

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GEOLOGIA

Carolina Lazzaron

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PRELIMINAR COMO SUBSÍDIO AO
USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE GAROPABA, SC**

Florianópolis

2022

Carolina Lazzaron

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PRELIMINAR COMO SUBSÍDIO AO
USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE GAROPABA, SC**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi.

Florianópolis

2022

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

Lazzaron, Carolina

Mapeamento geológico-geotécnico preliminar como subsídio
ao uso e ocupação dos solos de Garopaba, SC / Carolina
Lazzaron ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi ,
2022.

97 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Mapeamento geológico-geotécnico. 3. Uso
e Ocupação. 4. Garopaba. I. , Rafael Augusto dos Reis
Higashi. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Geologia. III. Título.

Carolina Lazzaron

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PRELIMINAR COMO SUBSÍDIO AO
USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE GAROPABA, SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia e aprovado em sua forma final pela Coordenadora do Curso de Geologia.

Florianópolis, 16 de dezembro de 2022.

Profa. Dra. Manoela Bettarel Bállico.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Dra. Luana Moreira Florisbal.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Murilo da Silva Espíndola.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Claudete e Iloir, por estarem sempre presentes, sendo amorosos e dedicados. Vocês são um exemplo para mim! Tenho muito orgulho das suas origens. Infelizmente meus pais não tiveram a oportunidade de estudar por serem de família humilde e necessitarem trabalhar desde cedo, entretanto sempre trabalharam duro para proporcionar o melhor para nossa família. Obrigada por se fazerem presentes nos momentos mais lindos e, também, nos mais desafiadores; por incentivarem minha dedicação aos estudos desde criança; por me ensinarem o caminho do bem e da honestidade. Esta conquista também é de vocês! Também agradeço aos meus irmãos Júlio e Pâmela, por me apoiarem e incentivarem. Amo muito todos vocês!

Agradeço ao meu companheiro Beto. Amor, tu me acompanhas nessa jornada desde sempre. Me incentivaste a prestar vestibular, me apoiaste de todas as formas possíveis para que eu pudesse estudar. Abriu mão de muitas coisas para me ver conquistar este sonho. Muito obrigada! Agradeço por ter se mantido perto, me dado carinho, amor e compreendendo as minhas ausências; por sempre tentar me acalmar nos momentos desesperadores, por acreditar no meu potencial. Obrigada, também, pela assistência no dia de tirar as fotos do TCC. Te amo muito! Agradeço também aos meus queridos enteados João e Arthur, sempre muito carinhosos e amorosos comigo.

Agradeço as minhas “maravilindas” Ale e Gi. Sou grata demais pela amizade de vocês ao longo destes anos, esta jornada com certeza seria bem mais difícil sem o apoio que vocês me deram. Obrigada por sempre me ouvirem, me acolherem e não me deixarem desistir! Tê-las como colegas de apartamento neste último ano foi incrível! Obrigada pelo apoio emocional e psicológico; por fazerem comida para mim e me ajudarem nesse último dia antes da entrega do TCC! Vocês são pessoas incríveis, dedicadas e será uma honra tê-las como colegas de profissão.

Obrigada às minhas amigas queridas Bettina, Júlia, Luara, Lorenza e Pri. Be, dei muitas risadas contigo, obrigada pelo apoio ao longo deste ano! Ju, que é minha amiga desde o ensino médio, acompanha meu sonho desde essa época, obrigada por me apoiar em todos os momentos da minha vida. Lu, obrigada pelos cafés, drinks, pedais e caminhadas e, também, por me ajudar a tirar as fotos do TCC. Lo, obrigada

por estar ao meu lado no momento mais difícil que eu enfrentei na vida. Tu sempre tinhas palavras de conforto. O meu muito brigada! Pri, minha amiga de infância, que guardo tantas lembranças lindas e engraçadas, obrigada por tua amizade.

Agradeço à Prefeitura Municipal de Garopaba, por oferecer aos alunos da cidade o transporte sem custos até a universidade, sem o qual com certeza eu não teria condições financeiras de fazer a graduação. Obrigada aos motoristas Airton e Nino por me conduzirem em segurança nesses 6 anos de jornada.

Agradeço ao meu orientador, professor Higashi, por sempre estar disponível para tirar dúvidas e pela compreensão ao longo do desenvolvimento do trabalho. À professora Luana pelas sugestões e explicações dadas para a conclusão do TCC. E ao professor Murilo pela sugestão do tema e por me apresentar ao professor Higashi.

Ao meu supervisor de estágio Diogo, que foi muito compreensível e aliviou as demandas de trabalho para que eu pudesse me dedicar a conclusão deste trabalho.

Agradeço às empresas Geostaff e Geotec, por fornecerem alguns laudos de sondagens SPT do município, que auxiliaram na descrição das unidades geotécnicas.

Por fim, agradeço a cada pessoa que, de alguma forma, me incentivou e deu forças nesta jornada. Felizmente tive a sorte de encontrar muitas pessoas maravilhosas ao longo desses anos.

RESUMO

A falta de planejamento e gestão urbana das cidades costeiras gera muitos impactos ambientais negativos, como a poluição de corpos hídricos, a ocupação irregular em áreas de risco geológico, como encostas ou áreas sujeitas à inundação, dentre outros. Visto que a ocupação urbana, na maioria dos casos, ocorre de forma desordenada, se fazem necessários instrumentos que forneçam as informações essenciais ao planejamento do uso e ocupação do território. Nesse sentido, o mapeamento geológico-geotécnico é uma importante ferramenta de subsídio ao planejamento urbano, pois fornece informações sobre as características físicas e ambientais dos solos, possibilitando identificar as potencialidades, aptidões e fragilidades do meio físico, além dos impactos causados pela ação antrópica. Este trabalho tem como objetivo principal gerar subsídio ao planejamento do uso e ocupação dos solos do município de Garopaba, Santa Catarina, através da criação de um mapa geológico-geotécnico preliminar, em escala 1:100.000. A metodologia empregada para a geração do mapa preliminar foi a de sobreposição dos mapas litológico e pedológico do município. O trabalho conta com mapas temáticos de altitudes, declividades, hidrografia e de uso e ocupação dos solos, os quais auxiliaram na delimitação e caracterização das unidades geológico-geotécnicas. O mapa preliminar conta com onze unidades geológico-geotécnicas. A unidade Cambissolo substrato Granitoide é a mais expressiva no município de Garopaba, possuindo as altitudes mais elevadas, e está associada a relevos forte ondulados. O substrato rochoso é composto pelos Granitoides Garopaba e Paulo Lopes, compostos por biotita granodioritos a monzogranitos porfiríticos de matriz heterogranular média a grossa e por biotita monzo a sienogranitos porfiríticos, foliados, de granulação média a grossa, respectivamente. A composição, a trama mineralógica e as características estruturais conferem uma maior resistência destas rochas ao intemperismo. Contudo, as altitudes elevadas e as declividades acentuadas configuram uma tendência a ocorrerem deslizamentos de massa nesta unidade. A partir da análise temporal da mancha urbana em imagens de satélite pôde-se estimar que a expansão urbana de Garopaba ao longo das últimas décadas se desenvolveu nas unidades Areias Quartzosas Podzolizadas, Argissolo substrato Sedimentos Quaternários, Cambissolo substrato Sedimentos Quaternários, Dunas e Areias de Praias substrato Sedimentos Quaternários e Organossolo substrato Sedimentos Quaternários. As características geológico-geotécnicas dessas unidades são muito variáveis, sendo que a ocupação urbana destas áreas pode provocar problemas como instabilidade, erosão e recalques dos solos com possíveis danos ambientais e financeiros.

Palavras-chave: Mapeamento geológico-geotécnico. Uso e Ocupação do solo. Garopaba.

ABSTRACT

The lack of planning and urban management in coastal cities generates numerous negative environmental impacts, including water body pollution, irregular settlement in geologically risky areas such as slopes or flood-prone areas, among others. Given that urban settlement often occurs haphazardly, it is crucial to have tools that provide essential information for land use and occupation planning. Geological-geotechnical mapping serves as a significant tool for urban planning, providing data on the physical and environmental characteristics of soils. This information aids in identifying the potential, suitability, and vulnerabilities of the physical environment, as well as the impacts of human activity. This study primarily aims to support land use and occupation planning in the municipality of Garopaba, Santa Catarina, through the creation of a preliminary geological-geotechnical map at a 1:100,000 scale. The preliminary map was generated using an overlay of the municipality's lithological and pedological maps. The study includes thematic maps of altitudes, slopes, hydrography, and land use and occupation, which assisted in the delineation and characterization of geological-geotechnical units. The preliminary map comprises eleven geological-geotechnical units. The Cambisol substrate Granite unit is the most prominent in Garopaba, having the highest altitudes and being associated with strongly undulated landscapes. The bedrock consists of Garopaba's and Paulo Lopes' Granitoids, composed of biotite granodiorites to porphyritic monzogranites with a medium to coarse heterogranular matrix and biotite monzo to sienogranites porphyritic, foliated, of medium to coarse granulation, respectively. The composition, mineralogical texture, and structural characteristics give these rocks a higher resistance to weathering. However, the high altitudes and steep slopes indicate a tendency for mass movements in this unit. Temporal analysis of the urban sprawl in satellite images estimated that Garopaba's urban expansion over recent decades has occurred in the Quartzose Podzolized Sands, Argisol substrate Quaternary Sediments, Cambisol substrate Quaternary Sediments, Dunes and Beach Sands substrate Quaternary Sediments, and Organosol substrate Quaternary Sediments units. The geological-geotechnical characteristics of these units vary significantly, and urban occupation in these areas could lead to instability, erosion, and soil subsidence, potentially causing environmental and financial damage.

Keywords: Geological-geotechnical mapping. Land use and occupation. Garopaba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da classificação das unidades geotécnicas, de acordo com Davison Dias (1995).....	23
Figura 2. Processo de criação do mapa geotécnico por Davison Dias, 1995.	25
Figura 3. No exemplo os vetores de crescimento indicam uma tendência das unidades A2 e E1 serem ocupadas, logo demandam mais estudos geotécnicos.	27
Figura 4. Estrutura geral de um SIG.....	29
Figura 5. Representação de formatos vetoriais.....	30
Figura 6. Representação de estruturas matriciais.....	31
Figura 7. Mapa de localização da área de estudo.....	34
Figura 8. Mapa da média pluviométrica anual do Estado de Santa Catarina, com destaque para área de estudo em vermelho.....	35
Figura 9. Mapa Hipsométrico do município de Garopaba.....	37
Figura 10. Microbacias Hidrográficas do Município de Garopaba.....	39
Figura 11. Mapa Hidrográfico do Município de Garopaba.....	40
Figura 12. Mapa Pedológico do Município de Garopaba.....	42
Figura 13. Mapa Geológico do Município de Garopaba.....	45
Figura 14. Mapa Litológico do Município de Garopaba, dividido em três unidades litológicas: Granitoides, Granito e Sedimentos Quaternários.....	46
Figura 15. Mapa de uso e ocupação do município de Garopaba.....	53
Figura 16. Evolução urbana do município de Garopaba ao longo de 40 anos.....	55
Figura 17. Fluxograma com a descrição da metodologia empregada neste trabalho.	57
Figura 18. Procedimentos envolvidos na geração do Mapa Geotécnico Preliminar..	59
Figura 19. Mapa de Declividades do Município de Garopaba.....	62
Figura 20. Mapa Geológico-geotécnico Preliminar do município de Garopaba.....	15
Figura 21. Corte de terreno onde é possível observar um perfil de solo típico da Unidade AQPsq em processo de colapso.....	16
Figura 22. Solo de textura argilosa e cor vermelho-amarela, ainda preservando a estrutura da rocha mãe. Podem-se observar alguns minerais de cor branca (caulinita), fruto do intemperismo dos feldspatos.....	18

Figura 23. Ensaio SPT realizado na Unidade PVsq, onde em cerca de 6 metros o ensaio é paralisado pela presença de um provável matacão.....	20
Figura 24. A) Afloramento do Granitoide Paulo Lopes. Rocha porfirítica foliada de granulação grossa. B) Perfil de solo típico de um Cambissolo.....	22
Figura 25. Depósito coluvionar com presença de muitos blocos e matacões sem nenhum tipo de contenção.	25
Figura 26. Sondagem SPT realizada na unidade Csq, onde aos 3 metros o ensaio é paralisado pela presença de matacão.....	26
Figura 27. Sondagem SPT realizada na unidade DNSq demonstrando a baixa resistência do solo.....	27
Figura 28. Textura essencialmente arenosa com presença de matéria orgânica.	29
Figura 29. Organossolo de textura siltosa, rico em matéria orgânica em ambiente mal drenado.	31
Figura 30. Perfil de sondagem SPT onde é possível observar a baixa resistência do material.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Simbologia das classes pedológicas de acordo com Davison Dias (2001).	23
Quadro 2. Simbologia das classes geológicas.	24
Quadro 3. Categorias de planos de informações.	31
Quadro 4. Definições das classes de uso do solo de Garopaba.	54
Quadro 5. Classes de declividade propostas pela Embrapa (1979).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Abrangência das unidades geológico-geotécnicas preliminares no município de Garopaba.	15
Tabela 2. Resultados do mapeamento geológico-geotécnico preliminar.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas
AQPsq – Areias Quartzosas Podzolizadas substrato Sedimentos Quaternários
AQsq – Neossolo substrato Sedimentos Quaternários
Cg – Cambissolo substrato Granito
Cgd – Cambissolo substrato Granitoide
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
Csq – Cambissolo substrato Sedimentos Quaternários
DNsq – Dunas e Areias de Praias substrato Sedimentos Quaternários
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GERCO – Plano de Gerenciamento Costeiro
GHsq – Gleissolo substrato sedimentos quaternários
GPS – *Global Position System*
HOsq – Organossolo substrato Sedimentos Quaternários
IAEG - *International Association Engineering Geology*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDT – Modelo Digital de Terreno
NE – Nordeste
NNE – Nor-nordeste
NRM – Nível Relativo do Mar
NW – Noroeste
Pis – Planos de Informações
PVg – Argissolo substrato Granito
Pvgd – Argissolo substrato Granitóide
PVsq – Argissolo substrato Sedimentos Quaternários
SC – Santa Catarina
SDS – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável
SE – Sudeste
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SPT – *Standard Penetration Test*
SSW – Sul-sudoeste

SW – Sudoeste

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

WNW – Oés-noroeste

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Mapeamento Geotécnico	18
2.1.1	Metodologias de mapeamento geotécnico	19
2.1.1.1	<i>Metodologia de Zuquette (1987)</i>	21
2.1.1.2	<i>Metodologia de Davison Dias (1995)</i>	22
2.1.1.3	<i>Metodologia de Higashi (2006)</i>	24
2.2	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	27
2.2.1	Estrutura Geral de um Sistema De Informações Geográficas	28
2.3	SIG E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	31
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.1	CLIMA	34
3.2	GEOMORFOLOGIA	35
3.3	HIDROGRAFIA.....	38
3.4	PEDOLOGIA	41
3.5	GEOLOGIA	44
3.5.1	Suíte Paulo Lopes	47
3.5.2	Suíte Pedras Grandes	48
3.5.3	Suíte Cambirela	49
3.5.4	Grupo Serra Geral	49
3.5.5	Quaternário	49
3.5.5.1	<i>Depósito Coluvial E De Leque Aluvial</i>	49
3.5.5.2	<i>Depósito De Dunas Eólicas Do Pleistoceno</i>	50

3.5.5.3	<i>Depósitos De Dunas Eólicas Do Holoceno</i>	50
3.5.5.4	<i>Depósitos Flúvio-Lagunares</i>	50
3.5.5.5	<i>Depósitos Praiais</i>	51
3.6	VEGETAÇÃO	51
3.7	USO E OCUPAÇÃO.....	52
3.8	IMAGENS HISTÓRICAS DA EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA NO MUNICÍPIO	54
4.	METODOLOGIA	56
4.1	MAPA GEOLÓGICO	57
4.2	MAPA LITOLÓGICO	58
4.3	MAPA PEDOLÓGICO	58
4.4	MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	58
4.5	MAPA GEOTÉCNICO	58
4.6	MAPA DE USO E OCUPAÇÃO.....	59
4.7	IMAGENS DE SATÉLITE	60
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1	DECLIVIDADES	61
5.2	MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PRELIMINAR	63
5.2.1	Unidade Areias Quartzosas Podzolizadas substrato Sedimentos Quaternários (AQPsq)	15
5.2.2	Unidade Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granitoide (PVgd) ...	17
5.2.3	Unidade Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granito (PVg)	19
5.2.4	Argissolo Vermelho-amarelo substrato Sedimentos Quaternários (PVsq)	20
5.2.5	Cambissolo substrato Granitoide (Cgd)	21
5.2.6	Cambissolo substrato Granito (Cg)	22
5.2.7	Cambissolo substrato Sedimentos Quaternários (Csq)	23

5.2.8	Dunas e areias de praias substrato Sedimentos Quaternários (DNsq)	26
5.2.9	Neossolo Quartzarênico substrato Sedimentos Quaternários (AQsq).	27
5.2.10	Organossolo substrato Sedimentos Quaternários (HOsq).....	30
5.2.11	Gleissolo substrato Sedimentos Quaternários (GHsq).....	32
6.	CONCLUSÕES	35
6.1	RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A ocupação urbana das cidades costeiras de Santa Catarina se intensificou nas últimas décadas, impulsionada, sobretudo, pela exploração turística e imobiliária. A urbanização acelerada e desordenada destas áreas tem provocado problemas ambientais como a poluição de corpos hídricos, ocupações irregulares em encostas, em áreas de risco geológico ou de degradação ambiental (IWAMA *et al.*, 2014; SCHERER *et al.*, 2006).

De acordo com Zuquette (1987), o estudo das características geológicas do meio físico é fundamental para implementar corretamente os diferentes tipos de ocupações, prevenir desastres como deslizamentos de massa e inundações e reduzir custos e impactos ambientais negativos das ocupações. Já os conhecimentos geotécnicos proporcionam os conhecimentos das características relativas à compressibilidade, estabilidade e resistência dos solos. Esses conhecimentos são fundamentais para o direcionamento das ocupações de áreas localizadas em encostas, para a execução e conservação de elementos de fundações em edificações e a correta construção de vias urbanas (HIGASHI, 2006).

O mapeamento geotécnico tem como finalidade o levantamento, a avaliação e a análise de atributos que compõem o meio físico, sejam eles geológicos, pedológicos, hidrológicos, entre outros. Essas informações são representadas de forma cartográfica como ferramenta de apoio à engenharia e ao planejamento (ZUQUETTE, 1987). Para Xavier (2017), o mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento urbano permite uma destinação adequada do solo, uma vez que, através do mapeamento das características físicas e ambientais, é possível identificar as potencialidades, aptidões e fragilidades do meio físico, além dos impactos causados pela ação antrópica.

O município de Garopaba está situado no litoral centro-sul de Santa Catarina, a cerca de 90 km ao sul de Florianópolis, medindo um total de 114 km². De acordo com a estimativa do IBGE (2021), o município possui 24.070 habitantes, configurando um aumento populacional de 32,66% em comparação ao censo de 2010. A taxa de população urbana é superior a 84%, superando a média estadual que é de cerca de 77,5%. Estima-se, ainda, que na temporada de verão a população chega a ficar, em

média, cerca de sete vezes maior devido à concentração turística (GERCO/SC, 2010; IBGE, 2021; JACOMEL, 2012).

Neste contexto, o presente trabalho visa caracterizar e analisar os componentes do meio físico, através da criação de um mapa geológico-geotécnico preliminar do município de Garopaba, de modo a gerar subsídios ao planejamento do uso e ocupação sustentável do território. A metodologia utilizada foi a de Davison Dias (1995), que se baseia na sobreposição dos mapas geológico e pedológico para as estimativas das unidades geotécnicas. Esse procedimento foi realizado através do *software* de Sistemas de Informações Geográficas Qgis, resultando em onze unidades geotécnicas preliminares.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

1.1.1 Objetivo Geral

Gerar subsídios ao planejamento do uso e ocupação dos solos do município de Garopaba, a partir da delimitação e caracterização das unidades geológicas-geotécnicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Conhecer a pedologia e geologia do município de Garopaba através da caracterização do meio físico;
- Analisar as elevações do município com base nos mapas de declividade e hipsométrico;
- Estimar as classes de uso e ocupação do município de Garopaba através do mapa de uso e ocupação da área;

- Caracterizar as unidades geológico-geotécnicas com base na sobreposição dos mapas pedológicos e geológicos;
- Relacionar as unidades geológico-geotécnicas, altitudes, declividades e as classes de uso e ocupação do solo;
- Estimar as unidades geológico-geotécnicas que mais sofreram com a expansão urbana;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nas seções abaixo serão abordados os conhecimentos relativos à teoria sobre os principais elementos relacionados ao tema de estudo. Na primeira seção será realizada uma revisão bibliográfica sobre mapeamento geotécnico e as diferentes metodologias envolvidas em sua elaboração. Já na segunda seção o tópico abordado será o sistema de informações geográficas (SIG).

2.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Segundo Zuquette (1987), o objetivo básico do mapeamento geotécnico é levantar, avaliar e analisar atributos do meio físico, tais informações são representadas em formas de mapas e cartas e utilizadas em obras de engenharia e planejamento. Para Vallejo *et al.* (2002), o mapeamento geotécnico fornece informações essenciais ao planejamento urbano e regional como, por exemplo, a melhor área para instalação e expansão urbana, respeitando e protegendo o ambiente de forma econômica.

A Associação Internacional de Geologia de Engenharia (*International Association Engineering Geology-IAEG*) define o mapa geotécnico como um tipo de mapa geológico, o qual é de grande relevância para as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do meio ambiente. As informações contidas nos mapas e cartas devem ser de fácil entendimento, objetivas e necessárias para avaliação dos aspectos geotécnicos do ambiente, tanto no planejamento regional quanto no urbano, servindo como instrumento de auxílio aos planejadores.

Higashi (2006), define o mapeamento geotécnico como uma metodologia de representação das principais características geomecânicas do solo em forma de um mapa. Este mapa pode ser utilizado na previsão do comportamento de determinadas áreas, denominadas unidades geotécnicas, permitindo sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia.

O mapeamento geotécnico surge como uma alternativa para evitar problemas decorrentes da ocupação urbana de áreas impróprias, pois permite armazenar e apresentar informações que possibilitem a avaliação dos projetos de engenharia

quanto a prováveis problemas geológicos-geotécnicos (COLLAÇO, 2002). “Para a delimitação dessas áreas é essencial o levantamento das condicionantes do meio físico, como o solo, o relevo e a rocha, além da análise dos processos que atuam no meio a ser investigado, como a erosão, o assoreamento, as áreas de inundação e a instabilidade de encostas” (HIGASHI, p. 25, 2006).

Para a elaboração de um mapeamento geotécnico é importante reunir cartas de hidrologia, altimetria, divisão política, declividade e, especialmente, os mapas pedológico e geológico. A partir destes dados, são realizadas as visitas a campo para que se possa identificar melhor a delimitação entre as unidades geotécnicas (CHRIST, 2019).

Um mapa geotécnico é composto por um conjunto de zonas ou polígonos chamados de unidades geotécnicas, caracterizadas por apresentarem solos com perfis de origem e características físicas e morfológicas semelhantes (DAVISON DIAS, 1995).

Xavier (2010) pontua que não há uma padronização sobre a metodologia a ser utilizada para a realização de um mapa geotécnico. E que, portanto, procedimentos devem ser estabelecidos para cada região em estudo, levando em consideração as particularidades do ambiente físico, a disponibilidade de dados, o propósito do mapeamento, a escala da pesquisa e considerações econômicas.

2.1.1 Metodologias de mapeamento geotécnico

As metodologias de mapeamento geotécnico variam de acordo com as normas de cada país, região, meio físico e condições socioeconômicas. Essas normas conduzem à produção de diversos tipos de documentos gráficos quanto ao conteúdo, a apresentação e a escala, destinados às diferentes finalidades (ZUQUETTE, 1987). Diversos países desenvolveram metodologias de mapeamento geotécnico, elencamos a seguir algumas das principais metodologias internacionais:

Metodologia francesa: essa metodologia foi desenvolvida por Sanejouand (1972) com base na interpretação de documentos básicos de geologia, geomorfologia, hidrologia e pedologia. O objetivo dessa metodologia é confeccionar mapas de uso e aptidão dos solos quanto à geotecnia, tanto para fins regionais como para situações específicas.

Metodologia IAEG (*International Association Engineering Geology*): foi elaborada por uma comissão formada pela IAEG (1968), com o objetivo de padronizar uma forma de mapeamento que a maioria dos países possa utilizar. As principais técnicas propostas foram fotogeologia, métodos geofísicos, sondagens, amostragens, ensaios *in situ* e laboratoriais. Pode ser de grande escala (>1:100.000), média escala (de 1:10.000 e 1:100.000) e pequena escala (<1:100.00) (COLLAÇO, 2002).

PUCE (*Pattern, Unit, Component and Evaluation*) ou metodologia Australiana: criada por Aitchinson e Grant (1976) na Austrália, foi desenvolvida com o objetivo de classificar os terrenos para o uso no desenvolvimento regional e urbano (HIGASHI, 2006). Consiste na classificação dos terrenos em classes hierarquizadas, denominadas de província, padrão de terreno, unidade do terreno e componente do terreno. A província corresponde às características geológicas e climáticas. Padrão de terreno refere-se às características do relevo, no padrão e na amplitude uniforme da drenagem. Unidade do terreno diz respeito às características dos solos e da vegetação. E o componente do terreno reflete as características do talude (COLLAÇO, 2002).

Metodologia espanhola (1967): é utilizada para planejamento urbano e regional e apresenta quatro tipos de mapas geotécnicos básicos: geral (1:200.000), básico (1:25.000), seletivo (1:5.000) e específico (1:2.000). Tais mapas têm duas finalidades fundamentais: auxiliar os estudos de planejamento e apresentar informações básicas para projetos de engenharia.

Metodologia suíça: é utilizada para planejamento urbano e foi desenvolvida com base no sistema PUCE. Esta metodologia considera que terrenos que apresentam as mesmas características físicas e que estão expostos a condições climáticas similares podem apresentar propriedades geotécnicas e comportamentos semelhantes.

Metodologia Hinojosa & Leon (1978): a metodologia tem o objetivo de classificar os terrenos em unidades morfodinâmicas, apresentando o risco e o tipo de movimento do terreno. Além disso, o mapa deve fornecer dados complementares sobre a estrutura, o clima, a drenagem e as condições hidrológicas subsuperficiais e superficiais. A metodologia é utilizada predominantemente no planejamento de vias de transporte.

Metodologia ZERMOS (Zonas Expostas a Riscos de Movimentos do Solo): foi desenvolvida por Antoine (1975) e Humbert (1977), na França, e tem o objetivo de fornecer detalhes de uma área relativos às condições de instabilidade, sejam potenciais ou reais. Os resultados são apresentados em forma de cartas que indicam situações de movimento de massa, erosão, abatimentos e problemas sísmicos. Geralmente são desenvolvidas em escalas de 1:25.000 e 1:20.000.

Xavier (2010) aponta que os primeiros trabalhos de mapeamento geotécnico desenvolvidos no Brasil surgiram a partir da década de 60. Os procedimentos metodológicos utilizados foram uma adaptação das metodologias internacionais às condições do nosso meio físico. Destacamos abaixo algumas das principais metodologias nacionais de mapeamento geotécnico desenvolvidos no país.

2.1.1.1 Metodologia de Zuquette (1987)

Esta metodologia é um marco na evolução das técnicas de mapeamento geotécnico utilizadas no país, pois surge como alternativa frente às metodologias estrangeiras. Ela busca atender às condições ambientais, tecnológicas e socioeconômicas brasileiras. Consiste no levantamento e análise de informações pré-existent, no reconhecimento dos atributos e na identificação das unidades homogêneas (COLLAÇO, 2002). De acordo com ela, os documentos que compõem o mapeamento geotécnico podem ser classificados quanto à escala, finalidade e forma de apresentação dos resultados.

Quanto à escala esta metodologia apresenta: escalas gerais (<1:100.000), regionais (entre 1:100.000 a 1:25.000) e de semidetalhe (de 1:25.000 a 1: 10.000).

Quanto à finalidade: os documentos desenvolvidos em escalas gerais têm o objetivo de orientar o planejamento de áreas extensas, tais documentos são desenvolvidos com base na geomorfologia, geologia, pedologia, topografia, clima, na ocupação antrópica e na vegetação. Em escalas regionais e de semidetalhe os atributos estudados são os mesmos das escalas gerais, porém apresenta maior nível de detalhes e possui a finalidade de auxiliar na melhor ocupação das áreas. As principais classes de documentos elaborados são os mapas básicos fundamentais (topográficos, geológicos e de águas), mapas básicos opcionais (pedológicos, geofísicos, climáticos e de ocupação atual ou prevista), mapas auxiliares (mapa de

documentação ou de dados), cartas derivadas ou interpretativas (cartas de erodibilidade, de fundações, de deposição de rejeitos sépticos, obras viárias, materiais para construção, restrições ambientais, orientação ou zoneamento, entre outras.).

Quanto à forma de apresentação: Mapa de Condições Geotécnicas, que retrata todos os atributos do meio físico, sem separar áreas similares ou indicar potenciais e limitações; Mapa de Zoneamento Geotécnico Geral, que representa as condições do meio físico através do zoneamento de áreas similares, sem considerar qualquer finalidade específica; e o Mapa de Zoneamento Geotécnico Específico ou carta de aptidão, onde uma região é zoneada de acordo com condições geotécnicas que afetam uma determinada finalidade (fundações, estradas, etc.).

2.1.1.2 Metodologia de Davison Dias (1995)

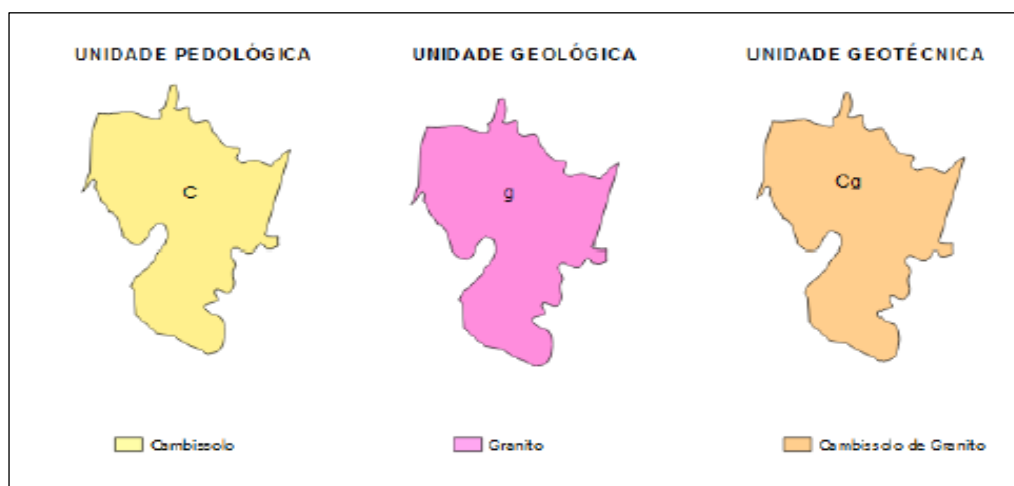
Diferentemente das outras metodologias, Davison Dias (1995) busca relacionar a pedologia com as características geotécnicas. Também é denominada Metodologia de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas para os Solos Tropicais e baseia-se, essencialmente, no cruzamento dos mapas geológico e pedológico para identificar unidades geotécnicas. Os tipos de solo podem ser classificados de forma indireta, através do mapa topográfico, e de forma direta, através de sondagens a trado, coletas de amostras e execução de ensaios para determinar o comportamento mecânico (FORNASA, 2018; HIGASHI, 2006).

As etapas da metodologia consistem no estudo preliminar, em que é feito o cruzamento dos mapas geológicos, pedológicos e topográficos, para estimar as unidades geotécnicas; na investigação de campo com sondagens a trado, para identificar os perfis de solo; na identificação das unidades geotécnicas, quando é elaborado o mapa com as unidades geotécnicas, conforme estimativa e investigação de campo; e, por fim, é realizada a determinação do comportamento mecânico e hidráulico dos solos de cada uma das unidades geotécnicas (FORNASA, 2018).

Cada unidade geotécnica é representada por uma simbologia, em que letras maiúsculas representam a pedologia e letras minúsculas a geologia (Figura 1). Para a interpretação da geologia é considerada apenas a rocha dominante da área (litologia) e, caso haja mais de um tipo de rocha dominante, adotam-se siglas dessas unidades separadas por vírgulas (CHRIST, 2019). A nomenclatura usada por Davison

Dias (1995) para definir os diferentes tipos de solo e de litologias são apresentados nos Quadros 1 e 2.

Figura 1. Representação da classificação das unidades geotécnicas, de acordo com Davison Dias (1995).



Fonte: Fornasa (2018).

Quadro 1. Simbologia das classes pedológicas de acordo com Davison Dias (2001).

Simbologia	Classificação	Simbologia	Classificação
A	Aluviais	P	Podzóis Indiscriminados
AQ	Areias Quartzosas	PB	Podzólico Bruno-Acinzentado
B	Brunizém	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BV	Brunizém Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo Litólico	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Câmbico	TB	Terra Bruna Estruturada

LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Vermelho-Amarelo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: elaborado de acordo com Davison Dias (2001).

Quadro 2. Simbologia das classes geológicas.

Simbologia	Classificação	Simbologia	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcário	r	Riolito
cm	Complexo metamórfico	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos Quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos Terciários
F	Folhelho	x	Xisto

Fonte: elaborado de acordo com Davison Dias (2001).

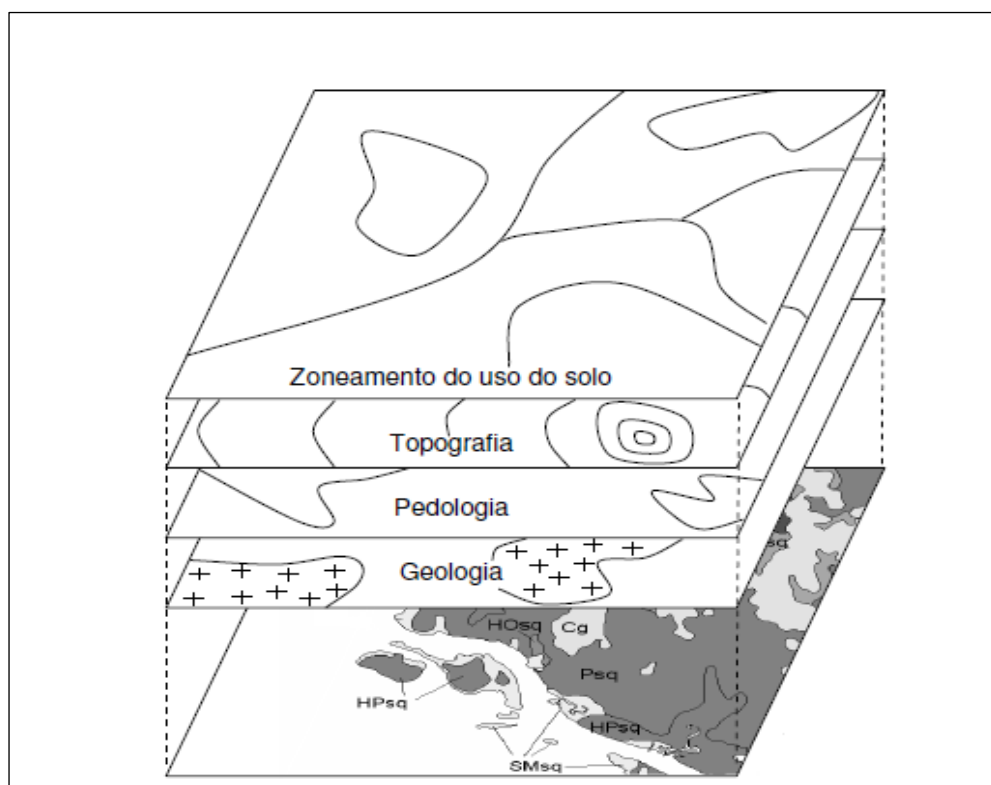
2.1.1.3 Metodologia de Higashi (2006)

Durante o seu doutoramento, Higashi (2006) desenvolveu uma proposta metodológica de planejamento da expansão urbana em áreas litorâneas, nomeada “Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental” que observou que as características dos tipos de solo nas cidades costeiras brasileiras são semelhantes.

Regiões de relevo plano são caracterizadas por solos sedimentares com profundos perfis de argila mole e areias quartzosas; já nas regiões de relevo mais elevado ocorrem solos residuais pouco evoluídos, que são produto de alteração das rochas de origem. A metodologia é um importante subsídio às entidades responsáveis pelo planejamento municipal porque é aplicada no planejamento para a expansão de centros urbanos de cidades costeiras, levando em conta os comportamentos geodinâmicos distintos de cada tipo de solo.

Assim como a metodologia desenvolvida por Davison Dias (1995), na primeira etapa é realizada uma análise preliminar da geotecnia local através de dados preexistentes. Para isso são utilizados os mapas geológicos e pedológicos e, com base nesses mapas e no mapa topográfico é criado um mapa geotécnico preliminar com estimativas das unidades geotécnicas. A criação deste mapa é realizada através da sobreposição dos mapas pedológico, topográfico e geológico, este último interpretado como litologia predominante. A Figura 2 demonstra de forma esquemática o processo de criação do mapa geotécnico.

Figura 2. Processo de criação do mapa geotécnico por Davison Dias, 1995.



Fonte: Higashi (2006).

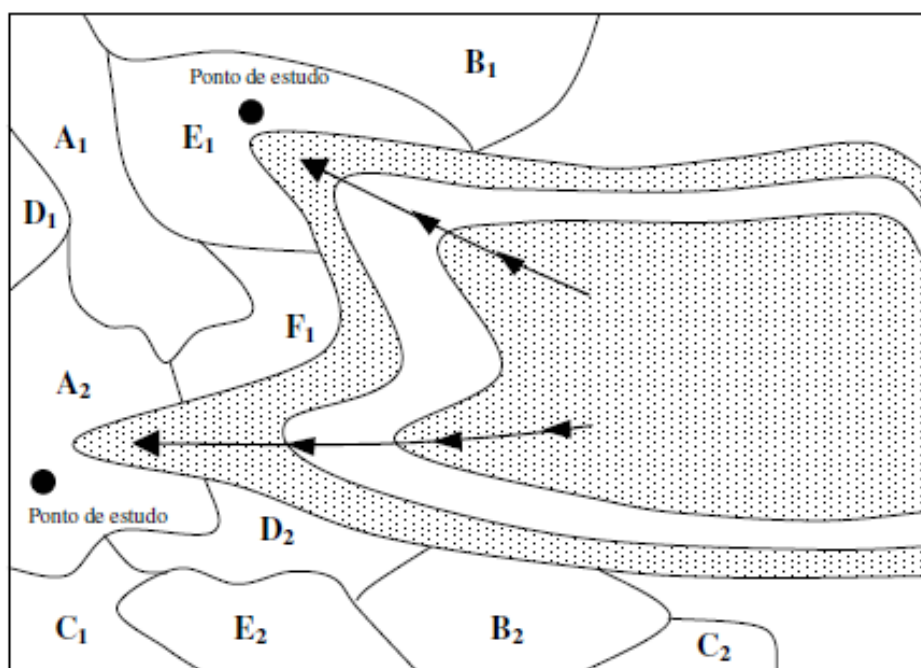
Faz-se necessária a realização de ensaios específicos em cada unidade geotécnica gerada para determinar o comportamento geomecânico de solos, e os ensaios geotécnicos são concentrados na área de potencial ocupação urbana.

Para analisar temporalmente a evolução da mancha urbana são utilizados mapas preexistentes, imagens de satélite e fotos aéreas. A interpretação dos mapas e das imagens indica a tendência do comportamento de crescimento dos municípios, o que viabiliza o estudo das diferentes épocas de crescimento urbano, baseando-se na comparação entre os polígonos. A análise temporal da evolução da mancha urbana tem fim com a construção de vetores de crescimento, que indicam a tendência do uso e ocupação do solo, e a comparação do crescimento das diversas manchas urbanas pode assumir diferentes formatos, sendo os mais comuns o modelo estrelar e o radial uniforme (HIGASHI, 2006).

A definição de áreas de estudo é realizada através da individualização de universos geotécnicos, que é feita em três etapas, sendo elas: a) construção de modelos de elevação e declividades em ambiente SIG, em que o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o mapa de declividades possibilitam uma diferenciação preliminar entre os solos sedimentares e residuais das regiões costeiras; b) construção e análise de um banco de dados de sondagens SPT; c) trabalhos de campo, utilizando tradagens nos solos e uso de GPS.

A definição dos pontos de coleta de amostras é realizada de acordo com os vetores de crescimento urbano, que indicam a tendência da ocupação dos solos em uma determinada área. A Figura 3 demonstra como é realizada a seleção de uma unidade geotécnica para definição dos pontos de estudo (HIGASHI, 2006).

Figura 3. No exemplo os vetores de crescimento indicam uma tendência das unidades A2 e E1 serem ocupadas, logo demandam mais estudos geotécnicos.



Fonte: Higashi (2006).

O processo de criação do mapa geotécnico final se dá pela ampliação do mapa preliminar somado aos resultados dos ensaios de campo e laboratoriais. As escalas mais adequadas para confecção deste mapa variam de 1:100.000 a 1:20.000.

2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Valente (1999, p. 22) define o geoprocessamento como “o conjunto de tecnologias capazes de realizar a coleta, o processamento e a manipulação de informações espaciais, seus cruzamentos, análises e produtos”.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um conjunto de ferramentas utilizadas no geoprocessamento para realizar o tratamento computacional de dados geográficos e recuperar informações com base em suas características alfanuméricas e de sua localização espacial. Os SIGs disponibilizam todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto, que estão inter-relacionadas com base na localização geográfica (CÂMARA *et al.*, 1996; HIGASHI, 2006).

Na literatura são encontradas diversas definições para Sistema de Informações Geográficas, isto se deve à ampla gama de aplicações da ferramenta, que abrange as mais diversas áreas, como geociências, engenharias, agricultura, saúde, política, entre outras.

Segundo Valente (1999, p. 23) os Sistemas de Informações Geográficas são um “conjunto automatizado de funções, num ambiente computacional, que permitem armazenar, recuperar, combinar, analisar e exibir dados de uma base georreferenciada”. Teixeira *et al.* (1995 *apud* MIRANDA, 2008) define SIG como um conjunto de programas, equipamentos, metodologias e pessoas interligadas de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados geográficos.

Para Higashi (2006), os SIGs permitem realizar análises complexas ao integrar informações geográficas provenientes de diversas fontes (dados cartográficos, imagens de satélite, modelos numéricos do terreno, gráficos em geral etc.) em uma única base de dados. Também oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados, através de algoritmos de manipulação e análise.

De acordo com Câmara *et al.* (1996, p. 2) as principais características dos SIGs são integrar, numa única base de dados, informações espaciais que se originam de dados cartográficos e censitários, de cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelos numéricos de terreno.

Segundo esses autores, os SIGs podem ser utilizados de, pelo menos, três maneiras: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para análise espacial de fenômenos; e como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

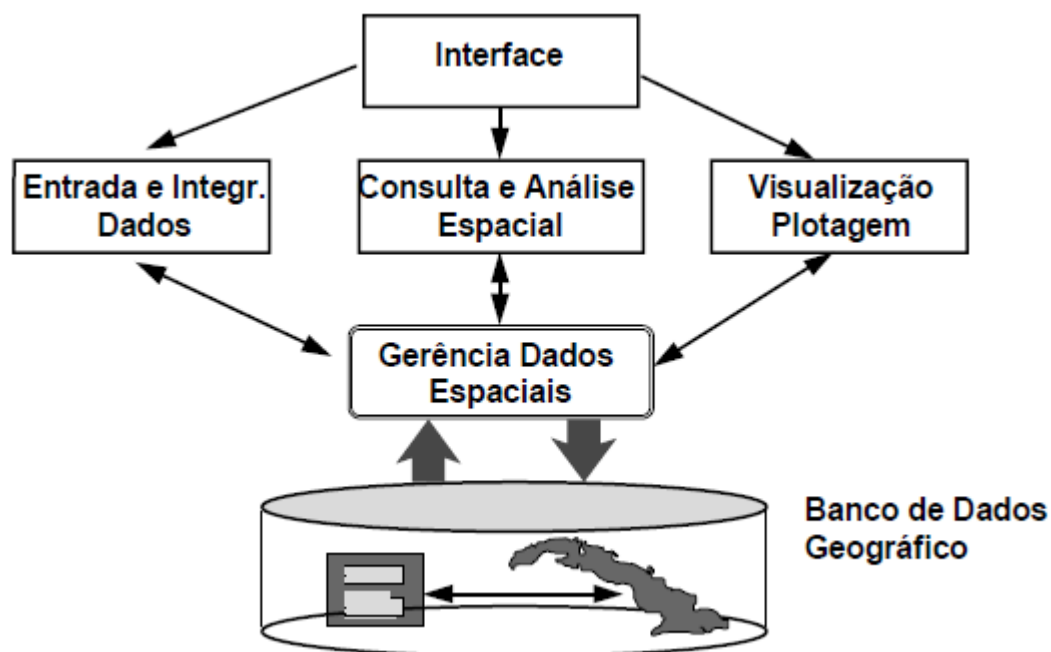
2.2.1 Estrutura Geral de um Sistema de Informações Geográficas

Os elementos indispensáveis para o funcionamento de um SIG são o *hardware*, que é o componente físico (máquina) e o *software* (programa). O *hardware* necessita ter desempenho suficiente para atender as demandas (LAGO, 2020; PIROLI, 2010)

Os *softwares* de SIG possuem, de uma forma abrangente, cinco componentes (Figura 4): 1) a interface com o usuário; 2) a entrada e interação de dados; 3) funções

de consulta e análise espacial; 4) visualização e plotagem; 5) armazenamento e recuperação de dados (CÂMARA *et al.*, 1996).

Figura 4. Estrutura geral de um SIG.



Fonte: Câmara e Queiroz (2013).

Os dados geográficos procedem de uma grande variedade de fontes, necessitando de diferentes formas de representação para serem armazenados no computador. Estas estruturas podem ser classificadas em geométricas (formato vetorial ou matricial) e não geométricas (como nomes, população etc.).

Formato vetorial: baseado nos elementos geométricos básicos (pontos, linhas e polígonos) que estão situados em sistemas de coordenadas bi ou tridimensionais que delimitam regiões temáticas ou representam redes (PIROLI, 2010; VALENTE, 1999). Os pontos são representados por um único par de coordenadas (x, y), e podem ser usados para indicar locais de coleta de amostras, furos de sondagens, afloramentos rochosos etc. Já as linhas são um conjunto de pontos conectados e são usadas para indicar drenagens, falhas geológicas, lineamentos, estradas etc. Os polígonos são conjuntos de pontos (ou uma sequência de linhas) conectados, em que sua última coordenada deve coincidir com a primeira, fechando, desta forma, o

polígono, e são utilizados para representar áreas como pedologia, geologia, unidades geotécnicas, uso do solo, zoneamento urbano etc.

Os elementos vetoriais possuem tabelas de atributos associadas, onde cada elemento gerado, seja ele um ponto, uma linha ou um polígono, corresponde a uma linha desta tabela. Esta ferramenta permite ao usuário gerar uma série de colunas, onde são apresentadas as mais diversas características para cada um dos inúmeros elementos de um arquivo vetorial. Na Figura 5, o modo de representação vetorial é ilustrado.

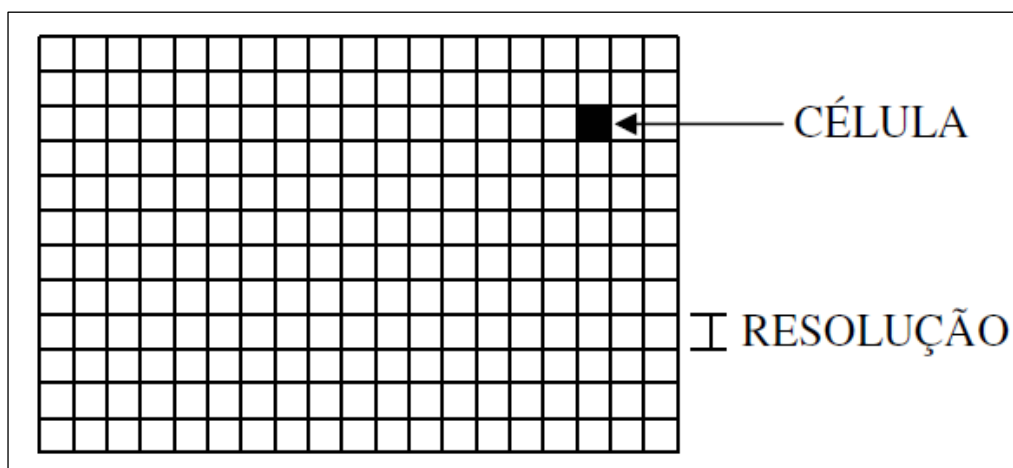
Figura 5. Representação de formatos vetoriais.



Fonte: Lago (2020).

Formato *raster* ou matricial: neste tipo de formato, a delimitação do espaço é obtida através de uma malha com linhas verticais e horizontais (Figura 6). Cada elemento de imagem, denominado célula ou *pixel*, é referenciada por índices de linha ou coluna e contém um código referente ao atributo mapeado. Os valores de cada *pixel* estão limitados, usualmente, no intervalo de 0 a 255. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documentos e a área por ela coberta no terreno. Esta é a estrutura comum das imagens de satélite, fotografias aéreas digitais e mapas digitalizados etc. (HIGASHI, 2006; PIROLI, 2010; VALENTE, 1999).

Figura 6. Representação de estruturas matriciais.



Fonte: Higashi (2006).

Num SIG, os dados espaciais, tanto no formato vetorial quanto no formato *raster*, são armazenados na forma de camadas ou *layers*, denominados de planos de informações (Pis). Estes são classificados em três categorias, em função dos diversos formatos e topologias (Quadro 3): categoria temática, categoria modelo digital de terreno e categoria imagem. Um mapa temático é composto pela superposição de vários *layers* (CHRIST, 2019; VALENTE, 1999).

Quadro 3. Categorias de planos de informações.

Categoria	Plano de informação
Temática	Unidades de solos, unidades litológicas, rede de drenagem, uso do solo, vegetação.
MDT	Malha altimétrica.
Imagem	Imagens orbitais e aerofotografias.

Fonte: elaborado com base em Valente (1999).

2.3 SIG E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

Os Sistemas de Informações Geográficas possuem grande relevância para o mapeamento geotécnico, já que são ferramentas que manipulam informações espacialmente referenciadas, permitindo a análise integrada de dados geotécnicos e informações sobre expansão urbana e meio físico, possibilitando estabelecer critérios

para a ocupação urbana. A partir da Modelagem Digital de Terreno (MDT) é possível obter informações como declividades e, dessa forma, determinar o grau de risco a deslizamentos e erosão. Na geologia de engenharia os SIGs permitem a análise de dados geológicos para fins de planejamento urbano e ambiental, buscando interrelacionar a geologia, geomorfologia e o impacto ambiental devido à ação antrópica. Além de delimitar áreas de risco, de extração de material de construção, áreas destinadas a reflorestamentos ou proteção ambiental (VALENTE, 1999).

Para Higashi (2006), as aplicações do SIG no mapeamento geotécnico proporcionam a elaboração de mapas temáticos, cartografia geotécnica, modelagem numérica de terrenos para análises de risco, avaliação geotécnica e gerenciamento ambiental, além de possibilitarem análises que possam servir como um sistema de apoio à tomada de decisões, bem como um sistema de gerenciamento de informações.

Segundo Thielsen (2016), o SIG tem influência no planejamento de uso e ocupação do solo, zoneamento, estudo de implantação de novos empreendimentos e implantação de políticas relacionadas.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

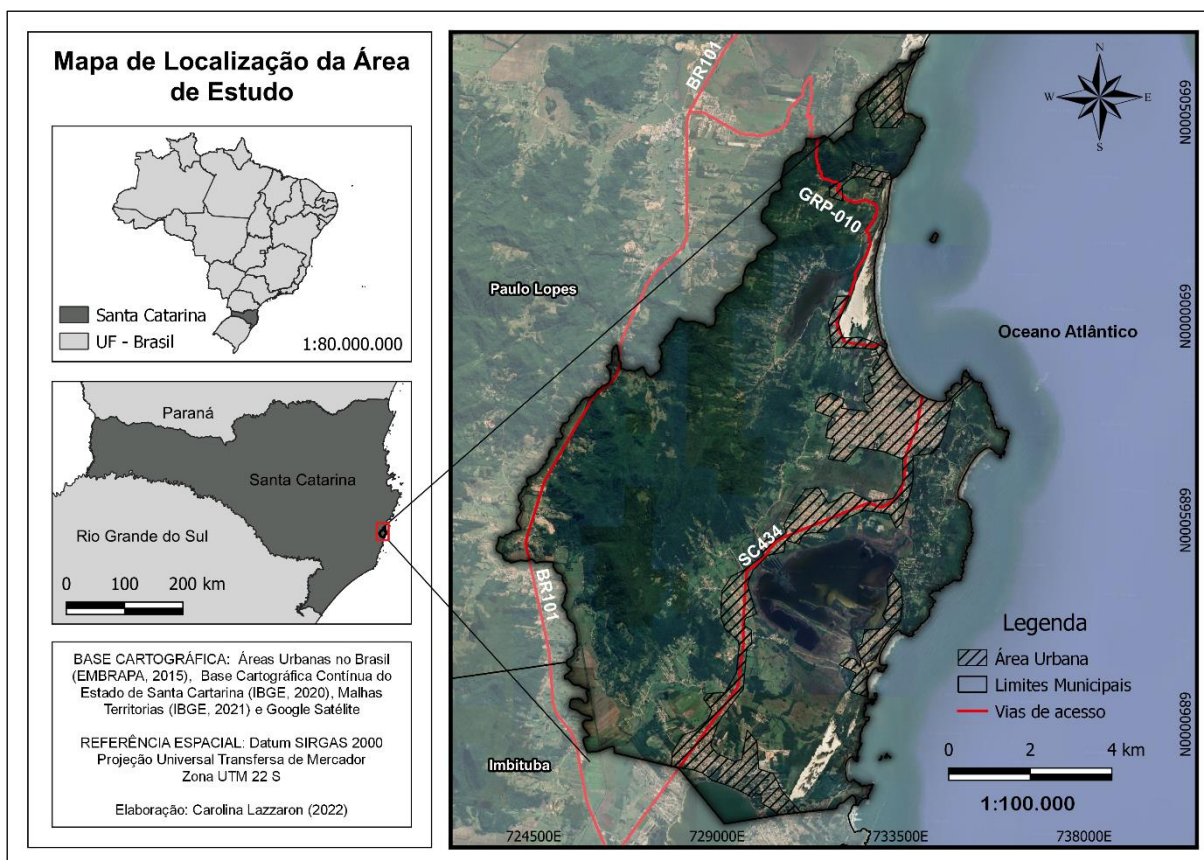
O município de Garopaba (Figura 7) está situado no litoral centro-sul de Santa Catarina, a cerca de 90 km ao sul de Florianópolis, capital do estado, segundo as coordenadas 28°21'14" de latitude e 48°36'48" de longitude. Limita-se ao sul com o município de Imbituba, ao norte e a oeste com o município de Paulo Lopes e ao leste com o Oceano Atlântico Sul. Garopaba pertence à mesorregião Sul Catarinense e microrregião de Tubarão (GERCO/SC, 2010).

A área total do município é de, aproximadamente, 114 km² com predomínio do Bioma da Mata Atlântica. A sua superfície é cerca de 50% montanhosa, suas planícies se caracterizam por áreas de pântanos e manguezais, dunas e lagunas. A costa é composta por enseadas e possui cerca de 20 km com 8 praias caracterizadas, sendo elas: Praia da Barra, Central, da Ferrugem, Gamboa, Ouvidor, Vigia, Silveira e Siriú. A principal via de acesso ao município é pela BR 101, seguida da SC 434 – acesso sul e GPR 010 – acesso norte (GERCO/SC, 2010; GUILARDI, 2014; IBGE, 2021).

Segundo Jacomel (2012), a ocupação urbana de Garopaba foi incentivada pelo avanço do turismo em massa e pela especulação imobiliária, a partir de 1990. O processo de ocupação do solo se deu de forma desordenada, com parcelamento sem critérios e loteamentos clandestinos. A expansão urbana iniciou-se ao longo da Praia Central, migrando posteriormente para o sentido praia – continente. Ainda para Jacomel (2012, p. 83), “o principal vetor de crescimento corresponde à qualidade das praias, que impulsionaram o desenvolvimento do turismo da região”.

De acordo com a estimativa do IBGE (2021) Garopaba possui 24.070 habitantes, configurando um aumento populacional de 32,66% em comparação ao censo de 2010. A taxa de população urbana é superior a 84%, superando a média estadual que é cerca de 77,5%. A densidade demográfica de 157,17 habitantes/km², considerada de alta concentração, também é maior que a média catarinense. Além disso, estima-se que no veraneio a população chega a ficar, em média, cerca de sete vezes maior, devido à concentração turística (IBGE, 2021; JACOMEL, 2012).

Figura 7. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Da Autora (2022).

3.1 CLIMA

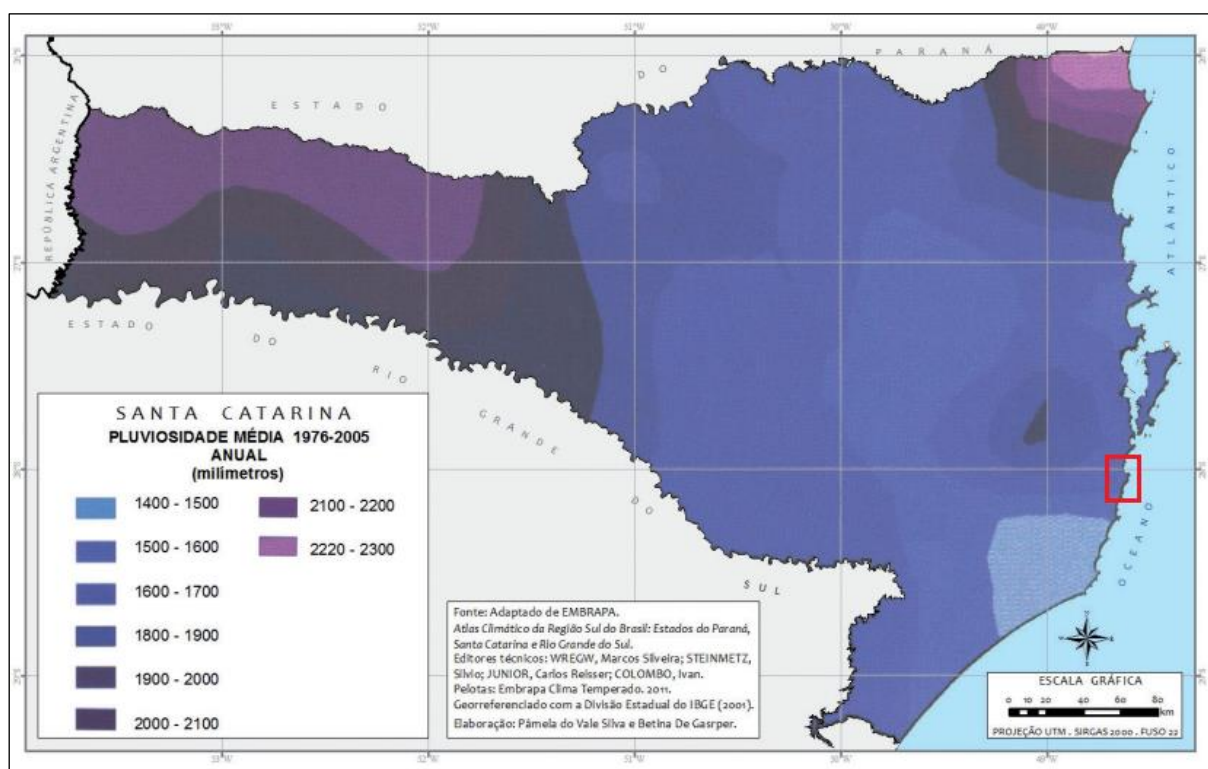
De acordo com a classificação de Köppen (1948), Santa Catarina possui clima mesotérmico úmido (sem estação seca), que inclui dois subtipos: clima subtropical (Cfa) e clima temperado (Cfb).

O clima de Garopaba é classificado como subtropical (Cfa), com verões quentes e úmidos e invernos moderados. A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C (mesotérmico) e a temperatura média no mês mais quente fica acima de 22°C, com verões quentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida (PANDOLFO *et al.*, 2002). Já na classificação de Strahler (1967) a região apresenta estações bem definidas e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (SILVEIRA, 2016).

Duas massas de ar atuam na dinâmica atmosférica do município: a Massa Tropical Atlântica, que é quente na primavera e verão, e a Massa Polar Atlântica, fria no outono e inverno. O encontro dessas duas massas provoca chuvas frontais e, posteriormente, a queda das temperaturas (LIMA *et al.*, 2016).

Segundo O Atlas Climático do Sul do Brasil (Figura 8), desenvolvido pela Embrapa (2012), Garopaba possui pluviosidade média anual que varia de 1500 mm a 1600 mm.

Figura 8. Mapa da média pluviométrica anual do Estado de Santa Catarina, com destaque para área de estudo em vermelho.



Fonte: Embrapa (2011).

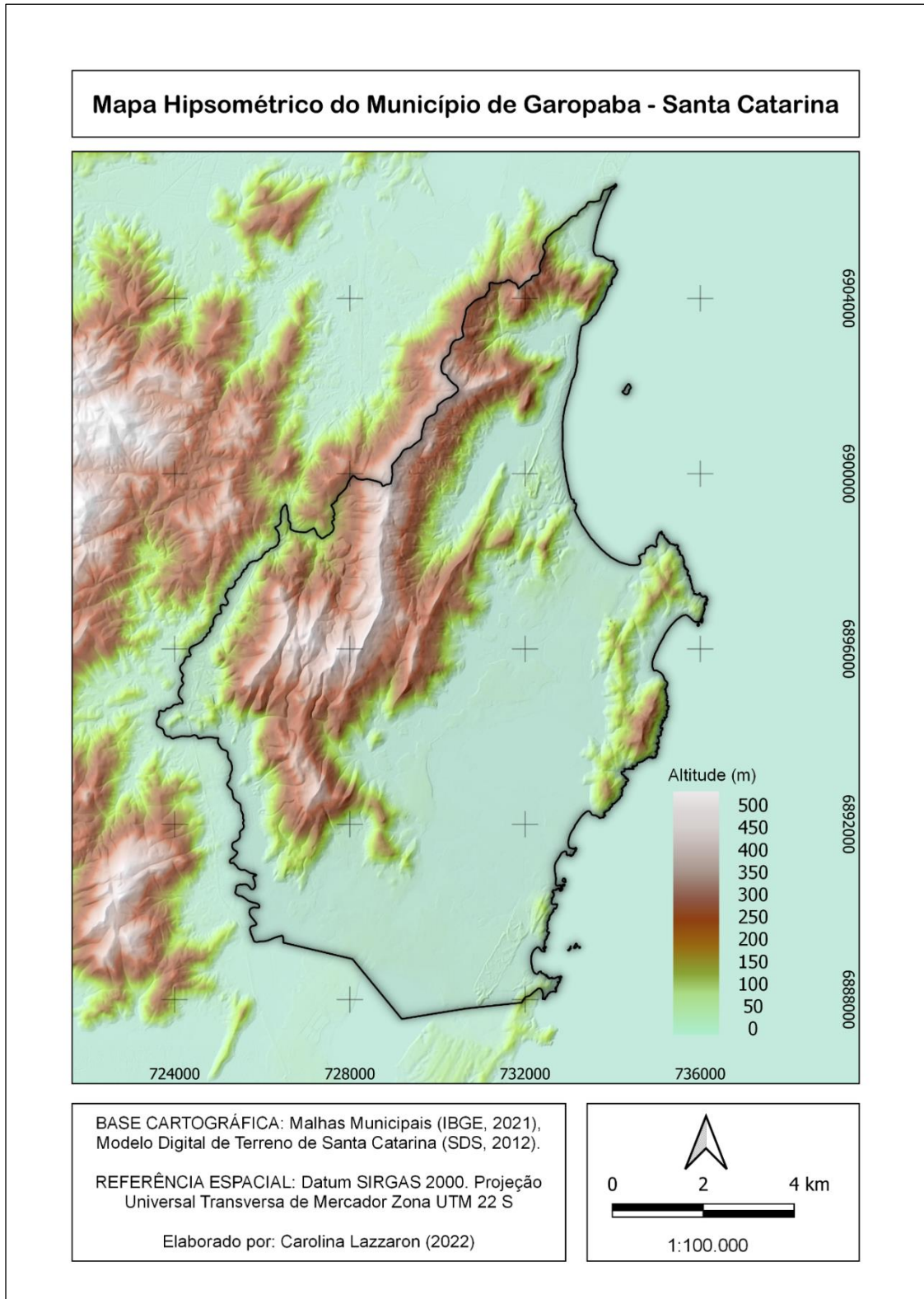
3.2 GEOMORFOLOGIA

O município de Garopaba é formado por duas grandes unidades geomorfológicas: as terras altas, formadas pelo embasamento do Escudo Catarinense, e as terras baixas, formadas pela Bacia de Pelotas (SILVEIRA, 2016). As terras altas, representadas pelos Granitoides Garopaba e Paulo Lopes e os Granitos Vila da Penha, Tabuleiro e Ilha ocupam, predominantemente, o setor oeste

do município, que recebe o nome de Serra de Paulo Lopes, possuindo uma disposição subparalela e orientação NE-SW, com altitudes variando entre 100m e 500m (Figura 9). Já no setor leste se formam escarpas que atingem o oceano e formam promontórios rochosos. Nesta unidade há o predomínio do modelado de dissecção, os vales são profundos e as encostas íngremes e sulcadas, portanto mais susceptíveis à ação dos fenômenos erosivos (SILVEIRA, 2016).

Enquanto as terras baixas, compostas pelos depósitos sedimentares da Planície Costeira, são caracterizadas por relevo plano. São ambientes de deposição, resultantes de processos de acumulação lagunar em regiões permanente ou periodicamente inundadas e terraços lagunares, que apresentam ruptura de declive em relação à planície recente devido à movimentação tectônica ou pela variação do nível marinho. Também ocorre a acumulação eólica, caracterizada por depósitos arenosos de diferentes origens, ocorrendo na forma de dunas ou planícies arenosas (SILVEIRA, 2016).

Figura 9. Mapa Hipsométrico do município de Garopaba.



Fonte: Da Autora (2022).

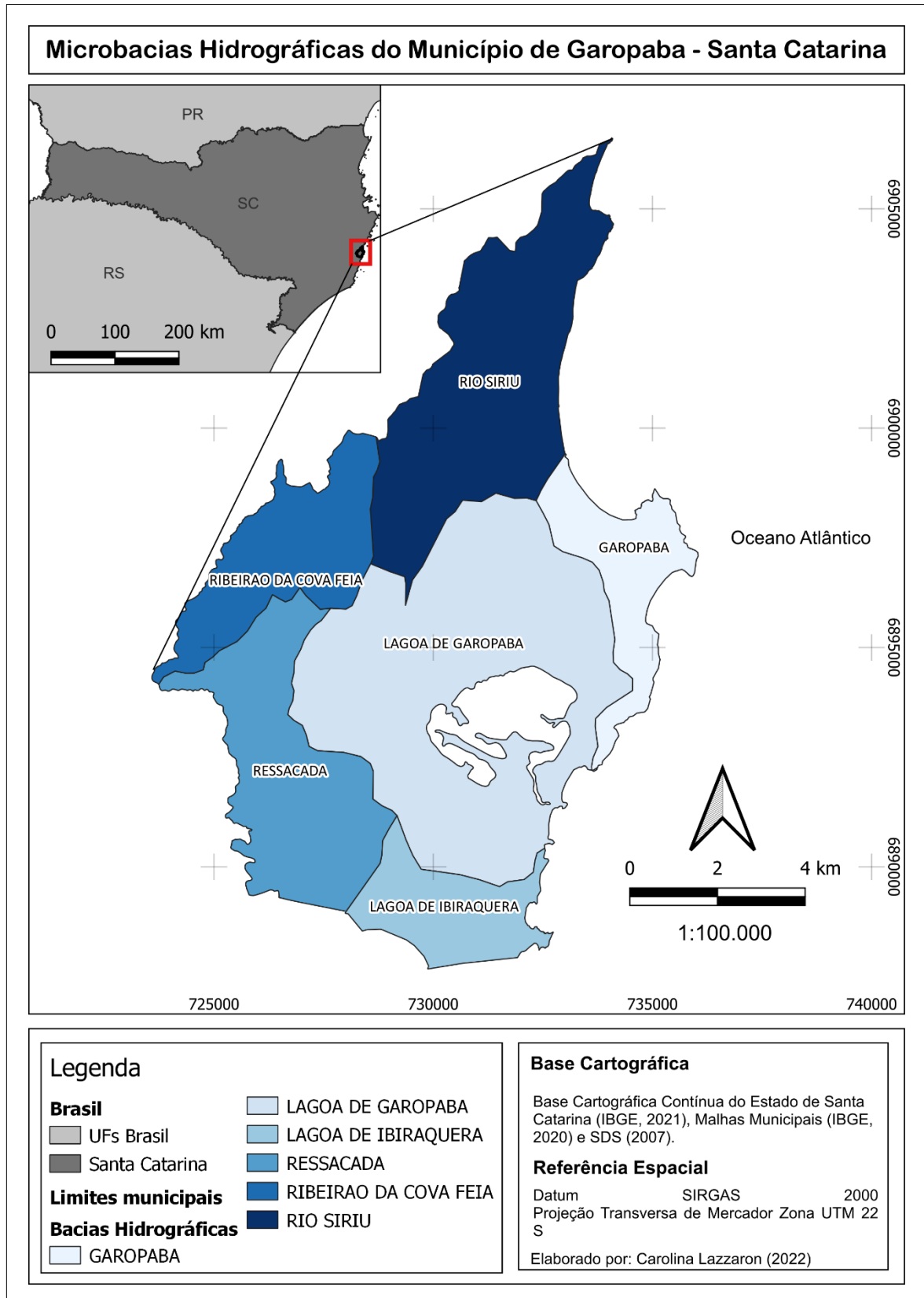
3.3 HIDROGRAFIA

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), Santa Catarina é formada por três grandes Regiões Hidrográficas: a Região Hidrográfica do Paraná, a Região Hidrográfica do Uruguai e a Região Hidrográfica Atlântico Sul. A Escarpa da Serra Geral é o principal divisor de águas que resulta nos dois sistemas independentes de drenagem do território do estado: o sistema Integrado do Interior e o sistema da Vertente Atlântica (SANTA CATARINA, 2016).

A Vertente Atlântica é formada por 11 bacias isoladas que fluem para leste, desaguando diretamente no Oceano Atlântico. O sistema de drenagem da Vertente Atlântica ocupa 38% do território catarinense e, no geral, comporta dois tipos de rios: os que nascem na Serra do Mar e aqueles originados na própria planície (SANTA, CATARINA, 2016).

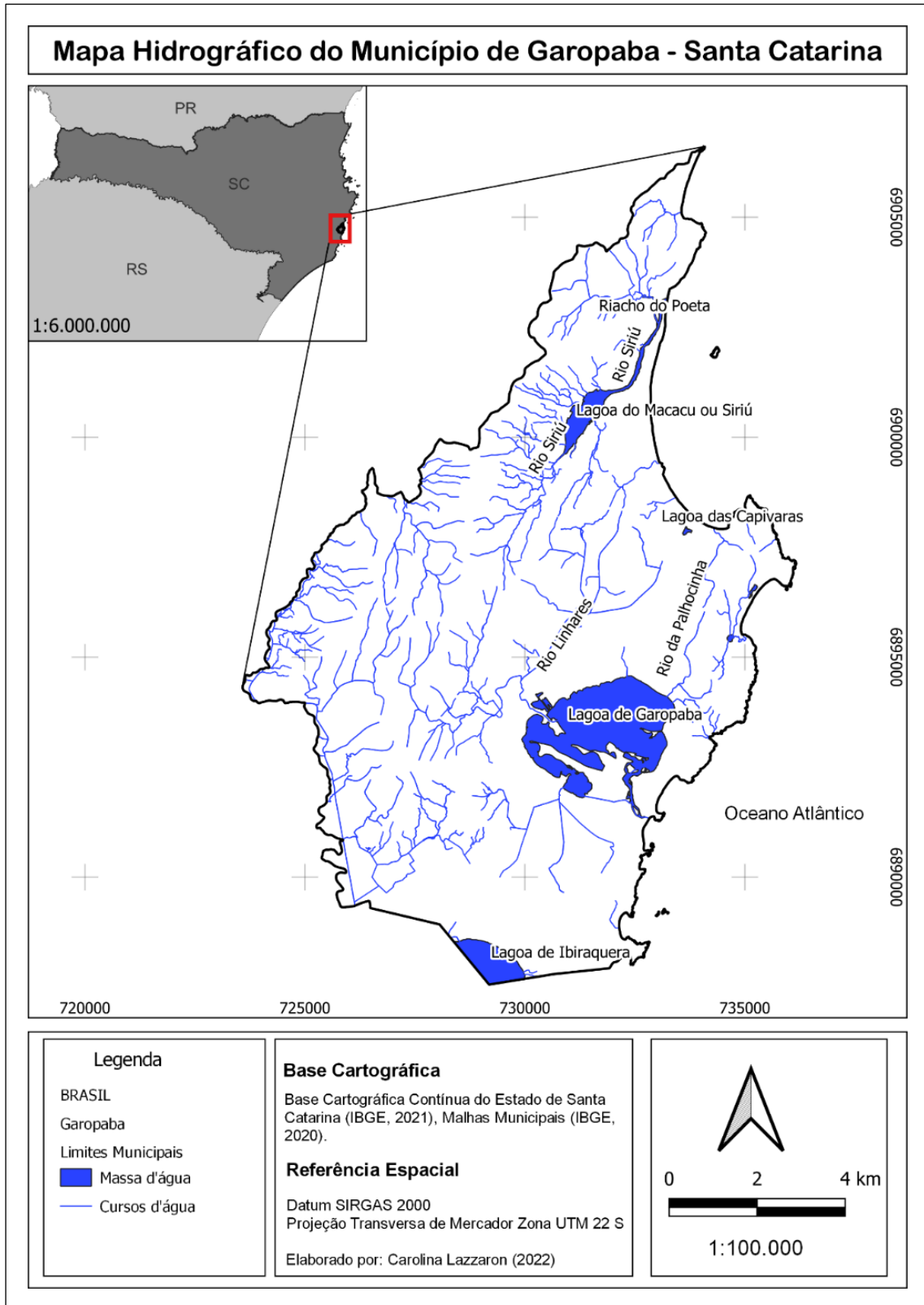
Garopaba insere-se na região hidrográfica da Vertente Atlântica, que abrange as bacias hidrográficas do Rio da Madre e do Rio D'una e conta com seis microbacias hidrográficas (Figura 10). As Microbacias do Siriú, de Garopaba e da Lagoa de Garopaba abastecem a bacia do Rio da Madre, enquanto as Microbacias Ribeirão da Cova Feia, Ressecada e a Lagoa de Ibiraquera são responsáveis por abastecer a Bacia do Rio D'una (LIMA *et al.*, 2016). Na Figura 11 pode-se conferir o mapa das redes de drenagem do município.

Figura 10. Microbacias Hidrográficas do Município de Garopaba.



Fonte: Da Autora (2002).

Figura 11. Mapa Hidrográfico do Município de Garopaba.

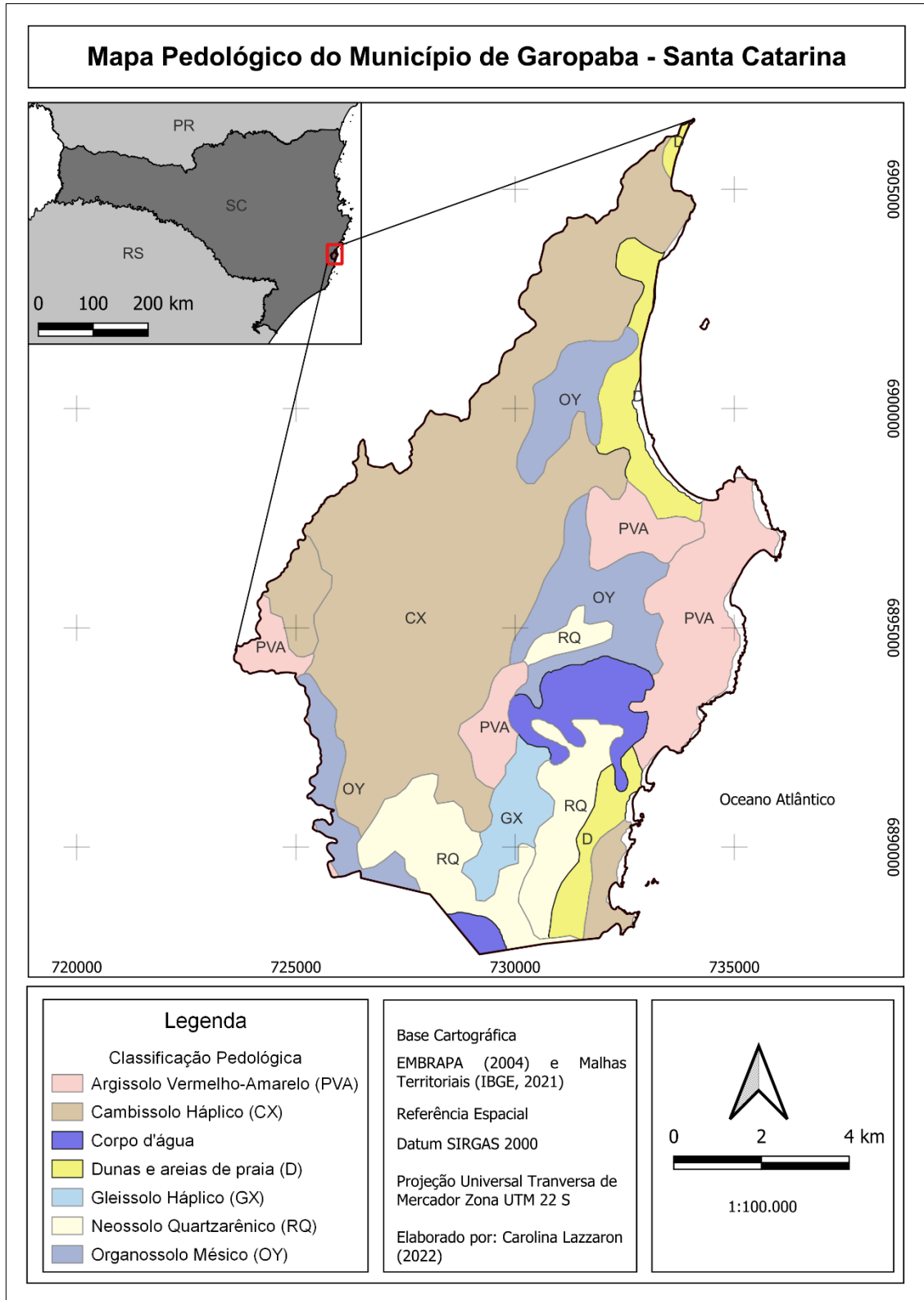


Fonte: Da Autora (2022).

3.4 PEDOLOGIA

Segundo o levantamento dos solos do estado de Santa Catarina, realizado pela Embrapa (2004), em escala de 1:250.000, o município de Garopaba é formado por seis unidades pedológicas, sendo elas: Argissolo Vermelho-amarelo, Cambissolo Háplico, dunas e areias de praia, Gleissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico e Organossolo Mésico. A Figura 12 apresenta as unidades pedológicas em uma escala de 1:100.000 para melhor visualização das unidades presentes no município.

Figura 12. Mapa Pedológico do Município de Garopaba.



Fonte: Da Autora (2022).

As unidades pedológicas presentes no município são descritas abaixo:

Argissolo Vermelho-amarelo (PVA): anteriormente classificados como Podzólico Vermelho-amarelo, são solos constituídos por material mineral, que possuem como característica diagnóstica a presença de horizonte B textural (Bt), que fica imediatamente abaixo de qualquer horizonte superficial. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, havendo incremento de argila do horizonte A para o Bt. A transição entre esses dois horizontes é usualmente clara, abrupta ou gradual. Possuem diversos materiais de origem, ocorrendo em áreas de relevo plano a ondulado.

Cambissolo Háplico (CX): são caracterizados por serem solos em formação, constituídos por material mineral e com horizonte B incipiente (Bi). Suas características variam muito de uma região para outra em razão da heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas. Podem ser fortemente ou até imperfeitamente drenados, rasos ou profundos, de cor bruno ou bruno-amarelada. O horizonte Bi possui textura franco-arenosa ou mais argilosa, geralmente apresenta teores uniformes de argila.

Dunas e areias de praia (D): não são consideradas solo, pois não apresentam desenvolvimento de horizonte pedogenético. São formações e acumulações de areia formadas pela ação dos ventos.

Gleissolo Háplico (GX): compreendem solos minerais, estando permanente ou periodicamente saturados de água. O ambiente é redutor, portanto, caracterizam-se pela forte gleização. O horizonte glei tem origem dentro dos primeiros 50cm a partir da superfície e até 150cm desde logo abaixo do horizonte A ou E. Formam-se, geralmente, a partir de sedimentos recentes próximos a cursos d'água, em materiais colúvio-aluviais, em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, bem como em materiais residuais em áreas de bacias e depressões.

Organossolo Mésico (OY): os organossolos são pouco evoluídos, constituídos por material orgânico. Possuem cor preta, cinza muito escura ou brunada, provenientes de acumulação de resíduos vegetais, em graus variados de decomposição. Ocorrem em relevos planos e saturados, no máximo 30 dias consecutivos por ano, durante o período mais chuvoso.

Neossolo Quartzarênico (RQ): são solos profundos, de textura arenosa, muito drenados e de cores claras. Ocorrem em relevos planos e são desenvolvidos a partir de materiais sedimentares, principalmente areias marinhas.

3.5 GEOLOGIA

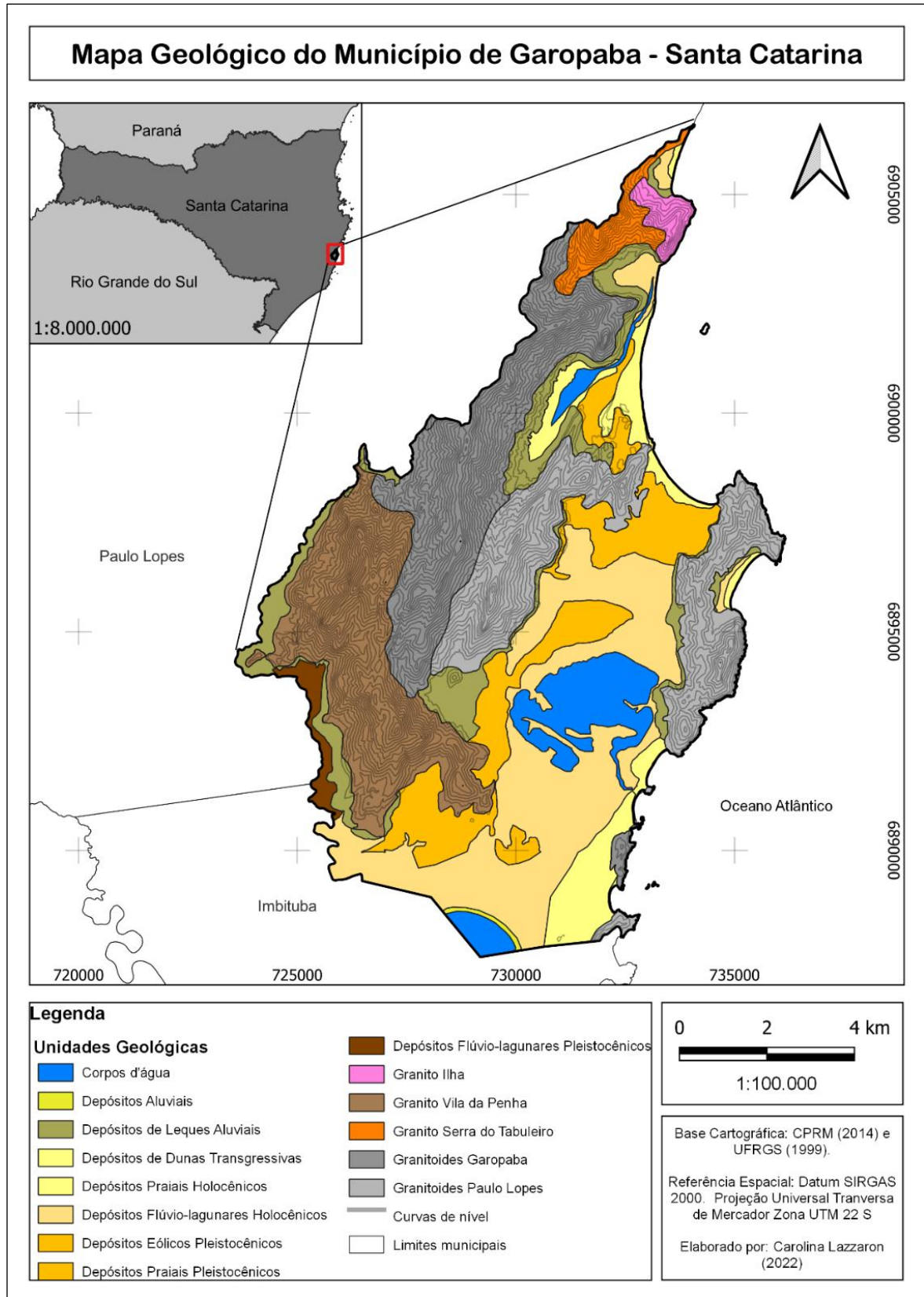
Garopaba pertence ao litoral centro-sul da Província Costeira de Santa Catarina, que é formada por duas grandes unidades geológicas: o embasamento cristalino e as bacias sedimentares de Santos e Pelotas (HORN FILHO, 2003).

O embasamento cristalino é composto por rochas graníticas neoproterozóicas do Escudo Catarinense, porção extremo nordeste do Cinturão Dom Feliciano. “O Cinturão Dom Feliciano é o resultado de um longo período de evolução com diversos cenários tectônicos como subducção e colisão” (UFSC, p. 17, 2018). Segundo Bitencourt *et al.* (2008), o magmatismo plutônico do Cinturão Dom Feliciano está associado a tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro, caracterizando um ambiente pós colisional. Garopaba está situada na margem leste do Batólito Florianópolis, que é interpretado como parte de um cinturão orogênico ensiálico ou como raiz de arco magmático (BASEI, 1985; BASEI *et al.*, 2000 *apud* BITENCOURT, 2008).

De acordo com Florisbal *et al.* (2005), também ocorrem diques e soleiras de idade Cretácea, relacionados ao vulcanismo Serra Geral. Os depósitos quaternários identificados na região são representados por Depósitos de Dunas Eólicas do Pleistoceno e Holoceno, Depósitos Flúvio-lagunares, Depósitos Praiais e de Leques Aluviais (UFRGS, 1999; UFSC, 2018).

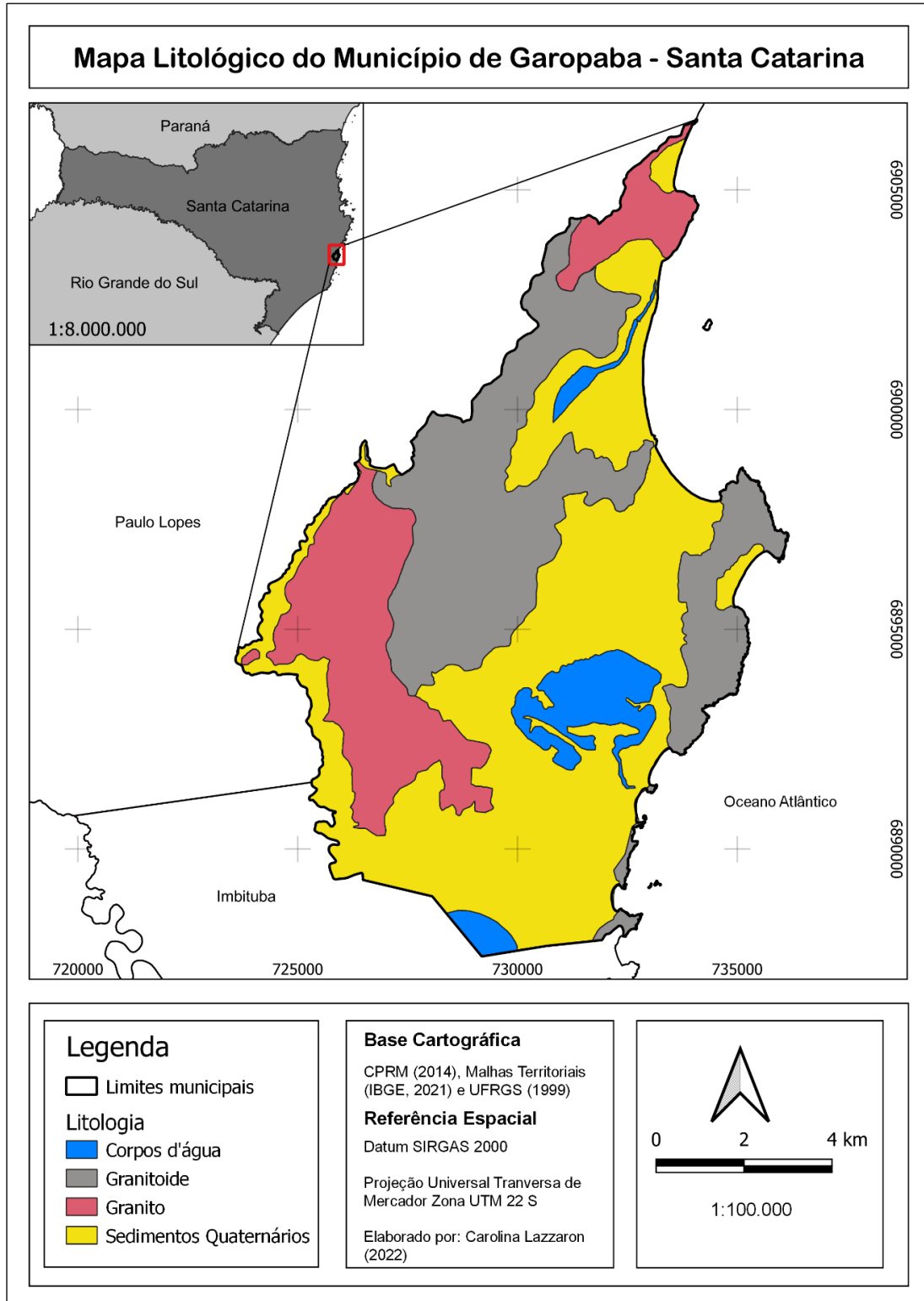
O mapa geológico do município é apresentado na Figura 13. Cabe ressaltar que os diques e soleiras não são representados neste mapa devido à escala de trabalho (1:100.000). Para a geração do mapa geológico-geotécnico utilizou-se o mapa geológico generalizado, ou seja, o mapa litológico (Figura 14).

Figura 13. Mapa Geológico do Município de Garopaba.



Fonte: Da Autora (2022).

Figura 14. Mapa Litológico do Município de Garopaba, dividido em três unidades litológicas: Granitoides, Granito e Sedimentos Quaternários.



Fonte: Da Autora (2022).

Seguem as descrições das unidades geológicas presentes no município:

3.5.1 Suíte Paulo Lopes

Os Granitoides Paulo Lopes ocorrem em faixas estreitas e alongadas, paralelas à linha de costa, com direção NNE-SSW, intercalados com os Granitoides Garopaba. Nos granitoides Paulo Lopes há a predominância de biotita monzo a sienogranitos porfíricos, foliados, de granulação média a grossa. Os fenocristais são de feldspato potássico, com tamanho médio de 4cm. Ocorrem dois tipos de texturas cumuláticas, sendo uma caracterizada pela concentração de cristais euédricos de feldspatos de 2cm a 6cm de comprimento, alinhados na estrutura do fluxo, com pouco material intercúmulus e, a outra marcada pela estratificação modal, onde ocorre a alternância de estratos mais ricos em biotita e anfibólio com estratos quartzo-feldspáticos. Possui foliação primária bem desenvolvida e definida pelo alinhamento dimensional dos megacristais de feldspatos e lamelas de biotita. (BITENCOURT *et al.*, 2008; FLORISBAL *et al.*, 2005; UFRGS, 1999).

Os Granitoides Garopaba ocorrem na porção sudeste da área de estudo, formando um corpo principal e, a nordeste da área, ocorre um corpo menor situado na costa. São representados por biotita granodioritos a monzogranitos porfíricos de matriz heterogranular média a grossa. O teor de quartzo é variável, sendo pobre próximo ao contato com a unidade máfica da Suíte Paulo Lopes. Possui fenocristais ovoides de feldspatos, geralmente manteados por minerais máficos, xenocristais corroídos e ocelos de quartzo, caracterizando texturas de desequilíbrio. Apresenta foliação primária pouco desenvolvida e concordante com a foliação no Granito Paulo Lopes (BITENCOURT *et al.*, 2008). Segundo Florisbal *et al.* (2005), ocorre um aumento no teor de minerais máficos, com acumulações desses minerais ao redor dos cristais de dimensões maiores e, também, uma importante diminuição nos teores de quartzo em comparação ao Granitoide Paulo Lopes. Os contatos entre os Granitoides Garopaba e Paulo Lopes são predominantemente gradacionais.

UFSC (2018), em trabalho de mapeamento da área, identificou uma nova unidade litoestratigráfica pertencente à Suíte Paulo Lopes, denominada de Quartzo Sienito Macacu. A unidade compreende cerca de 0,02km² e aflora na forma de matações e blocos a noroeste do município de Garopaba, alinhada na direção NE-

SW. A rocha predominante é o quartzo sienito, composto por feldspato potássico (>50%), quartzo (15%), plagioclásio e biotita (10%). Os minerais acessórios são apatita acicular e allanita anédrica, enquanto os minerais secundários são epidoto, clorita e minerais opacos (5%) e a textura é equigranular média. Na unidade também foram identificados quartzo dioritos e dioritos, mesocráticos, de cor cinza escuro e isótipos. Segundo mesmo autor, a variedade composicional do Quartzo Sienito Macacu se dá pela interação de magmas básicos com os Granitoides Garopaba, que originam termos híbridos pela mistura ora homogênea ora heterogênea de magmas.

3.5.2 Suíte Pedras Grandes

Segundo Bitencourt *et al.* (2008), o Granito Serra do Tabuleiro corresponde a sienogranitos leucocráticos isótipos, e raros monzogranitos. Possui baixo teor de máficos, quartzo arredondado e facetado e concentrações localizadas de feldspatos. Como minerais acessórios ocorrem fluorita, apatita e zircão. A fácies heterogranular é largamente dominante e possui textura hipidiomórfica média a grossa. Há gradação para a fácies equigranular, com um aumento no teor de quartzo e diminuição no teor de máficos. A fácies porfirítica possui matriz fina, fenocristais de quartzo, feldspato potássico, contatos difusos, gradacionais ou intrusos com as demais fácies. A unidade litoestratigráfica aflora em uma área de 6,23km², na região norte de Garopaba (UFSC, 2018).

O Granito Vila da Penha localiza-se na porção sudoeste e abrange uma área de 12km². Corresponde à biotita sienito a monzogranitos, geralmente isótipos, contendo alanita e titanita como acessórios principais. A biotita é bem formada, o quartzo é fumê e geralmente facetado e a unidade possui megacristais de feldspatos. Os termos da fácies heterogranular são predominantes e têm granulação média a grossa. Já os da fácies porfirítica possuem matriz fina e teor de máficos mais elevado. Os contatos entre as fácies são difusos e gradacionais (BITENCOURT *et al.*, 2008; UFSC, 2018).

3.5.3 Suíte Cambirela

O Granito Ilha é composto por biotita monzo a sienogranitos, textura alotriomórfica, equigranular média a grossa; teor variável de minerais máficos na forma de agregados isolados. Ocorre hornblenda subordinada nos termos menos diferenciados, veios e bolsões pegmatíticos abundantes nos termos leucograníticos; xenólitos das encaixantes e fragmentos de margens resfriadas; estratificação modal localizada (BITENCOURT *et al.*, 2008). A unidade aflora na região nordeste de Garopaba e os afloramentos apresentam grau de alteração média a alta e grande quantidade de fraturas de direção NW e WNW (UFSC, 2018).

3.5.4 Grupo Serra Geral

No município de Garopaba ocorrem rochas básicas provenientes do vulcanismo fissural, este relacionado à abertura do Oceano Atlântico, no Cretáceo. Essas rochas afloram em forma de diques e soleiras e pertencem ao Enxame de Diques Florianópolis. Os diques ocorrem de maneira mais expressiva nos costões com direções preferenciais NE-SW e NW-SE, com largura de até 100m; as soleiras ocorrem em baixa, média e alta encosta e possuem 30m de espessura. O Grupo Serra Geral corta, de forma intrusiva, as unidades Granito Paulo Lopes, Granitoides Garopaba, Granito Serra do Tabuleiro, Granito Vila da Penha, Granito Ilha e Diorito Macacu. É representado por diabásios e gabros com estrutura maciça. Nas soleiras e nos diques a textura é equigranular fina a média e, nas margens resfriadas dos diques, é afanítica a vítrea. São compostos por plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, biotita e olivina e os minerais acessórios são apatita, ilmenita e magnetita (UFSC, 2018).

3.5.5 Quaternário

3.5.5.1 Depósito Coluvial e de Leque Aluvial

Compreendem à fácies proximal de encosta, composta por blocos e matacões angulosas com matriz areno-lamosa (tálus) e areia fina a grossa com lama e

quantidades variáveis de grânulos e seixos, cor entre castanha e marrom (colúvio). A fácies aluviões é formada por areias quartzo-feldspáticas de cor marrom a vermelha, médias a grossas, mal selecionadas, com grãos angulosos e quantidades variáveis de grânulos e seixos, gradação normal e lamas marrom esverdeadas com grânulos (UFRGS, 1999).

3.5.5.2 Depósito de Dunas Eólicas do Pleistoceno

Os depósitos de dunas eólicas são pertencentes a Barreira III, associada ao sistema Laguna-Barreira III – Pleistoceno superior. São areias muito finas, ricas em quartzo, bem selecionadas, com grãos arredondados e esféricos. O óxido de ferro presente nas areias passou por um intenso processo de oxidação, atribuindo uma cor acastanhada a avermelhada (UFSC, 2018).

3.5.5.3 Depósitos de Dunas Eólicas do Holoceno

Ocorrem na forma de um extenso campo de dunas ativas e dunas fixas vegetadas, orientadas na direção NE. São compostas por areias finas, quartzosas, bem selecionadas, esféricas, apresentando coloração amarelo-esbranquiçada. Na porção norte do campo de dunas as alturas variam de 3m a 5m de espessura, enquanto na porção sul apresentam altura superior a 10m (UFSC, 2018).

3.5.5.4 Depósitos Flúvio-lagunares

Os depósitos fluviais possuem uma vasta variação granulométrica. Os seixos e blocos são compostos por quartzo e feldspato, subangulosos, com baixa esfericidade e são sustentados por uma matriz quartzosa, que varia de argila a grânulo subanguloso a subarredondado. Os depósitos lagunares ocorrem em relevo plano, com sedimentos marrons, seleção moderada, granulometria que varia de argila a areia fina e grânulos dispersos (UFSC, 2018). Englobam lamas orgânicas com biodetritos e conchas de organismos lagunares-estuarinos (UFRG, 1999).

3.5.5.5 Depósitos Praiais

Estão dispostos ao longo da costa e são compostos por areia fina, bem selecionada, subarredondada, com esfericidade média e de coloração marrom claro. São compostos por quartzo, feldspatos, minerais pesados e biodetritos (UFRGS, 1999; UFSC, 2018).

3.6 VEGETAÇÃO

Garopaba está inserida no Bioma Mata Atlântica que, devido às diferentes condições físicas e climáticas, possui diferentes formações vegetacionais. Na área de estudo predominam duas importantes formações: a Floresta Ombrófila Densa e as Formações Pioneiras (IBGE, 2021; PAZ, 2016).

A Floresta Ombrófila Densa é caracterizada pela presença de árvores de grande e médio portes, além de lianas e epífitas em abundância. Sua ocorrência está ligada ao clima tropical quente e úmido, sem período seco (no máximo 60 dias secos por ano), com chuvas bem distribuídas durante o ano e temperaturas médias variando entre 22°C e 25°C. Ocorre, principalmente, em solos como Latossolos e Argissolos, ambos Amarelos e Vermelho-Amarelos, normalmente com baixa fertilidade natural (IBGE, 1992).

De acordo com Silva (2017), as Formações Pioneiras constituem os complexos vegetacionais edáficos de primeira ocupação, que colonizam terrenos pedologicamente instáveis, relacionados aos processos de acumulação fluvial, lacustre, marinha, fluviomarina e eólica. Englobam a vegetação da restinga, dos manguezais, dos campos salinos e das comunidades ribeirinhas aluviais e lacustres.

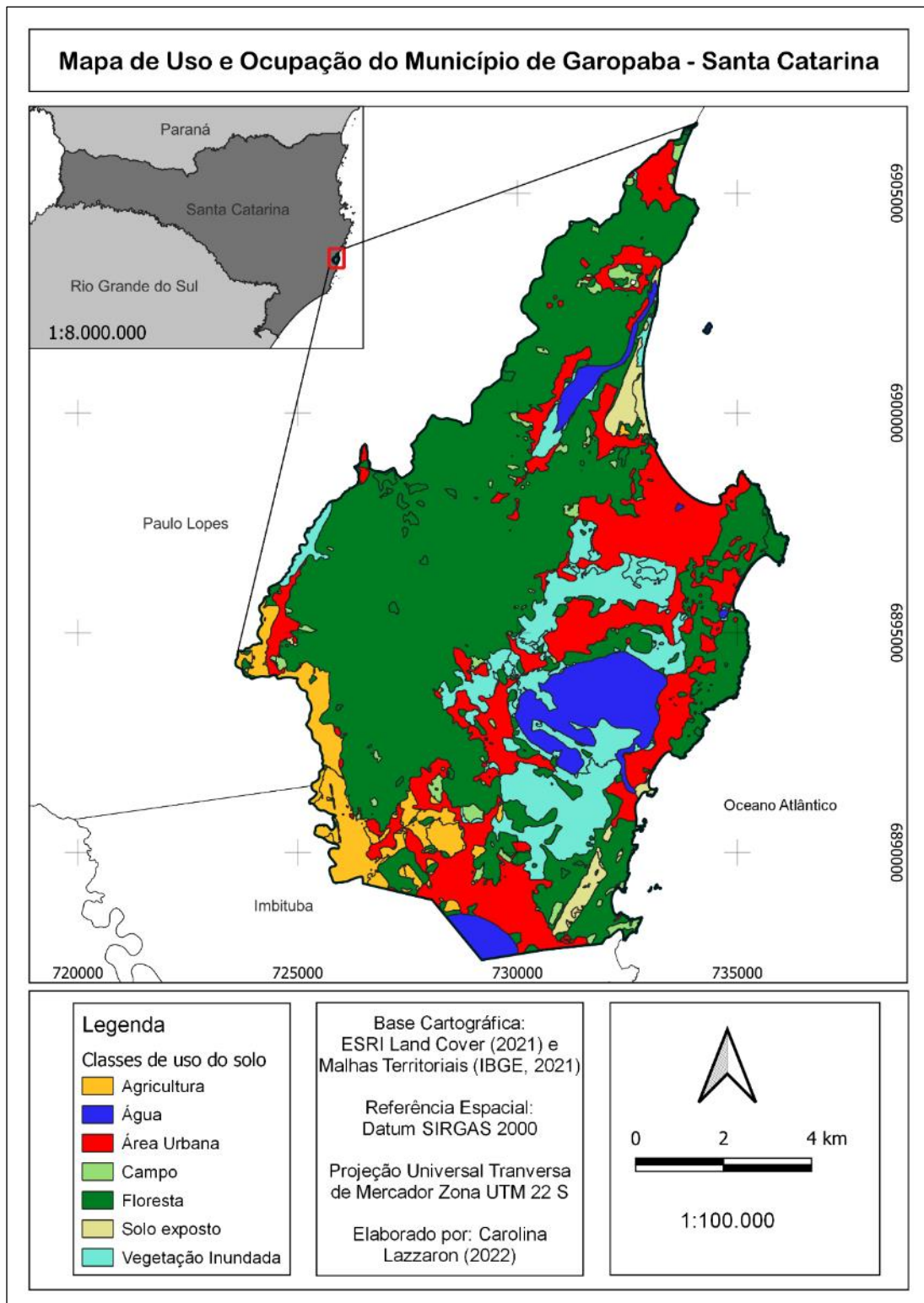
Nas restingas são reconhecidos três tipos de vegetação: campestre, arbustiva e florestal. As formações campestres ocorrem principalmente nas faixas de praia, antedunas e dunas que, eventualmente, podem ser atingidas pelas marés mais altas, e em depressões alagáveis, denominadas de brejos ou banhados. Os brejos litorâneos são típicos de áreas abertas ao longo dos cursos d'água da planície costeira, nas depressões situadas entre os cordões litorâneos e no entorno das lagunas e lagoas costeiras (SILVA, 2017).

As Formações Arbustivas das planícies litorâneas variam desde densos emaranhados de arbustos misturados a trepadeiras, bromélias e cactos até moitas com extensão e altura variáveis. Já as Formações Florestais variam desde conjuntos com estrato arbustivo-arbóreo com altura a partir de 5 metros, até florestas com estrato arbóreo dominante de 15 a 20 metros de altura, além de um estrato arbustivo-arbóreo intermediário, onde são comuns espécies de rubiáceas. Geralmente se desenvolvem em planícies formadas pela justaposição de cordões litorâneos (SILVA, 2017).

3.7 USO E OCUPAÇÃO

O mapa de uso e ocupação do município é apresentado na Figura 15. De acordo com o mapeamento realizado pela empresa Esri (2021), o município de Garopaba conta com 7 classes de uso do solo: água, floresta, campo, vegetação inundada, agricultura, área urbana e solo exposto. Cada uma dessas classes é definida no Quadro 4.

Figura 15. Mapa de uso e ocupação do município de Garopaba.



Fonte: Da Autora (2022).

Quadro 4. Definições das classes de uso do solo de Garopaba.

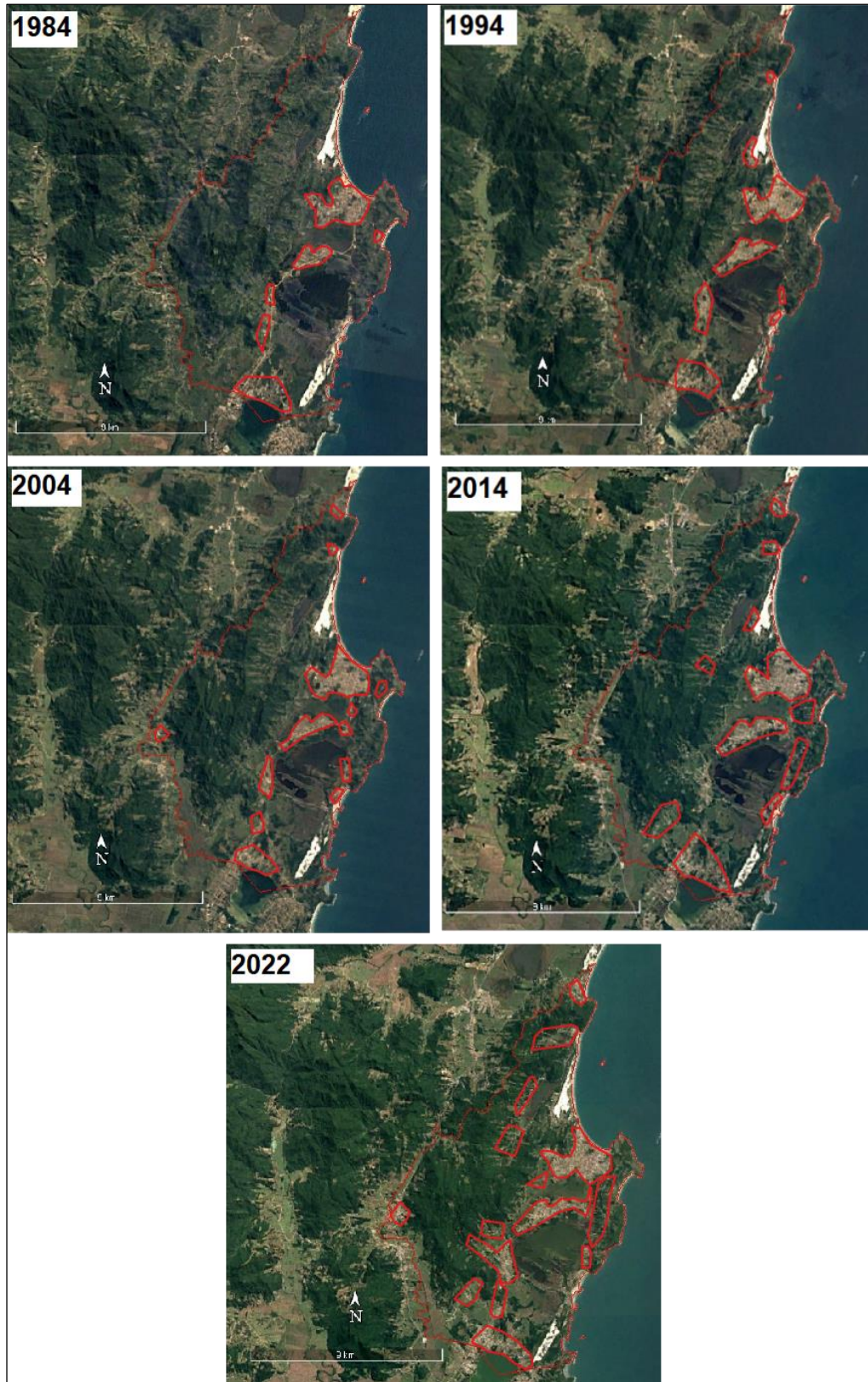
Classe	Definição
Água	Áreas onde a água esteve predominantemente presente ao longo do ano; pode não cobrir áreas com água esporádica ou efêmera; contém pouca ou nenhuma vegetação esparsa, nenhum afloramento rochoso nem características construídas como docas; exemplos: rios, lagoas, lagos, oceanos, planícies de sal inundadas.
Floresta	Qualquer aglomeração significativa de vegetação densa alta (~ 15 m ou mais alta), normalmente com uma copa fechada ou densa; exemplos: vegetação arborizada, aglomerados de vegetação alta densa dentro de savanas, plantações, pântanos ou manguezais (vegetação densa / alta com água efêmera ou dossel muito espesso para detectar água embaixo).
Campo	Áreas abertas cobertas por gramíneas homogêneas com pouca ou nenhuma vegetação mais alta; cereais selvagens e gramíneas sem nenhuma plotagem humana óbvia (ou seja, não um campo plotado); exemplos: prados naturais e campos com pouca ou nenhuma cobertura de árvores, savana aberta com poucas ou nenhuma árvore, parques / campos de golfe / gramados, pastagens.
Vegetação Inundada	Áreas de qualquer tipo de vegetação com mistura óbvia de água durante a maior parte do ano; área sazonalmente inundada que é uma mistura de grama / arbusto / árvores / solo descoberto; exemplos: manguezais inundados, vegetação emergente, arrozais ou outra agricultura fortemente irrigada e inundada.
Agricultura	Cereais plantados / plotados pelo homem, gramíneas e safras fora da altura das árvores; exemplos: milho, trigo, soja, pousios em terrenos estruturados.
Área Urbana	Estruturas feitas pelo homem; principais redes rodoviárias e ferroviárias; grandes superfícies impermeáveis homogêneas, incluindo estruturas de estacionamento, edifícios de escritórios e residências; exemplos: casas, vilas / cidades densas, estradas pavimentadas, asfalto.
Solo exposto	Áreas de rocha ou solo com vegetação muito esparsa ou sem vegetação durante todo o ano; grandes áreas de areia e desertos com nenhuma a pouca vegetação; exemplos: rocha ou solo exposto, deserto e dunas de areia, planícies / salinas secas, leitos de lagos secos, minas.

Fonte: elaborado com base em Esri (2021).

3.8 IMAGENS HISTÓRICAS DA EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA NO MUNICÍPIO

As imagens da evolução da mancha urbana do município são apresentadas na Figura 16.

Figura 16. Evolução urbana do município de Garopaba ao longo de 40 anos



Fonte: Da autora (2022).

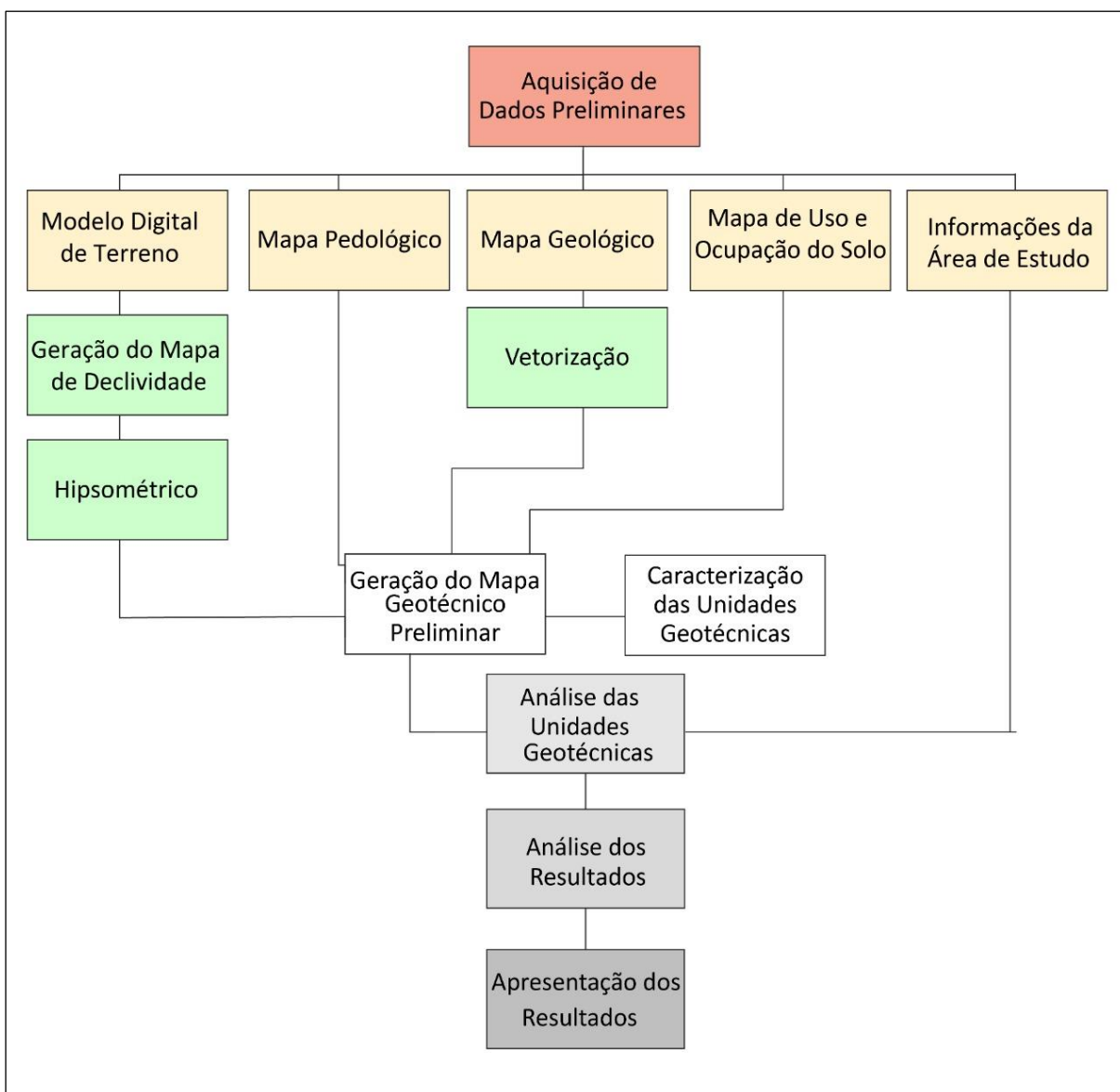
4 METODOLOGIA

Os primeiros passos para o desenvolvimento deste trabalho consistiram na realização de uma ampla revisão bibliográfica sobre mapeamento geotécnico, geologia, pedologia e sobre as características regionais do município de Garopaba, bem como na aquisição dos mapas preexistentes (geológico, pedológico e topográfico).

Para a elaboração do mapa geológico-geotécnico preliminar, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Davison Dias (1995). Essa abordagem consiste na sobreposição dos mapas litológico e pedológico em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

No fluxograma da Figura 17 estão descritas as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

Figura 17. Fluxograma com a descrição da metodologia empregada neste trabalho.



Fonte: Da Autora (2022).

4.1 MAPA GEOLÓGICO

A base cartográfica geológica utilizada neste trabalho foi o mapa geológico da UFRGS (1999) em escala 1:25.000, que foi reprojetoado para 1:100.000. No entanto, como o mapa da UFRGS (1999) não cobria a parte sul do município, foi necessário integrar o mapa da CPRM (2014), em escala 1:500.000, que também foi reprojetoado para 1:100.000. Além disso, foi utilizada a técnica de fointerpretação para delimitar essa região específica.

Para usar o mapa geológico da UFRGS (1999), foi necessário adaptá-lo em um ambiente SIG, pois ele não possuía um arquivo *shapefile* disponível. Essa etapa envolveu três processos: o georreferenciamento do mapa em formato PDF, utilizando o sistema de coordenadas SIRGAS 2000/UTM 22S; o recorte do mapa com base nos limites territoriais do município; e a vetorização das unidades litoestratigráficas.

4.2 MAPA LITOLÓGICO

O mapa litológico foi elaborado com base na generalização das unidades geológicas. Nessa etapa todas as unidades foram agrupadas sem a distinção de fácies. Sendo assim, o mapa litológico passou a contar com três unidades litológicas: granitos, granitoides e sedimentos quaternários.

4.3 MAPA PEDOLÓGICO

O mapa pedológico utilizado no trabalho é o da Embrapa (2004), em escala 1:250.000 e reprojetoado para 1:100.000.

4.4 MODELO DIGITAL DE TERRENO

O modelo digital de terreno foi utilizado através do mosaico das imagens matriciais MDT-SG-22-Z-D-V-4 e MDT-SH-22-X-B-II-2, fornecidas pelas SDS (2010), em escala 1:10.000, com resolução de 1m. Para a visualização do relevo foi aplicado sombreamento com azimute 345° e ângulo vertical de 45°.

4.5 MAPA GEOTÉCNICO

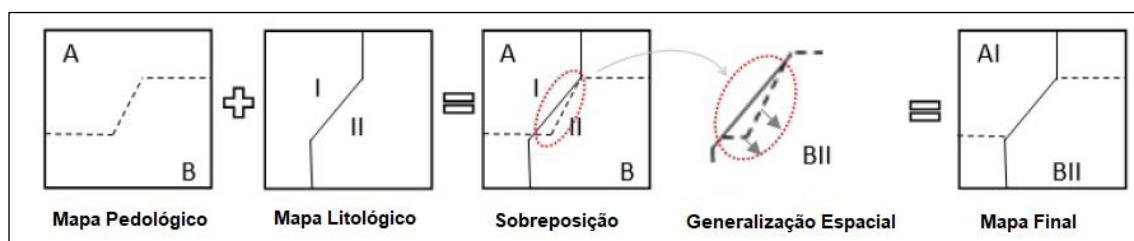
A criação do mapa geotécnico, como explicado anteriormente, seguiu os preceitos da metodologia proposta por Davison Dias (1995), que se baseia na sobreposição dos mapas litológico e pedológico. Desta forma, foi realizada a sobreposição desses mapas de Garopaba em escala 1:100.000, em ambiente SIG e, para esse procedimento, foi utilizada a *software* Qgis.

A etapa seguinte consistiu no refinamento do mapa geotécnico, visto que o simples cruzamento dos mapas gera muitas incompatibilidades, como reentrâncias de uma unidade em outra e discordâncias entre solo e rocha de origem. Essas divergências ocorreram principalmente nas áreas limítrofes entre uma unidade geotécnica e outra.

Com o objetivo de diminuir as reentrâncias foi realizada a generalização espacial através da fusão de unidades, tendo como base a metodologia citada por Tasca *et al.* (2020), em que as pequenas unidades devem ser absorvidas pelas maiores. Para auxiliar neste processo foi utilizado o modelo digital de terreno (SDS, 2010). A Figura 18 demonstra o procedimento adotado.

As unidades que apresentaram incoerência entre solo e rocha foram as unidades Gleissolo substrato Granito e Organossolo substrato Granitoide. Visto que ambos os solos não ocorrem em altitudes e declives acentuados, sendo relacionados a áreas de várzeas, foi realizado o ajuste dessas unidades baseando-se no modelo digital de terreno e fotointerpretação.

Figura 18. Procedimentos envolvidos na geração do Mapa Geotécnico Preliminar.



Fonte: adaptado de TASCA *et al.* (2020).

4.6 MAPA DE USO E OCUPAÇÃO

O mapa de uso e ocupação do solo foi adquirido no site da empresa Esri, a qual realizou o mapeamento mundial do uso do solo com base em imagens do satélite Sentinel-2, com resolução de 10 metros. Trata-se de dados abertos, de alta resolução e atualizados (2021).

O mapa foi adquirido em formato *raster* e abrangia uma área muito maior, logo foi necessário o recorte do arquivo tendo como base o município de Garopaba e,

posteriormente, se fez a reprojeção do sistemas de coordenadas de WGS84/22 S para SIRGAS 2000/22 S, em escala 1:100.000.

A última etapa consistiu na conversão do formato *raster* para *shapefile*, visto que dessa forma foi possível estimar a porcentagem de abrangência de cada classe no município.

O mapa de uso e ocupação do município conta com sete classes de superfície, sendo elas: água, floresta, campo, vegetação inundada, agricultura, área urbana e solo exposto.

4.7 IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite foram obtidas através do *software Google Earth Pro*, que disponibiliza imagens do ano de 1984 até os dias atuais. Posteriormente foi realizada a vetorização das áreas urbanas do município no *software Qgis*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão discutidos e apresentados os resultados obtidos através da manipulação dos dados em ambiente SIG e revisão bibliográfica.

5.1 DECLIVIDADES

A classificação das declividades é apresentada no Quadro 5, tendo sido elaborada conforme sugerido pela Embrapa (1979).

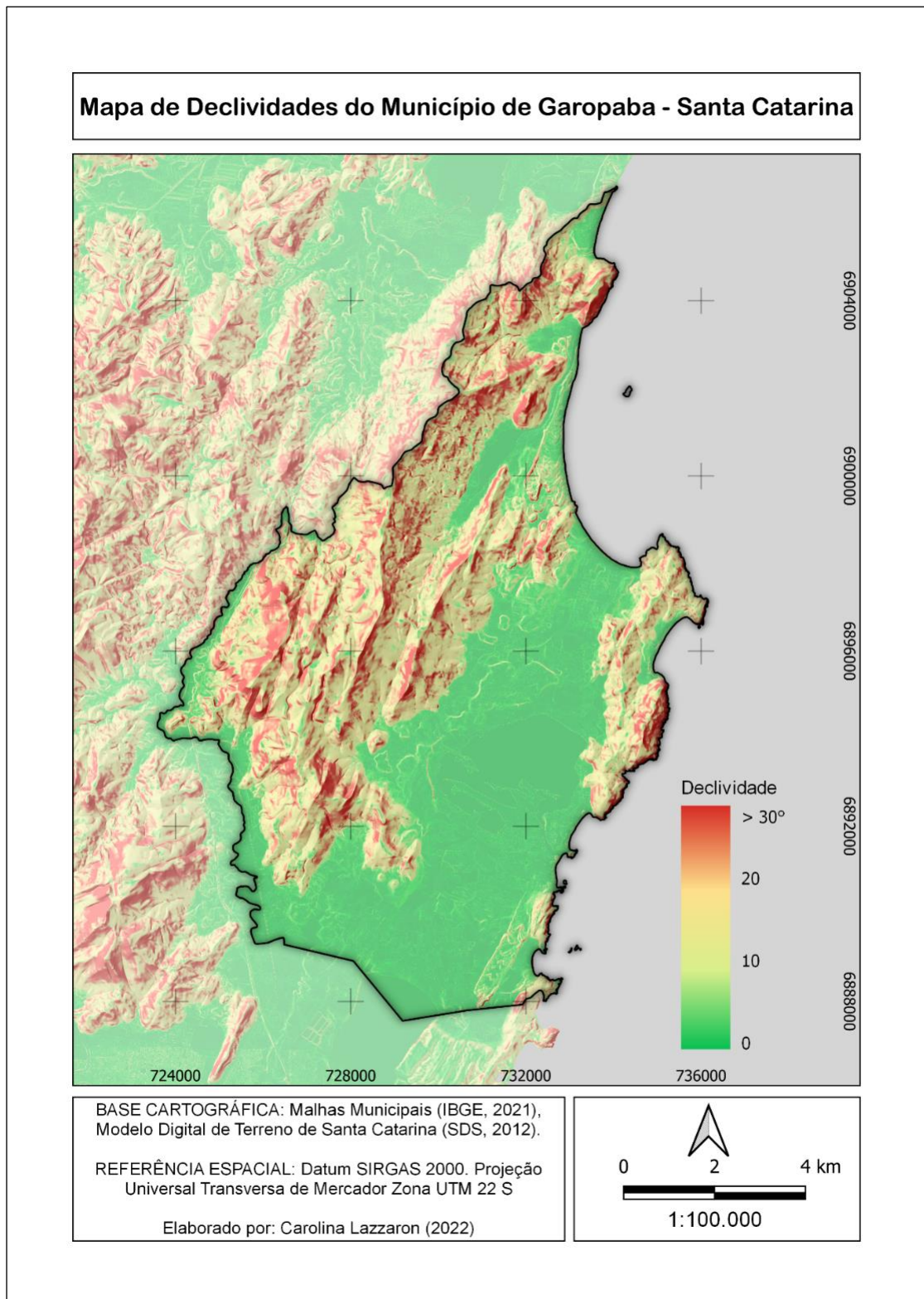
Segundo o Mapa de Declividades (Figura 19), criado com base no Modelo Digital de Terreno (MDT), Garopaba possui, em geral, declividades que variam entre 0° e 30°, podendo chegar até 60° nos promontórios rochosos. Na porção oeste do município, onde ocorrem as maiores elevações, as declividades chegam em torno de 40° a 45°. Já a área urbana ocupa predominantemente declividades entre 0° e 10°. Em geral, o município é caracterizado por relevo plano e forte ondulado.

Quadro 5. Classes de declividade propostas pela Embrapa (1979).

Declividade (%)	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Escarpado.

Fonte: elaborado com base na Embrapa (1979).

Figura 19. Mapa de Declividades do Município de Garopaba.



Fonte: Da Autora (2022).

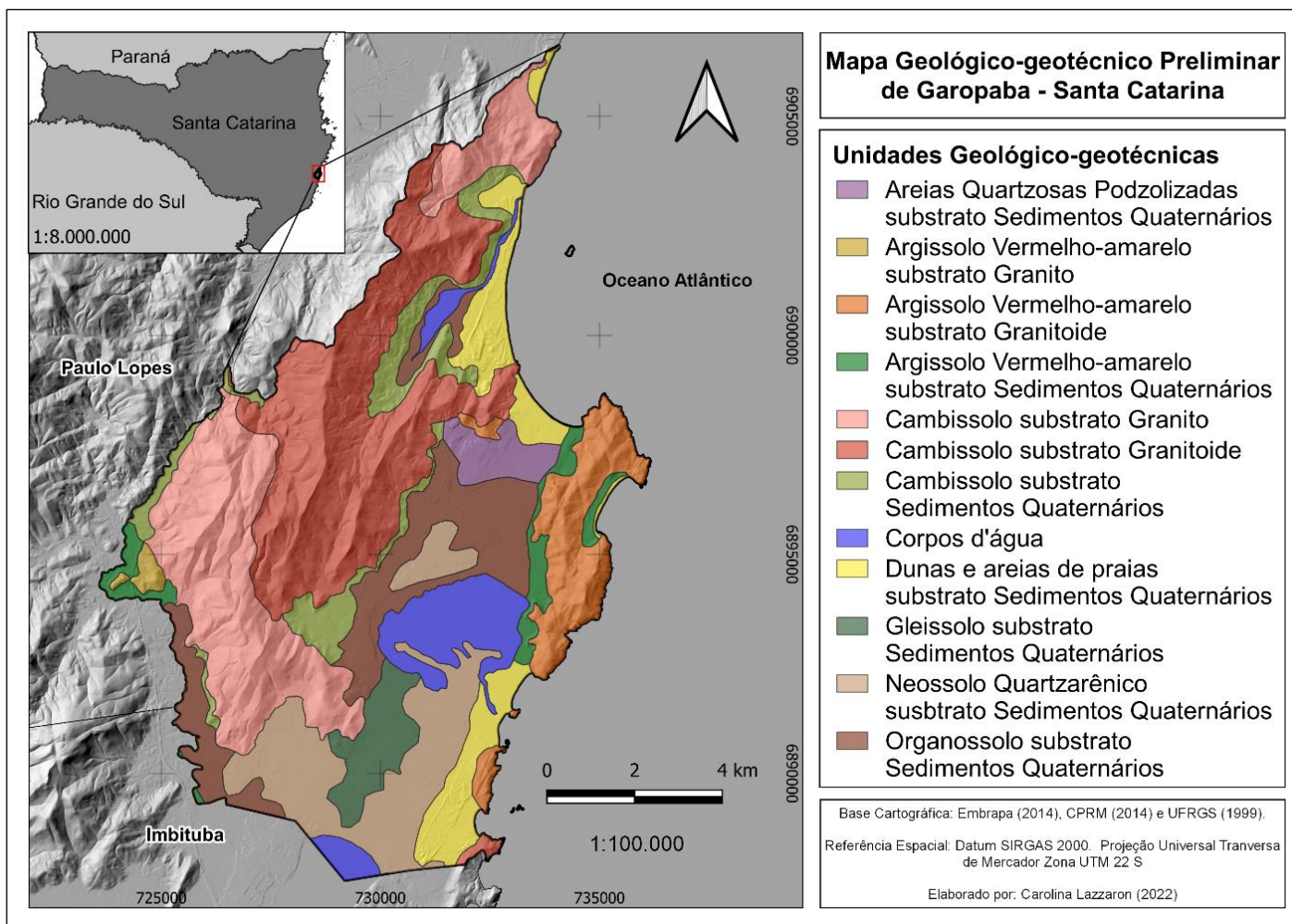
5.2 MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PRELIMINAR

O mapa geológico-geotécnico foi elaborado por meio da sobreposição dos mapas litológico e pedológico do município. O cruzamento destes mapas resultou em onze unidades geotécnicas preliminares, sendo elas:

- Areias Quartzosas Podzolizadas substrato Sedimentos Quaternários (AQPsq);
- Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granito (PVg);
- Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granitoide (PVgd);
- Argissolo Vermelho-amarelo substrato Sedimentos Quaternários (PVsq);
- Cambissolo substrato Granito (Cg);
- Cambissolo substrato Granitoide (Cgd);
- Dunas e areias de praias substrato Sedimentos Quaternários (DNsq);
- Gleissolo substrato Sedimentos Quaternários (GHsq);
- Neossolo Quartzarênico substrato Sedimentos Quaternários (Aqsq);
- Organossolo substrato Sedimentos Quaternários (HOsq);

O mapa geológico-geotécnico preliminar do município de Garopaba é apresentado na Figura 20, em escala 1:100.000.

Figura 20. Mapa Geológico-geotécnico Preliminar do município de Garopaba.



Fonte: Da Autora (2022).

A Tabela 1, apresenta a abrangência das unidades geológico-geotécnicas no território do município.

Tabela 1. Abrangência das unidades geológico-geotécnicas preliminares no município de Garopaba.

Sigla da Unidade	Denominação	Área (em km²)
AQPsq	Areias Quartzosas Podzolizadas substrato Sedimentos Quaternários	2,53
PVg	Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granito	0,63
PVgd	Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granitoide	8,19
PVsq	Argissolo Vermelho-amarelo substrato Sedimentos Quaternários	3,13
Cg	Cambissolo substrato Granito	21,44
Cgd	Cambissolo substrato Granitoide	26,28
Csq	Cambissolo substrato Sedimentos Quaternários	7,14
Corpos d'água	Corpos d'água	7,22
DNsq	Dunas e areias de praias substrato Sedimentos Quaternários	8,5
GHsq	Gleissolo substrato Sedimentos Quaternários	3,78
Aqsq	Neossolo Quartzarênico substrato Sedimentos Quaternários	13,06
HOsq	Organossolo substrato Sedimentos Quaternários	12,66

Fonte: Da Autora (2022).

Nas seções abaixo, as unidades geológico-geotécnicas preliminares do município são descritas conforme a literatura.

5.2.1 Unidade Areias Quartzosas Podzolizadas substrato Sedimentos Quaternários (AQPsq)

O solo das areias quartzosas podzolizadas são solos pouco desenvolvidos e com perfis abundantemente arenosos e profundos. Formados a partir de rochas sedimentares de granulação grossa ou de sedimentos arenosos, são drenantes e com baixo teor de matéria orgânica (aproximadamente 15%). Ocorrem principalmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado e apresentam cor avermelhada devido aos óxidos de ferro (SANTOS, 1997).

Segundo Christ (2014), as areias quartzosas podzolizadas apresentam grande tendência ao comportamento colapsível. Silva (2016) aponta que a aplicação de tensões nesse tipo de solo obrigatoriamente gera deformações. Além disso, o aumento do grau de saturação nestes solos gera processos de colapso que vão de

moderados a problemáticos. Na Figura 21 é possível observar um perfil de solo da unidade AQP_{sq} que apresenta feições erodíveis.

Uma possível maneira de resolver problemas relacionados ao colapso é saturar o solo antes da aplicação de cargas sobre ele, desta forma a deformação acontece juntamente com a construção, evitando que futuramente a infiltração da água e esgoto afete a estrutura do solo (SILVA, 2016).

Em Garopaba, a unidade ocupa cerca de 2,21% do município, em declives que chegam até 18°. Quanto ao uso e ocupação, aproximadamente toda a unidade AQP_{sq} é urbanizada, portanto, o conhecimento prévio do comportamento geológico-geotécnico desta unidade possui significativa importância na prevenção de problemas em obras de engenharia e saneamento.

Figura 21. Corte de terreno onde é possível observar um perfil de solo típico da Unidade AQP_{sq} em processo de colapso.



Fonte: Da Autora (2022).

5.2.2 Unidade Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granitoide (PVgd)

Essa unidade ocupa predominantemente a porção leste da área, abrangendo cerca de 7,15% de Garopaba, em declives que chegam até 30°. Os solos da unidade PVgd possuem gradiente textural, com horizontes A de cor escura, ricos em matéria orgânica, e o horizonte B argiloso, com coloração variando de vermelho a amarelo, sendo pouco espessos. O horizonte C apresenta maior resistência, já que preserva a estrutura da rocha de origem (Figura 22). São típicos de relevos ondulados e devido às características geotécnicas variáveis, os PVgd são considerados muito erodíveis e de fácil escavação, sendo geralmente encontrados a meia encosta.

Quando ocorrem em declives acentuados estes tipos de solo apresentam maior susceptibilidade à erosão devido à alta concentração de argila, que dificulta a infiltração e a saturação do horizonte A.

Com a ocupação urbana irregular dessas áreas, ocorrem cortes e aterros para a implantação das edificações, retirada da cobertura vegetal, falta de sistemas de drenagem para o escoamento das águas superficiais e, como consequência, a potencialização da ocorrência de deslizamentos de massa.

Figura 22. Solo de textura argilosa e cor vermelho-amarela, ainda preservando a estrutura da rocha mãe. Podem-se observar alguns minerais de cor branca (caulinita), fruto do intemperismo dos feldspatos.



Fonte: Da Autora (2022).

5.2.3 Unidade Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granito (PVg)

Esta unidade abrange apenas 0,55% da área de estudo, sendo formada pelos Granitos Ilha, Serra do Tabuleiro e Vila da Penha, classificados como sieno a monzogranitos de texturas equigranulares médias a grossas, leucocráticos e isótopos, apresentando muitos planos de falhas. São formados pelos horizontes A, B, C, RA e R.

O horizonte A é arenoso e apresenta tonalidades marrons. Em geral, possuem espessuras inferiores a 50 cm. O horizonte B possui cores vermelhas ou vermelho-amareladas e espessuras que podem variar de 1 m a 3 m, sendo mais argiloso que o horizonte A. Já o horizonte C, apesar de conservar a estrutura da rocha, apresenta comportamento de solo. Possui textura granular, cores rosadas a amareladas e pode alcançar até 30 m de espessura. Contam com veios argilizados que indicam planos de diaclases (EMBRAPA, 2014; SANTOS, 1997).

Santos (1997) destaca que os argissolos vermelho-amarelos apresentam uma ampla variedade de classes texturais e, por esse motivo, se torna difícil estabelecer conclusões sobre o seu comportamento. Porém, por meio dos dados de pedologia, espera-se uma variação de permeabilidade dentro do horizonte B, o qual pode ser usado na implantação de fossas e sumidouros. A concentração de finos do sumidouro auxilia na filtragem das impurezas evitando, desta forma, a contaminação de córregos ou mananciais subterrâneos.

O comportamento mecânico do horizonte B é mais estável devido a textura, estrutura e maior coesão. Já o horizonte C é muito suscetível à erosão por ser mais friável e apresentar material rochoso alterado. Além disso, os planos de fraturas e os veios de argilas presentes no horizonte C são locais de prováveis rupturas de encostas. Portanto, é importante manter o horizonte A e B dos solos em obras de engenharia. Em relação ao uso e ocupação por fundações superficiais de edificações, estas devem ser assentadas após o horizonte B contando, assim, com maior resistência e menor compressibilidade. A resistência ao cisalhamento dos solos diminui drasticamente com a inundação, sendo que no horizonte C a perda de coesão é maior do que no B. Desta forma, as chuvas podem trazer consequências como a instabilidade de encostas e erosão (GUESSER, 2013; SANTOS, 1997; SOUZA, 2015).

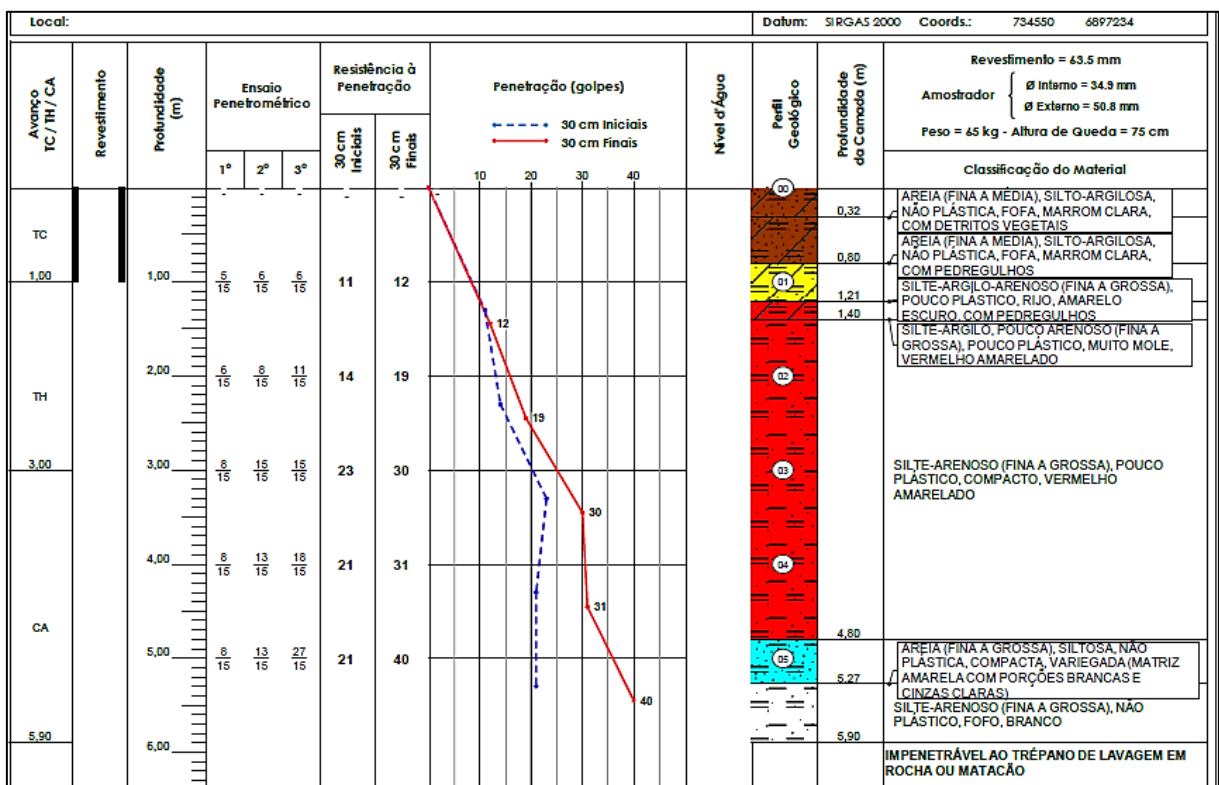
5.2.4 Argissolo Vermelho-amarelo substrato Sedimentos Quaternários (PVsq)

A unidade PVsq ocorre em cerca de 2,73% da área, de forma restrita às encostas devido à ação coluvionar. São solos com grande variedade textural e que apresentam muitos matacões, o que os tornam solos instáveis. Na Figura 23 é possível observar o perfil estratigráfico do solo da unidade PVsq, onde em 6 metros o ensaio é paralisado pela possível presença de matacão.

Apresentam horizonte A moderado, com textura arenosa e franco-arenosa a franco-argiloarenosa; e média, franco-argiloarenosa e argilo-arenosa no horizonte Bt. A profundidade do solo varia entre 60 cm e 150 cm, cor vermelho-amarela e, no geral, possuem uma drenagem moderada.

Em Garopaba a unidade é predominantemente ocupada pela área urbana.

Figura 23. Ensaio SPT realizado na Unidade PVsq, onde em cerca de 6 metros o ensaio é paralisado pela presença de um provável matacão.



Fonte: Geostaff (2022).

5.2.5 Cambissolo substrato granitoide (Cgd)

Os solos desta unidade (Figura 24-a) possuem textura argilosa, horizonte A moderado, cor bruno avermelhada, bruno escuro e bruno amarelado e são moderadamente drenados. Ocorrem em relevos que variam de forte ondulado a montanhoso e são predominantemente ocupados pela Floresta Ombrófila Densa. Por ocorrerem, geralmente, próximo a topos de morros e relevo acidentado, o solo não possui camadas espessas (EMBRAPA, 2014).

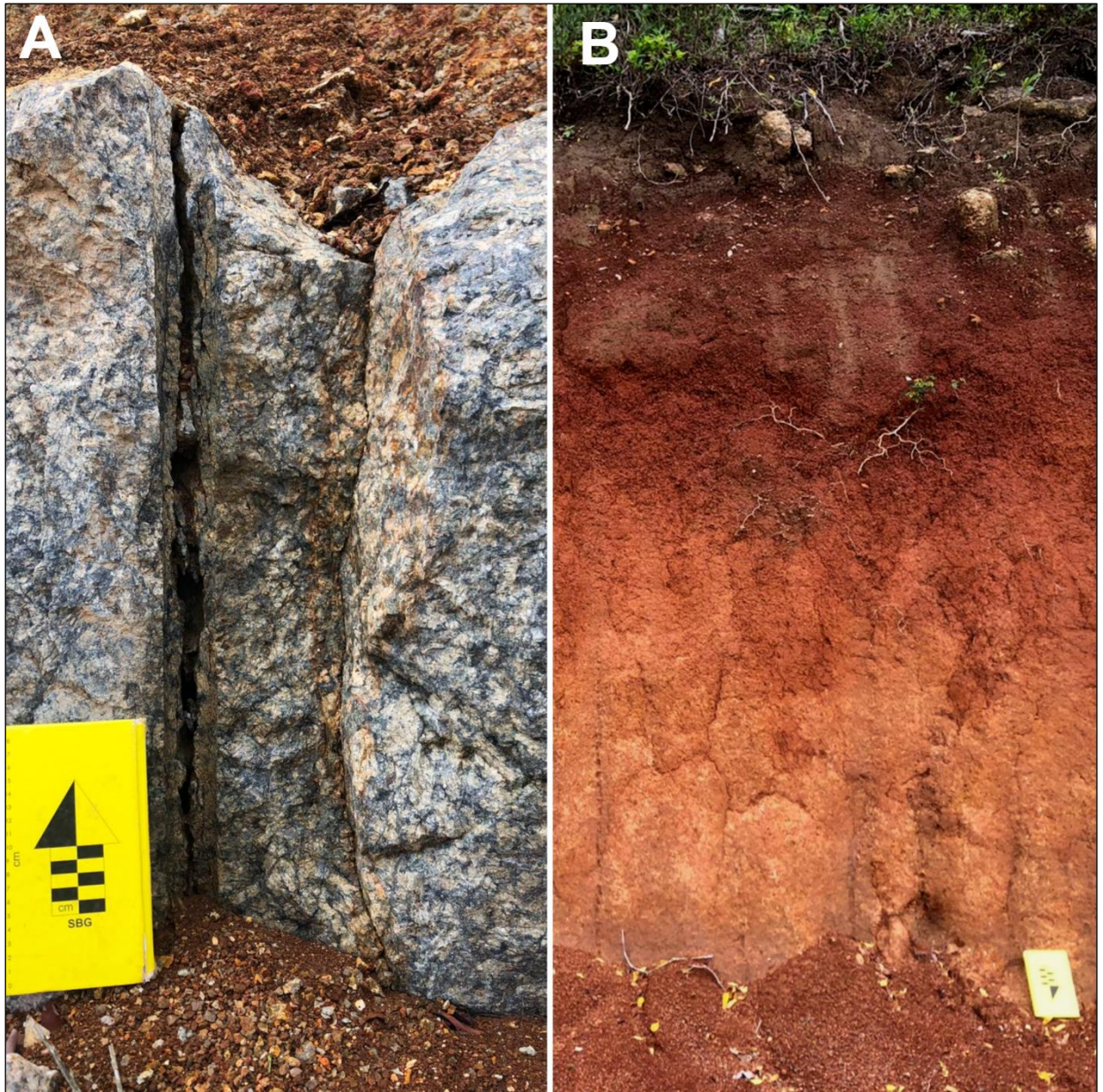
A unidade Cgd ocupa um total de 26,28 km², o que representa cerca de 23% da área do município, sendo a unidade geológica-geotécnica predominante. Está relacionada a relevos forte ondulados, com altitudes variando entre 60m e 500m e declives que chegam até 40°. Este fato se deve às características geológicas do substrato, que é composto pelos Granitoides Garopaba e Paulo Lopes.

Os Granitoides Garopaba e Paulo Lopes são compostos por biotita granodioritos a monzogranitos e biotita monzo a sienogranitos, respectivamente. Ambos porfíricos e foliados.

Os grãos de quartzo são intergranulares, em agregados enquanto os minerais de feldspatos são maiores (pórfiros), euédricos e tabulares. Tais características tornam muito mais difícil a ação intempérica. Outra característica que torna os Granitoides (Figura 24-b) menos afetados pelo intemperismo é a sua gênese, já que apesar de possuírem zonas de fraqueza, que são as foliações, eles resultam de um magmatismo precoce, desenvolvido na crosta inferior, conseqüentemente são menos afetados por tectônica rúptil e mais resistentes à ação da percolação de água.

Nesta unidade também ocorrem solos oriundos de diques de diabásio, onde as espessuras de solo são maiores e o horizonte C, dependendo do grau de alteração, pode ser expansivo. O solo de alteração de diabásio pode trazer problemas geotécnicos como movimentos de massa e outras obras de engenharia, pois ocorre dentro dos maciços rochosos, ou abaixo de corpos graníticos de grandes dimensões (GUESSER, 2013). Além disso, as altitudes elevadas e declividades acentuadas tornam a unidade suscetível a movimentos de massa. Em relação ao seu uso e ocupação, é predominantemente ocupada por florestas.

Figura 24. A) Afloramento do Granitoide Paulo Lopes. Rocha porfírica foliada de granulação grossa.
B) Perfil de solo típico de um Cambissolo.



Fonte: Da Autora (2022).

5.2.6 Cambissolo substrato granito (Cg)

Os solos provenientes dos granitos da região possuem textura argilosa, horizonte A moderado e cores variando entre bruno avermelhada, bruno escuro e bruno amarelado. A profundidade varia entre 60 cm e 150 cm, sendo solos

moderadamente drenados e sua ocorrência está associada a relevos forte ondulados (EMBRAPA, 2014).

Já o substrato é formado pelos Granitos Ilha, Serra do Tabuleiro e Vila da Penha. Compreendem sieno a monzogranitos de texturas equigranulares médias a grossas, leucocráticos e isótopos. Tal composição permite que haja mais superfície de contato entre os grãos, facilitando a percolação de água e, conseqüentemente, a ação do intemperismo físico e químico. Com a percolação de água, os feldspatos, que ocorrem em teores elevados nessas rochas, transformam-se em argila através do processo de hidrólise. Já o quartzo possui a tendência à desagregação.

Outro fato relevante é que os leucogranitos isótopos se formaram em crosta rasa, com ampla circulação de fluídos, sendo muito afetados por tectônica rúptil e apresentando falhas, fraturas e zonas de catáclase, o que permite a percolação mais efetiva da água e o desmembramento da trama. Todos esses fatores fazem com que essa unidade tenha mais tendência a erosão.

No geral, apresentam propriedades semelhantes ao da unidade PVg, sendo que a diferença entre os dois é o grau de desenvolvimento do horizonte B e sua espessura (menor que 50cm) (SANTOS, 1997).

Na unidade Cg há a incidência de muitos matacões, o que acaba dificultando a execução de fundações. Além disso, por apresentarem pouca profundidade e estarem associados a topografias íngremes, ocorrem problemas quanto à instalação de fossas e sumidouros, visto que a espessura do solo não é suficiente para filtrar as impurezas.

A unidade Cg ocupa cerca de 19% do município de Garopaba, ocorrendo em declives que chegam até 36°, de relevo forte ondulado.

5.2.7 Cambissolo substrato sedimentos quaternários (Csq)

Os solos da unidade Csq ocupam um total de 6,23% do município de Garopaba, em declividades que chegam a aproximadamente 25°. São solos coluvionares, provenientes de movimentos de massa que ocorrem nas encostas. Podem ser divididos em duas classes: colúvio desestruturado, proveniente do material que é desintegrado e descolado pela ação da gravidade até o sopé das encostas; e colúvio resultante de movimentos lentos em profundidade, como rastejos (LACERDA, 2004).

Apresentam heterogeneidade granulométrica, com grãos e/ou blocos de várias dimensões (Figura 25), desse modo são suscetíveis a mudanças abruptas de resistência e instabilidade. Na Figura 26 pode-se ver uma sondagem SPT realizada na unidade, em que aos 3 metros o ensaio é paralisado pela presença de matacão.

Os solos coluvionares podem apresentar problemas de estabilidade quando há o corte de taludes, problemas na execução de fundações e de estabilidade de muros de arrimo. Uma forma de identificar seu potencial de instabilidade é na observação da geomorfologia ao longo do tempo. Alguns indicativos de movimentação no terreno são a inclinação de troncos de árvores, os micro relevos e as linhas de escorregamento (SANTOS, 1997).

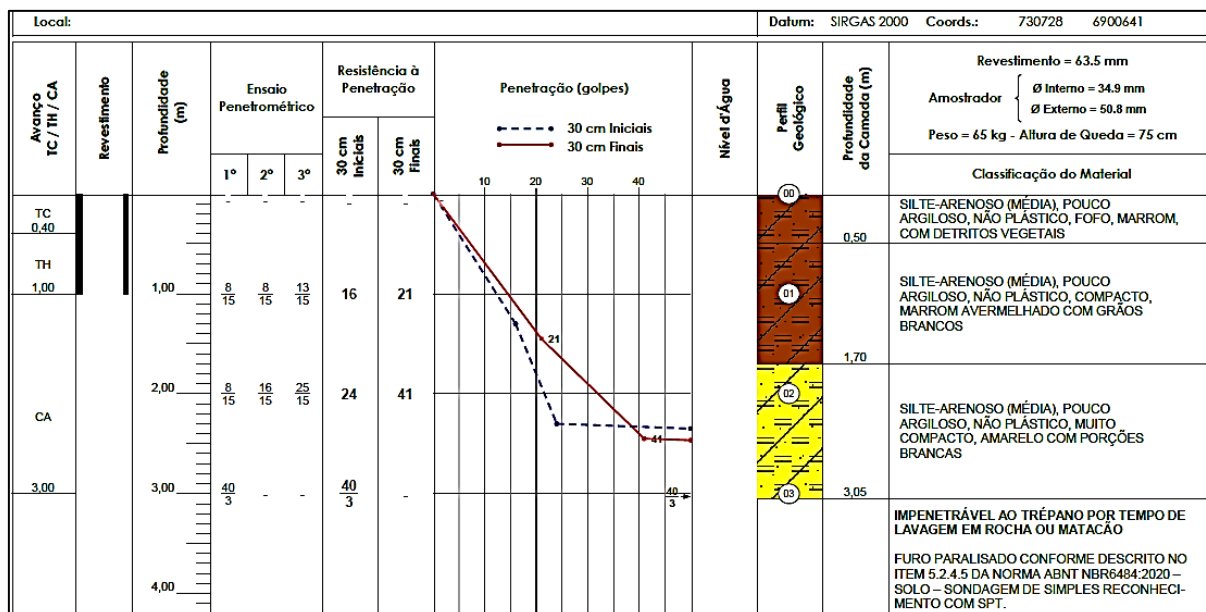
Quanto ao uso e ocupação, são solos predominantemente urbanizados, portanto torna-se imprescindível estudos relacionados à estabilidade de encostas, bem como ao comportamento geotécnico do solo.

Figura 25. Depósito coluvionar com presença de muitos blocos e matacões sem nenhum tipo de contenção.



Fonte: Da Autora (2022).

Figura 26. Sondagem SPT realizada na unidade Csq, onde aos 3 metros o ensaio é paralisado pela presença de matacão.



Fonte: Geostaff (2022).

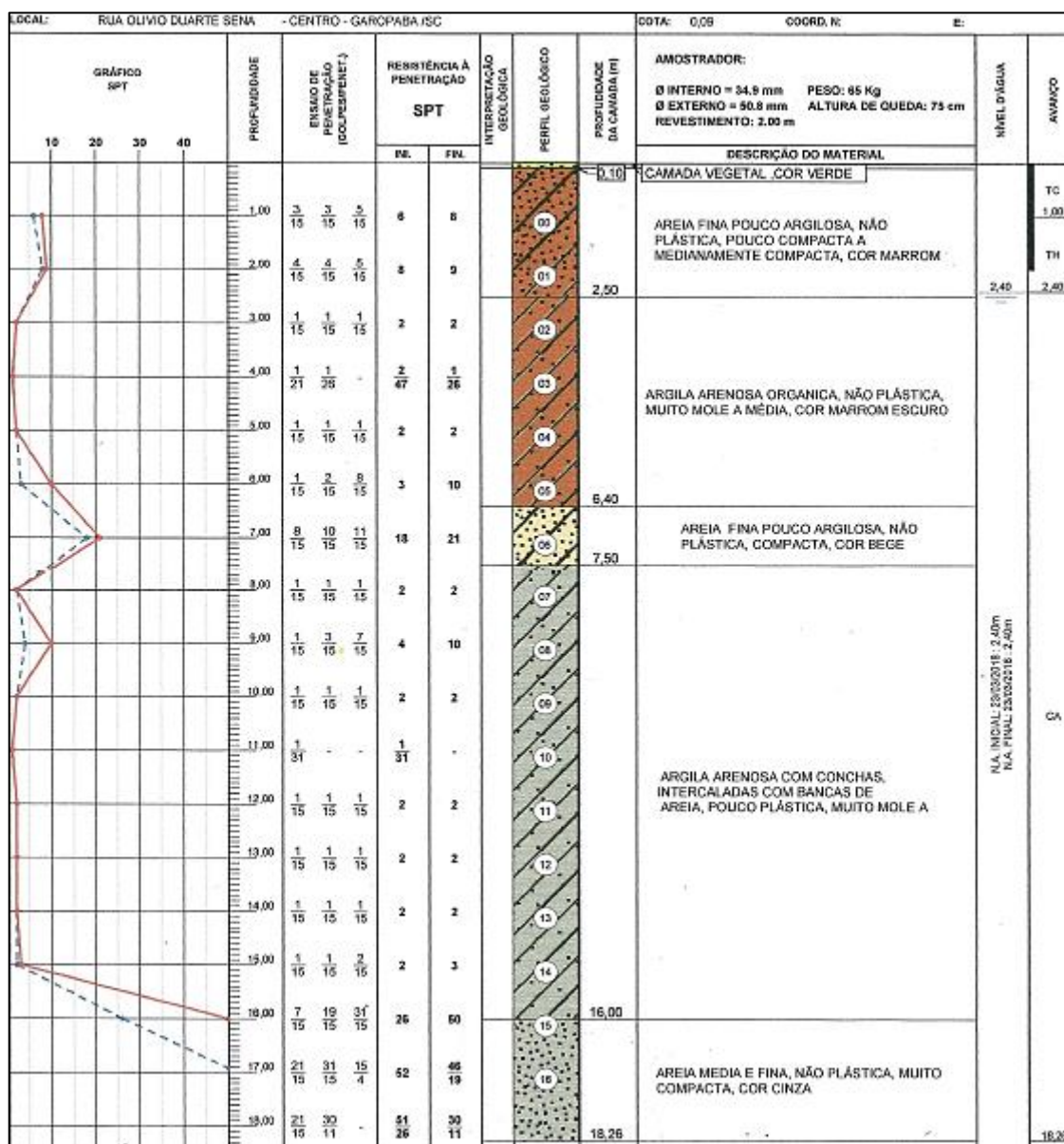
5.2.8 Dunas e areias de praias substrato sedimentos quaternários (DNsq)

Essa unidade ocorre em 7,42% da área, junto às praias do município, em relevos planos a ondulado. São ocupadas pela vegetação de restinga. Por não desenvolverem processos pedogenéticos não são considerados solos e, sim, uma espécie de terreno. Possuem composição arenosa, são bem drenados, profundos e sob as espessas camadas de areia podem ocorrer sedimentos argilosos marinhos (Figura 27) (EMBRAPA, 2014; SANTOS, 1997).

Em relação ao uso e ocupação, a unidade DNsq é predominantemente ocupada pela área urbana, sendo que muitas das edificações ocorrem junto às orlas da praia e próximas a campos de dunas ativas. As construções próximas às praias são frequentemente afetadas pela erosão, que resulta da dinâmica costeira como variações no nível relativo do mar e do balaço sedimentar negativo. A erosão costeira provoca a remoção do solo de fundação de muros de arrimo e das residências e, como consequência, a destruição total das moradias. Já a ocupação próxima a campos de dunas ativos pode invadir moradias e recobrir estradas, por isso é importante que o uso e ocupação dessa unidade sejam efetivados após estudos de impactos

ambientais. A fertilidade deste tipo de terreno é baixa, portanto, não são aptos ao uso agrícola (NETO e RODRIGUES, 2021; SANTOS, 1997).

Figura 27. Sondagem SPT realizada na unidade DNSq demonstrando a baixa resistência do solo.



Fonte: Geotec (2018).

5.2.9 Neossolo Quartzarênico substrato sedimentos quaternários (AQsq)

Os solos desta unidade ocupam 11,40% da área de estudo. Os Neossolos Quartzarênicos são formados predominantemente por sedimentos arenosos marinhos, com cerca de 95% ou mais de quartzo, possuindo textura areia ou areia

franca e cor bruno forte e bruno claro (Figura 28). São solos normalmente profundos, muito bem drenados e estão associados a relevos planos. Por serem muito bem drenados, constituídos de minerais resistentes ao intemperismo e apresentarem pouca atuação de processos pedogenéticos, em termos de uso e ocupação apresentam boas condições para fundações. Porém apresentam baixa fertilidade natural e suscetibilidade à erosão (SOUZA, 2012; CUNHA et al., 2012).

Por apresentarem material bastante solto são mais suscetíveis a erosão. Portanto, o bom comportamento desse solo para fundação depende do seu grau de confinamento ou do uso de algum material que o estabilize. A título de exemplo pode-se citar o solo argiloso ou outro agente cimentante. Como são solos profundos, em que o lençol freático se encontra em profundidades superiores a 2 m, tornam-se aptos à instalação de valas de infiltração que absorvem efluentes domésticos, desde que não haja poços de captação d'água nas proximidades.

É a terceira unidade mais expressiva no município, sendo ocupada predominantemente por área urbana.

Figura 28. Textura essencialmente arenosa com presença de matéria orgânica.



Fonte: Da Autora (2022).

5.2.10 Organossolo substrato Sedimentos Quaternários (HOsq)

Os Organossolos são formados pela acumulação de restos de vegetais, em graus variados de decomposição e são solos pouco evoluídos, constituídos de horizontes orgânicos (H ou O), de cor preta a cinza escura e com menos de 60 cm de profundidade (Figura 29). Ocorrem em relevos planos ou deprimidos, em ambientes mal a muito mal drenados como áreas baixas de várzeas e depressões. Quando secam, os Organossolos podem sofrer subsidência, seja pela mineralização do material orgânico ou pela contração por secagem (EMBRAPA, 2014; SANTOS e ZARONI, 2021, VALLADARES *et al.*, 2005)

São solos impróprios para a construção devido a sua baixa capacidade de suporte de edificações, pois apresentam problemas nas fundações e na instalação de fossas sépticas (COSTA e ALVES, 2006). Na Figura 30 é possível observar a baixa resistência à penetração dos Organossolos.

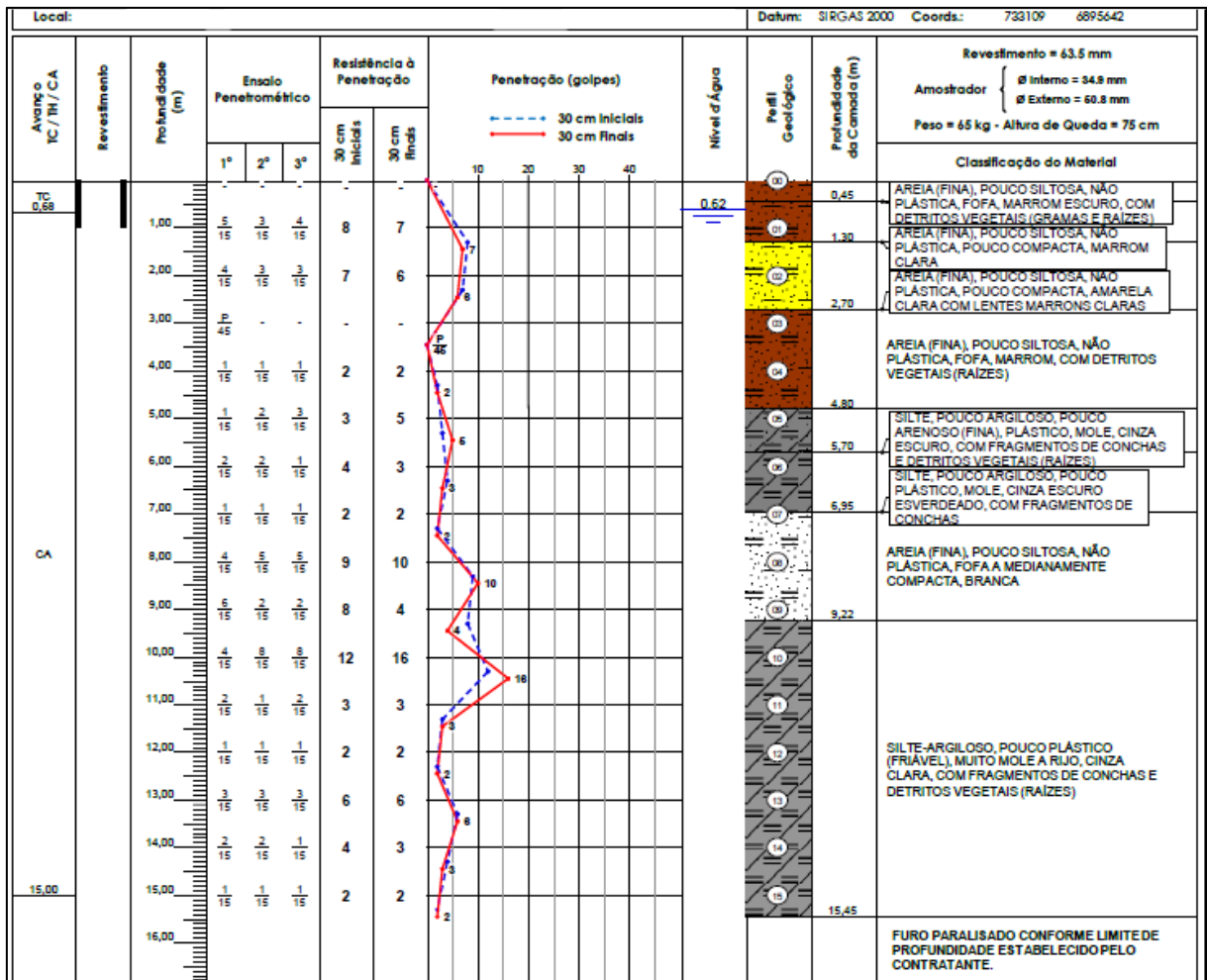
A unidade é responsável por abranger 11,05% da área do município e, em grande parte, é ocupada por vegetação inundada, seguida por agricultura.

Figura 29. Organossolo de textura siltosa, rico em matéria orgânica em ambiente mal drenado.



Fonte: Da Autora (2022).

Figura 30. Perfil de sondagem SPT onde é possível observar a baixa resistência do material.



Fonte: Geostaff (2022).

5.2.11 Gleissolo substrato Sedimentos Quaternários (GHsq)

O termo Glei indica intensa redução de ferro durante o desenvolvimento do solo sob condições de má drenagem ou alagamento. Ocorrem em áreas de várzeas, áreas deprimidas, planícies aluviais e locais de terras baixas, ou seja, estão normalmente vinculadas ao excesso de água. O horizonte A desta unidade é escuro e relativamente espesso, enquanto o horizonte Glei, que ocorre abaixo do horizonte A, apresenta uma camada de cor acinzentada, ou variegada, com ou sem mosqueado (EMBRAPA, 2014; SOUZA, 2015).

De uma forma geral, esta unidade é caracterizada por argilas moles e apresenta elevada deformação por adensamento e baixa resistência ao cisalhamento quando solicitada por esforços mecânicos. A ocupação dessas áreas deve ser

critérioriosa, pois nesses locais podem surgir intercalações de camadas silto-argilosas com camadas arenosas ocorrendo, frequentemente, níveis de solos orgânicos de baixa capacidade de suporte ($N_{spt} < 4$) entre elas (GUESSER, 2013; SOUZA, 2015).

Segundo Guessser (2013) para o uso e ocupação desta unidade, faz-se necessário estimar os recalques dos aterros e fundações de edificações através de sondagens do tipo SPT e ensaios geotécnicos. Caso contrário, é possível que ocorram sérios problemas de rupturas e consideráveis recalques de fundações.

A unidade ocupa 3,30% do município e é ocupada por vegetação inundada, área urbana e florestas.

A Tabela 2 apresenta os resultados do mapeamento geológico-geotécnico preliminar do município de Garopaba.

Tabela 2. Resultados do mapeamento geológico-geotécnico preliminar.

Unidade Geológica-geotécnica	% da área	Relevo predominante	Uso predominante
Areia Quartzosa Podzolizada substrato Sedimentos Quaternários	2,21	Plano	Área Urbana
Argissolo substrato Granitoide	7,15	Forte Ondulado	Floresta
Argissolo Vermelho-amarelo substrato Granito	0,55	Forte Ondulado	Florestas
Argissolo Vermelho-amarelo substrato Sedimentos Quaternários	2,73	Suave Ondulado	Área Urbana
Cambissolo substrato Granito	18,72	Forte Ondulado	Floresta
Cambissolo substrato Granitoide	22,94	Forte Ondulado	Floresta
Cambissolo substrato Sedimentos Quaternários	6,23	Ondulado	Floresta
Corpos d'água	6,30	Plano	Água
Dunas e areias de praias substrato Sedimentos Quaternários	7,42	Plano	Área Urbana
Gleissolo substrato Sedimentos Quaternários	3,30	Plano	Vegetação Inundada
Neossolo Quartzarênico substrato Sedimentos Quaternários	11,40	Plano	Área Urbana
Organossolo substrato Sedimentos Quaternários	11,05	Plano	Vegetação Inundada

Fonte: Da Autora (2022).

6 CONCLUSÕES

Os Granitoides Garopaba e Paulos Lopes possuem maior resistência ao intemperismo devido as suas tramas, que apresentam quartzo intergranular em agregados e pórfiros de feldspato que chegam até 5cm, além disso, possuem menos planos de fraqueza. Porém, as altitudes elevadas e declividades acentuadas resultam em uma maior tendência de ocorrer deslizamentos de massa nesta unidade.

Já as tramas dos Granitos Ilha, Serra do Tabuleiro e Vila da Penha permitem que haja mais superfície de contato entre os grãos, facilitando a percolação de água e, conseqüentemente, a ação do intemperismo físico e químico. Outro fator importante é que os Granitos são muito afetados por planos de fraqueza (falhas, fraturas e catáclase), conferindo maior suscetibilidade dessa unidade a movimentos de massa.

Os solos predominantes no município são os Cambissolos e Argissolos Vermelho-amarelos, que têm suas ocorrências relacionadas a relevos que variam de ondulado a forte ondulado. A origem desses solos relaciona-se com a alteração dos Granitoides e Granitos da região, já nas áreas planas e suaves onduladas ocorrem as Areias Quartzosas Podzolizadas, Neossolos, Organossolos, Gleissolos e Dunas. Estes solos se desenvolveram no sistema deposicional Laguna-Barreira, que compreende depósitos com grande variedade composicional, sendo eles: depósitos de dunas eólicas, flúvio-lagunares, praias e de leques aluviais.

Os Cambissolos e Argilossolos são ocupados, predominantemente, por Florestas. Já nos Gleissolos e Organossolos predomina a vegetação inundada, condizente com suas características hidromórficas, enquanato as Areias Podzolizadas, os Neossolos e Dunas são ocupados pela área urbana.

O principal aumento na ocupação urbana de Garopaba ao longo de 40 anos se deu nas unidades AQsq, AQPsq, PVgd, PVsq, Csq, DNSq e HOSq, e essas unidades possuem tendência a instabilidade, erosão e recalques. A aplicação da metodologia desenvolvida por Davison Dias (1995), apresentou resultados satisfatórios na área de estudo e serviu como uma importante ferramenta para o conhecimento preliminar das unidades geotécnicas.

Pela falta de trabalhos que caracterizam o meio físico do município de Garopaba, o mapeamento geológico-geotécnico, mesmo que realizado de forma preliminar, apresenta-se como um importante instrumento de análise das

potencialidades e vulnerabilidades das unidades geotécnicas da cidade. Entretanto, é necessário o estudo mais aprofundado das unidades através da caracterização em campo e realização de ensaios em laboratórios para estimar os parâmetros geotécnicos.

6.1 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Executar ensaios de campo e de laboratório para refinamento da caracterização geotécnica;
- Atualizar o mapa pedológico do município para uma escala de 1:100.000 através da caracterização em campo;
- Caracterizar os solos provenientes de diques de diabásio com ênfase no comportamento geotécnico;
- Elaborar mapas de coesão, massa específica natural e saturada, e ângulo de atrito para cada unidade geotécnica;
- Gerar mapa de suscetibilidade a deslizamentos;
- Realizar estudos de vetores de crescimento da mancha urbana, relacionando-o à ocupação apropriada;
- Criar um banco de dados SPT do município;

REFERÊNCIAS

BITENCOURT, M.F.; BONGIOLO, E.M.; PHILIPP, R.P.; MORALES, L.F.G.; RUBERT, R.R.; MELO, C.L.; LUFT JÚNIOR, J.L. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. **Revista Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v.35, n.1, p.109-136. 2008.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S., MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1996.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS JR, C. A.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2013. cap. 3.

CARUSO JÚNIOR, F. **Mapa geológico e de recursos minerais do sudeste de Santa Catarina**. (Texto explicativo e mapa em escala 1:100.000). Brasília: DNPM, 1995. 52p.

CHRIST, C. E. **Mapeamento geotécnico e análise da suscetibilidade a deslizamentos na Ilha de Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). 191p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

COSTA, A. N. ALVES, M. da G. Potencial de uso e ocupação urbana do solo no município de Campos dos Goytacazes - RJ, utilizando mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58 n. 2, p. 175-183, agosto, 2006. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44922/23932>>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

CUNHA, T. J. F.; NETO, M. B. O.; GIONGO, V.; TEIXEIRA, A. H. C.; FILHO, J. C. A.; SILVA, M. S. L.; SÁ, I. B.; TAURA, T. A. **Solos do Município de Santa Maria da Boa**

Vista: Margem Esquerda do Rio São Francisco, Estado de Pernambuco. Petrolina: Embrapa Solos Semiárido, 2012. 52p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 104).

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina.** Porto Alegre: CPRM, 2014. Escala 1:500.000.

DIAS, C. **Mapeamento do município de Pires do Rio – GO:** usando técnicas de geoprocessamento. Dissertação (Mestre em Geografia). 183p. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

DIAS, Regina Davison. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**, v. 16, n. esp, p. 51-55, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Mapa de solos do Estado de Santa Catarina**, 2014. Escala: 1:250.000.

FLORISBAL, L.M.; NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F.; BETIOLLO, L.M. Geoquímica das rochas máficas toleíticas da Suíte Pós-Colisional Paulo Lopes, Neoproterozóico do Sul do Brasil. **Revista Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v.32, n.2, p.69-79. 2005.

FORNASA, T. L. **Mapeamento geológico-geotécnico e análise de suscetibilidade a movimentos de massa em Braço do Norte – SC.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). 143p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GUESSER, L. H. **Mapeamento geotécnico da área urbana do município de Antônio Carlos (SC) aplicado ao planejamento do uso e ocupação de solos.** 228p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

GUILARDI, L. **Garopaba (SC):** economia colonial, complexo rural e acumulação flexível do capital. Dissertação (Mestrado em Geografia). 176 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

HIGASHI, R. A. D. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). 486 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.

HORN FILHO, N. O. Setorização da Província de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, Florianópolis, v.18, n.35, p. 71-98, jan. /jun. 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/garopaba/panorama>> Acesso em: 15 de março de 2022.

IWAMA, A. Y.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, L. D. C. Riscos geotécnicos e vulnerabilidades em zonas costeiras: desigualdades e mudanças climáticas. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XVII, n. 4, p. 251-274, out.-dez. 2014.

JACOMEL, Fabiana. **Conflitos socioambientais em áreas úmidas na Zona Costeira Catarinense:** estudo de caso relacionado à ocupação predatória do Banhado da Palhoçinha, no município de Garopaba, no período de 1998 a 2012. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política). 265p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2012

KOPPEN, W. **Grumdriss der Klimakunde.** Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

LACERDA, W. A. The Behavior of Colluvial Slopes in a Tropical Environment, Keynote Lecture, Landslides – Advances in Evaluation and Stabilization, Proceeding of the Ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, v. 2, p. 1315-1342.

LAGO, W. J. S. **Sistema de Informações Geográficas**. (Disciplina de Sistema de Informação Geográfica. Curso de auxiliar em Geoprocessamento). 42p. Instituto Federal do Maranhão – Campus São Luís Monte Castelo, São Luís, 2020.

LEAL, P.C. **Avaliação do nível de vulnerabilidade ambiental da planície costeira do trecho Garopaba-Imbituba, litoral sudeste do estado de Santa Catarina, em face aos aspectos geológicos e paleogeográficos**. p. 257. Tese (Doutorado) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LIMA, B. H. G. F; ROMERO, C. C; MACHADO, G. K; CUNHA, M. C da. **Diagnóstico do Município de Garopaba: voltado às ações de educação do e no campo do território** (Curso de Licenciatura em Educação do Campo. Centro de Ciências da Educação). 28p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MIRANDA, C. T. **Mapeamento das unidades geotécnicas e desenvolvimento de um sistema de informações geográficas para área de abrangência da rodovia BR-101/RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). 148p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.

NETO, A. B. P. S. RODRIGUES, F. F. Consequências da Ocupação Urbana na Orla da Praia e Técnicas de Controle de Erosão: Estudo de Caso da Ponta da Praia, Ilha Comprida – SP. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, Ilha Comprida, v. 2 n. 3, 17p., 2021.

PAZ, D. F. da. **Enquadramento legal da vegetação do litoral centro-norte de Santa Catarina**. 223p. Dissertação (Mestrado em Perícias Criminais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

PESSOA, M. B. **O processo de urbanização em áreas costeiras e suas implicações socioambientais: um estudo de caso em Garopaba, SC**. Dissertação

(Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental). 93p. Florianópolis. UDESC, 2019.

PIROLI, E. L. **Introdução ao Geoprocessamento**. Ourinhos: Unesp – Campus Experimental de Ourinhos, 2010.

SANTA CATARINA. **Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro**. Diagnóstico Sócio Ambiental da Zona Costeira do estado de Santa Catarina (GERCO/SC). Litoral centro-sul ou setor 4. Diagnóstico geológico e geomorfológico, Florianópolis: Secretaria de Estado do Planejamento - Diretoria de Desenvolvimento das Cidades/Ambiêns Consultoria Ambiental, mar. 2010. 493p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Recursos Hídricos de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

SANTOS, G. T. **Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao Uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia**. 231p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. Solos Tropicais - Organossolos. **Embrapa Solos**, 9 dez. 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/organossolos>> Acesso em: 10 dez. 2022.

SILVA, A. M. **Análise da suscetibilidade ao colapso das areias quartzosas podzolizadas ao leste do Estado de Santa Catarina**. 116p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SILVA, S. M. A Vegetação de Restinga no Brasil. *In*: JUNIOR, J. C. F. M.; BOEGER, M. R. T. **Patrimônio Natural, Cultura e Biodiversidade da Restinga do Parque Estadual Acaará**. Joinville: Editora Univille, 2017. p.16-29

SBROGLIA, M. R. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. 187p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015.

SCHERER, M. FERREIRA, C. MUDAT, J. CATANEO, S. Urbanização e gestão do litoral centro-sul do estado de Santa Catarina. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 13, p. 31-50, jan./jun. 2006.

SILVEIRA, M. R. **Caracterização geológica dos depósitos quaternários do entorno da laguna do Macacu, Garopaba, SC, Brasil**. 120p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

SOUZA, A. M. S. **Mapeamento de áreas susceptíveis a deslizamentos rasos na região da Bacia do Rio Camboriú**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). p. 117. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SOUZA, E. G. de. **Avaliação da capacidade de infiltração do solo da UTP Rio Tavares, Florianópolis/SC, para aplicação em sistemas de águas pluviais urbanas**. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

TASCA, F. A.; GOERL, R.F.; HIGASHI, R. A. R.; CAPRARIO, J.; RECH, A. S.; FINOTTI, A. R. Mapeamento Geotécnico Preliminar do Município de Santo Amaro da Imperatriz/SC. *In*: SUTIL, T.; PEREIRA, J. R.; LADWIG, N. I.; ZOCHE. J. J.; PEREIRA, J. L. **Geoprocessamento na Análise Ambiental**. Criciúma: Editora da UNESC, 2020. p.138-163.

THIESEN, S. **Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT: um estudo de caso em Blumenau/SC**. 2016. 207p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

VALLADARES, G. S. GOMES, E. G. MELLO, J. C. C. B. S de. PEREIRA, M. G. ANJOS, L. H. C. dos. Aplicação de métodos multicritério ordinais para avaliar o risco de subsidência de organossolos. In: CONGRESSO DE ESTATÍSTICA E INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL DA GALIZA E NORTE DE PORTUGUAL; CONGRESSO GALEGO DE ESTATÍSTICA E INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES, 7. 2005, Guimarães-Portugal. **Anais eletrônicos...** Guimarães: Universidade do Minho – Campus de Azurém, 2005. 6p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106818/1/1779.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

VALENTE, L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS).** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.

VALLADARES, G. S. **Caracterização e Classes de Terra para a Irrigação no Oeste da Bahia.** Campinas: Embrapa – Monitoramento por Satélite, 2002). 35p.

UFRGS. **Mapeamento Geológico 1:25.000 de parte das folhas Paulo Lopes (MI2909/4) e Imbituba (2925/2), SC.** Porto Alegre. 1 mapa color., 7 vol. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

UFSC. **Mapeamento geológico – projeto Paulo Lopes.** Escala 1:25.000. Florianópolis. Departamento de geologia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

ZUQUETTE, L. V.: **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987, 3v., 657p.