenciais ou tombamento/rolamento de blocos em áreas mais altas da encosta, mas, como não são ocupadas, não foram parte do objetivo desta pesquisa. Também deve-se ressaltar que os fenômenos que representam ameaças podem ser induzidos pela ocupação humana em si, como por exemplo, cortes e movimentações de terra que deixam blocos rochosos expostos ou áreas que são impermeabilizadas pela urbanização, aumentando o escoamento superficial concentrado (enxurradas). A seguir serão apresentadas ameaças identificadas na área de estudo.

Sobre a ameaça de queda e rolamento de blocos rochosos, foram identificados 67 afloramentos de blocos rochosos ao longo da área urbanizada, os quais foram classificados de acordo com a sua situação, considerando como “Deslocados” os blocos com movimento relativo ao seu lugar de origem, como “*in situ*” os afloramentos sem movimento relativo ao seu lugar de origem ou como “Deslocado e *in situ*” para presença de ambos no mesmo ponto de interesse. Foram identificados 12 afloramentos de blocos deslocados, 37 afloramentos *in situ* e 18 com ambas situações no mesmo local, conforme estão distribuídos espacialmente na Figura 22.

Figura 22 - Afloramentos de blocos rochosos de acordo com a situação



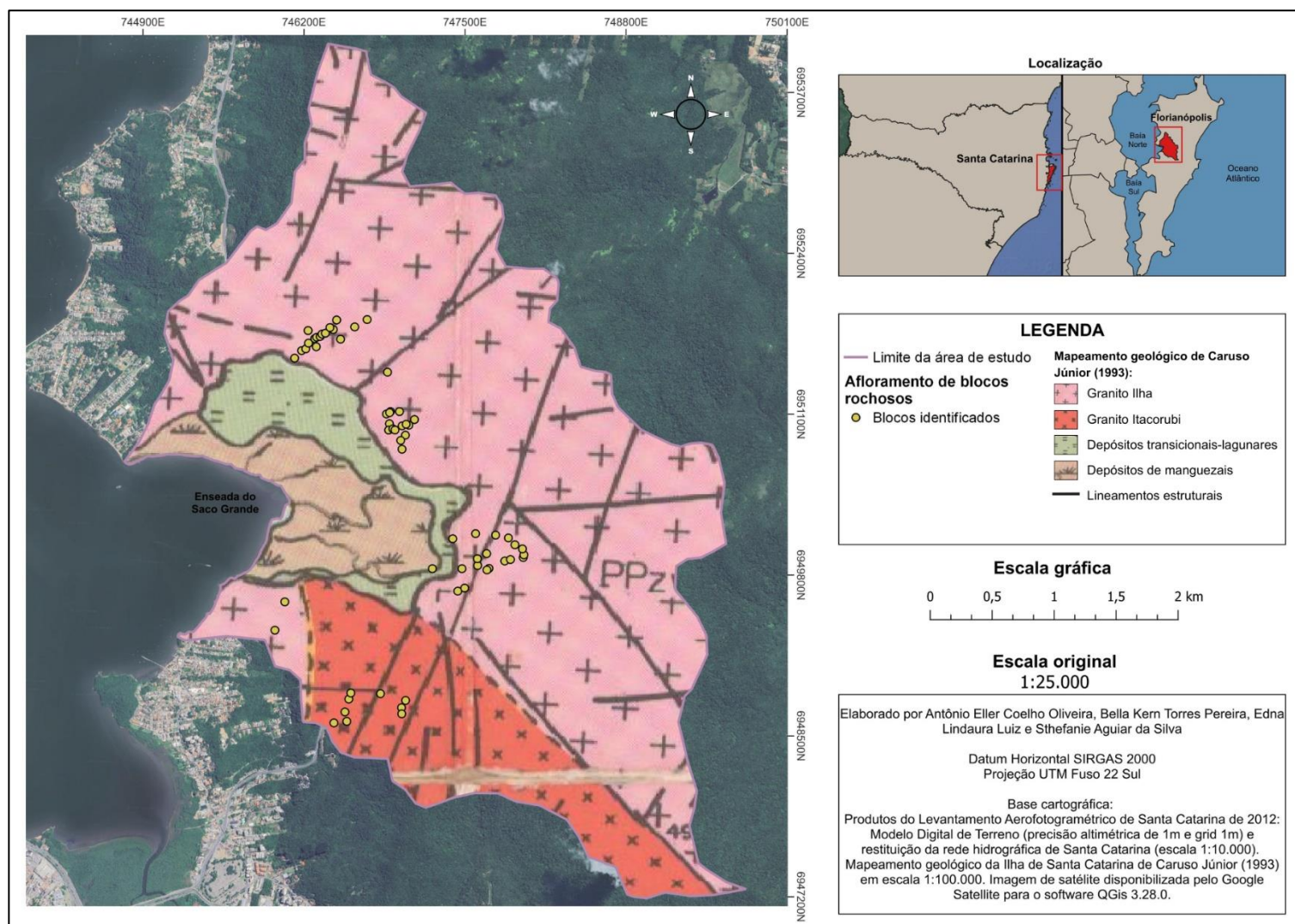
Fonte: Elaborado pela autora

Ficou claro nas visitas em campo e pela distribuição espacial dos blocos que há menor quantidade de afloramentos nos setores mais ao Sul da área de estudo. Sobrepondo os afloramentos identificados ao mapeamento geológico de Caruso Júnior (1993) (Figura 23), é notável que a área com a menor quantidade de blocos se refere àquela composta pelo Granito Itacorubi, cuja textura predominante fina deve ter contribuído para o intemperismo desta, com menor formação de fragmentos rochosos grandes. No Granito Ilha, o qual apresenta grãos minerais maiores, é possível encontrar no manto de alteração e nos depósitos de encosta grande quantidade de blocos rochosos e de grande tamanho.

Dentre os blocos identificados e distribuídos espacialmente, foram considerados perigosos aqueles com maior tamanho, com mais de uma face livre, que possuíam fissuras e/ou estavam envoltos por materiais finos (silte, argila, areias) em locais de afloramentos naturais ou em cortes de encosta. Outra situação para classificar como afloramentos perigosos foi a proximidade com estruturas humanas (edificações, arruamentos, etc). Ao total, 36 dos afloramentos rochosos foram considerados perigosos, conforme distribuídos na Figura 24.

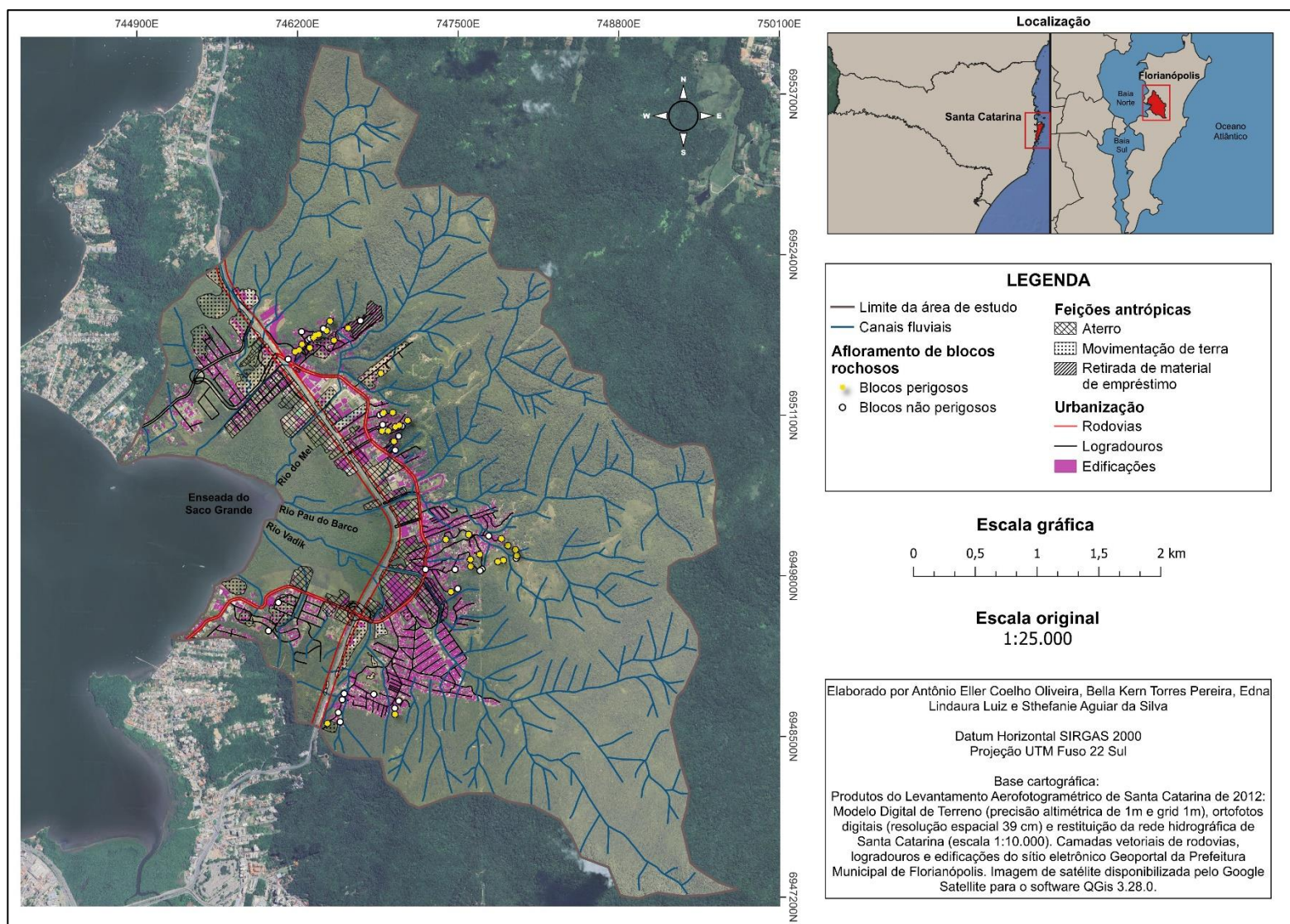
É evidente que muitos dos blocos perigosos estão concentrados nas comunidades da Barreira do Janga, Morro da Maura, Morro do Atanázio e do Caju. Na Barreira do Janga a ocupação humana ocorreu sobre as bancadas de retirada de material de empréstimo, em que há muitos cortes com blocos expostos. Não houve nenhum tipo de contenção por parte do poder público e a ocupação espontânea e irregular da área por população de baixa renda simplesmente se adaptou como pode às características do lugar. Nos morros da Maura e do Atanázio o que se percebe é que estas ocupações estão sobre encostas convexas sustentadas por afloramentos rochosos fraturados.

Figura 23 - Afloramentos de blocos rochosos sobre o mapa geológico de Caruso Júnior (1993)



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 24 - Distribuição espacial dos afloramentos perigosos



Fonte: Elaborado pela autora

São alguns, entre os muitos, exemplos de afloramentos perigosos encontrados na área de estudo:

- ocorrência de blocos deslocados na rua Donícia Maria da Costa, na Barreira do Janga, gerados por depósito de processos de encosta e cortes antrópicos (Figura 25);
- ocorrência de blocos da rua da Apicultura (Barreira do Janga), onde os blocos se acumulam sobre o fundo de uma concavidade, abaixo de uma cabeceira de drenagem (Figura 26). Os blocos aparentam estar soltos e durante a visita de campo foi notada água escorrendo entre estes;
- ocorrências no loteamento Recanto da Ilha (Figura 27), o corte de encosta gerado pelo loteamento permite que o escoamento da chuva lave os sedimentos finos do talude, expondo blocos misturados a massa intemperizada. Alguns blocos já estão desprendidos e espalhados pela rua e terrenos vizinhos;
- afloramentos em fundo de vale na servidão Rancho do Oliveira (entre o Morro do Atanázio e o Morro do Caju), cujos blocos soltos podem ser movimentados à jusante em eventos de fluxo torrencial dos rios (Figura 28);
- depósitos de encosta na servidão Pedra de Listra (Morro do Caju), onde os blocos estão soltos ou sustentados por troncos podres em terreno muito inclinado. Há residências construídas tendo os blocos rochosos como base (Figura 29);
- afloramento identificado na servidão João Emílio Batista, onde há a cicatriz de um bloco movido anteriormente, em que ficaram visíveis raízes de plantas e solo exposto, como mostra a Figura 30. Este terreno está localizado no fim da rua, em área de alta declividade e próxima de um fundo de vale que está sendo erodido. Acima destes afloramentos estão instaladas diversas residências, assim como abaixo deles. Todas estas edificações podem ser afetadas no caso de tombamento ou rolamento.

Figura 25 - Afloramentos de blocos rochosos na rua Donícia Maria da Costa, comunidade da Barreira do Janga



Fonte: Bella Kern, 2024

Figura 26 - Afloramentos de blocos rochosos na rua da Apicultura, comunidade da Barreira do Janga



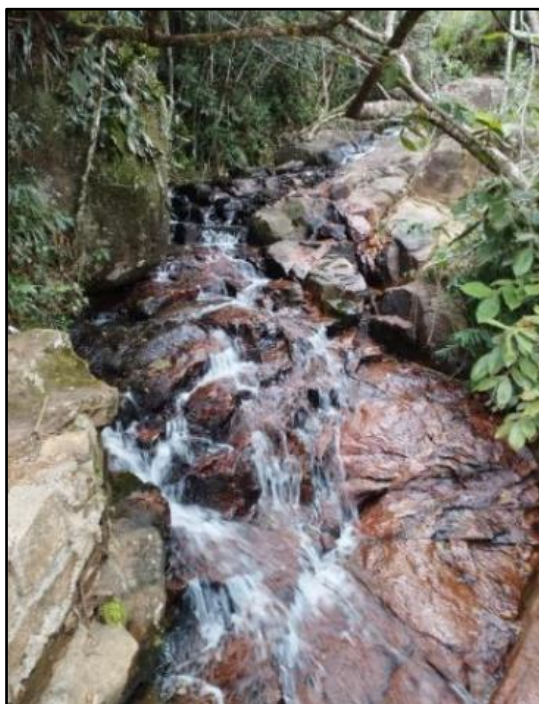
Fonte: Bella Kern, 2024

Figura 27 - Afloramentos de blocos rochosos no loteamento Recanto da Ilha



Fonte: Bella Kern, 2024

Figura 28 - Afloramento de blocos rochosos e leito rochoso na servidão Rancho do Oliveira (Morro do Caju)



Fonte: Bella Kern, 2024

Figura 29 - Afloramento de blocos rochosos na servidão Pedra de Listra (Morro do Caju)



Fonte: Bella Kern, 2024

Figura 30 - Afloramento de blocos rochosos na servidão João Emílio Batista

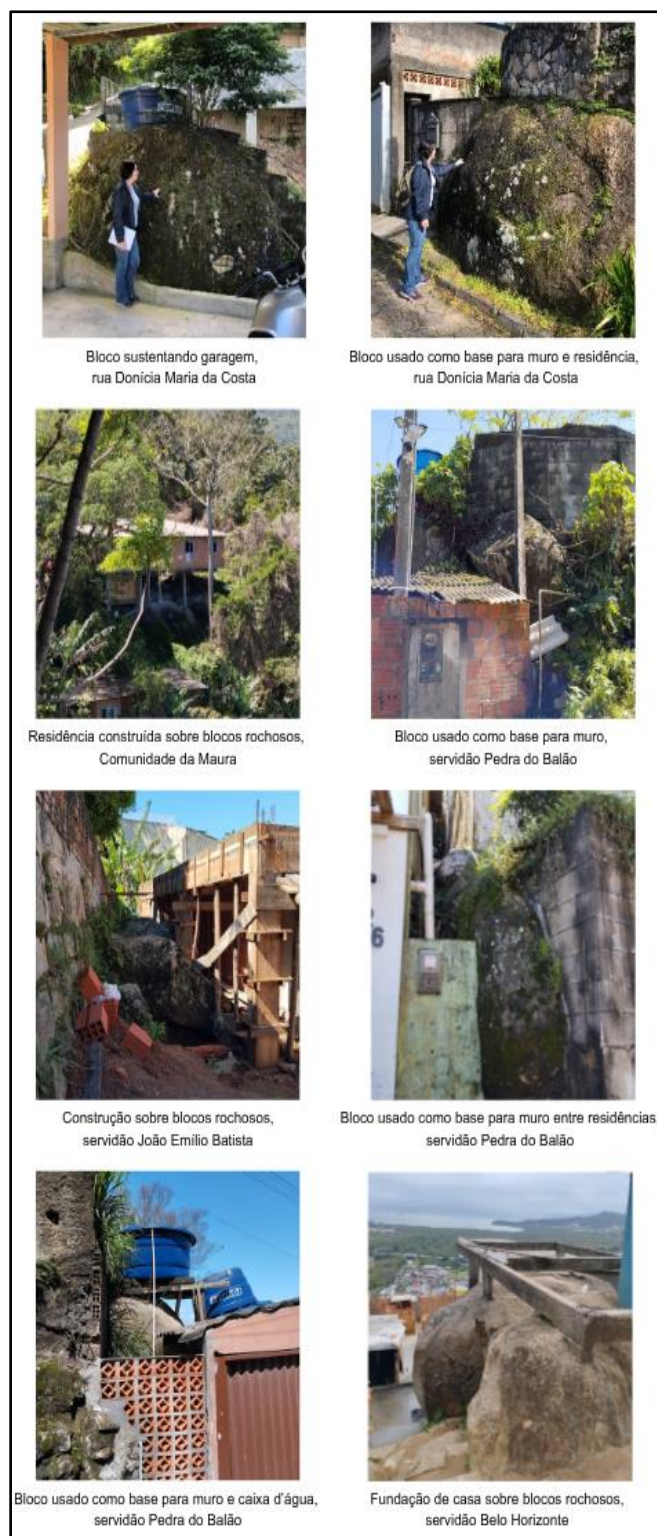


Fonte: A autora, 2024

A comunidade tenta encontrar formas de conviver com os blocos, o que nem sempre é feito da melhor maneira e acaba as deixando ainda mais suscetíveis, visto que os deixam mais expostos e ainda os sobrecarregam com o peso das construções. Muitos blocos fazem parte da arquitetura das casas e são mesmo as bases sobre as

quais as residências ou muros são construídos. Também há casos em que os blocos estão logo acima das casas, servindo de suporte para equipamentos como caixas d'água, por exemplo. Alguns destes casos são apresentados na Figura 31.

Figura 31 - Exemplos de interações das ocupações humanas com o afloramento de blocos rochosos



Fonte: Elaborado pela autora

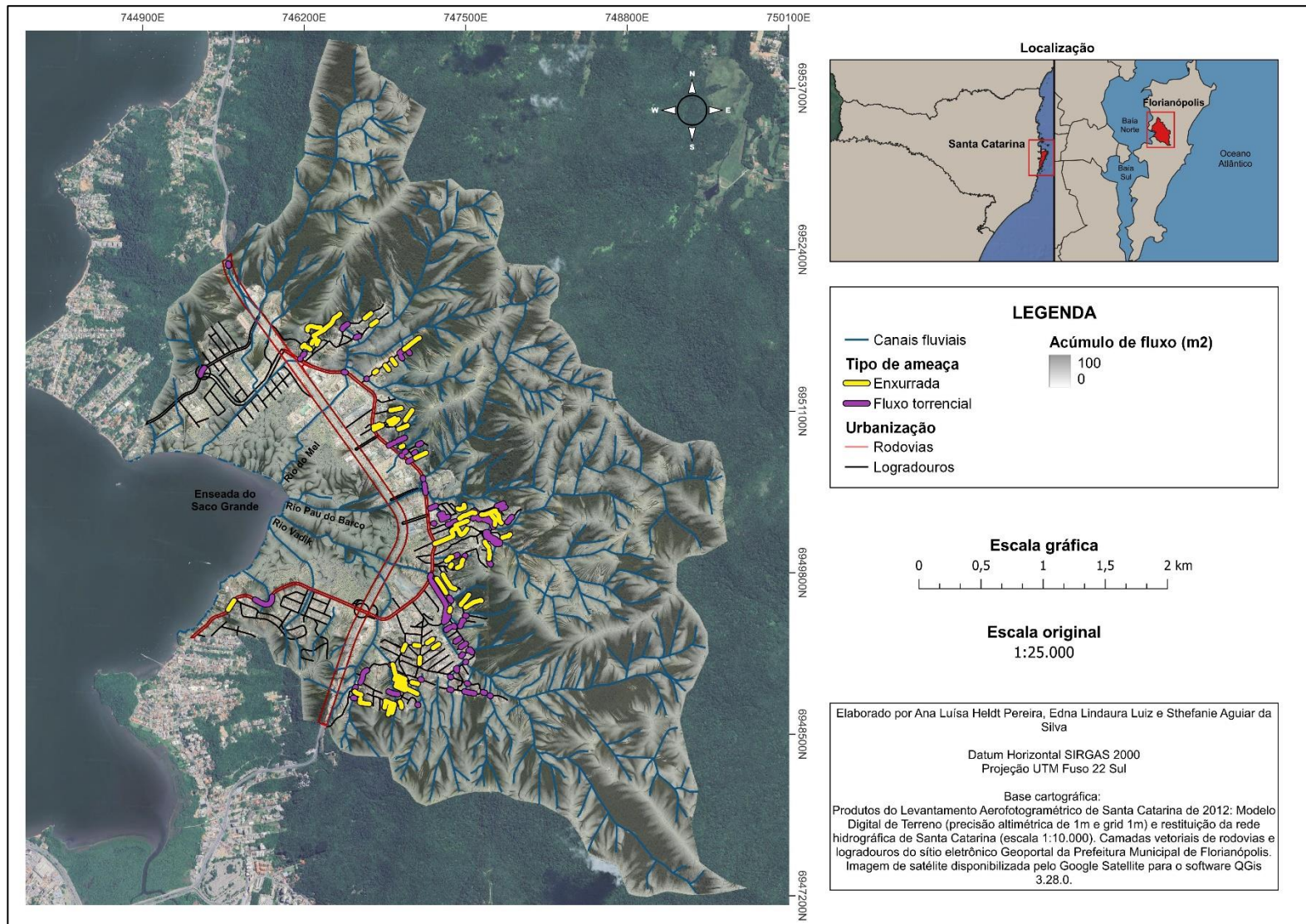
Como observado nas figuras, há vários casos de ocorrências perigosas, pois os blocos rochosos incorporados à ocupação têm mais de uma face livre e estão em superfícies inclinadas. Além disso, eles estão individualizados, ou seja, não estão ligados a afloramentos mais extensos. Em alguns casos há um aglomerado de blocos no mesmo ponto, indicando maiores problemas se eles se movimentarem encosta abaixo.

Em relação às ameaças ligadas aos fluxos d'água, a ferramenta de acúmulo de fluxo a partir de análise dos componentes topográficos do terreno deu uma boa resposta para identificação destes tipos de ameaças, uma vez que foram validadas com as evidências de danos em arruamentos observados em campo. Os fluxos torrenciais e as enxurradas, gerados, respectivamente, pelos processos fluvial e pluvial sobre encostas íngremes, que foram mapeados sobre os trechos de arruamentos com acúmulo de fluxo, estão apresentados na Figura 32. Foram identificados, ao total, 68 trechos de arruamentos suscetíveis a enxurradas e 79 trechos suscetíveis aos fluxos torrenciais.

Quando se sobrepõe os resultados sobre a ortofoto da área de estudo e as edificações e modificações antrópicas do relevo mapeadas, como na Figura 33, nota-se que grande parte da área ocupada nas encostas está suscetível a pelo menos um destes fenômenos. Isto ocorre porque a área densamente urbanizada está no sopé das encostas, região de maior acúmulo de fluxos. A ocupação nas partes mais convexas das encostas não sofre com estes problemas (como o Morro da Maura e Morro do Caju), por outro lado, têm mais problemas com os afloramentos rochosos naturais e induzidos por cortes de encosta.

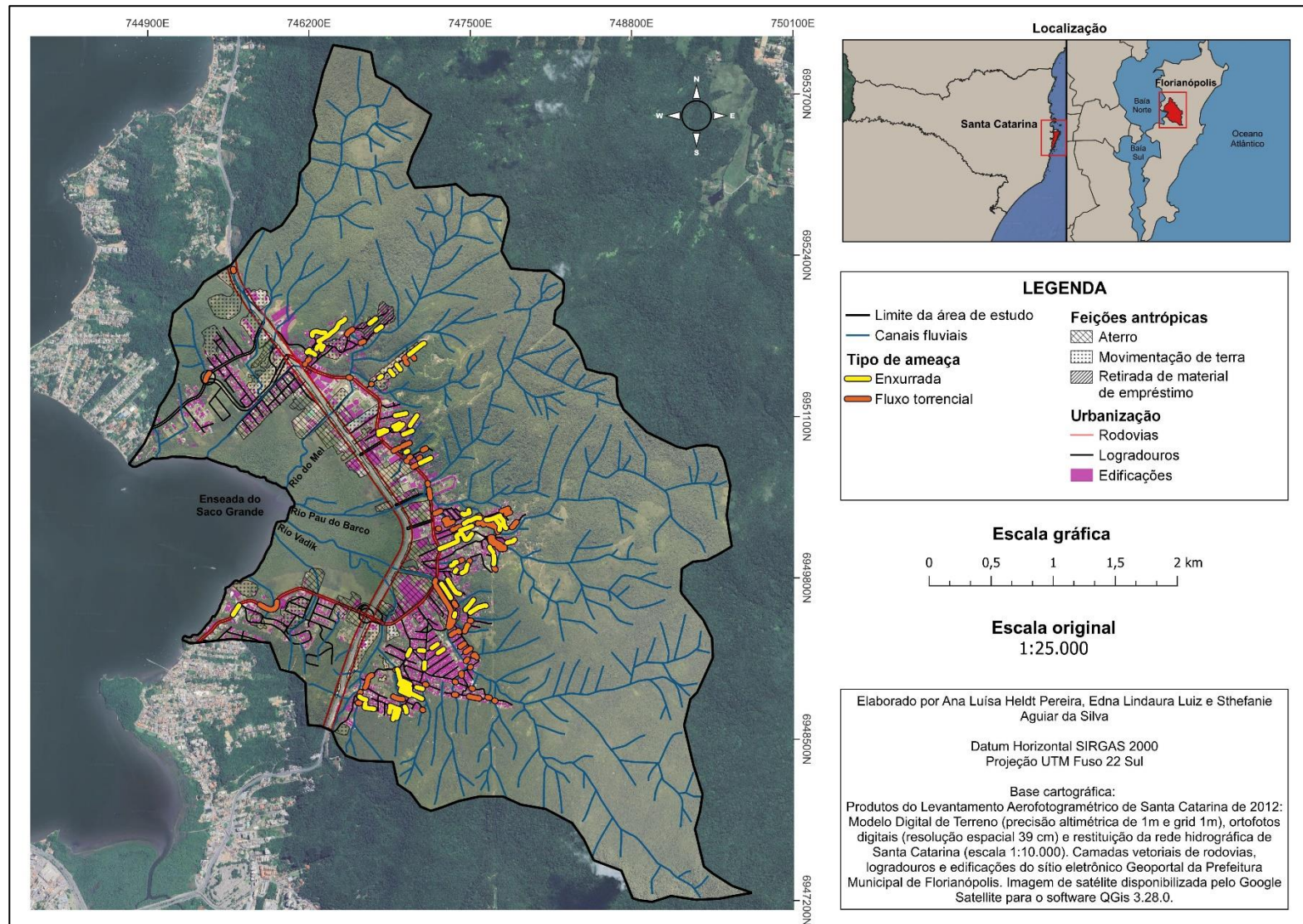
Há muitas áreas ocupadas próximas das margens de rios de encostas, ou mesmo sobre talwegues de rios efêmeros, ou ainda sobre encostas íngremes de vales, onde o solo é raso e a declividade é alta e que possuem grande área de contribuição à montante. Tudo isso condiciona a formação de fluxos concentrados pluviais (enxurradas) ou fluviais (fluxo torrencial) nestes setores. As comunidades Caminho da Cruz, Arnaldo e Atanázio, mais ao sul da área de estudo, sofrem mais com fluxo torrencial que as demais por possuírem muitas ocupações próximas de fundos de vales, haja vista, que essas são áreas mais dissecadas pela rede de drenagem.

Figura 32 - Acumulação de fluxos na área de estudo e áreas urbanizadas sujeitas a enxurradas e fluxo torrencial (rios)



Fonte: Elaborado pela autora

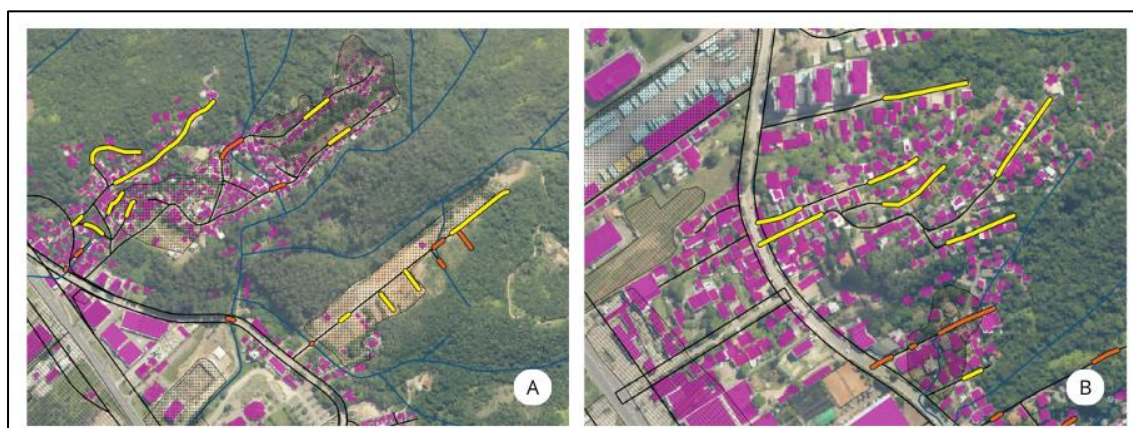
Figura 33 - Possibilidade de ocorrência de enxurradas e fluxo torrencial (rios) nas áreas urbanizadas do recorte de estudo



Fonte: Elaborado pela autora

Também foram identificados trechos de arruamentos mais suscetíveis a enxurradas e fluxo torrencial de rios sobre as alterações antrópicas, como as retiradas de material e movimentações de terra apresentadas na Figura 34, que mostra detalhes da Figura 33 para as comunidades da Barreira do Janga e Morro da Cláudia. Estas são áreas modificadas com criação de bancadas de retirada de material de empréstimo nas encostas, onde o fluxo de água escoar com velocidade nos cortes criados por essa extração e se acumulando nos arruamentos presentes no sopé destas bancadas.

Figura 34 - Detalhe do mapeamento de edificações e arruamentos suscetíveis a enxurradas e fluxo torrencial nas comunidades da Barreira do Janga (A) e Morro da Cláudia (B)



As linhas amarelas indicam os trechos de arruamentos com enxurradas, as linhas em laranja são os trechos que podem ser afetados por fluxo torrencial, as linhas pretas são os arruamentos, os polígonos rosas são as edificações e as linhas azuis são a rede de drenagem.

Fonte: Elaborado pela autora

Em um episódio de chuva intensa ocorrido no dia 16 de janeiro de 2025, onde o acúmulo de chuva em 24 horas chegou a 251mm no Norte da Ilha de Santa Catarina, diversos casos de enxurradas e fluxos torrenciais foram registrados nos trechos de arruamentos que sobem as encostas da área de estudo. Este foi o caso de servidões como a Almeida, José Cândido Amorim, Laura Lima, Los Angeles e Pedra do Balão. Nas visitas em campo, apesar de não terem sido feitas durante ou após precipitações extremas, já foram percebidos efeitos das enxurradas e fluxos torrenciais, como, por exemplo, nas servidões João Emílio Batista e Pedra do Balão (Figura 35), que apresentaram grande quantidade de sedimentos acumulados e os pavimentos dos arruamentos danificados.

Figura 35 - Efeito das enxurradas em arruamentos da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora

Como citado, há arruamentos construídos inclusive sobre os canais dos rios, muito suscetíveis aos efeitos dos fluxos torrenciais. Na servidão Firmino Linhares (Figura 36), por exemplo, há um rio captado por uma galeria e com cobertura que o faz atravessar a rua. Na parte mais côncava da rua, onde passa o rio canalizado e tamponado, o arruamento está danificado e pôde-se notar o acúmulo de umidade e sedimentos durante a visita em campo.

Figura 36 - Fundo de vale sujeito a fluxo torrencial na servidão Firmino Linhares



Obs.: O leito do rio atravessa o arruamento. As residências laterais sofrem com umidade e erosão ao longo do leito do rio nos seus quintais.

Fonte: A autora, 2025

Quando posicionados os resultados da identificação e distribuição espacial dos afloramentos perigosos, enxurradas e fluxos torrenciais, combinados com as feições erosivas de processos de encostas (ravina e cicatriz de deslizamento raso), sobre a compartimentação do relevo, como na Figura 37, nota-se que boa parte destas ameaças está localizada sobre as formas de relevo: fundos de vale abertos e encostas retilíneas e/ou convexas.

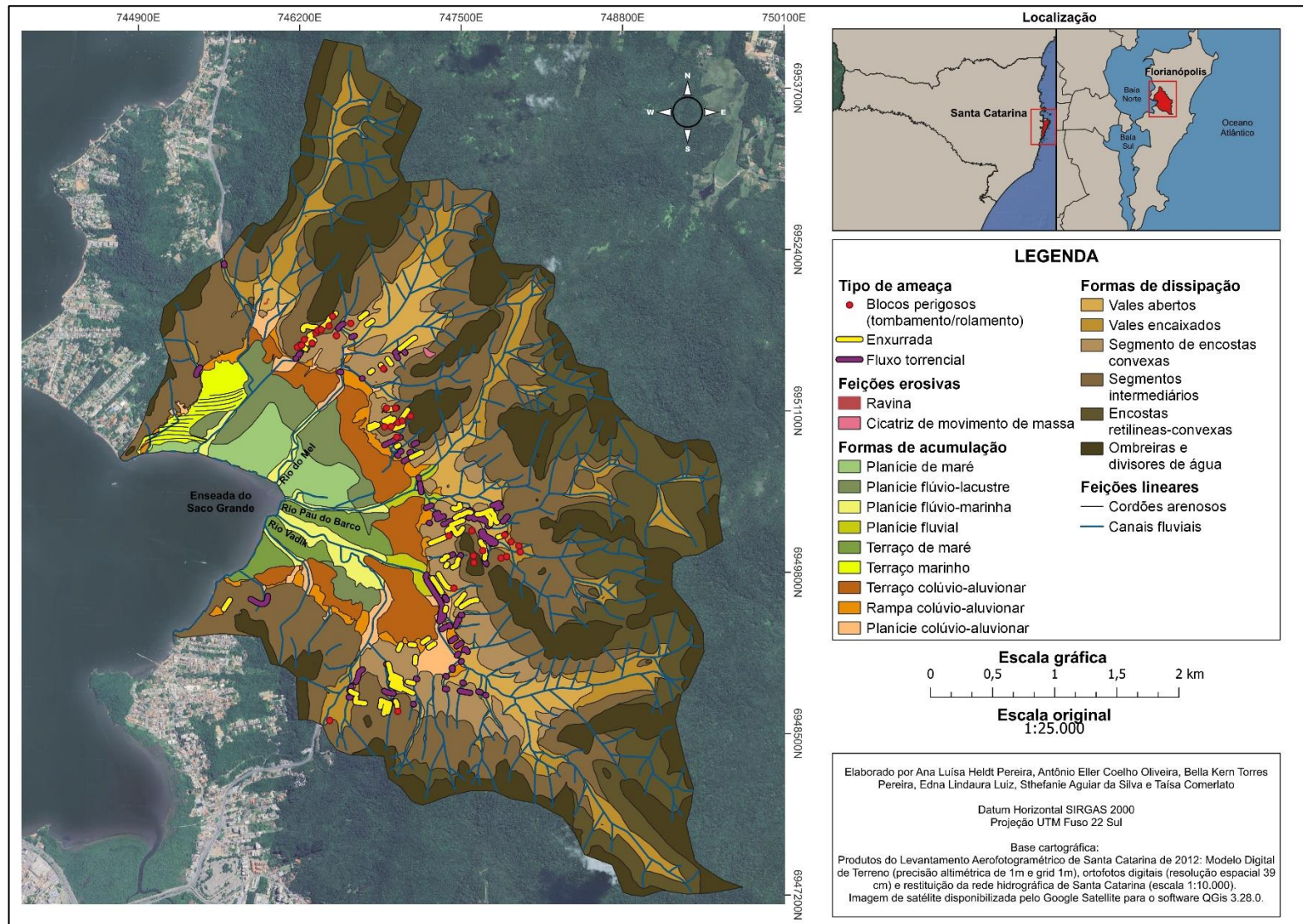
O sopé do maciço do Saco Grande, onde há a urbanização, é constituído por segmentos de encostas convexas entrecortado por vales abertos. Desta forma, esta parte do maciço tem condições que a torna mais suscetível aos fenômenos de enxurradas e fluxos torrenciais por sua posição de concentração de fluxos de uma grande área de contribuição a montante, além dos solos rasos e declividades mais significativas, especialmente da forma “Segmentos intermediários” mais acima.

É interessante também ressaltar que as enxurradas localmente são favorecidas pela impermeabilização do solo urbanizado, além dos arruamentos seguirem perpendiculares a maior inclinação dos terrenos, fato já observado por Luiz (1992), que estudou o recorte de estudo no início do processo de urbanização.

Nas áreas mais convexas do sopé do maciço, há muitos afloramentos rochosos, inclusive parece que a própria forma mais convexa é sustentada pela grande resistência da rocha em se alterar nestes setores. Desta forma, há muitos blocos rochosos aflorando de forma natural e induzida pela ação antrópica que podem se movimentar, como já comentado anteriormente, neste setor do sopé do maciço do Saco Grande.

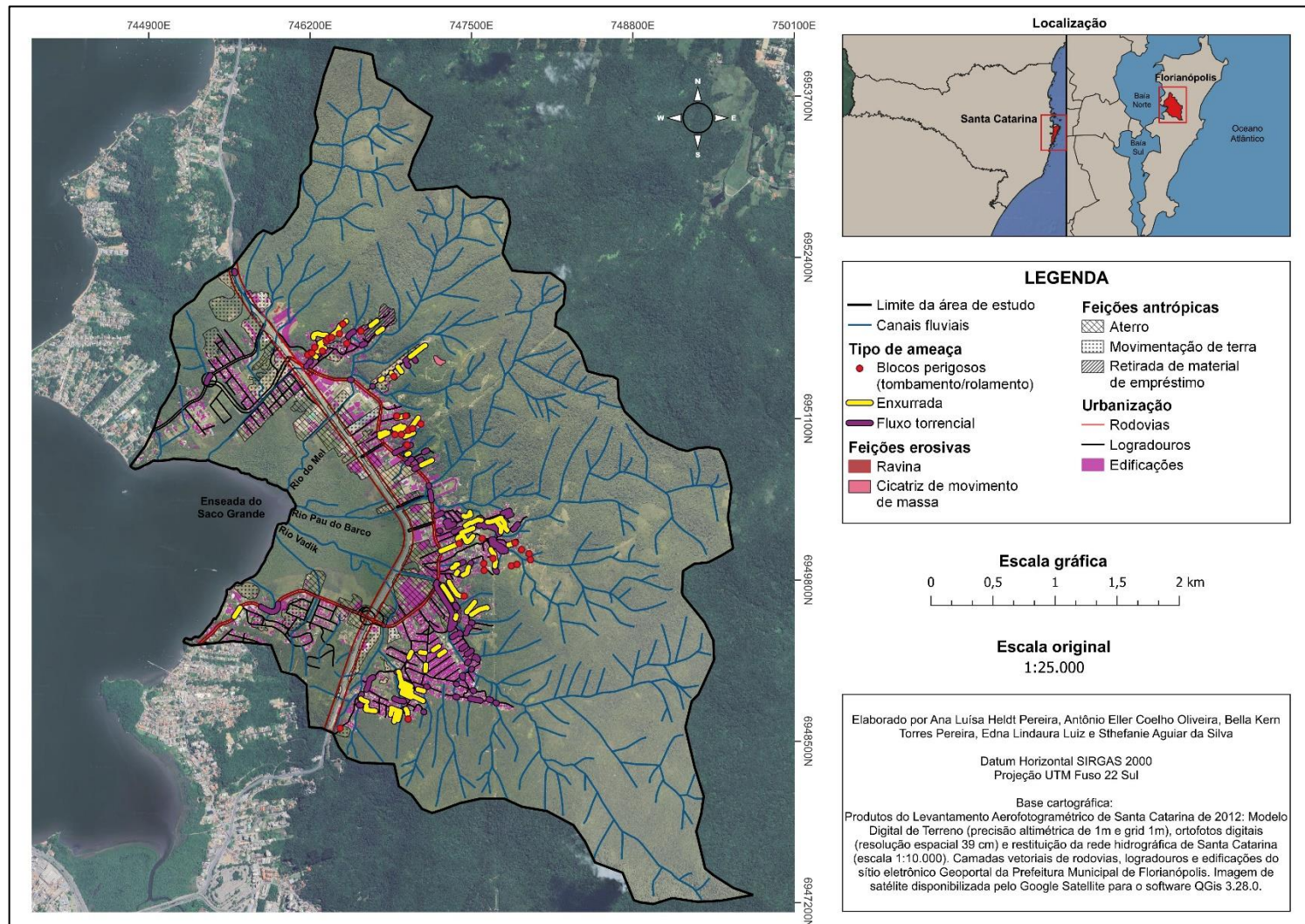
Quando estes mesmos resultados são posicionados sobre uma ortofoto da área de estudo e as camadas vetoriais de ocupação humana, como na Figura 38, são reforçadas as constatações de que as áreas mais suscetíveis a ameaças típicas dos processos pluvial, fluvial e movimento de massa (tombamento/rolamento de blocos rochosos) nas encostas são áreas densamente ocupadas em encostas íngremes, em áreas convexas ou côncavas (fundos de vale) e com grande influência de cortes e modificações antrópicas.

Figura 37 - Ameaças de tombamento/rolamento de blocos, enxurradas e fluxo torrencial em relação à compartimentação do relevo



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 38 - Ameaças de tombamento/rolamento de blocos, enxurradas e fluxo torrencial em relação às áreas urbanizadas e com modificações antrópicas do relevo



Fonte: Elaborado pela autora

O índice de saturação do terreno permite identificar áreas suscetíveis a alagamentos ou inundações na baixada e a enxurradas, fluxos torrenciais e deslizamentos rasos nas encostas. Somente são considerados os deslizamentos rasos para as encostas da área de estudo porque o manto de alteração do granito é pouco desenvolvido, principalmente nas encostas retilíneas e/ou convexas. Nestes locais, há próximo da superfície uma camada rochosa impermeável, o que não permite que se desenvolvam movimentos gravitacionais típicos de manto de alteração profundo, como os deslizamentos rotacionais, por exemplo. Em relação às ameaças possíveis de ocorrer nos compartimentos de relevo da baixada (Planície Costeira), alagamentos e inundações, estas estão muito ligadas com a presença e a acumulação de água vinda de montante, além da entrada de marés nas planícies próximas da enseada.

Os resultados da aplicação do cálculo de Índice de Saturação de O'Loughlin (1986) para os cenários de chuva de 100 e 251 mm sobre a compartimentação do relevo estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 39 e 40. Para os dois cenários de pluviosidade, os compartimentos da baixada aparecem quase que completamente saturados, com pequenas exceções sobre os terraços (principalmente colúvio-aluvionar e marinho). Estas feições estão mais altas que o seu entorno. Contudo, chama a atenção que os terrenos do terraço colúvio-aluvionar atualmente já estão aterrados, justamente porque antes sofriam com alagamentos pela subida do lençol freático e concentrações de fluxos no local, além de sofrerem com as inundações das planícies colúvio-aluvionares que os cortam. As rampas colúvio-aluvionares também correspondem a alguns terrenos menos saturados, isto se dá principalmente pela sua forma, geralmente inclinada ou convexa, e altitude em relação às demais formas de acumulação.

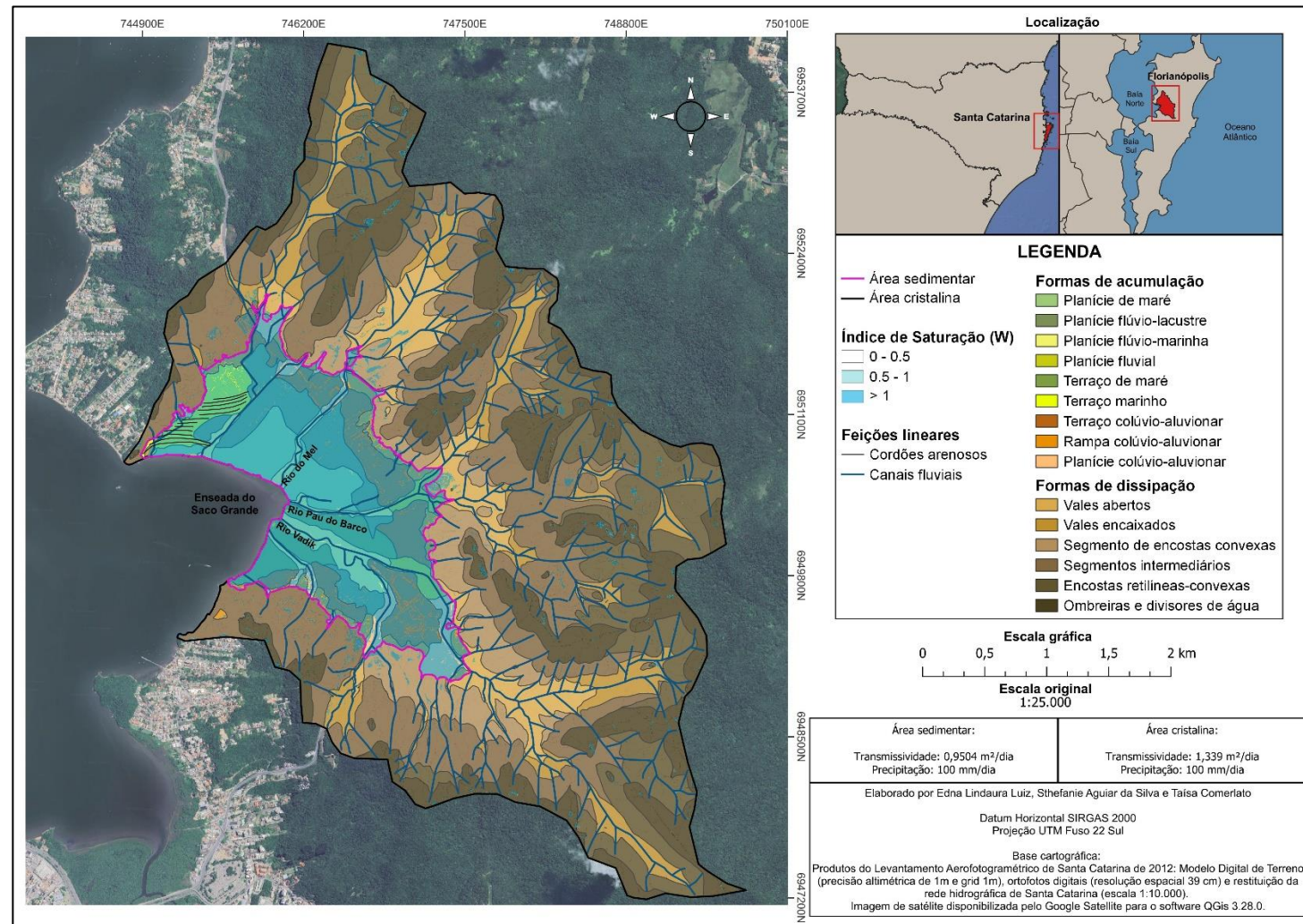
Nas planícies de maré e flúvio-lacustre, a saturação do terreno pode significar a chance de alagamentos, visto que são formas com lençol freático próximo da superfície e, quando o terreno está saturado, este pode aflorar. Nas planícies flúvio-marinhas e fluviais a saturação estará associada principalmente a eventos de inundação, já que estas formas são zonas tampão das inundações do rio, por onde este escoar e exerce seu trabalho em períodos de cheia. Quando o nível dos rios baixa, estas áreas podem estar sujeitas ainda ao solapamento das margens. As planícies fluviais, de maré e flúvio-lacustre também sofrem com a inundação costeira,

ou seja, com a entrada diária das marés altas, contudo o modelo de O'Loughlin (1986) não consegue dar conta deste fenômeno.

Nas encostas, as áreas de maior saturação correspondem aos topos planos de ombreira (onde há solos um pouco mais desenvolvidos e menor declividade, permitindo o acúmulo de água no perfil de alteração), cabeceiras de drenagem presentes na forma “Encostas retilíneo-convexas” e fundos de valem em função de suas formas côncavas que permitem o acúmulo de umidade. A saturação destas áreas pode significar ameaça de enxurradas, fluxos torrenciais e deslizamentos rasos. A saturação nos setores mais altos das encostas pode ser responsável, ainda, por gerar processos que produzem grande quantidade de fluxo de água e material que serão transportados até os setores mais baixos, podendo significar novas ameaças.

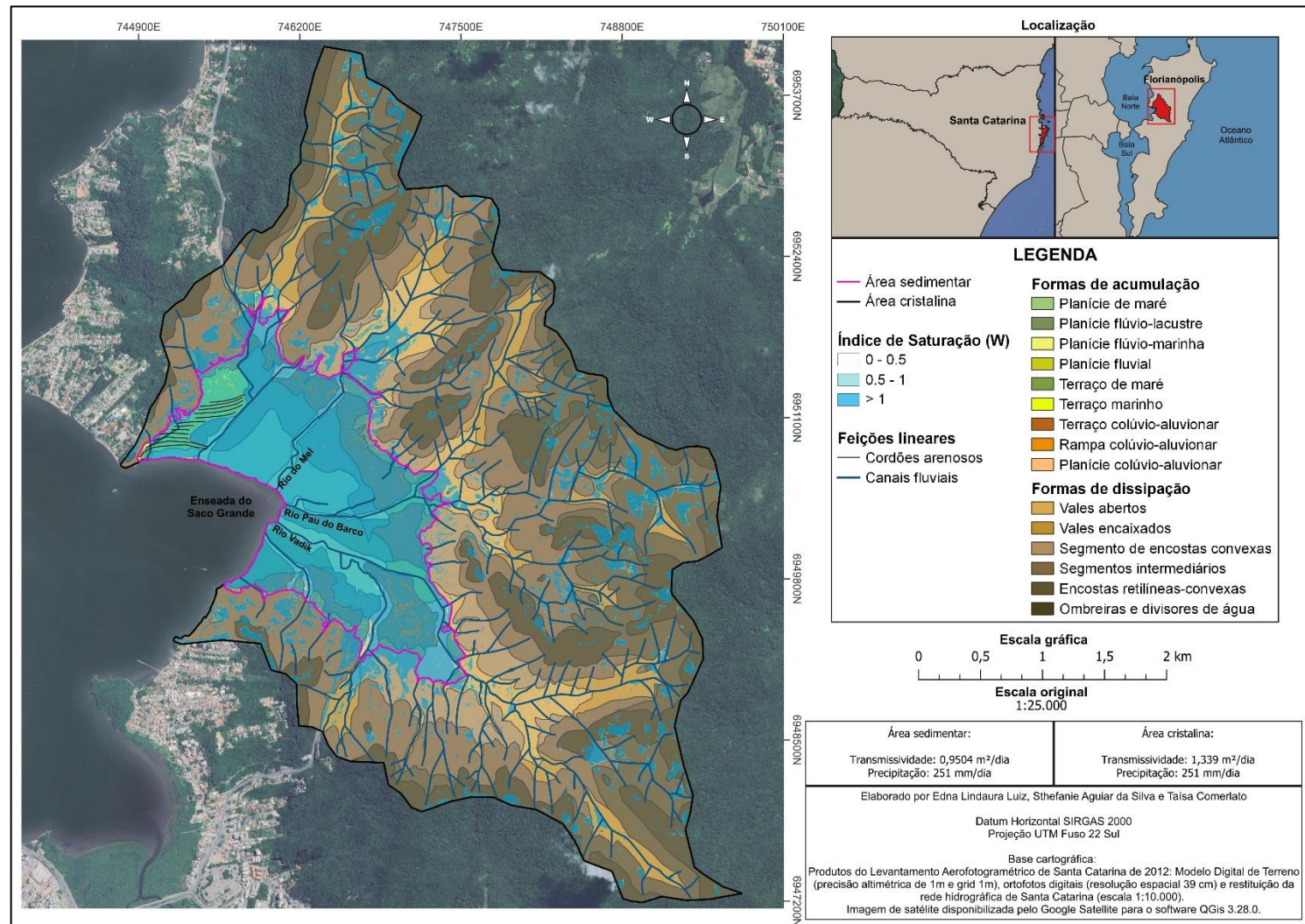
Os resultados do modelo de saturação de O'Loughlin (1986) (para precipitações de 100 e 251 mm/dia) em relação à zona urbanizada, combinado com as ocorrências de ameaças de tombamento/rolamento de blocos, enxurradas e fluxos torrenciais, bem como as feições erosivas e de modificações antrópicas do relevo, estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 41 e 42. Nota-se que muitas das áreas saturadas na baixada são áreas urbanizadas, apesar de alguns pontos menos saturados estarem localizados sobre terrenos aterrados (mais altos que o entorno). Estas ocupações estão sujeitas a alagamentos e/ou inundações para qualquer um dos dois cenários de chuva. O cenário de precipitação extrema de 251mm tem impacto principalmente sobre as encostas, aumentando consideravelmente as áreas saturadas, principalmente nos fundos de vales, cabeceiras de drenagem, e na parte mais próxima da transição com a baixada, onde está concentrada a maior parte da ocupação. No cenário de 251mm, o ravinamento identificado no norte da área de estudo também aparece completamente saturado.

Figura 39 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) sobre a compartimentação do relevo no cenário de precipitação de 100 mm/dia



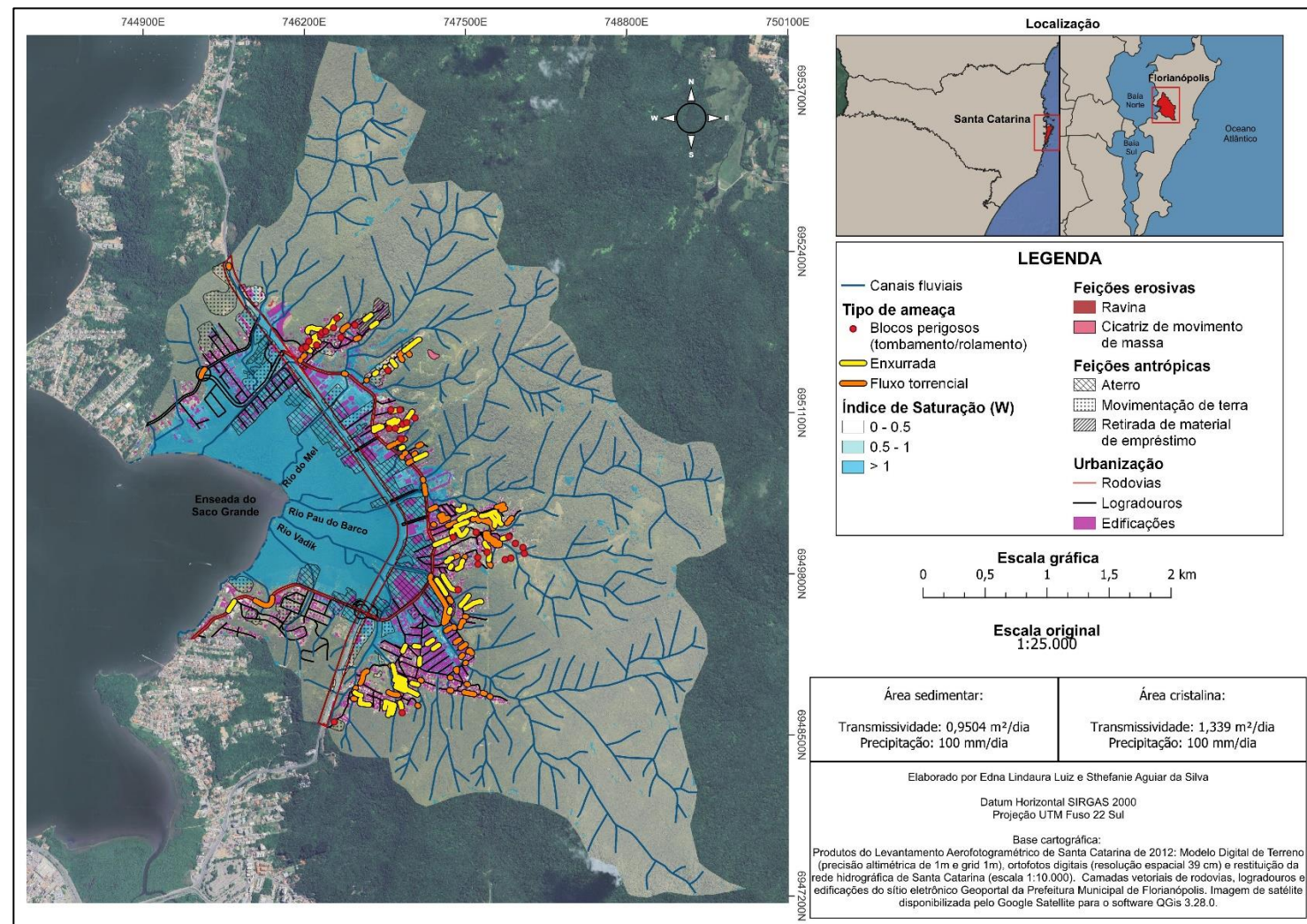
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 40 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) sobre a compartimentação do relevo no cenário de precipitação de 251 mm/dia



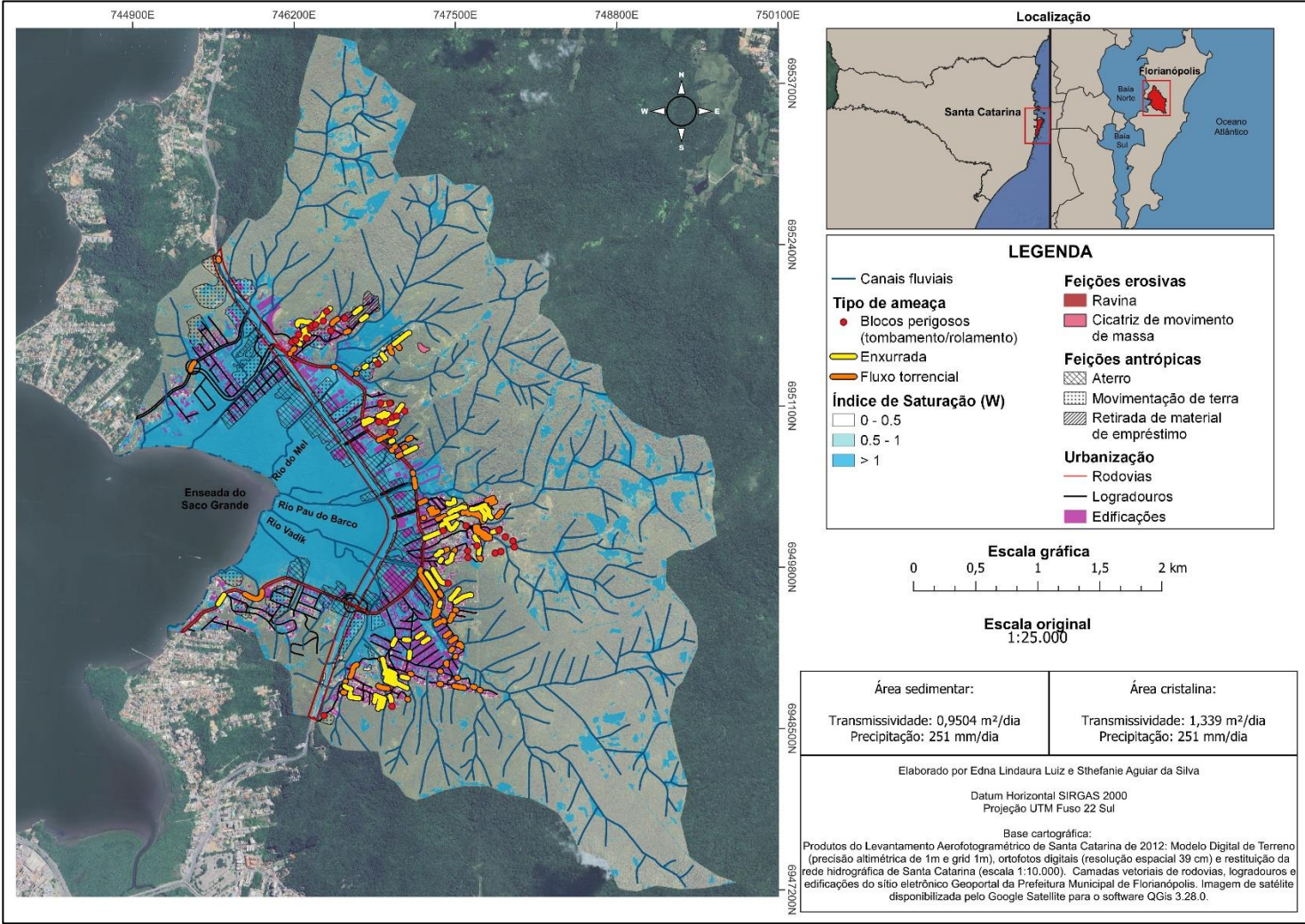
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 41 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) em relação à área urbanizada e às ameaças identificadas no cenário de precipitação de 100 mm/dia



Fonte: Elaborado pela autora

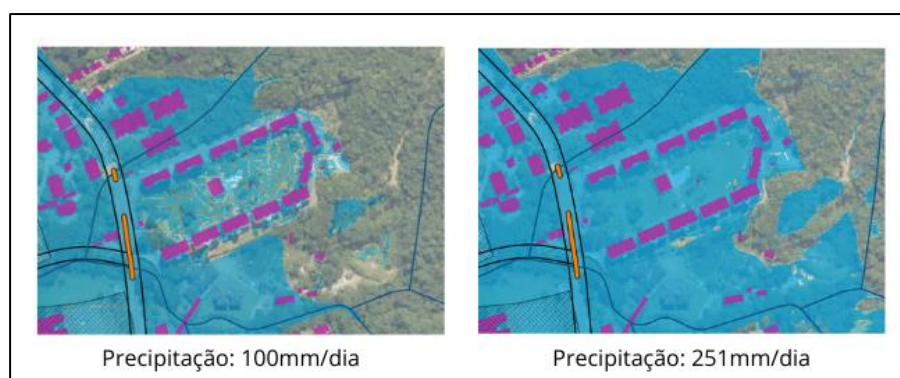
Figura 42 - Formação de áreas saturadas (modelo de O'Loughlin, 1986) em relação à área urbanizada e às ameaças identificadas no cenário de precipitação de 251 mm/dia



Fonte: Elaborado pela autora

Mais ao centro da área de estudo, na transição das encostas com a baixada, onde está localizado um condomínio (Central Park), há um dos poucos setores do sopé do maciço do Saco Grande que aparece saturado durante os dois cenários de precipitação (Figura 43). A rodovia SC-401, a jusante, também está suscetível a fluxos torrenciais (linha rosa na Figura 43) neste local. Neste caso, isto se dá pela localização destes terrenos em um ponto de encontro de dois canais com uma grande área de contribuição à montante.

Figura 43 – Detalhe das áreas saturadas (Modelo de O’Loughlin, 1986) para o setor junto ao condomínio Central Park

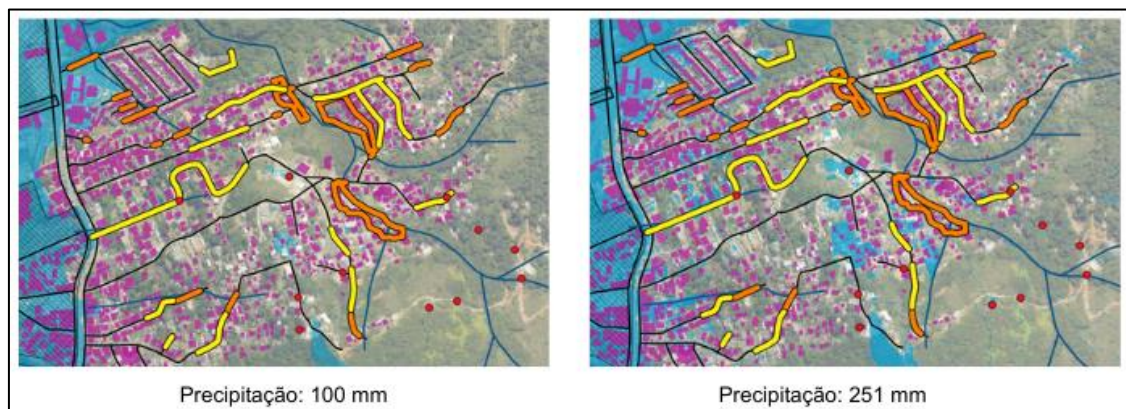


A linha laranja no meio no meio do traçado da Rod. SC 401 representa fluxo torrencial.
Fonte: Elaborado pela autora

Também aparece saturada nos dois cenários de precipitação uma área de modificação antrópica do relevo (cortes e aterros no mesmo terreno) no limite norte do recorte de estudo, junto da rodovia SC-401. Este terreno está sendo remodelado para receber um grande empreendimento. Não se sabe se isso ainda ocorre, pois essa movimentação de terra é mais recente do que o modelo digital de terreno, de 2012, em que se baseou a identificação das áreas saturadas.

Junto aos Morros do Atanázio e do Caju há algumas áreas de cabeceiras de drenagem que aparecem saturadas nos dois cenários (Figura 44), estas contêm blocos rochosos considerados perigosos, como é o caso do bloco que serve como base para casa na servidão Belo Horizonte, apresentado na Figura 31, os blocos expostos sobre a praça de esportes no Morro do Caju na rua (Figura 45) e os blocos deslocados expostos em corte de encosta na servidão Evangélicos (Figura 46), por exemplo. Estes blocos podem tombar, caso a saturação gere processos que lave os materiais mais finos que os mantêm presos à encosta ou escoamento superficial concentrado (enxurrada) cuja força os carregue encosta abaixo.

Figura 44 – Detalhe das zonas saturadas (Modelo de O’Loughlin, 1986) para o setor junto à comunidade do Morro do Atanázio e Morro do Caju



As linhas amarelas representam os logradouros suscetíveis às enxurradas, as linhas laranjas representam os fluxos torrenciais de rios e os pontos vermelhos os afloramentos de blocos rochosos perigosos.

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 45 - Afloramento de blocos rochosos na praça de esportes do Morro do Caju



Fonte: Bella Kern, 2024

Figura 46 – Acúmulo de blocos rochosos na servidão Evangélicos (Morro do Caju)



Obs.: Este acúmulo aparenta ser antrópico.
Fonte: Bella Kern, 2024

O cenário de chuva de 251 mm mostra diversas áreas saturadas junto a terrenos ocupados e/ou com modificações antrópicas do relevo nas encostas. Além de contribuir com os eventos de enxurradas e fluxos torrenciais mapeados, estas áreas saturadas podem significar ameaças de deslizamentos rasos que podem, ainda, movimentar blocos rochosos encosta abaixo. Ainda, apesar do episódio de chuva extrema de 251 mm ter sido registrada como o acúmulo do dia 16 de janeiro de 2025, essa precipitação foi concentrada em poucas horas deste dia, representando uma chuva de alta intensidade. O modelo de saturação de O’Loughlin considera os parâmetros de duração e quantidade de chuva, mas não avalia a sua intensidade, que pode reforçar ainda mais os eventos perigosos. Também seria importante um modelo que permitisse medir a interação dos episódios de chuva com as flutuações nas marés astronômica e meteorológica, que possuem grande efeito sobre os fenômenos da Planície Costeira e que podem impedir que os terrenos saturados de montante drenem água acumulada em direção ao mar.

Após a análise de cada uma das ameaças identificadas através dos métodos propostos, foi possível distribuí-las de acordo com os compartimentos de relevo, como segue listado no Quadro 3.

Quadro 3 – Ameaças identificadas por compartimento de relevo

Compartimento	Ameaças do meio físico-natural
Planície de maré	Alagamentos e inundações dos rios (quando chove), inundação costeira (maré)
Planície flúvio-lacustre	Alagamentos, inundação dos rios, inundação costeira (maré que entra pelos rios)
Planície flúvio-marinha	Inundações, erosão de margens, inundação costeira (maré que entra pelos rios)
Planície fluvial	Inundações, fluxo torrencial, erosão de margens
Terraço marinho	Alagamentos
Terraço de maré	Alagamentos, inundação costeira (entrada de marés mais altas)
Terraço colúvio-aluvionar	Alagamentos
Rampa colúvio-aluvionar	Deposição de sedimentos de processos atuantes a montante, enxurradas, deslizamentos em cortes de encosta
Planície colúvio-aluvionar	Inundações, fluxo torrencial, erosão de margens
Vales abertos	Fluxo torrencial, inundações e erosão de margens. Nas encostas laterais é possível ocorrer: enxurradas; tombamento/rolamento de blocos; deslizamentos rasos
Vales encaixados	Fluxo torrencial e erosão de margens. Nas encostas laterais é possível ocorrer: enxurradas; tombamento/rolamento de blocos; deslizamentos rasos
Segmento de encostas convexas	Enxurradas e tombamento/rolamento de blocos
Segmentos intermediários	Enxurradas e tombamento/rolamento de blocos
Encostas retilíneas-convexas	Enxurradas e tombamento/rolamento de blocos

Fonte: Elaborado pela autora

É notável que os compartimentos da Planície Costeira estão muito sujeitos a eventos relacionados à saturação do terreno, sejam alagamentos, em áreas de lençol freático próximo da superfície, inundações dos rios, nas zonas para as quais os rios extravasam em períodos de cheia, ou inundações costeiras, em áreas baixas com influência das marés. Os terraços marinho e colúvio-aluvionar são os únicos

compartimentos com suscetibilidade a apenas um tipo de ameaça, os alagamentos. Sua localização, altitude e distância relativas permitem que estes compartimentos estejam mais abrigados dos fenômenos atuais relacionados aos rios e ao mar. No entanto, possuem lençol freático próximo da superfície, o que contribui para os alagamentos. As planícies fluviais e colúvio-aluvionares, que também estão mais distantes da costa, não contam com ameaças relacionadas às marés, mas sua declividade torna estes ambientes suscetíveis aos fluxos torrenciais, além das inundações. Em todos os compartimentos com influência direta dos rios existe, ainda, o perigo de erosão das margens.

As rampas colúvio-aluvionares são os únicos compartimentos da baixada que não contém ameaças de alagamentos e/ou inundações. Isto se dá pela sua forma e altitude, que são justamente o que condiciona as ameaças às quais estão sujeitas, como as enxurradas e os deslizamentos. Como são formas de deposição recente de material proveniente da encosta, estão suscetíveis a novos movimentos deposicionais gerados por instabilidades a montante. Ainda, como costumam ser compartimentos de solo relativamente profundo e sob grande influência de alterações antrópicas, podem estar suscetíveis a deslizamentos em cortes de encosta.

Nota-se que os vales, sejam abertos ou encaixados, são ambientes muito perigosos. Não somente estão suscetíveis aos perigos relacionados ao trabalho dos rios, mas suas encostas laterais, geralmente íngremes, de solo raso e com bastante afloramento de blocos rochosos, estão muito sujeitas a fenômenos como enxurradas, tombamento/rolamento de blocos e deslizamentos rasos.

Apesar desta pesquisa ter limitado sua área de estudo para a identificação de afloramentos de blocos rochosos nas áreas ocupadas, estas ocorrências também são prováveis em compartimentos mais altos que, mesmo que não contenham cortes de encosta, por exemplo, são áreas naturalmente íngremes e de solo pouco profundo, com blocos expostos. Mesmo não atingindo ocupações diretamente no seu desprendimento da encosta, estes blocos podem ser movidos para jusante através de eventos de enxurradas, ou serem transportados pelos rios em eventos de fluxos torrenciais e, portanto, tornar-se perigosos para as ocupações nas áreas mais baixas.

Além de serem condicionadas pelos processos naturais típicos de cada um destes compartimentos, as ameaças identificadas também estão muito relacionadas aos efeitos da antropização. Os cortes de encosta, criados para o estabelecimento de residências principalmente nas rampas colúvio-aluvionares e sobre as formas de

dissecação, contribuem para a ocorrência de tombamento/rolamento de blocos e deslizamentos rasos. A impermeabilização dos terrenos para a construção de residências e arruamentos nas feições de dissecação deixa estes trechos mais suscetíveis a enxurradas e fluxos torrenciais de rios. Nas formas de acumulação, os aterros contribuíram para deixar alguns terrenos menos suscetíveis aos efeitos da saturação, como inundação e alagamentos. No entanto, a impermeabilização do terreno contribui para estas ameaças, assim como a alteração dos canais fluviais (como a retificação, por exemplo) e a construção de equipamentos próximos das margens dos rios.

Todas as ameaças identificadas são, portanto, parte de processos naturais modeladores do relevo do Sistema Hidrográfica da Enseada do Saco Grande, mas estes eventos perigosos, apesar de coordenados pelo trabalho da chuva, dos rios ou da gravidade, possuem grande influência das interações humanas com o ambiente físico-natural. As ocupações humanas, além de serem os elementos sob ameaça, são fator condicionante de muitos dos eventos perigosos identificados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa pretendeu analisar as ameaças do meio físico-natural presentes no Sistema Hidrográfico da Enseada do Saco Grande a partir de uma compartimentação do relevo. Para isso, foi, inicialmente, gerado um mapa geomorfológico de detalhe da área de estudo. A partir da identificação dos compartimentos que compõe o recorte, foi possível analisar e descrever os processos modeladores que atuam sobre a área. Destes processos, alguns foram considerados perigosos de acordo com a possibilidade de atingirem ocupações humanas.

Na Planície Costeira, foram identificadas formas de acumulação dos tipos: planície de maré, planície flúvio-lacustre, planície flúvio-marinha, planície fluvial, terraço de maré, terraço marinho, terraço colúvio-aluvionar, rampa colúvio-aluvionar e planície colúvio-aluvionar. As áreas de planície de maré, assim como todas as áreas mais baixas, possuem o lençol freático muito próximo da superfície, o que condiciona alagamentos em episódios de chuvas de grande quantidade, duração ou intensidade. Estas áreas também estão suscetíveis ao trabalho dos rios próximos, que podem causar inundações em momentos que extravasam as suas planícies, além do trabalho das altas de marés astronômicas e/ou meteorológicas, que fazem com que as águas da costa invadam o continente e que as águas continentais não consigam escoar até o estuário.

As planícies flúvio-lacustres estão suscetíveis às mesmas ameaças da planície de maré, visto que, além do lençol freático próximo da superfície, os rios que correm próximo destas podem causar inundações fluviais, ou mesmo serem responsáveis por transportar água das marés para o continente, causando inundações costeiras sobre este compartimento. Este compartimento foi alvo de muitas ocupações recentes que se instalaram sobre aterros, criados para aumentar o nível do terreno e evitar os alagamentos.

As planícies flúvio-marinhas, além de contarem com a contribuição das marés para criar eventos de inundações costeiras, estão sujeitas a fenômenos típicos de zonas tampão de rios, como inundações fluviais e erosão de margens. As planícies fluviais, mais distantes da costa, não têm influência das marés, mas a sua alta declividade faz com que estas estejam sujeitas, além de inundações fluviais e erosão de margens, aos eventos de fluxo torrencial de rios.

O terraço de maré também está muito suscetível aos efeitos das inundações costeiras, bem como aos alagamentos. O terraço marinho, cada vez mais ocupado e descaracterizado na área de estudo, também tem chance de alagamentos, visto a proximidade do lençol freático da superfície. Os terraços colúvio-aluvionares também já foram muito descaracterizados por aterros para o estabelecimento de comércios e residências próximos das duas principais rodovias da área. Apesar dos aterros sobre estes compartimentos aumentarem o seu nível e os deixarem menos suscetíveis aos alagamentos, a impermeabilização dos solos contribui para este fenômeno.

As rampas colúvio-aluvionares são formas com solo geralmente mais profundo, gerado pela deposição sucessiva de materiais produzidos por processos de encosta (como enxurradas e movimentos de massa). Este compartimento também já está densamente ocupado e modificações antrópicas podem contribuir com a criação de fenômenos perigosos, como as enxurradas sobre os terrenos impermeabilizados e os deslizamentos em cortes de encosta. As planícies colúvio-aluvionares, também bastante alteradas e ocupadas, estão sujeitas a inundações, erosão de margens e fluxo torrencial de rios.

Nas áreas de dissecação foram identificados os compartimentos de vales abertos e encaixados, segmentos de encostas convexas, segmentos intermediários, encostas retilíneas-convexas, ombreiras e divisores de água. As visitas em campo permitiram notar o quanto os compartimentos do modelado de dissecação estão suscetíveis aos perigos relacionados à tombamento/rolamento de blocos e as enxurradas ou fluxo torrencial de rios. Estes compartimentos mais altos e íngremes possuem solos rasos, formas geralmente retas ou convexas e diversos afloramentos de blocos rochosos. Muitos destes blocos também estão expostos por conta de intervenções humanas, como cortes de encosta e áreas de retirada de material de empréstimo.

Situações perigosas relacionadas ao movimento de massa do tipo tombamento/rolamento de blocos foram observadas em quase todos os segmentos de dissecação, com menor relevância na parte sul da área de estudo, formada pelo Granito Itacorubi. Os blocos fazem parte da paisagem das comunidades e muitos deles estão, inclusive, incorporados na arquitetura das residências, se tornando ainda mais perigosos. A impermeabilização dos terrenos sobre os compartimentos de dissecação, feita principalmente para a construção de arruamentos, também mostrou contribuir para eventos perigosos, como as enxurradas e fluxo torrencial de rios. Estas

modificações antrópicas estão principalmente sobre os vales abertos, segmentos convexos e intermediários das encostas.

Entretanto, características físicas-naturais dos segmentos mais altos, como os retilíneo-convexos, os vales encaixados e as ombreiras, permitem que estes ambientes também estejam sujeitos a ameaças do tipo enxurradas, fluxos torrenciais de rios e tombamento/rolamento de blocos, mesmo sem intervenções humanas que contribuam para estes eventos. São características que condicionam estes fenômenos, por exemplo, a declividade destas áreas, sua forma (reta ou convexa) e a profundidade rasa do solo, que contribuem para o escoamento superficial, para o aumento da velocidade dos fluxos de água e material dos rios e das encostas e para o afloramento de blocos rochosos.

É notável, portanto, que apesar dos fenômenos identificados como ameaças serem parte da modelagem natural do relevo deste sistema hidrográfico, a ocupação humana contribui para probabilidade de ocorrência destes eventos, seja construindo sobre os terrenos perigosos, de forma irregular e sem as obras de contenção necessárias, ou mesmo alterando as formas de relevo e contribuindo para a deflagração de processos naturais, como através de cortes de encosta, movimentação ou retirada de materiais, construção de aterros e impermeabilização dos terrenos, por exemplo. Vale ressaltar que este trabalho é limitado pelo recorte temporal da sua realização e dos dados disponíveis. A área de estudo segue em crescimento, com a instalação de novas ocupações ainda não mapeadas que podem estar suscetíveis às ameaças identificadas ou mesmo condicionar novas ameaças.

Para definir se estas ameaças identificadas podem se transformar em riscos, seria necessário, ainda, medir o nível de vulnerabilidade destas ocupações e de seus residentes, de modo a inferir se estes teriam capacidade de lidar e se recuperar destes eventos perigosos. O conhecimento sobre as formas de relevo e sobre os processos do meio físico-natural que atuam sobre cada uma delas permite com que o habitante de áreas perigosas esteja ciente de sua situação e possa buscar as melhores formas de lidar com as possíveis ocorrências. Também é muito importante que análises como esta sejam consideradas pelo poder público, que pode identificar áreas que necessitam de intervenções como obras de contenção ou ações educativas para a comunidade afetada, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ARGENTO, M. S. E. Mapeamento geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (orgs.), **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos, p. 365 - 391. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 458 p.
- ARNEDO, M. T. E. Cartografía geomorfológica temática y aplicada. In: MONNÉ, J. L. P. **Cartografia Geomorfológica**: básica y aplicada. Logroño: Geoforma Ediciones, 1997. p. 147-182.
- BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Morfogênese Fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia**: formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020. p. 163-174.
- BOLIN, R.; STANFORD, L. **The Northridge Earthquake**: vulnerability and disaster. Londres: Routledge, 1998.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. 2007. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/185>>. Acesso em: 03 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Manual Técnico para Concepção de Intervenções para Fluxo de Detritos**. 2018. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/Volume4-ManualTecnicoParaIntervencoesEstruturaisParaFluxoDeDetritos_SEDEC.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2024.
- BROOKS, S. M.; RICHARDS, K. S.; ANDERSON, M. G. Approaches to the study of hillslope development due to mass movement. **Progress in Physical Geography**, v. 17, p. 32-49, 1993.
- CAINE, N. The rainfall intensity - duration control of shallow landslides and debris flows. **Geografiska Annaler**, v. 62, p. 23-27, 1980.
- CARDONA, O. D. **Indicators for risk measurement**: methodological fundamentals. Manizales: Inter-American Development Bank, 2003.
- CARUSO JÚNIOR, F. **Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina**: Texto explicativo e Mapa. Porto Alegre: URGs, 1993.
- CARVALHAIS, R. M. *et al.* Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 9765-9772, 2019.
- CASSETI, V. Cartografia Geomorfológica. **Observatório Geográfico de Goiás**, v. 20, n. 8, 2005.
- CASTRO, A. L. C. **Manual de Planejamento em Defesa Civil**: Volume I. Brasília: Secretaria de Defesa Civil, 1999.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres**: Desastres naturais. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

CERRI, L. E. S. **Riscos Geológicos associados a escorregamentos**: uma proposta para prevenção de acidentes. 1993. 197p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1993.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. do. **Riscos geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (org.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 1998.

CHARDON, A. A geographic approach of the global vulnerability in urban area: case of Manizales, Colombian Andes. **GeoJournal**, n.49, p. 197–212, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; C., S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994, p. 415-441.

COOKE, R. V. & DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management**: an introduction. Oxford: Clarendon Press, 1974, 413 p.

COURA NETO, A. B., KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. DIGEO. **Mapeamento Temático do município de Florianópolis**. Florianópolis, IPUF, 1991.

CRUZ, O. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo**: um estudo de geomorfologia costeira. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.

DERRUAU, M. **Les formes du relief terrestre**: Notions de géomorphologie. 8. ed. Paris: Armand Colan, 2011.

DIAS, F. P. **Análise de susceptibilidade a deslizamentos no bairro Saco Grande, Florianópolis - SC**. 2000. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DUARTE, F. **Planejamento urbano**. Editora Ibpx, 2009.

FELDBRÜGGE, T.; VON BRAUN, J. Is the world becoming a more risky place?: trends in disasters and vulnerability to them. **Zef Discussion Papers On Development Policy**, Bonn, v. 45, p. 1-42, 2002.

FERNANDES, N. F. *et al.* Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, 2001.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123-194, 2019.

FINLAY, P. J.; FELL, R.; MAGUIRE, P. K. The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 34, n. 6, p. 811-824, 1997.

FIOLLEAU, S. *et al.* Assessing probability of failure of urban landslides through rapid characterization of soil properties and vegetation distribution. **Geomorphology**, v. 423, 2023.

FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 105-128.

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura de Florianópolis. **Lei Complementar n. 482, de 17 de janeiro de 2014**. 2014. Disponível em: <https://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/04_02_2014_12.01.39.ae8afdb369c91e13ca6efcc14b25e055.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2024.

GAO, J. Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 18, 1993, p. 579-591.

GAO, L.; ZHANG, L. M.; CHEUNG, R. W. M. Relationships between natural terrain landslide magnitudes and triggering rainfall based on a large landslide inventory in Hong Kong. **Landslides**, v. 15, p. 727-740, 2018.

GARCEZ; L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1988. GONZALEZ-OLLAURI, A.; MICKOVSKI, S. B. Hydrological effect of vegetation against rainfall-induced landslides. **Journal of Hydrology**, v. 549, p. 374-387, 2017.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. P. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 149-210.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M.S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

HENRIQUE, W.; MENDES, I. A. Areias em movimento: Um estudo sobre a morfodinâmica da Ilha Comprida - SP. **Geografia**, v. 24, n. 3, p. 69-92, 1999.

HERRMANN, M. L. P.; ROSA, R. O. Geomorfologia. In: IBGE. DIGEO. **Mapeamento**

Temático do município de Florianópolis. Florianópolis, IPUF, 1991. 62p.

HERRMANN, M. L.P. **Problemas Geoambientais na Faixa Central do Litoral Catarinense.** 1998. 325 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados e Informações Ambientais.** Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>>. Acesso em: 02 out. 2024.

IFRC. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. **Vulnerability and capacity assessment: An International Federation Guide.** 1999. Disponível em: <https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/IFRC_VulnerabilityCapacityAssessment.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.

KLIMASZEWSKI, M. Detailed geomorphological maps. **ITC Journal**, 1982/83, 7 p.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais:** conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

LU, P.. Using multiple vegetation layers to reduce the risk of rainfall-induced landslides and facilitate post-landslide slope rehabilitation. **Access International Journal of Agricultural Science**, v. 2, n. 2, p. 13-17, 2014.

LUIZ, E. L. **Ocupação de Encostas:** Bairro Saco Grande II - Florianópolis/SC. 1992. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1992.

LUIZ, E. L. **Influência da dinâmica hidrológica e das características das formações superficiais nos mecanismos de ruptura das encostas com rochas granitóides de áreas subtropicais** - São Pedro de Alcântara - SC/. 2003. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

LUIZ, E. L. Dinâmica dos sistemas físico-naturais e sua importância para a definição de áreas de risco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 368-378.

LUIZ, E. L. Geomorfologia. In: ROCHA, I. O. **Atlas Geográfico de Santa Catarina:** diversidade da natureza. Florianópolis: Editora Udesc, 2016. p. 91-108.

LUIZ, E. L.; LAMAS, M. M. R. Aplicação do mapeamento geomorfológico na discussão das potencialidades e limitações de terrenos da zona costeira frente à ocupação humana: estudo de caso no Distrito de Rio Vermelho, Florianópolis/SC. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 01, p. 173-186, 2017.

LUIZ, E. L. ; SANTOS, L. A. ; ROSA, J. P. O. Criação de áreas de risco: os problemas com alagamentos no distrito de Rio Vermelho, Florianópolis/SC. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 75-101, 2019.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia**: formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; COTA, G. E. M. Morfodinâmica Fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia**: formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020a. p. 121-162.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P.; COTA, G. E. M. Classificação de sistemas fluviais In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. **Hidrogeomorfologia**: formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020b. p. 217-258.

MARCÉN, C. S. Los mapas de riesgos. In: MONNÉ, J. L. P. **Cartografia Geomorfológica**: básica y aplicada. Logroño: Geoforma Ediciones, 1997. p. 183-202.

MARTINS, J. A. Infiltração. In: PINTO, N. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Blucher, 1976. p. 44–55.

MARTINS, M. H. **Influência orográfica do Maciço do Cambirela no comportamento das precipitações locais no período de março de 2020 a fevereiro de 2021**. 2021. 129 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

MATEUS, A. P. **Geologia e paleografia do Sistema Depositional do Laguna-Barreira IV na região das lagoas dos Esteves, do Faxinal e Mãe Luzia, sul do estado de Santa Catarina, Brasil**. 2017. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MODENESI-GAUTTIERI, M. C.; HIRUMA, S. T. A expansão urbana no planalto de Campos do Jordão: diagnóstico geomorfológico para fins de planejamento. **Revista do Instituto Geológico** (Descontinuada), v. 25, n. 1-2, p. 1-28, 2004.

MONNÉ, J. L. P. Los mapas geomorfológicos: características y tipos. In: MONNÉ, J. L. P. **Cartografia Geomorfológica**: básica y aplicada. Logroño: Geoforma Ediciones, 1997. p. 13-24.

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Revista Geosul**. Vol.16, n. 31. Florianópolis, p. 69 – 78. 2001.

MONTGOMERY, D. R. Road surface drainage, channel initiation, and slope instability. **Water Resources Research**, v. 30, n. 6, p. 1925-1932, 1994.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water resources research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, 1994.

OLIVEIRA, O. M.; BIM, R.; ESPINDOLA, M. S. Aspectos geotécnicos do escorregamento de encosta da rodovia SC-401/Florianópolis. In: **XVI COBRAMSEG**, 2012, Recife/PE. XVI COBRAMSEG, 2012.

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. **Water resources research**, v. 22, n. 5, p. 794-804, 1986.

ONDA, Y. Seepage erosion and its implication to the formation of amphitheatre valley heads: a case study at Obara, Japan. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 19, n. 7, p. 627-640, 1994.

ONU. Organização das Nações Unidas. Inter-Agency Secretariat Of The International Strategy For Disaster Reduction (UN/ISDR). **Living with Risk**: a global review of disaster reduction initiatives. Geneva: United Nations Publications, 2004.

PALACIOS, J. D. *et al.* **Gestión de riesgo en los gobiernos locales**. Lima: Soluciones Prácticas, 2005.

PEIXOTO, M. N. O.; MOURA, J. R. S.; SILVA, T. M. Morfometria de cabeceiras de drenagem em anfiteatro e a retomada erosiva por voçorocamento - Bananal (SP). In: III Simpósio de Geografia Física Aplicada, 1989, Nova Friburgo, **Anais...**, Nova Friburgo, 1989, v. 2, p. 149-174.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PORTO, R. L. *et al.* Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: Ciência e Aplicação. São Paulo: EDUSP, 1993. p. 805-842.

RECKZIEGEL, B. W.; ROBAINA, L. E. S. Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual. **Ciência e Natura**, v. 27, n. 2, p. 65-84, 2005.

RIBEIRO, M. F. Uma Contribuição Analítica ao Mapeamento Geomorfológico no Brasil (1970-1995). **GEO UERJ**: Revista do Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p. 83-93, jun. 1998.

RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos e zoneamento de risco no município de Três Coroas-RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 02, p. 456-469, 2016.

ROY, P. S. *et al.* Wave-dominated coasts. In: CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D.. **Coastal evolution**: Late Quaternary shoreline morphodynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 121-186.

SALGUEIRO, R. S. **Aplicação e avaliação de metodologias laboratoriais e empíricas para a determinação da condutividade hidráulica de sedimentos**. 2005. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Bacharelado em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. New York: Wiley, 1977.

SELBY, M. J. **Hillslope materials & processes**. New York: Oxford University Press, 1993. 451 p.

SENNA, P. S. **Área de risco aos processos do meio físico em encostas**: Estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis - SC. 2014. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SIDLE, R. C.; OCHIAI, H. **Landslides**: processes, prediction, and land use. Washington: American Geophysical Union, 2006. 315 p.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: Ciência e Aplicação. São Paulo: EDUSP, 1993. p. 35-52.

SIMÕES, R. F. **Métodos de análise regional e urbana**: diagnóstico aplicado ao planejamento. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2005.

SOARES, F. L.; RAMOS FILHO, G. M. Correlação entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa-PB. In: 17., 2014, Goiânia. **Anais eletrônicos do XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**. Goiânia: COBRAMSEG, 2014.

SOMMER, S.; ROSATELLI, J. S. Solos. In: IBGE. DIGEO. **Mapeamento Temático do município de Florianópolis**. Florianópolis, IPUF, 1991.

SOUZA, C. R. G. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. **Anais-Acadêmia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 353-366, 1998.

SOUZA, B. P. **Padrões atmosféricos associados a riscos de inundação costeira no litoral central e centro-norte de Santa Catarina**. 2022. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Desastres Naturais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

STEVAUX, J.C.; LATRUBESSE, E.M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2003.

TATIZANA, C. *et al.* Análise de Correlação entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar – Município de Cubatão. In: **Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**. São Paulo: 1987.

TENA, M. V. L. Introducción a la digitalización y utilización del ordenador en cartografía geomorfológica. In: MONNÉ, J. L. P. **Cartografia Geomorfológica**: básica y aplicada. Logroño: Geoforma Ediciones, 1997. p. 203-227.

THORNE, C. R., TOVEY, N.K. Stability of composite river banks. *Earth Surface Processes and Landforms*. **Wiley InterScience**. v. 6, n. 5, p. 469-484, 1981.

THYWISSEN, K. **Components of risk: a comparative glossary**. 2. ed. Bonn: UNU-EHS, 2006. 52 p.

TOMAZZOLI, E. R. ; PELLERIN, J. R. G. M. **Atlas Geológico da Ilha de Santa Catarina e Áreas Adjacentes**. Florianópolis: Edições do Bosque, 2023.

TORRES, F. T. P.; MARQUES NETO, R.; MENEZES, S. O. **Introdução à geomorfologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris : Masson, 1965. 496 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRS/USP/ABRM, 1993.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 105-128.

VÁRZEA, V. **Santa Catarina: A Ilha**. Florianópolis: Editora Lunardelli, 1985.

VAN ASCH T. W. J.; BUMA, J.; VAN BEEK L. P. H. A view on some hydrological triggering systems in landslides. **Geomorphology**, v. 30, 1999, p. 25-32.

VILLAGRÁN, J. **La Naturaleza de los Riegos**, Un Enfoque Conceptual [versión electrónica]. Serie: Aportes para el desarrollo sostenible. Guatemala: CIMDEN. Disponível em: <<https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0113/doc0113.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Terrain Analysis: Principles and Applications**. New York: John Wiley & Sons Inc., 2000.

WEISS, A. **Topographic Position and Landforms Analysis**. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.

ZHANG, J. *et al.* Accelerating effect of vegetation on the instability of rainfall-induced shallow landslides. **Remote Sensing**, v. 14, n. 22, p. 5743, 2022.

ATESTADO DE VERSÃO FINAL

Eu, Sthefanie Aguiar da Silva, vinculada ao curso de Pós-graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, declaro que esta é a versão final de minha dissertação intitulada: **“COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO E ANÁLISE DE AMEAÇAS DO MEIO FÍSICO-NATURAL: ESTUDO DE CASO NO SISTEMA HIDROGRÁFICO DA ENSEADA DO SACO GRANDE, FLORIANÓPOLIS/SC”** sob orientação da professora Dra. Edna Lindaura Luiz.

Florianópolis, 18 de dezembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **STHEFANIE AGUIAR DA SILVA**
Data: 18/12/2025 14:23:42-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Sthefanie Aguiar da Silva

Edna Lindaura Luiz



Assinaturas do documento



Código para verificação: **WS732W7W**

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:



STHEFANIE AGUIAR DA SILVA (CPF: 099.XXX.489-XX) em 18/12/2025 às 14:23:42

Emitido por: "AC Final do Governo Federal do Brasil v1", emitido em 08/08/2025 - 17:24:25 e válido até 08/08/2026 - 17:24:25.
(Assinatura Gov.br)



EDNA LINDAURA LUIZ (CPF: 862.XXX.109-XX) em 18/12/2025 às 14:35:38

Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:39:12 e válido até 30/03/2118 - 12:39:12.
(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTlwMjJfMDAwMDM2OTRfMzY5NV8yMDI1X1dTNzMyVzdX> ou o site <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo> e informe o processo **UDESC 00003694/2025** e o código **WS732W7W** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.