

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

FERNANDA BRUM RUBIM

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL E RISCO À CONTAMINAÇÃO  
DO SISTEMA AQUÍFERO CAMPECHE, ILHA DE SANTA CATARINA - SC, BRASIL**

Florianópolis  
2019

FERNANDA BRUM RUBIM

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL E RISCO À CONTAMINAÇÃO  
DO SISTEMA AQUÍFERO CAMPECHE, ILHA DE SANTA CATARINA - SC, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a  
banca examinadora para a obtenção do Grau de  
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Schmidt Nanni

Coorientadora: Profa. Dra. Liliana Sayuri Osako

Florianópolis  
2019



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

Rubim, Fernanda Brum

Avaliação da vulnerabilidade natural e risco à  
contaminação do Sistema Aquífero Campeche, Ilha de Santa  
Catarina - SC, Brasil / Fernanda Brum Rubim ; orientador,  
Arthur Schmidt Nanni, coorientadora, Liliana Sayuri  
Osako, 2019.

91 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de  
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,  
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

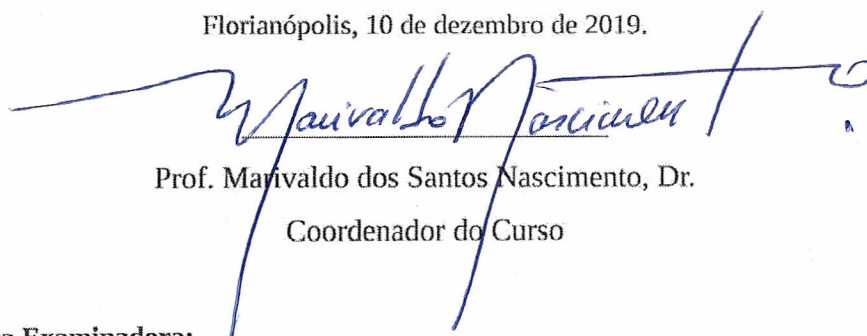
1. Geologia. 2. Hidrogeologia. 3. Vulnerabilidade de  
aquíferos. 4. Risco à contaminação. 5. Sistema Aquífero  
Campeche. I. Nanni, Arthur Schmidt . II. Osako, Liliana  
Sayuri. III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Geologia. IV. Título.

FERNANDA BRUM RUBIM

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL E RISCO À CONTAMINAÇÃO  
DO SISTEMA AQUÍFERO CAMPECHE, ILHA DE SANTA CATARINA - SC, BRASIL**

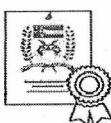
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geologia e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Geologia.

Florianópolis, 10 de dezembro de 2019.



Prof. Marivaldo dos Santos Nascimento, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
Arthur Schmidt Nanni  
Data: 31/01/2020 13:22:01-0300  
CPF: 904.420.670-20

Prof. Arthur Schmidt Nanni, Dr.  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Larissa Ramage, Me.

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN)



Documento assinado digitalmente  
Everton da Silva  
Data: 06/02/2020 12:02:30-0300  
CPF: 686.388.259-00

Prof. Everton da Silva, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

À minha família,  
a razão de tudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais e meu irmão, pelo amor, incentivo e apoio incondicional nas horas mais difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu orientador Prof. Dr. Arthur Nanni e co-orientadora Prof. Dra. Liliana Osako pela orientação, apoio e confiança ao longo de todo trajeto.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela oportunidade de estudar nesta instituição, além do corpo docente, direção e administração do curso de Geologia.

À CASAN, pela gentileza nos contatos, no acompanhamento de campo e dos materiais oferecidos para a realização da pesquisa.

Aos meus ex-chefes Emanuel Cunha (Maneca) e Gabriel Goedert (Tio Gabi) por terem sido os “mestres” e precursores no meu aprendizado profissional e aos amigos que fiz durante meus estágios, Guilherme de Freitas e Tiago Pazolini, que também contribuíram para o mesmo.

Aos meus amigos da graduação, Patrícia Cinelli, Maick Oliveira, Jean Veronez, Alex Ramires e Anderson Russi, e aos que fiz durante a vida, Gabriel Coelho, Rafael Dadam, Breno Stelzenberger e Peterson Campos pelo apoio incondicional, principalmente emocional, nas horas onde precisava ouvir uma palavra amiga. Vocês foram essenciais durante esta etapa.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

## RESUMO

O Sistema Aquífero Campeche (SAC) está localizado na porção sudeste da Ilha de Santa Catarina – Florianópolis. Com aproximadamente 40km<sup>2</sup>, compreende uma planície costeira sedimentar predominantemente arenosa de origem marinha, onde encontram-se as localidades do Campeche, Novo Campeche, Morro das Pedras, Joaquina e parte da Lagoa da Conceição e Rio Tavares. O estudo teve como objetivo principal propor soluções para melhor gestão do SAC e alertar/auxiliar à população e órgãos públicos sobre os riscos ambientais que podem afetar a qualidade das águas deste manancial subterrâneo. Para isso, foram estudados a vulnerabilidade natural e o risco à contaminação das águas subterrâneas do SAC. O estudo da vulnerabilidade foi realizado com base no método GOD de Foster et al (2006), o qual teve de ser adaptado devido à limitação de informações e as especificidades da área. Foram usados os seguintes parâmetros: tipo de aquífero (porosidade), proximidade do freático em relação a superfície e zonas de recarga, transição e descarga. Para a avaliação do risco, foram vetorizados mapas de uso e ocupação da terra para dois cenários (2002 e 2018), cujos resultados foram posteriormente cruzados com os da vulnerabilidade natural. A vulnerabilidade e o risco tiveram como base a mesma classificação dada por Foster et al (2006): insignificante, baixa, média, alta e extrema. O aquífero demonstrou-se altamente vulnerável e com crescente aumento do risco à contaminação. Dados do uso da terra revelaram que a zona urbana aumentou consideravelmente entre 2002 à 2018, assim como as principais fontes de contaminação pontuais. Com a expansão urbana e a constante impermeabilização do solo, o aquífero corre riscos em relação a sua recarga natural, aumento da produção de dejetos, da demanda de água (maior bombeamento dos poços) e de fontes de contaminação pontuais, a redução de áreas nativas ou pastagens e o uso de um sistema de saneamento inadequado (fossa séptica + sumidouro) para as características do aquífero.

**Palavras-chave:** Hidrogeologia. Vulnerabilidade de aquíferos. Risco à contaminação. Sistema Aquífero Campeche.

## ABSTRACT

The Campeche Aquifer System (SAC) is located in the southeastern portion of Santa Catarina Island - Florianópolis. With approximately 40km<sup>2</sup>, it comprises a predominantly sandy sedimentary coastal plain of marine origin, where the districts of Campeche, Novo Campeche, Morro das Pedras, Joaquina and part of Lagoa da Conceição and Rio Tavares can be found. The main objective of the study was to propose solutions for better SAC management and to alert / assist the population and public agencies about the environmental risks that may affect the water quality of this underground well. For this, the natural vulnerability and the risk to SAC groundwater contamination were studied. The vulnerability study was performed based on the GOD method of Foster et al (2006), which had to be adapted due to the limited information and the specificities of the area. The following parameters were used: aquifer type (porosity), proximity of the water table to the surface and recharge, transition and discharge zones. For risk assessment, land use and occupation maps were vectored for two scenarios (2002 and 2018), the results of which were later crossed with those of natural vulnerability. Vulnerability and risk were based on the same classification given by Foster et al (2006): insignificant, low, medium, high and extreme. The aquifer has been shown to be highly vulnerable and with increasing risk of contamination. Land use data revealed that the urban area increased considerably between 2002 and 2018, as well as the main sources of point contamination. With urban sprawl and constant soil sealing, the aquifer is in danger of its natural recharge, increased waste production, increased water demand (pumping wells) and occasional sources of contamination, the reduction of native areas. or pasture and the use of an inadequate sanitation system (septic tank + sink) for aquifer characteristics.

Keywords: Hydrogeology. *Aquifer Vulnerability*. Potential Risk Assessment. Campeche Aquifer System.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização e acessos à área de estudo.....	17
Figura 2: Representação esquemática sobre as divisões da água subterrânea em zonas.....	19
Figura 3: Interação de cursos de rios e reservatórios. Rios efluentes (à esquerda) e rios influentes (à direita).....	19
Figura 4: Distribuição espacial de contaminantes na zona vadosa. Íons móveis solúveis apresentando plumas difusas enquanto que compostos mais densos que a água e partículas coloidais apresentam plumas pontuais.....	22
Figura 5: Método GOD.....	23
Figura 6: Método DRASTIC.....	24
Figura 7: Diferença entre zona de captura e zona de influência de um poço.....	30
Figura 8: Comparação entre as ZCs para um poço de abastecimento público localizado no Sistema Aquífero Guarani em São Paulo.....	31
Figura 9: Método raio fixo calculado (RFC).....	32
Figura 10: Zonas de captura da água subterrânea e seus perímetros do tempo de trânsito ao redor de um poço em um aquífero não confinado.....	32
Figura 11: Exemplos de sistemas de tratamento de esgoto: fossa séptica (A) e sumidouro (B).....	34
Figura 12: Círculo de bananeiras.....	35
Figura 13: Bacia de evapotranspiração.....	36
Figura 14: Wetlands construídas e seus tipos: A) Wetlands Construídas de Fluxo Superficial (WCFS), B) Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial (WCFSS), C) Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial Horizontal (WCFH) e D) Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV).....	37
Figura 15: Mapa geológico da região do Sistema Aquífero Campeche na Ilha de Santa Catarina, SC.	41
Figura 16: Comparação de um aquífero livre em relação a um semi-confinado evidenciando uma maior vulnerabilidade devido a proximidade do lençol freático em relação à superfície.....	42
Figura 17: Mapa de classes de espessura do Sistema Aquífero Campeche.....	43
Figura 18: O uso da terra em relação a taxa de infiltração/recarga, escoamento e evapotranspiração. Quanto maior a impermeabilização do solo, maior será o escoamento superficial, menor será a infiltração e conseqüentemente menor será a recarga.....	44
Figura 19: Gráfico que demonstra o cálculo das recargas totais mensais em m <sup>3</sup> no ano de 2000 (Método de Penman).....	45
Figura 20: Mapa de espessuras da zona não saturada.....	46
Figura 21: Mapa da vulnerabilidade natural do SAC - método DRASTIC.....	49
Figura 22: Medidor elétrico de nível de água.....	52
Figura 23: Mapa mental que apresenta as etapas da metodologia e os métodos desenvolvidos.....	53
Figura 24: Exemplos de usos da terra classificados de acordo com o Manual Técnico do Uso da Terra (BRASIL, 2013): A) pastagens (UTME 745493, UTMN 6935053), B) Outras áreas (UTME 751618,	

UTMN 6942077), C) silvicultura (UTME 748595, UTMN 6939174), D) águas continentais (Lagoa Pequena UTME 748669, UTMN 6938370).....	59
Figura 25: Mapa de localização dos poços e piezômetros da CASAN de acordo com a visita realizada no dia 19 de abril de 2018.....	61
Figura 26: a) Estrutura padrão dos poços tubulares profundos em operação da CASAN (poço Torres I) e em destaque a identificação do poço cadastrado pela CPRM/SIAGAS. b) Foto em detalhe da identificação.....	62
Figura 27: Dosador Pressurizado NORCLOR TC9005 no poço Eros.....	62
Figura 28: Exemplo de poço desativado (poço Bertoldo) somente a tubulação sem a estrutura externa maior como a figura 25 a.....	63
Figura 29: Piezômetro (PZ2).....	65
Figura 30: Mapa do parâmetro Tipo de aquífero (porosidade).....	66
Figura 31: Mapa do parâmetro proximidade do freático em relação a superfície.....	67
Figura 32: Mapa do parâmetro zonas de recarga, transição e descarga.....	68
Figura 33: Mapa da Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Campeche.....	69
Figura 34: Gráfico sobre a variação dos usos da terra entre os anos 2002 e 2018.....	71
Figura 35: Mapa de uso e ocupação da terra para o cenário de 2002.....	72
Figura 36: Mapa de uso e ocupação da terra para o cenário de 2018.....	73
Figura 37: Gráfico sobre a variação do risco à contaminação entre os anos 2002 e 2018.....	74
Figura 38: Mapa de risco à contaminação do SAC para o cenário de 2002.....	75
Figura 39: Mapa de risco à contaminação do SAC para o cenário de 2018.....	76
Figura 40: Comparativo entre as taxas de vazão média (m <sup>3</sup> ) dos anos de 2018 e 1999-2000.....	78



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Classes de vulnerabilidade e suas características pelo Sistema GOD.....	24
Quadro 2: Outros métodos de análise da vulnerabilidade natural de aquíferos.....	25
Quadro 3: Descrição das principais leis de águas subterrâneas.....	29
Quadro 4: Coluna estratigráfica dos maciços rochosos encontrados na área de estudo.....	39
Quadro 5: Descrição geológica e estratigrafia dos depósitos quaternários da área de estudo.....	40
Quadro 6: Alguns parâmetros utilizados para estudo DRASTIC.....	49
Quadro 7: Dados de códigos, apelidos e localizações (SIRGAS 2000 UTM 22S) dos poços fornecidos pela CASAN (2002), (2018) e a plataforma SIAGAS (2018).....	50
Quadro 8: Bases cartográficas e <i>softwares</i> utilizados.....	52
Quadro 9: Quadro demonstrativo do método de Foster et al. (2006) <i>versus</i> método GOD adaptado aplicado nesse estudo.....	55
Quadro 10: Valores de vulnerabilidade natural atribuídos para cada parâmetro.....	56
Quadro 11: Distribuição das classes e valores para o mapeamento do uso e ocupação da terra.....	58
Quadro 12: Poços tubulares profundos identificados e medidos durante a visita em abr/2018.....	64
Quadro 13: Piezômetros localizados no Sistema Aquífero Campeche.....	65

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Números de habitantes ao longo dos Censos Demográficos realizados desde 1872 do município de Florianópolis.....	28
Tabela 2: Tabela de poços da CASAN analisados por Borges (1996) e seus respectivos valores de nível estático, dinâmico e vazão.....	47
Tabela 3: Dados dos poços profundos no período de junho de 1999 a maio de 2000.....	47
Tabela 4: Dados dos poços profundos e piezômetros ao longo do ano de 2018.....	48
Tabela 5: Área em km <sup>2</sup> e respectiva porcentagem de acordo com o uso e ocupação da terra para os anos de 2002 e 2018.....	70
Tabela 6: Variação do risco à contaminação para os cenários de 2002 e 2018.....	74

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NF – nível freático

NE – nível estático

ND – nível dinâmico

SAC – Sistema Aquífero Campeche

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1. OBJETIVOS.....	15
<b>1.1.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>15</b>
1.2. JUSTIFICATIVA.....	15
1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	16
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
2.1. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	18
2.2. CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	20
2.3. VULNERABILIDADE NATURAL DE AQUÍFEROS.....	23
2.4. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	26
<b>2.4.1. Histórico de ocupação do território da Ilha de Santa Catarina.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2. Dados quantitativos do crescimento populacional em Florianópolis.....</b>	<b>28</b>
2.5. GESTÃO DE AQUÍFEROS.....	28
<b>2.5.1. Métodos preventivos.....</b>	<b>33</b>
2.6. SISTEMA AQUÍFERO CAMPECHE.....	37
<b>2.6.1. Contexto Geológico.....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.2. Contexto Hidrogeológico.....</b>	<b>42</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
3.1. ETAPAS DA METODOLOGIA.....	53
<b>3.1.1. Levantamento de campo.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.2. Organização do banco de dados.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.3. Processamento dos dados.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1.4. Elaboração de mapas.....</b>	<b>54</b>
3.2. VULNERABILIDADE NATURAL.....	54
3.3. RISCO A CONTAMINAÇÃO.....	57
<b>3.3.1. Uso e ocupação da terra.....</b>	<b>57</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
4.1. LEVANTAMENTO DE CAMPO.....	60
4.2. VULNERABILIDADE NATURAL.....	66
4.3. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	70
4.4. RISCO À CONTAMINAÇÃO.....	74
<b>5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>79</b>
ANEXO A	

## 1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso natural e indispensável para a manutenção dos ecossistemas, da humanidade e para o meio ambiente. Um pouco mais de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo, portanto, menos de 3% da água potável disponível provém das águas de superfície (FEITOSA; FILHO, 2000). Sua importância atualmente está ligada à sua utilização para diversos usos humanos como o abastecimento humano, a irrigação, indústria e lazer. Com isso, as atenções voltaram-se para contaminação dos mananciais subterrâneos por resíduos industriais, chorumes de depósitos de lixo, uso de fertilizantes e pesticidas, entre outros. Nesse sentido, a partir do início dos anos 80, a ênfase nas pesquisas de água subterrânea nos países industrializados foi mudada para os problemas de avaliação e controle de qualidade dos aquíferos (FEITOSA; FILHO, 2000).

Qualquer água subterrânea, em maior ou menor grau, está suscetível a contaminação (NRC, 1993). O estudo de Vulnerabilidade Natural (VN) é responsável pelas características intrínsecas que estabelecem a sensibilidade de um aquífero em relação a uma carga contaminante resultante da ação humana (FOSTER; HIRATA, 1988). O mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação normalmente é o primeiro passo na avaliação do risco de contaminação da água subterrânea e na proteção da sua qualidade. Outro estudo que está associado a vulnerabilidade é o de risco, segundo Foster et al. (2006), esse é definido como a probabilidade de que a água subterrânea possa conter quantidades de contaminantes excedentes aos valores estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para a qualidade de água potável.

Na Ilha de Santa Catarina não é diferente, uma vez que o uso e ocupação da terra seguem a mesma receita de outras grandes cidades mundo afora, com a presença de pontos de preocupação como postos de abastecimento de derivados de petróleo, estações centralizadas de tratamento de esgoto e, principalmente, urbanização em processo de adensamento. Esses fatores são preocupantes para os aquíferos da região, configurando um perigo eminente de contaminação das águas subterrâneas, indispensáveis para o abastecimento da população local. O Sistema Aquífero Campeche (SAC) e o Sistema Aquífero Ingleses são mananciais intensamente utilizados no abastecimento público e, também, os mais afetados. Os mesmos sofrem com o aumento de consumo de água e risco à contaminação devido ao crescente abastecimento público (para a população flutuante e principalmente fixa), a ocupação indisciplinada do solo e adoção de práticas do saneamento de eficiência duvidosa, como as “tradicional” fossas sépticas. Em vista disso, este trabalho busca chamar a atenção da opinião pública no que tange a priorização da conservação dos recursos naturais subterrâneos do Sistema Aquífero Campeche, mediante ao estudo da vulnerabilidade intrínseca, a partir da aplicação

do método GOD de Foster et al. 2006, com certas adaptações e, também, determinar os diferentes riscos à contaminação vinculados aos diferentes usos ocupações da terra.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Gerar documentação técnica de apoio à decisão no intuito de auxiliar à população e órgãos públicos da cidade de Florianópolis sobre os riscos ambientais que podem afetar este manancial subterrâneo.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

No intuito de se chegar ao objetivo, alguns passos foram necessários e compõem os objetivos específicos, Destacam-se:

- 1) Estabelecer índices de vulnerabilidade natural do SAC;
- 2) Reconhecer o risco à contaminação com base no uso da terra;
- 3) Fornecer conhecimentos que possam ser utilizados para subsidiar medidas preventivas de gestão para o controle da qualidade e quantidade das águas subterrâneas.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A água subterrânea é significativamente explorada no Brasil. Segundo ANA (2010), mostra que 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. Segundo Hirata et. al (2019), a água subterrânea é utilizada para diversos fins no país, sendo seu uso dividido entre abastecimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), industrial (10%) e outros (4%) como lazer etc. Os usos diversos também ocorrem para a ilha de Santa Catarina, com destaque para o abastecimento público, em virtude do crescimento das populações fixa e flutuante (turistas sazonais), onde a demanda por água tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas.

Por sua natureza insular, existem muitas ameaças de contaminação às suas águas subterrâneas: o crescente número de turistas (que refletem no aumento das taxas de bombeamento), a prática do saneamento *in situ* (CASAN, 2002), os poços ilegais instalados por usuários que não veem problemas (e consequências) na falta de cumprimento legal, o ambiente costeiro ser formado por

depósitos arenosos (alta permeabilidade e porosidade) e por fim, a proximidade dos níveis freáticos em relação à superfície. Além disso, em regiões costeiras e em ilhas, a maior ameaça aos aquíferos é a intrusão salina. Esta intrusão pode ser ocasionada pelo intenso bombeamento de poços que pode deslocar para o interior da zona costeira a interface água doce/água salina.

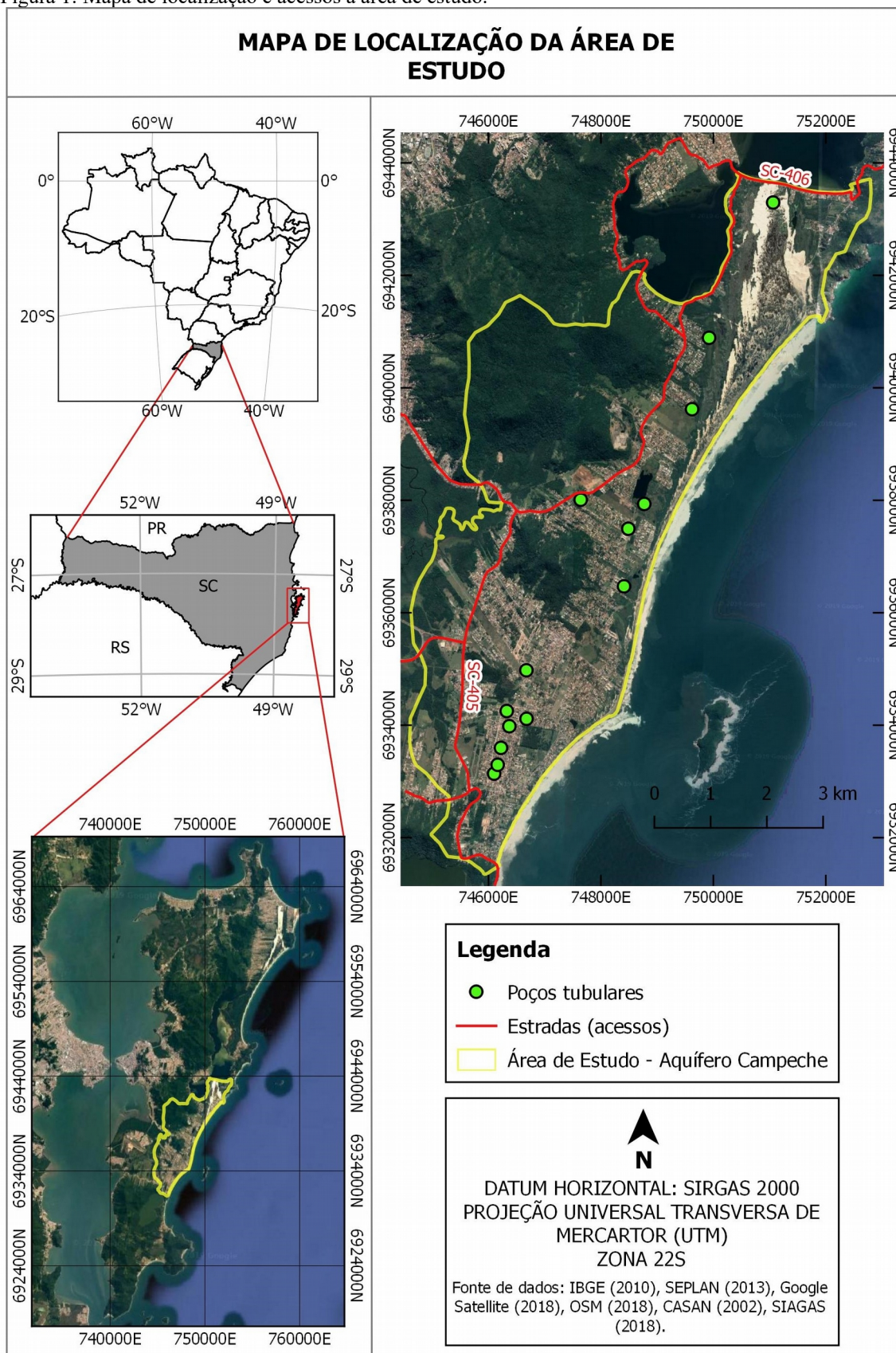
Nesse cenário, são necessários estudos na área de vulnerabilidade natural e risco à contaminação, de modo a definir características intrínsecas que estabelecem a sensibilidade e o perigo do aquífero em relação a uma carga contaminante resultante da ação humana (FOSTER; HIRATA, 1988).

Nesse sentido, esta pesquisa busca favorecer os estudos na área de hidrogeologia na Ilha de Santa Catarina e justifica-se em razão da grande importância das águas subterrâneas no abastecimento da região e pelos fatores anteriormente citados, os quais podem colocar em risco os mananciais subterrâneos existentes do Sistema Aquífero Campeche.

### 1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo deste trabalho está localizada na porção sudeste da Ilha de Santa Catarina – Florianópolis (Figura 1), onde mais precisamente encontra-se o Sistema Aquífero Campeche, que compreende uma área de cerca de 40 km<sup>2</sup>. Trata-se de uma planície costeira sedimentar predominantemente arenosa de origem marinha delimitada pelas várzeas do Rio Tavares e seus afluentes a oeste, por maciços graníticos a sul e noroeste e pelo Oceano Atlântico a leste. Possui como acessos principais as SC-405, SC-404 e SC-406. Como acessos secundários a área possui a Rodovia Aparício Ramos Cordeiro e a Rua Laurindo Januário da Silveira.

Figura 1: Mapa de localização e acessos à área de estudo.



Fonte: Da autora (2018).



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

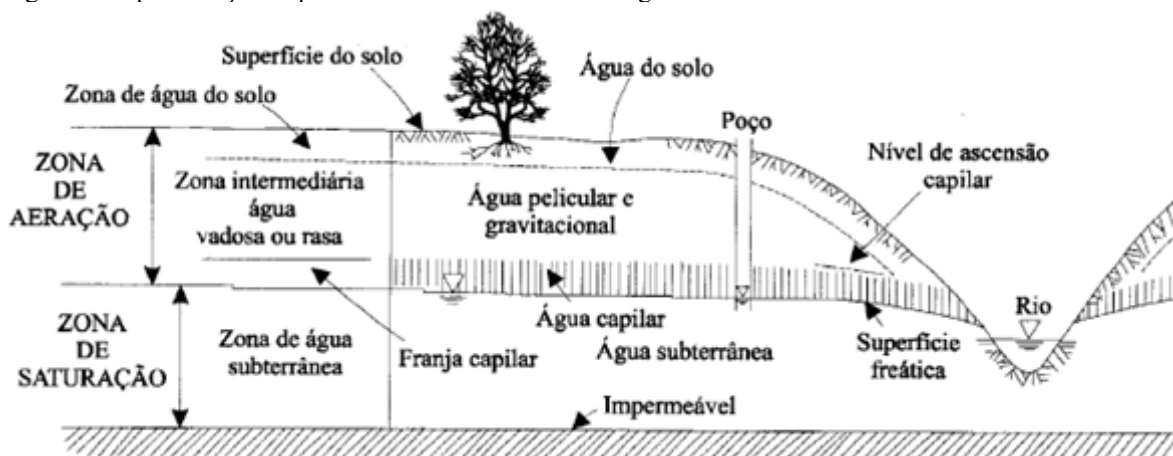
Segundo Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004) entende-se por água subterrânea toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, submetida à força de adesão e de gravidade, que preenchem poros intergranulares de rochas sedimentares ou de sedimentos inconsolidados, além de fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas. As águas subterrâneas são exploradas desde os tempos antigos, como, por exemplo: os povos persas no começo do primeiro milênio aC. Os persas construíam sistemas de túneis chamados de *qanats*, a fim de extrair a água para ter acesso à vila e para a irrigação dos campos (FITTS, 2015).

Nas últimas décadas, as águas subterrâneas tiveram uma importância crucial como reserva hídrica estratégica de uso, pois, devido ao aumento da população mundial, a demanda permanece crescente. O Brasil é privilegiado neste quesito, pois é conhecido por ser rico em recursos hídricos superficiais e subterrâneos em seu território nacional. Com 18,3%, é um dos países com maior disponibilidade hídrica da Terra (MMA, 2007).

Em relação à origem das águas subterrâneas, existem três principais. Segundo Rebouças (2006): meteórica, conata e juvenil. A meteórica recarrega-se normalmente pela infiltração de uma fração das precipitações. A conata é aquela água retida nos sedimentos desde a época de formação dos depósitos e que apresenta altos teores salinos (águas de formação), enquanto que a juvenil é a água gerada pelos processos magmáticos da Terra.

As águas abaixo da superfície são divididas em duas zonas principais (Figura 2): zona insaturada, não saturada, vadosa ou de aeração e zona saturada, freática ou de saturação. A zona insaturada situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno, onde os poros estão parcialmente preenchidos por ar e água. Esta zona divide-se em três partes (de baixo para cima): zona capilar (estende-se do lençol freático até o limite da ascensão capilar da água), zona intermediária (limite da ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas) e zona de água do solo ou de evapotranspiração (entre os extremos radiculares a vegetação e a superfície do terreno). A umidade decresce de baixo para cima na zona insaturada. A zona saturada situa-se abaixo do lençol freático, onde todos os vazios estão preenchidos com água (FEITOSA; FILHO, 2000). A divisão das duas zonas principais é dada pela superfície freática, também chamada de nível freático (NF), lençol freático, nível d'água ou superfície livre (FITTS, 2015).

Figura 2: Representação esquemática sobre as divisões da água subterrânea em zonas.

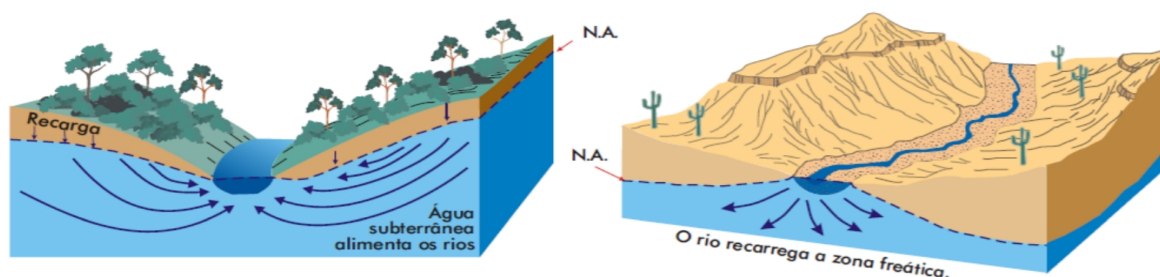


Fonte: Feitosa e Filho (2000) apud Bear & Verrujit (1987).

Sabe-se que as águas subterrâneas também fazem parte do ciclo hidrológico e interagem de forma direta com as águas superficiais. O nível freático acompanha aproximadamente as irregularidades da superfície do terreno e a interação entre o nível freático com cursos de rios, por exemplo, é bem íntima. Existem dois tipos de interação, em relação aos cursos de rios, que são denominados de rios efluentes e rios influentes (Figura 3). Para Karmann (2000), o efluente exige a descarga da zona saturada para as águas na superfície (reservatórios abastecem o fluxo dos rios) e o influente, a água descarrega no sentido oposto, do curso para abaixo da superfície (os rios abastecem os reservatórios).

A profundidade do nível freático está em função da quantidade de recarga (infiltração) e da composição dos materiais no subsolo. Outros fatores como cobertura vegetal, topografia, precipitação, ocupação do solo podem também influenciar na infiltração da água no solo e conseqüentemente na quantidade de recarga de um reservatório (KARMANN, 2000). O termo recarga é utilizado quando a água da superfície infiltra pelo solo/rocha, fluindo de cima para baixo: da zona insaturada para zona saturada (FITTS, 2015). Essa infiltração geralmente ocorre em velocidades muito baixas e favorecem a formação dos aquíferos.

Figura 3: Interação de cursos de rios e reservatórios. Rios efluentes (à esquerda) e rios influentes (à direita).



Fonte: KARMANN, 2000.

Os aquíferos são formações geológicas que permitem armazenar e transmitir quantidades significativas de água (FEITOSA; FILHO, 2000). Possuem como características principais a porosidade e a permeabilidade. A porosidade é a capacidade de um material armazenar água em sua estrutura, sendo uma propriedade física definida pela relação entre o volume de poros e volume total do material. A permeabilidade é a capacidade de um material em transmitir água e depende diretamente do tamanho dos poros e da conexão entre eles (PRESS, 2006).

Além dos aquíferos, existem três tipos de unidades geológicas diferentes (FEITOSA; FILHO, 2000) que são: aquícludes (armazenam água, mas são incapazes de transmiti-la), aquíardos (formações semi-permeáveis, isto é, podem armazenar água, mas não a transmitem facilmente), aquífugos (formações impermeáveis, nem armazenam e nem transmitem água).

Os aquíferos podem ser classificados também quanto à sua porosidade (porosos, fraturados ou fissurais e cársticos), quanto à sua pressão atuante (livres e confinados).

Segundo Borghetti, Borghetti e Rosa Filho (2004), o armazenamento e a transmissão da água nos aquíferos porosos se dão através dos poros intergranulares (geralmente em rochas sedimentares ou sedimentos). Nos aquíferos fraturados ou fissurais ocorrem através de fraturas (geralmente em rochas ígneas e metamórficas) e nos aquíferos cársticos por fraturas e diaclases geradas pela dissolução de carbonatos. Nos aquíferos fissurais, visto a sua natureza impermeável, apresentam espaços bastante limitados para armazenar suas reservas, a exemplo das fraturas que são feições localizadas e constituem o único caminho para que as águas infiltradas a partir das chuvas atinjam o manancial, de modo que a maior parte das precipitações pluviométricas tem como destino o escoamento superficial (FIGUEIREDO, 2016).

Em relação a sua pressão atuante, os aquíferos livres ou freáticos são aqueles “[...] cujo o limite superior é uma superfície freática, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica” (FEITOSA; FILHO, 2000, p. 23). Enquanto que os aquíferos confinados são aqueles que possuem a pressão no topo do aquífero maior que a pressão atmosférica.

## 2.2. CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

De acordo com Filho (2008), toda a água contaminada é poluída, mas nem toda água poluída é contaminada. A partir desta afirmação, torna-se necessário o discernimento entre a água poluída e a água contaminada. A água poluída é o produto da alteração artificial da qualidade físico-química da água suficiente para exceder limites para um fim estabelecido e a água contaminada é aquela que está relacionada a saúde do homem e demais seres vivos, que contém teores prejudiciais causados por organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas (FILHO, 2008).

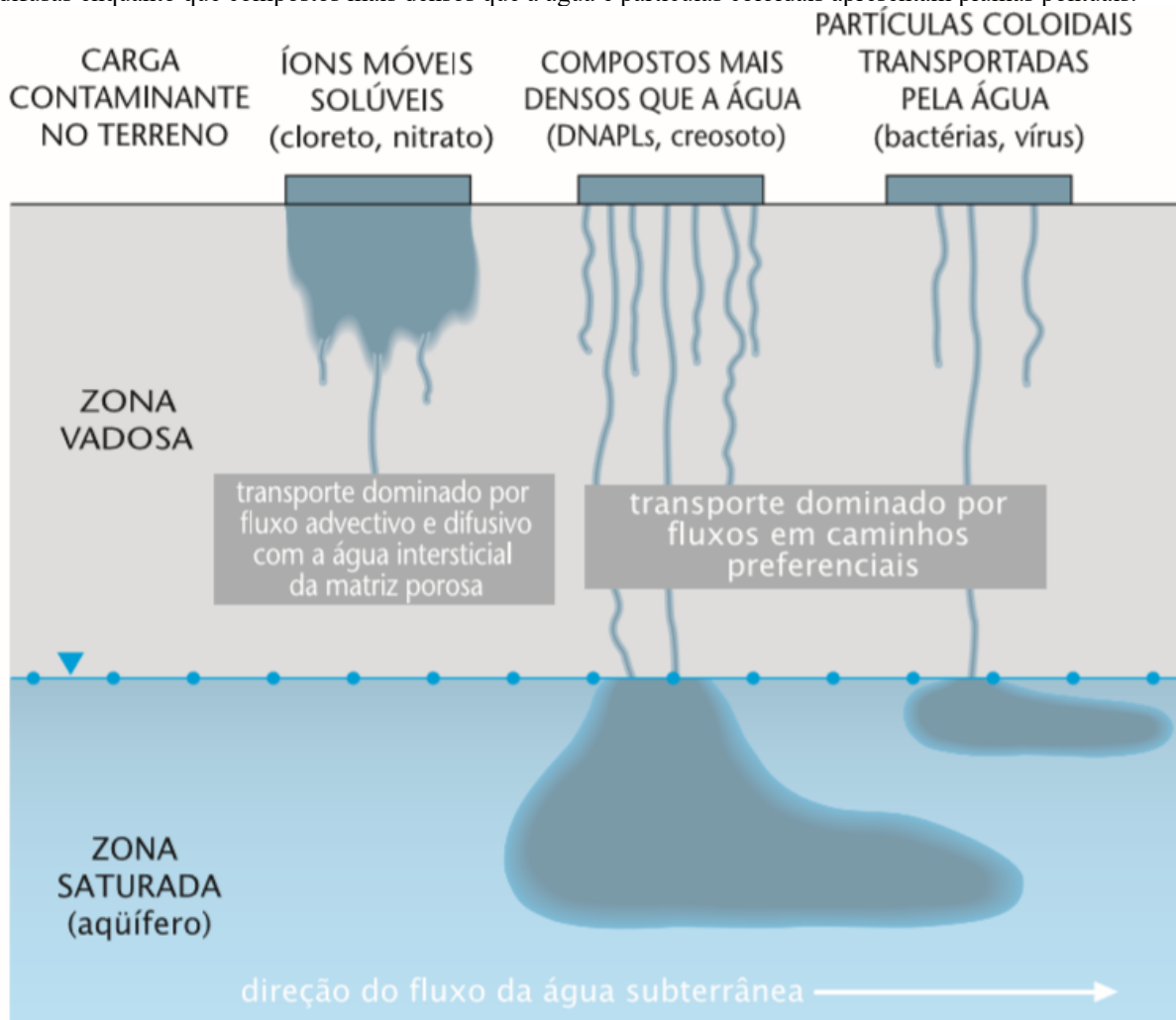
Os contaminantes comuns da água subterrânea encontram-se na atividade agrícola (nitrato; amônio; pesticidas; organismos fecais) e industrial, saneamento *in situ* (nitrato; hidrocarbonetos

halogenados; microorganismos), disposição de resíduos sólidos (amônio; salinidade; hidrocarbonetos halogenados; metais pesados), cemitérios (microorganismos, necrochorumes), mineração (acidez; metais pesados; ferro; sulfatos), vazamentos de substâncias tóxicas seja em postos de combustíveis (hidrocarbonetos aromáticos e halogenados; benzeno; fenóis), unidades de saúde (lixo hospitalar) ou o transporte das mesmas. Um dos contaminantes inorgânicos de maior preocupação em águas subterrâneas, é o íon nitrato,  $\text{NO}_3^-$ . O nitrato em águas subterrâneas pode originar-se da aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (BAIRD; CANN, 2011). O excesso de íon nitrato em água potável é preocupante para recém-nascidos e adultos. O primeiro pode adquirir a síndrome do bebê azul e o segundo câncer de estômago e aumentar a probabilidade de câncer de mama em mulheres (BAIRD; CANN, 2011).

Os aquíferos geralmente possuem uma faixa protetora (horizonte de solo e zona de aeração) contra a poluição das águas subterrâneas em relação às águas superficiais. Nessa faixa, com as velocidades baixas de infiltração, ocorrem processos biológicos, físicos e químicos que ajudam no processo de atenuação das contaminações. Ao contrário das águas superficiais, uma vez poluídas as águas subterrâneas, as baixas velocidades de fluxo tendem a promover uma recuperação muito lenta da qualidade (MMA, 2007).

A poluição (e a contaminação que pode originar) da água subterrânea pode ser direta (sem diluição, quando atinge diretamente o aquífero através de poços com defeitos ou abandonados por exemplo) ou indireta (com diluição, a partir do ponto de origem ocorrem alterações do poluente até chegar ao aquífero). Além disso, geralmente possui uma distribuição espacial pré-definida que pode ser pontual, difusa ou linear (FILHO, 2008). As fontes de contaminação pontuais geralmente produzem plumas claramente definidas e mais concentradas numa pequena superfície e acabam por ser mais fáceis de serem identificadas e dependendo do caso, até controladas. As fontes de contaminação difusas não geram plumas de contaminação claramente definidas e podem se estender em uma área muito maior no aquífero. E as lineares é quando a fonte de contaminação é um rio ou um canal (FOSTER et al., 2006). Na figura 4 é possível notar o comportamento espacial de cada contaminante na zona vadosa.

Figura 4: Distribuição espacial de contaminantes na zona vadosa. Íons móveis solúveis apresentando plumas difusas enquanto que compostos mais densos que a água e partículas coloidais apresentam plumas pontuais.



Fonte: FOSTER et al., 2006.

Como estratégia de proteção das águas subterrâneas existe o estudo de risco à contaminação do aqüífero. Este é responsável por demonstrar a possibilidade de que a mesma ocorra, sendo o produto da interação entre a vulnerabilidade natural do sistema aqüífero e o perigo à contaminação (GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN, 2012).

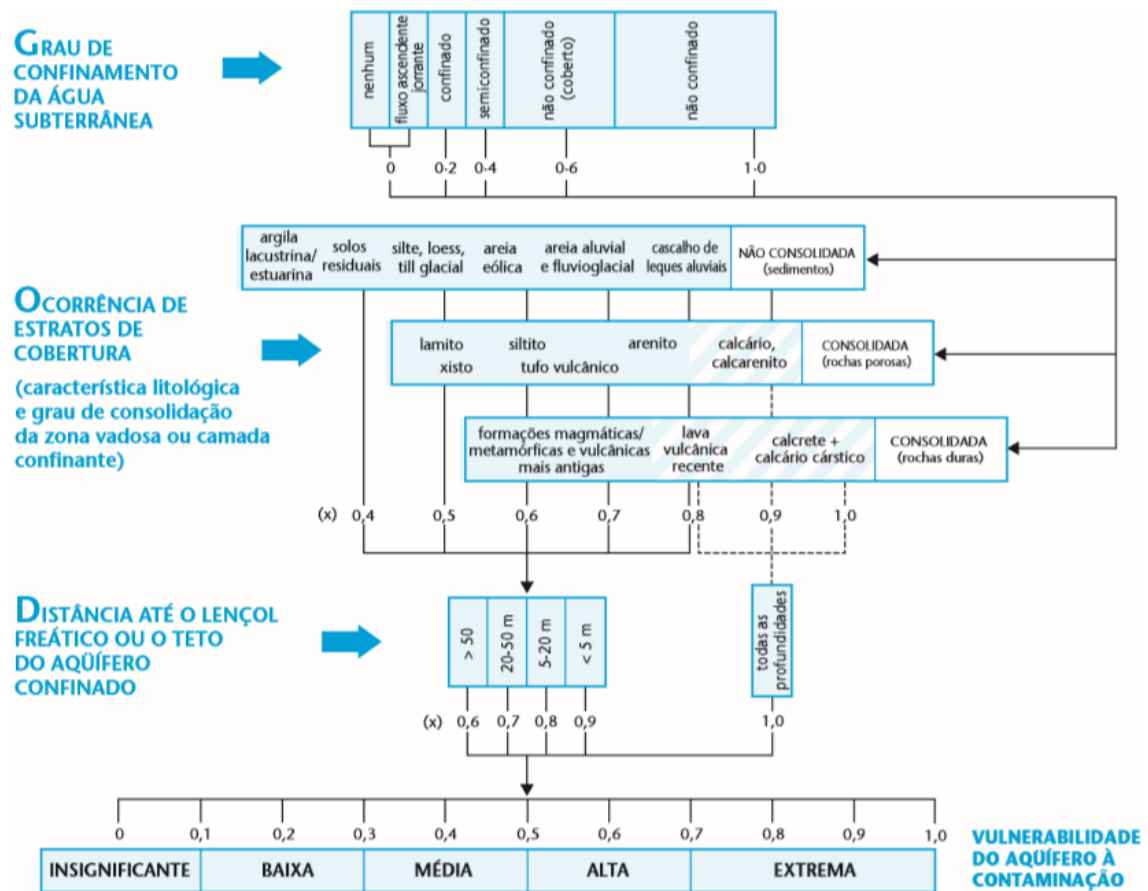
Para a realização do estudo de risco podem ser utilizados diferentes métodos como o POSH e o controle do uso e ocupação da terra. O método POSH (Pollutant Origin; Surcharge Hydraulically) é adotado a fim de determinar as principais atividades do município que representam perigo para o aqüífero, classificando-as em “potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo” com 3 níveis qualitativos: reduzido, moderado e elevado (FOSTER et al., 2006). O controle do uso e ocupação do terra pode ser regional ou pontual, para proteção de áreas suscetíveis à poluição em um aqüífero ou voltado a uma captação de água subterrânea.

### 2.3. VULNERABILIDADE NATURAL DE AQUÍFEROS

A Vulnerabilidade Natural de Aquíferos define-se pelo quanto um aquífero é sensível, vulnerável a qualquer carga imposta de contaminantes. Este estudo permite delinear as áreas prováveis a contaminação, o que permite um melhor monitoramento e prevenção à poluição das mesmas.

O termo foi utilizado primeiramente por Le Grande (1964) nos EUA, na França por Albinet e Margat (1970) e frequentemente nos anos 80 por outros autores (ALLER et. al., 1985; FOSTER; HIRATA, 1988), que desenvolveram dois dos principais métodos de avaliação hidrogeológica, conhecidos como DRASTIC e GOD, respectivamente. O método GOD foi desenvolvido por Foster e Hirata (1988), é o primeiro método usado para estimar a vulnerabilidade natural de um aquífero através de dois fatores: a) o nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero, e b) a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero (FOSTER, et al. 2006). Simples e sistemático, seguindo as suas três siglas, tem como base três parâmetros e respectivos pesos associados conforme ilustrado na Figura 5. O parâmetro G (Groundwater occurrence) corresponde ao aquífero ou a ocorrência da água subterrânea, o O (Overall Lithology) refere-se à ocorrência litológica de estratos de cobertura e o D (Depth to Groundwater Table) à profundidade do nível freático.

Figura 5: Método GOD.



Fonte: Foster et al. (2006).

O índice de vulnerabilidade é dado pelo produto destes fatores, assim como proposto por Foster e Hirata (1988), é subdividido em cinco categorias que variam de insignificante ao extremo (Quadro 1).

Quadro 1: Classes de vulnerabilidade e suas características pelo Sistema GOD.

Classes de vulnerabilidade	Característica
<b>Extrema</b>	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
<b>Alta</b>	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
<b>Moderada</b>	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
<b>Baixa</b>	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
<b>Insignificante</b>	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)

Fonte: Modificado de Foster et al. (2006).

A metodologia DRASTIC, desenvolvida para a EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) por Aller *et al.* (1985), tem como objetivo fornecer ao usuário uma medida de vulnerabilidade relativa da água subterrânea de qualquer cenário hidrogeológico em relação a um potencial de poluição. Assim como o método GOD, a sigla DRASTIC representa as iniciais de cada fator (parâmetro) usado, onde cada um possui o seu respectivo peso (P) que podem variar de 1 a 5 (1 - menos insignificantes; 5 - mais significantes). O índice final é obtido ao somar os produtos de cada parâmetro pelo peso respectivo. O índice final varia entre 26 (mínima) e 226 (máxima) (Figura 6).

Figura 6: Método DRASTIC.

**PARÂMETROS**

- D** (*Depth to water*) – Profundidade da superfície freática (P=5)
- R** (*Recharge*) – recarga do aquífero (P=4)
- A** (*Aquifer media*) – tipo de aquífero (P=3)
- S** (*Soil Media*) – tipo de solo (P=2)
- T** (*Topography or slope*) – topografia ou declividade do terreno (P=1)
- I** (*Impact of the vadose zone media*) – influência na zona não saturada (P=5)
- C** (*Conductivity of the aquifer*) – condutividade hidráulica do aquífero (P=3)

**FÓRMULA**  $D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w = \text{Índice DRASTIC}$

onde: r = valor dos fatores;  
w = peso relativo de cada fator

<b>ÍNDICE FINAL</b>	Vulnerabilidade	Índice DRASTIC
	Muito alta	226-180
	Alta	180-126
	Intermediária	126-71
	Baixa	71-26

Fonte: Modificado de Aller et al. (1985).

Os métodos utilizados para a avaliação da vulnerabilidade (Quadro 2) podem ser divididos em três categorias (NRC, 1993): 1) métodos de índices e sobreposição (ex: DRASTIC e GOD), 2) métodos baseados em processos que aplicam modelos determinísticos baseados em processos físicos e, 3) modelos estatísticos. No primeiro método é feita a interpolação de mapas e posteriormente a interpretação qualitativa de dados por meio de parâmetros, os quais são atribuídos pesos adequados. O segundo utiliza-se modelos matemáticos para simular fenômenos que ocorrem nos aquíferos (fluxo e transporte de contaminantes, por ex.). O terceiro é realizado com um extenso banco de dados de modo a identificar os poluentes prioritários.

Quadro 2: Outros métodos de análise da vulnerabilidade natural de aquíferos.

<b>Método</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Fatores</b>	<b>Referência(s)</b>
Maia	Vulnerabilidade Geral	Prof. água, esp. Solo, dec. terreno, cap. específica, rec. potencial, dens. fraturas, trasm. aquífero	MAIA (2011)
$\Delta HT'$	Vulnerabilidade em aquífero semiconfinado	Potencial hidráulico e transmissividade vertical	AUGE (2001)
IS	Vulnerabilidade geral	Profundidade da água, recarga, litologia, topografia e ocupação do solo	FRANCES et al. (2001); PARALTA et al. (2001)
EPPNA	Vulnerabilidade geral	Características litológicas e hidrogeológicas	PLANO NACIONAL DA ÁGUA (1998)
EPIK	Vulnerabilidade geral	Carstificação superficial, cobertura de proteção, infiltração e rede cárstica	DOERFLIGER; ZWAHLEN (1997)
EK <sub>v</sub>	Vulnerabilidade geral	Espessura da camada acima do aquífero e condut. Hidráulica	VAN STEMPOORT (1993)
SANEAMENTO IN SITU	Vulnerabilidade e saneamento in situ	Tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, prof. e qualidade da água	FERREIRA; HIRATA (1993)
SEM NOME	Vulnerabilidade geral	Característica litológica, permeabilidade e profundidade da água	ADAMS; FOSTER (1992)
SINTACS	Vulnerabilidade geral	Aquífero, cam. subsaturada, condutividade, topografia	CIVITA et al (1990)
SEM NOME	Vulnerabilidade geral	Condutividade, prof. água, umidade do solo e recarga real	MARCOLONGO; PRETTO (1987)
POTENTIAL WASTE SITES (PWDS)	Disposição de resíduos sólidos	Vulnerabilidade, confinamento, prox. da fonte, tipo e quant. do cont., veloc., zona saturada, percolação	BGS (sem data)
GROUNDWATER VULNERABILITY MAP FOR NITRATE	Potencial de lixiviação de nitrato	Tipo de solo, carac. hidráulicas e litologia do aquífero	CARTER et al. (1987)
LANDFILL SITE RANKING	Aterros sanitários	Distância aterro/poço, gradiente, permeabilidade e capac. de atenuação	LE GRAND (1983)
SITE RANKING METHODOLOGY	Disposição de resíduos sólidos	Contam. pluv, perm do solo, carac do resíduo, manejo e espect., oper. e construt.	KULFS et at (1977)
WASTE-SOIL INTERACTION MATRIX	Disposição de resíduos sólidos e líquidos	Efeitos na saúde, caract. E comport. do produto, capac. de atenuação do solo, hidrografia	PHILIPS et al (1977)



<b>Método</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Fatores</b>	<b>Referência(s)</b>
POLUIÇÃO DOS LENÇÓIS AQUÍFEROS	Vulnerabilidade geral	Geologia (litologia e estrutura)	TALTASSE et al (1972)
SITE RANKING SYSTEM	Disposição de produtos químicos	Solo, carac. hidráulicas, sorção e tamponam. químico, hidrodinâmica, ar, população	HARGERTY et al (1973)
SURFACE IMPOUNDMENT ASSESSMENT	Disposição de águas servidas	Zona não saturada importância do rec., qualidade da água e periculosidade do material	LE GRAND (1964)

Fonte: Modificado de Oliveira (2013) apud Santos e Cruz (2010).

Existem alguns trabalhos na região sul do país sobre este tema que podem ser citados. No estado de Santa Catarina (SC) foi elaborada uma dissertação (GONÇALVES, 2012) de relevante importância para a Bacia Hidrográfica do Rio da Mãe Luiza, situada na cidade de Criciúma. Neste estudo foi utilizado o método GOD e realizado o mapeamento das áreas impactadas e da cobertura do solo. Através do cruzamento destes dois mapas gerou-se o mapa de risco à contaminação, o qual teve o objetivo de alertar os perigos da intensa extração carbonífera na região onde se situam os aquíferos. Outros trabalhos também possuem a mesma linha de pesquisa com adaptações do método GOD tradicional e são extremamente importantes as áreas de estudo analisadas: Vulnerabilidade e risco de contaminação das águas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Rio do Peixe/SC (LOPES; SCHEIBE, 2015) e Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Serra Geral pela suinocultura na região das missões–RS (NANNI et al., 2005).

#### 2.4. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O termo uso da terra remete às atividades exercidas pelo homem, relacionadas com uma extensão de terra ou a um ecossistema. Já o termo ocupação representa a descrição da cobertura física da terra que envolve os elementos da natureza. Resumidamente, o levantamento do Uso e Ocupação da terra aponta a divisão geográfica dos tipos de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre (IBGE, 2013). Este levantamento pode ser reconhecido e determinado pela correlação de dados de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite) ou observação direta (VIRTUOSO e REIS, 2017). O Manual Técnico do Uso da terra por exemplo, elaborado pelo IBGE (2013), é considerado uma obra de referência para mapeamento e análises da dinâmica deste tema em questão.

### **2.4.1. Histórico de ocupação do território da Ilha de Santa Catarina**

Segundo a dissertação de Campos (2009), no século XVII, a verdadeira história da Ilha de Santa Catarina começa por Dias Velho que fundou o povoamento de Nossa Senhora do Desterro e a base de sua economia era agrícola. Em 1726, o povoamento tornou-se Vila e em 1738, Sede da Capitania de Santa Catarina, onde foi incentivado o processo de ocupação do território. Dez anos depois, ocorreu a grande corrente migratória de 6.000 açorianos trazidos para a ilha e para costa catarinense. No processo de ocupação, foram desenvolvidas atividades agrícolas e manufatureiras de algodão e linho. Com o passar dos anos, a pesca à baleia tornou-se um dos fatores econômicos mais importantes para comercialização do óleo para a Coroa Portuguesa, além da produção de farinha para o abastecimento das tropas portuguesas.

Após a independência do Brasil, a vila tornou-se cidade do “Desterro”, nomeada como a “fase da prosperidade”, começaram as melhorias no porto, no saneamento básico, novas obras públicas e construções surgiram. Agora, a ilha voltava-se a um contexto econômico comercial e marítimo (plantio, criação de gado e a pesca). Em 1894, a cidade passou a se chamar Florianópolis (como “homenagem” a Floriano Peixoto) e até 1900, o crescimento da cidade foi vagaroso (CAMPOS, 2009).

No início do século XX, houve um grande marco para a cidade de Florianópolis devido as novas construções que possibilitariam a expansão urbana na Ilha e conseqüentemente a diminuição das áreas rurais, antes em maior quantidade. A primeira delas foi a construção da ponte Hercílio Luz em 1926. Esta modificou totalmente a atividade urbana, substituindo o transporte marítimo pelo rodoviário, em relação a comunicação com a parte continental, desenvolvimento do setor de transportes e aumento e rapidez do comércio local. Na segunda metade do século XX, na década de 70, onde o foco era o desenvolvimento do sistema rodoviário, foram criadas as BR 101, BR 470, Rodovia Jorge Lacerda e BR 116. Além disso, foram construídos também: os aterros das baías Sul e Norte, duas novas pontes (Colombo Machado Sales e Pedro Ivo Campos), os viadutos, ruas e vias duplas facilitando o acesso às praias e conseqüentemente o turismo na região (CAMPOS, 2009).

Devido ao crescimento populacional e poucas restrições urbanas e ambientais, fez-se necessário a criação do primeiro plano diretor em 1955 para o município de Florianópolis (CAMPOS, 2004). A lei complementar nº 482/2014 (BRASIL, 2014) que regula o uso e a ocupação do solo, estabelecendo o zoneamento e os limites de ocupação em todo o Município de Florianópolis. Este zoneamento é dividido em primário (define os tipos de usos e a ocupação do solo) e o secundário (determina regras especiais de ocupação sobrepondo-se ao anterior). O Plano Diretor demarca as áreas que são recobertas ou não por vegetação nativa, onde o uso urbano é proibido e preestabelecida pela Lei Federal 12.651/12 (BRASIL, 2012), independente do uso e da ocupação do espaço são chamadas de Áreas de Preservação Permanente e compreendem as zonas de topos de morro, mangues, restingas e dunas na área de estudo.

## 2.4.2. Dados quantitativos do crescimento populacional em Florianópolis

A expansão urbana passou a ser representada pelos censos demográficos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) desde o ano de 1872. O crescimento populacional de Florianópolis é visível através de todos os censos já realizados pelo mesmo órgão desde 1872 à 2010 (Tabela 1).

Tabela 1: Números de habitantes ao longo dos Censos Demográficos realizados desde 1872 do município de Florianópolis.

População nos Censos Demográficos - Florianópolis											
1872	1890	1900	1920	1940	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2010
25.709	30.687	32.229	41.338	46.771	67.630	98.520	143.414	196.055	254.941	341.781	421.240

Fonte: Modificado de IBGE (2010).

Segundo a divulgação do IBGE no dia 29 de agosto de 2018 sobre as estimativas das populações residentes nos 5.570 municípios brasileiros, com data de referência em 1º de julho de 2018 e publicada no Diário Oficial da União (D.O.U) diz que em relação a população das capitais em ordem decrescente, Florianópolis está na 23ª posição com 492.977 habitantes (Agência de Notícias IBGE, 2018). Florianópolis que tinha 485.838 habitantes no relatório do IBGE divulgado em 2017, passa a ter população estimada de 492.977 pessoas em 2018 (resultando em um aumento de 1,5%), assim aproximando a cidade ao meio milhão de habitantes. A capital é a segunda cidade do Estado de Santa Catarina com maior número de habitantes e fica atrás apenas de Joinville (583.144 habitantes). Em 2008, a estimativa era de 402.346 habitantes e passada uma década registrou aumento de 22,5% no período. No último censo realizado em 2010, sua densidade demográfica é de 623,68 hab/km<sup>2</sup>, sendo que 96,21% da população reside em zona urbana e 3,79% em zona rural.

## 2.5. GESTÃO DE AQUÍFEROS

A gestão de aquíferos significa administrar a sua utilização, sempre tentando maximizar a capacidade do seu propósito e ao mesmo tempo minimizar a relação custo ambiental/benefício social (FEITOSA; FEITOSA, 2008). De modo geral, a gestão se apoia em três bases fundamentais: base legal, estrutura institucional e conhecimento técnico-científico. A base é o conjunto de leis que confere autoridade aos gestores, como por exemplo a Lei Federal Nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. A mesma institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelece o domínio das águas subterrâneas aos Estados os quais são responsáveis por outorgar e cobrar pela sua utilização, além de constatar no Princípio VI do Art. 1 que “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades” (BRASIL, 1997) e cria

o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). O SNGRH é composto no nível Federal pelos seguintes órgãos: Ministério do Meio Ambiente, representado pela Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU), a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Outras leis importantes dos mananciais subterrâneos são as resoluções CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008), CNRH nº126/2011 (BRASIL, 2011) e CNRH nº 02/2014 (BRASIL, 2014) e encontram-se descritas no quadro 3. É importante lembrar que em alguns casos em Santa Catarina, a coleta, distribuição e tratamento da água é de responsabilidade da empresa CASAN. Ainda podem haver soluções municipalizadas, as SAMAEs, associações de águas, cooperativas de distribuição, soluções individuais e, ainda, privados, como é o caso de Blumenau, onde a operação do saneamento básico, coleta e tratamento de esgotos, é realizada pela empresa BRK Ambiental<sup>1</sup>, um braço da Odebrecht Ambiental, posteriormente vendida para a gestora canadense Brookfield (PEREIRA, 2019), que possui com o município um contrato de 45 anos para a prestação desse serviço.

Quadro 3: Descrição das principais leis de águas subterrâneas.

<b>CONAMA nº396/2008</b>	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas (definições, classificação, condições e padrões de qualidade das águas subterrâneas, diretrizes para o enquadramento, a prevenção e o controle da poluição).
<b>CNRH nº126/2011</b>	Estabelece diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Criada para dar suporte à implementação dos instrumentos das políticas dos recursos hídricos, assim como ter o controle da demanda pelo uso da água, fiscalizar seus usos e as possíveis interferências nos mesmos.
<b>CNRH nº 02/2014</b>	<p>Dispõe sobre o uso das águas subterrâneas no Estado de Santa Catarina.</p> <p>-Captação de água subterrânea: outorga dada pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) e todas as informações relacionadas aos mananciais subterrâneos estão a disposição no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS);</p> <p>-É obrigatório que todos os usuários se cadastrarem no Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos da SDS;</p> <p>-A pesquisa e lavra de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou para fins balneários: outorga dada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).</p>

Fonte: Da autora (2019).

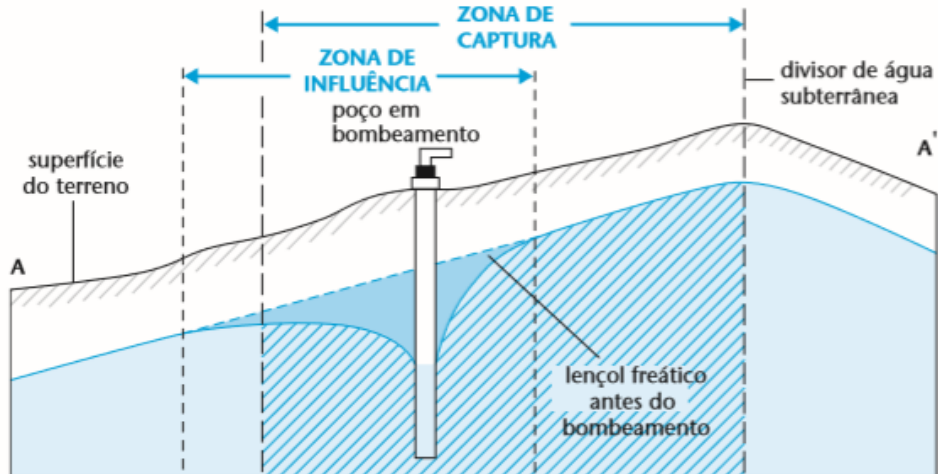
A gestão e conseqüentemente a proteção das águas subterrâneas, pode ser estabelecida pelos Perímetros de Proteção de Poços (PPP), os quais consistem na delimitação de zonas ao redor do poço onde a ocupação humana e atividades potencialmente poluidoras devem ser restritas. O zoneamento leva em consideração a distância e o tempo de trânsito (TT) na zona saturada para que a água subterrânea atinja o poço.

1 <https://www.brkambiental.com.br/blumenau/quem-somos>

O traçado dos PPP é baseado na zona de captura do poço (ZC), a qual é diferente da zona de influência (Figura 7), e qualquer contaminante injetado na ZC chegaria cedo ou tarde ao poço (FEITOSA; FEITOSA, 2008). A ZC trata-se do perímetro do qual toda a água de recarga do aquífero será captada pelo poço e a zona de influência trata-se da área de interferência hidráulica ou cone de rebaixamento ocasionado pelo bombeamento do mesmo (Foster et al 2006).

Figura 7: Diferença entre zona de captura e zona de influência de um poço.

**a) perfil vertical**



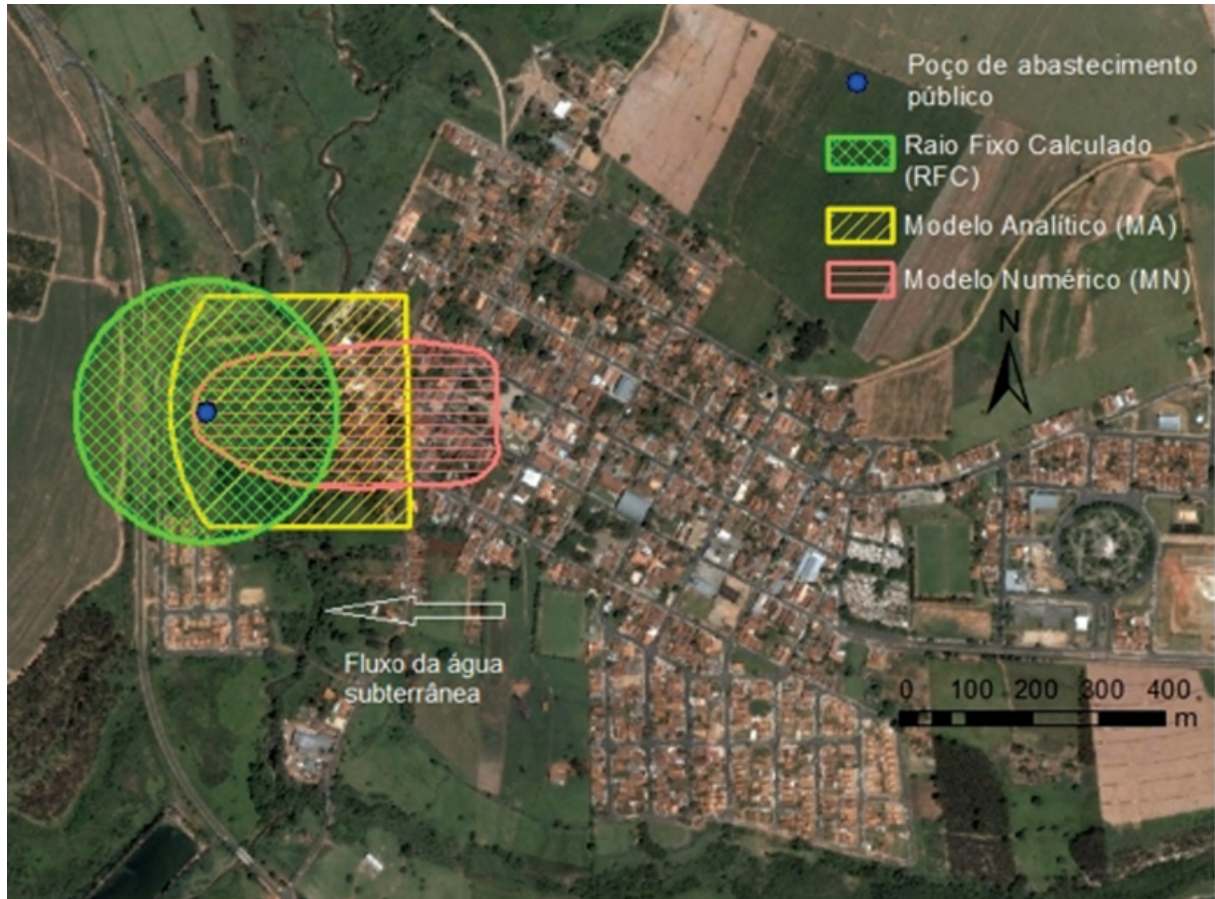
**b) vista em planta**



Fonte: Foster et al (2006).

Existem várias técnicas para o traçado da ZC (Figura 8): método raio fixo calculado (RFC), método modelo analítico (MA) e método modelo numérico (MN).

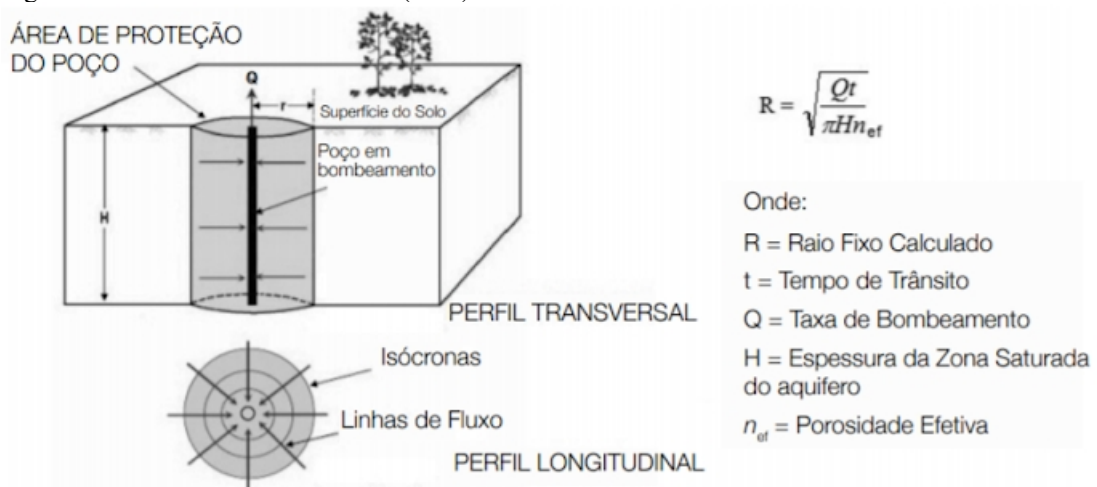
Figura 8: Comparação entre as ZCs para um poço de abastecimento público localizado no Sistema Aquífero Guarani em São Paulo.



Fonte: Carvalho e Hirata (2012).

O RFC define uma área circular ao redor do poço, cujo raio é estabelecido por uma equação analítica de fluxo volumétrico (Figura 9). O MA define a ZC de um poço bombeando em condições de superfície potenciométrica inclinada e o MN é o mais preciso entre todos, pois baseia-se em modelos matemáticos de simulação processados em computadores e equações de fluxo/transporte de massa com soluções numéricas (Carvalho e Hirata, 2012).

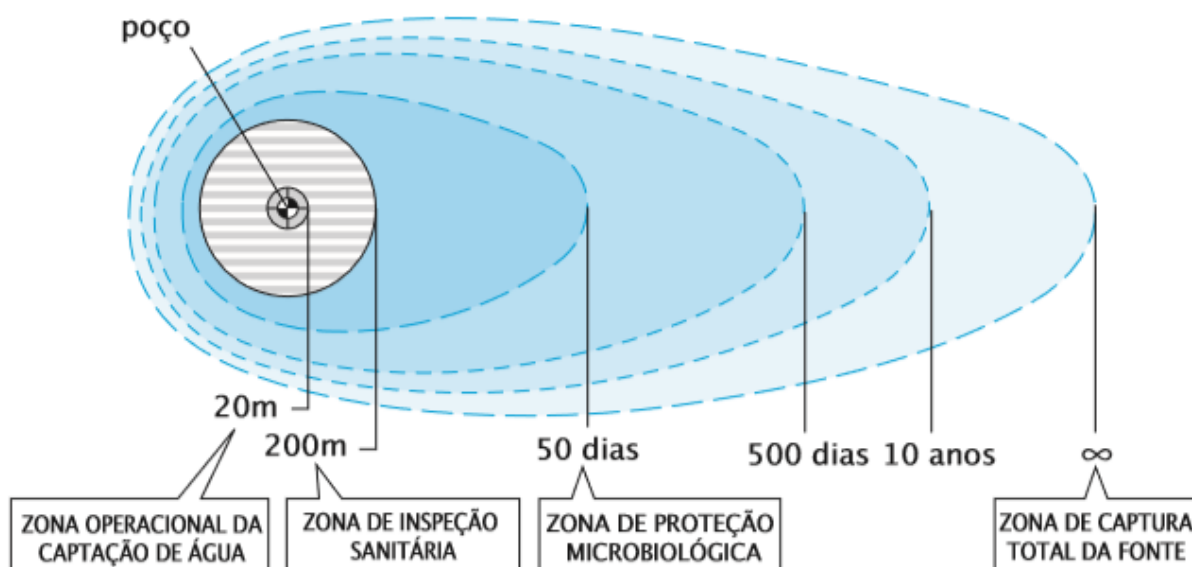
Figura 9: Método raio fixo calculado (RFC)



Fonte: Carvalho e Hirata (2012) apud USEPA, 1994.

A zona de captura de água subterrânea pode ser dividida em outras zonas, as quais podem ser traçadas com base no tempo de trânsito (TT). Estas são chamadas de zona de proteção microbiológica e zona operacional da captação de água (Figura 10). A primeira serve para prevenir a ingestão de água subterrânea contaminada com parasitas patogênicos, vírus ou bactérias e a segunda trata-se do perímetro mais interno e se recomenda um raio de pelo menos 20 metros com a inspeção sanitária em um raio de no mínimo 200 metros ao redor do poço (Foster et al 2006).

Figura 10: Zonas de captura da água subterrânea e seus perímetros do tempo de trânsito ao redor de um poço em um aquífero não confinado.



Fonte: Foster et al (2006).

### 2.5.1. Métodos preventivos

A prevenção à contaminação de aquíferos começa como tudo, na educação ambiental, passando por procedimentos técnicos adequados, boas práticas profissionais e equipamentos e instalações corretas. A gestão de mananciais subterrâneos tem como objetivo desenvolver dispositivos para solucionar e conseqüentemente melhorar o manejo e conservação do recurso natural subterrâneo. Exemplos de métodos que podem auxiliar na gestão preventiva: o reaproveitamento/reúso das águas, a implantação de dispositivos de tratamento ecológico como a bacia/tanque de evapotranspiração, círculo de bananeiras e wetlands construídas; a recarga artificial de aquíferos e a implementação de jardins botânicos, praças ou hortas comunitárias de base orgânica (áreas verdes).

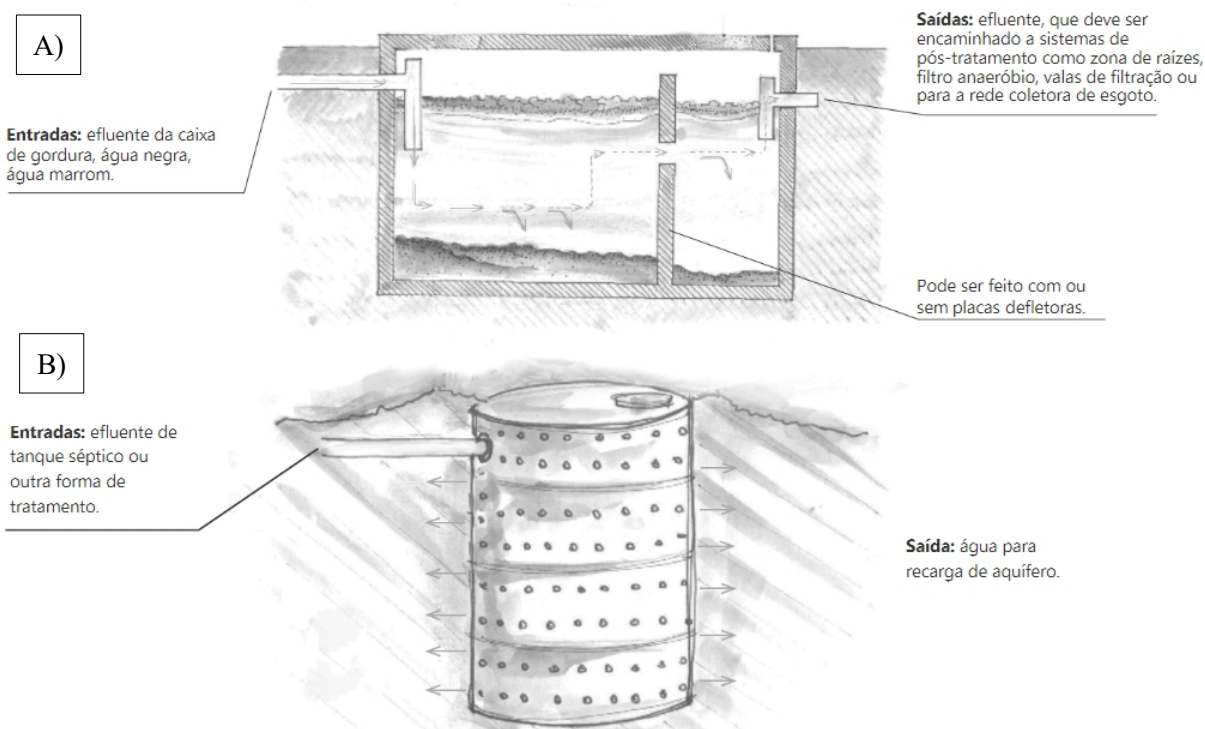
Fontes potencialmente poluidoras como o uso de fossas sépticas e sumidouros (Figura 11) tornam-se preocupantes para a conservação do SAC (CASAN, 2002). As fossas ou tanques sépticos são instalações sanitárias que não permitem separação entre os tipos de efluentes domésticos: águas



cinzas (pias, chuveiro, tanque, lava-roupas) e águas contaminadas (vaso sanitário). Além disso, fazem parte de sistemas com tratamento terciário (por exemplo ETE) e o lodo e a espuma devem ser removidos periodicamente para não comprometer o funcionamento do sistema. Construídos geralmente em concreto ou alvenaria, o esgoto bruto é conduzido à sua parte inferior, normalmente por uma placa defletora. Os sólidos se acumulam, formando o lodo de fundo, enquanto os materiais flutuantes e as gorduras formam a espuma. Uma placa defletora ou sifão impede a saída da espuma no efluente. Uma parte dos patógenos é removida pela sedimentação: sólidos se depositam no fundo do tanque levando consigo as bactérias, vírus, ovos de helmintos ou cistos de protozoários (PAULO; GALBIATI; MAGALHÃES, 2018).

Após o efluente sair do tanque séptico, ele é direcionado para o sumidouro. O mesmo trata-se de um poço com justaposição de anéis pré-moldados de concreto perfurados, que permite a penetração do efluente do conjunto séptico no solo e conseqüentemente auxilia na recarga do aquífero (recarga segura somente em locais com nível freático profundo). O dimensionamento do sumidouro dependerá da quantidade de efluentes e do tipo de solo e não deve ter menos de 1m de diâmetro e mais de 3m de profundidade (PAULO; GALBIATI; MAGALHÃES, 2018). Seu uso é favorável somente nas áreas em que o aquífero é profundo e possa garantir a distância mínima de 1,50 m entre o seu fundo e o nível máximo do aquífero (LEMOS, 2005).

Figura 11: Exemplos de sistemas de tratamento de esgoto: fossa séptica (A) e sumidouro (B).



Fonte: Modificado de Paulo, Galbiati e Magalhães (2018).

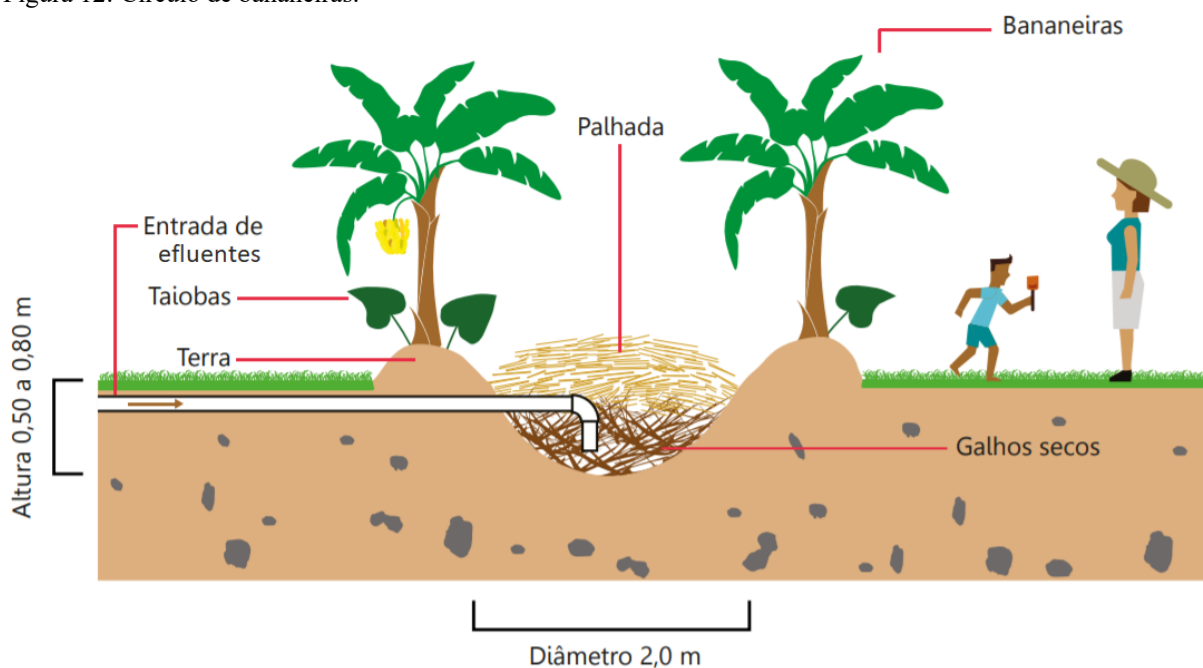
O reaproveitamento pode ser feito pela recirculação e por reutilização das águas residuais. O primeiro consiste no aproveitamento da quantidade de água que não foi consumida e o segundo às



águas previamente utilizadas (COSTA, 2008). A OMS classifica o reúso da água em diferentes modalidades de acordo com sua finalidade (WHO, 1973): reúso indireto, reúso direto, reciclagem interna. O indireto é no caso da água que já foi usada uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial e é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e usada novamente a jusante (de forma diluída). O direto é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável e a reciclagem é o reúso da água internamente a instalações industriais ou domésticas com o objetivo de economizar e controlar a poluição da mesma.

O círculo de bananeiras (Figura 12) é uma técnica para disposição final de águas cinzas (pias, tanques, chuveiros) ou esgotos tratados e é considerado um método de baixo custo, com um tipo de mão de obra simples e dimensões e profundidades pequenas (máximo de 1m). De acordo com Paulo, Galbiati e Magalhães (2018), é feito primeiramente uma escavação em forma de bacia para o melhor aproveitamento da água pelas raízes das plantas ao redor. Logo após, esta vala é preenchida com matéria orgânica de difícil decomposição, como galhos e pedaços de madeira e coberta com folhas secas e capim. O efluente entra no sistema e os restos de alimentos e excesso de gorduras ficam retidos nestas camadas, onde ocorre a sua decomposição e a água e os nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas ao redor do círculo (geralmente bananeiras pois demandam muita água). No caso de áreas sombreadas, recomenda-se substituir as bananeiras por taiobas e outras plantas não exigentes em luz.

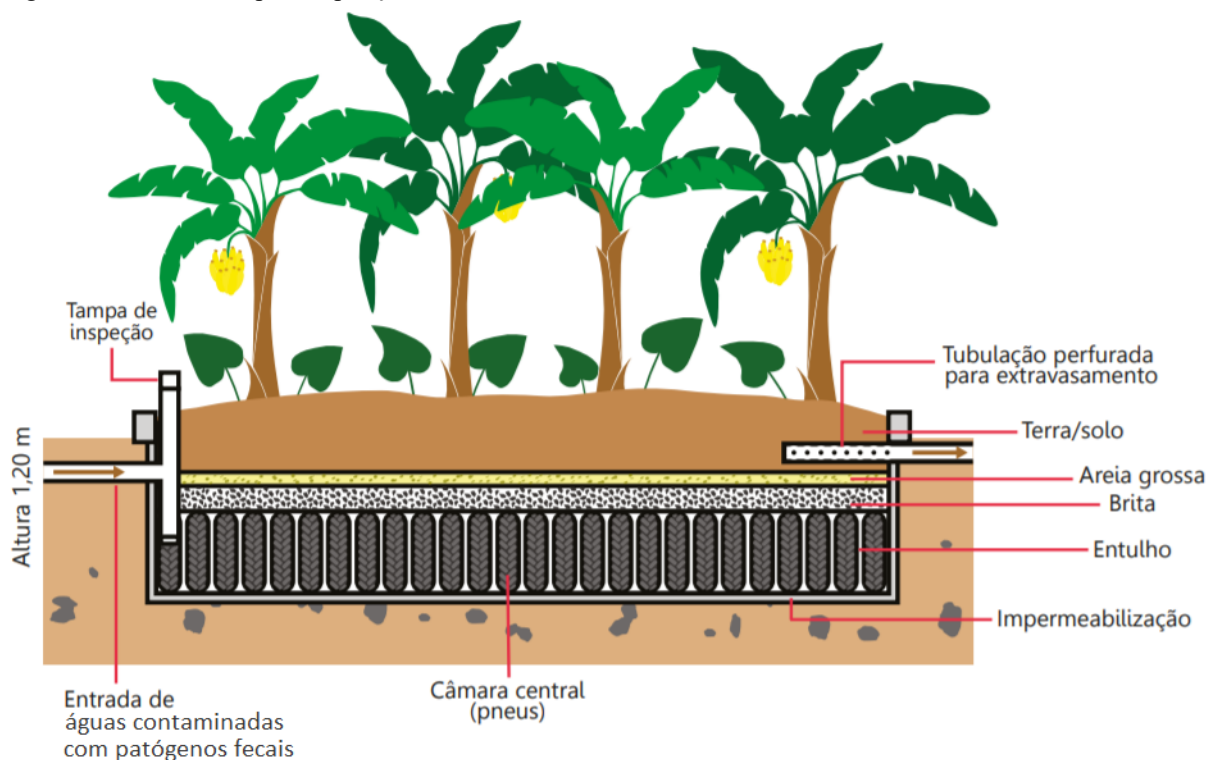
Figura 12: Círculo de bananeiras.



Fonte: Modificado de Figueiredo, Santos e Tonetti (2018).

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é uma tecnologia desenvolvida pelo permacultor norte-americano Tom Watson e que chegou ao Brasil no início dos anos 2000 (Figura 13). Este tanque é usado para tratamento e reúso domiciliar de águas contaminadas (FIGUEIREDO; SANTOS; TONETTI, 2018). Este sistema não gera nenhum efluente e evita a poluição do solo, das águas superficiais e do lençol freático. Nele os resíduos humanos são transformados em nutrientes para plantas e a água só sai por evapotranspiração, portanto, completamente limpa. Sua construção consiste primeiramente no cálculo de dimensionamento: 2m de largura por 1m de profundidade e o comprimento é igual ao número de moradores usuais da casa. Por exemplo, uma casa com quatro moradores: (LxPxC) 2x1x4 = 8 m<sup>3</sup>. Após dimensionado e escavado, este tanque é impermeabilizado com ferrocimento (construção com grade de ferro e tela de “viveiro” coberta com argamassa) com espessura em torno de 3 cm. Primeira camada, de baixo para cima, é a câmara central ou câmara de recepção (com espessura de 50 cm) onde é preenchida com pneus e entulho cerâmico e acima desta são colocadas camadas de materiais com granulometria decrescente: 20 cm de brita, 20 cm areia grossa, 30 cm de solo onde serão introduzidas as plantas. Para finalizar, tubos de inspeção são inseridos apenas por segurança e para pesquisas. Seu funcionamento se dá pela digestão (anaeróbia) da matéria orgânica e mineralização de nutrientes que acontece na câmara central, local onde se desenvolve um biofilme filtrante. O efluente rico em nutrientes é distribuído no solo por capilaridade, absorvido pelas plantas e a água é evaporada através do solo e das folhas, pelo mecanismo da evapotranspiração (PAULO; GALBIATI; MAGALHÃES, 2018).

Figura 13: Bacia de evapotranspiração.

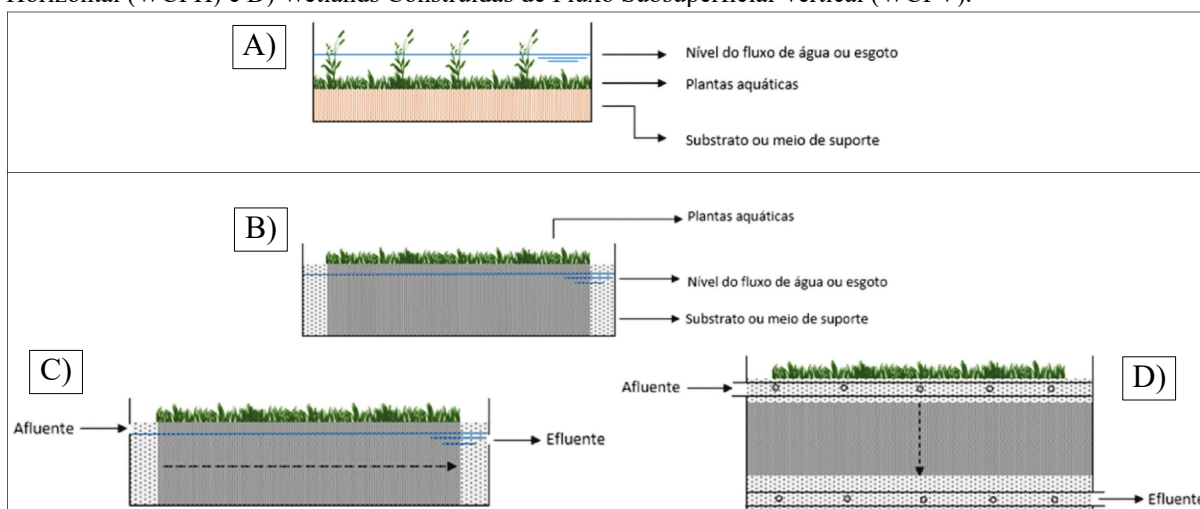


Fonte: Modificado de Figueiredo, Santos e Tonetti (2018).

Outro sistema que pode ser citado é o wetland. As wetlands construídas (WC) ou “alagados construídos”, desenvolvidas para tratamento de águas residuárias, são sistemas artificialmente projetados para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos como areia, cascalhos ou outro material inerte. No sistema, ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microorganismos os quais, por meio de processos biológicos, químicos e físicos realizam o tratamento (Sousa et al., 2003). Seus principais benefícios são: 1) o baixo custo de implantação, operação e manutenção se comparadas com estações convencionais de tratamento de efluentes, 2) baixa demanda energética e são esteticamente mais agradáveis que as estações de tratamento convencionais, 3) potencial de reúso ou reciclagem da água e reciclagem de nutrientes com a compostagem das plantas aquáticas, 4) ausência de vibração e ruídos, 5) tendência a minimizar ou até eliminar maus odores do esgoto, 6) atendem aos requisitos da legislação com relação aos padrões de emissões (UFABC, 2018).

As wetlands construídas e seus três componentes principais (as macrófitas aquáticas, o material suporte e as comunidades microbianas), possuem diversos tipos que são classificados conforme o nível da coluna d’água (Figura 14): 1) fluxo superficial e, 2) fluxo subsuperficial – horizontal ou vertical, dependendo da direção do fluxo do fluido (UFABC, 2018).

Figura 14: Wetlands construídas e seus tipos: A) Wetlands Construídas de Fluxo Superficial (WCFS), B) Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial (WCFSS), C) Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial Horizontal (WCFH) e D) Wetlands Construídas de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV).



Fonte: Sanchez (2017).

A recarga artificial de aquíferos no Brasil é estabelecida pela resolução CNRH n. 153, de 17 de dezembro de 2013 mediante de critérios e diretrizes para realizá-la (BRASIL, 2013). No artigo 3º consta que este método pode ser implantado de duas formas: a partir da superfície (infiltração de água através de barragens, espalhamento de água, canais, valas) ou em profundidade (injeção direta de água no aquífero através de poços).

Em relação a implementação de áreas verdes (praças, parques urbanos, parques fluviais, parque balneário e esportivo, jardim botânico ou faixas de ligação entre áreas verdes), as mesmas

desempenham papéis fundamentais na gestão ambiental e contribuem de modo significativo para a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental nas cidades (MMA, 2019). Estas áreas além de possuírem funções ecológicas, paisagísticas e recreativas, propiciam a melhoria da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade e são dotadas de vegetação e espaços livres de impermeabilização (BRASIL, 2006). A resolução que constitui estas áreas de domínio público é a CONAMA Nº 369/2006, art. 8º § 1º.

## 2.6. SISTEMA AQUÍFERO CAMPECHE

### 2.6.1. Contexto Geológico

A área de estudo está inserida na parte sul da Província Mantiqueira conforme definido por Almeida et al. (1977), representando assim parte do Escudo Catarinense, formada pelo Domínio Interno do Cinturão Dom Feliciano (BASEI, 1985). Este domínio abrange as rochas graníticas do Batólito Florianópolis, dispostas em faixas de direção preferencial NE, produto da sucessão de pulsos magmáticos associados à tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro (BITENCOURT et al., 2008).

O Batólito Florianópolis é caracterizado por uma diversidade de granitóides de idade neoproterozóica, associado ao magmatismo máfico que são intrudidos por uma série de diques máficos do cretáceo inferior (PEREIRA, 2017).

A Ilha de Santa Catarina é constituída por maciços rochosos formados por migmatitos do Complexo Águas Mornas, por Granitos São Pedro de Alcântara e Ilha e por rochas plutono-vulcânicas ácidas que compõem a Suíte Cambirela. Esses litotipos são seccionados por diques básicos, ácidos e intermediários que compõem o Enxame Florianópolis e também por rochas cataclásticas e por falhas/fraturas diversas. Interligando esses maciços ocorrem depósitos quaternários inconsolidados, que constituem a planície costeira depositados sob condições e ambientes deposicionais variados (TOMAZZOLI e PELLERIN, 2015).

A Suíte Cambirela é composta por rochas hipabissais, intrusões tabulares constituídas por riolitos porfíricos e diabásios de granulação fina a média, pelo Granito Ilha (Biotita monzo a sienogranitos), pelo Granito Itacorubi (hornblenda-biotita monzogranitos) e pelo Riolito Cambirela onde forma uma sucessão de rochas efusivas de composição riolítica a riodacítica (BITENCOURT et al, 2008).

As fraturas no Batólito Florianópolis são majoritariamente preenchidas por diques de composições variadas. Elas pertencem ao Enxame de Diques Florianópolis que é constituído predominantemente por diques de diabásio e andesito com espessuras centimétricas até superiores a duzentos metros e prolongando-se continuamente por quilômetros. A grande maioria está orientada

segundo a direção N10°-30°W. Em determinados locais observa-se relações de intersecção entre diques, normalmente com diques mais finos de direção NW truncando diques mais antigos de direção N10°-20°E. (TOMAZZOLI e PELLERIN, 2008).

O Complexo Águas Mornas revelaram idade de  $2.175 \pm 13$  Ma para o protólito e  $592 \pm 5$  Ma para o meta-morfismo/deformação superimpostos (Silva et al., 2000). Segundo Basei (1985), o Granito São Pedro de Alcântara demonstrou idades Rb-Sr isocrônicas de, respectivamente,  $566 \pm 93$  Ma e  $600 \pm 7$  Ma, o Granito Ilha (através de datações Rb-Sr) demonstrou idade de  $524 \pm 68$  Ma e a Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela, constituída por granito (Granito Itacorubi) cujas datações Rb-Sr revelaram idades de  $524 \pm 68$  Ma (BASEI, 1985). As rochas mais jovens da ISC pertencem ao Enxame de Diques Florianópolis, cujas datações Ar-Ar confirmam intervalos de idades entre 140 e 137 Ma, entre 134 e 127 Ma e entre 123 e 121 Ma (RAPOSO et al., 1998; Tomazzoli, 2011).

Nesta pesquisa, devido à necessidade de um maior detalhamento geológico, foi escolhido o trabalho de Tomazzoli & Pellerin (2014), onde as unidades geológicas presentes na área de estudo encontram-se descritas abaixo.

A área de estudo há a predominância de dois grandes domínios: dos maciços rochosos e dos sedimentos inconsolidados da planície costeira. Os maciços rochosos são predominantemente neoproterozóicos, os quais são representados no Quadro 4, juntamente aos diques que seccionam estas unidades.

Quadro 4: Coluna estratigráfica dos maciços rochosos encontrados na área de estudo.

PERÍODO/ERA	LITOTIPO	CARACTERÍSTICAS	UNIDADE LITOSTRATIGRÁFICA
Cretáceo	Diques intermediários (Andesitos/Traquiandesitos) - KAn	Andesitos e traquiandesitos de cor cinza, geralmente afíricos, afaníticos ou faneríticos finos, formando diques.	Enxame de Diques Florianópolis
	Diques básicos (basaltos/diabásios) - KDb	Diabásios de cor escura, afíricos, afaníticos ou faneríticos finos, médias a grossas. Termos de granulação mais grossa ocorrem no centro de diques mais espessos e podem ser classificados como gabros. Formam diques com espessuras variadas, podendo localmente atingir até cerca de 200 metros.	
Neoproterozóico	Diques de riolito - PRi	Rochas geralmente com textura pórfira, exibindo fenocristais de feldspato potássico e quartzo sobre matriz afanítica branca ou avermelhada. Formam diques ou corpos intrusivos irregulares com até poucos metros de espessura.	Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela
	Granito Itacorubi - PGt	Rocha granítica de cor cinza-claro ou rosada, geralmente com fenocristais de feldspato potássico sobre matriz granular fina ou média. Associa-se frequentemente às rochas vulcânicas da Suíte Cambirela ou ao Granito Ilha sob a forma de enclaves nas primeiras ou de veios graníticos intrusivos na última. Podem também formar corpos intrusivos de maior porte.	
	Granito Ilha - PGi	Sienogranitos (predominantes) e monzogranitos de cor rosada, geralmente com textura equigranular grossa, mais raramente pórfira, com fenocristais de feldspato potássico.	Suíte Pedras Grandes
	Granito São Pedro de Alcântara - PGsp	Monzogranitos (predominantes), sienogranitos e quartzo-monzonitos de cor cinza, geralmente pórfiros, com fenocristais brancos de feldspato potássico. Frequentes enclaves de andesito, diorito, tonalito ou granodiorito.	Suíte Maruim

Fonte: Modificado de Tomazzoli & Pellerin (2015).

Essas rochas cristalinas estão sobrepostas por depósitos sedimentares quaternários inconsolidados, os quais fazem parte da planície costeira e é neste local onde se situam os poços tubulares profundos do SAC. O Quadro 5 apresenta a descrição dos depósitos sedimentares ocorrentes na área de estudo e as unidades descritas encontram-se ilustradas no mapa geológico da Figura 15.

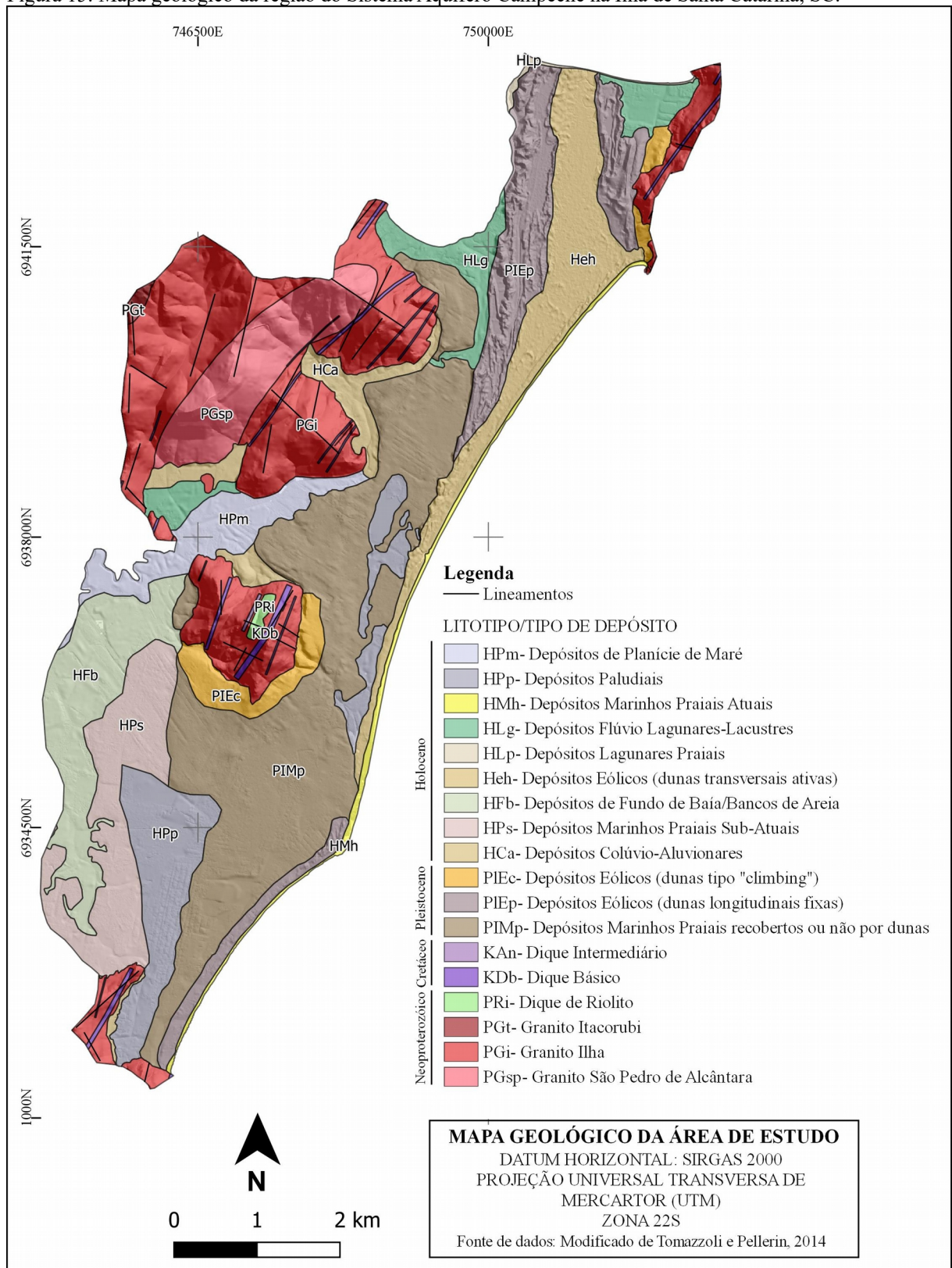
Quadro 5: Descrição geológica e estratigrafia dos depósitos quaternários da área de estudo.

PERÍODO/ IDADE	Unidades geológicas	Características
Holoceno	Depósitos de Planície de Maré (HPm)	Sedimentos finos, ricos em matéria orgânica, frequentemente alagados pela ação das marés, localizados próximo a desembocadura de rios e associado aos manguezais.
	Depósitos Paludiais (HPp)	De idade holocênica, turfas ou sedimentos finos, situados em depressões nas regiões semialagadas da ISC, apresentam-se na região como terraços paludiais (turfeiras) e normalmente estão localizados nas margens de lagoas e lagoas.
	Depósitos Marinheiros praias atuais (HMh)	Os atuais são compostos por sedimentos arenosos com texturas variadas, situados nas praias atuais ou em terraços marinheiros recentes.
	Depósitos Flúvio Lagunares-Lacustres (HLg)	Os flúvio lagunares-lacustres são sedimentos pelíticos e arenosos finos depositados em depressões que correspondem a antigos corpos lagunares ou lacustres.
	Depósitos Lagunares Praias (HLP)	Os lagunares praias são representados pelos sedimentos arenosos finos formando pequenos terraços nas margens de corpos lagunares ou depositados nas bordas de depósitos do mesmo tipo.
	Depósitos Eólicos holocênicos – dunas transversais ativas (Heh)	Os holocênicos são compostos por sedimentos bem selecionados, areias quartzosas finas, de coloração esbranquiçada, formando dunas transversais ativas (predomínio de dunas do tipo barcanóide e parabólica) ou camadas de recobrimento.
	Depósitos de Fundo de Baía/Bancos de Areia (HFb)	São compostos por sedimentos arenosos finos, bem selecionados, de cor esbranquiçada, formando terraços baixos que se destacam nas planícies de maré atuais. Representam sedimentação do fundo de baías.
	Depósitos Marinheiros praias sub-atuais (HPs)	O sub-atual, de idade holocênica, é composto por sedimentos arenosos esbranquiçados, com texturas variadas, depositados sob influência marinha. Formam terraços poucos elevados, muitas vezes exibindo cristas praias e quando aflorantes no interior da ilha, quando formam extensas planícies.
Pleistoceno	Depósitos de encostas/ colúvio-aluvionares (HCA)	Constituem-se de sedimentos mal selecionados, geralmente grossos (blocos, matacões, seixos, grânulos, material pelítico-arenoso) e apresentam-se como leques ou rampas moldadas às encostas dos morros.
	Depósitos Eólicos pleistocênicos (PIEc) e (PIEp)	Os pleistocênicos são compostos de sedimentos arenosos finos, bem selecionados, de tonalidade amarelo-avermelhada devido à presença de óxidos/hidróxidos de ferro. Formam rampas de aspersão dunária, cavalgando sobre encostas do embasamento – dunas tipo <i>climbing</i> (PIEc) ou formam dunas longitudinais fixadas geralmente pela vegetação (PIEp).
	Depósitos Marinheiros praias recobertos ou não por dunas (PIMP)	Os recobertos ou não por dunas, de idade pleistocênica, são compostos por sedimentos arenosos finos, bem selecionados, de cor amarelo-avermelhada devido à presença de óxidos/hidróxidos de ferro, depositados sob influência marinha. Formam terraços mais elevados, dispostos mais internamente em relação aos depósitos holocênicos do mesmo tipo.

Fonte: Tomazzoli e Pellerin (2018) e Horn Livi & Livi (2013).



Figura 15: Mapa geológico da região do Sistema Aquífero Campeche na Ilha de Santa Catarina, SC.



Fonte: Modificado de Tomazzoli e Pellerin (2014).

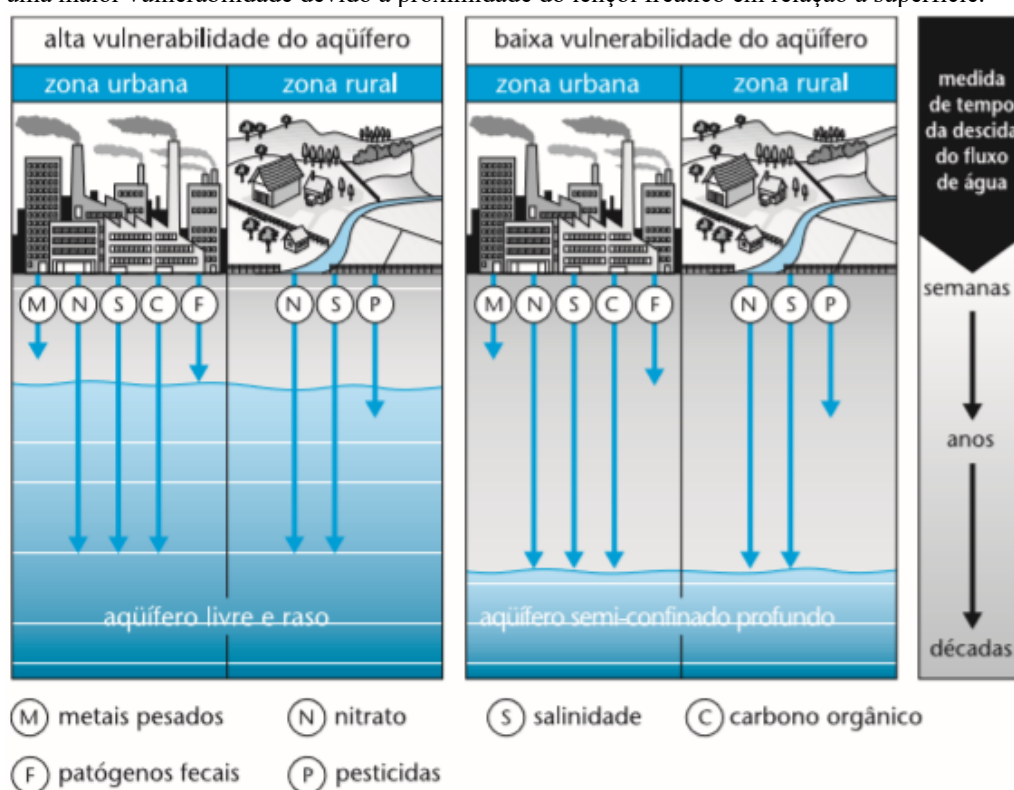


## 2.6.2. Contexto Hidrogeológico

### 2.6.2.1. Aquífero

O Sistema Aquífero Campeche é um aquífero freático livre composto por areias finas a médias com intercalação descontínua de níveis areno-argilosos (CASAN, 2002). Um dos fatores preocupantes para a contaminação da água subterrânea se concentra principalmente nos aquíferos freáticos ou não confinados, como no caso do Sistema Aquífero Campeche. Nesses casos, a zona vadosa é pouco espessa e o lençol freático é raso (Figura 16).

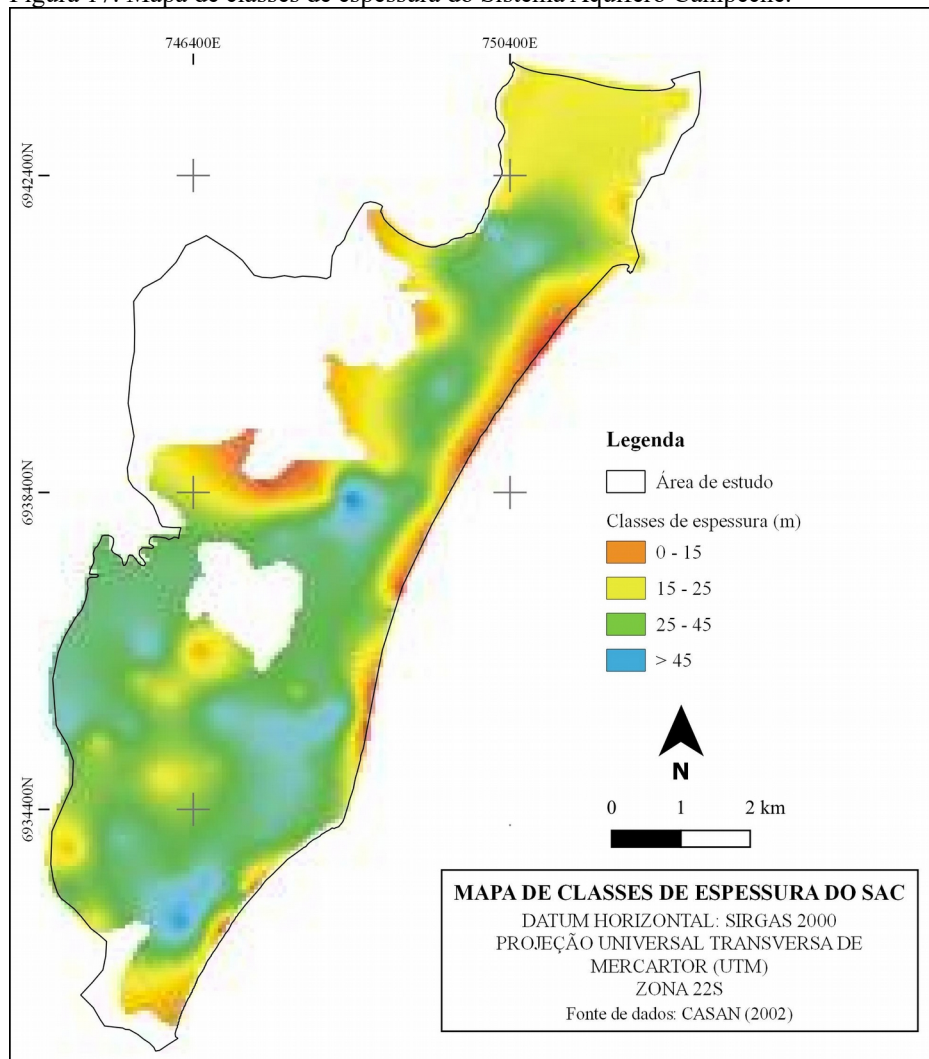
Figura 16: Comparação de um aquífero livre em relação a um semi-confinado evidenciando uma maior vulnerabilidade devido a proximidade do lençol freático em relação à superfície.



Fonte: Foster et al., (2006).

Segundo CASAN (2002), a espessura máxima do SAC é de 70 metros com espessuras médias na ordem de 30 m (Figura 17). As zonas mais espessas se localizam ao sul e ao norte da área de estudo, sendo que em sua porção central observa-se um adelgaçamento do pacote sedimentar. Na porção sul, o embasamento apresenta um alto alongado na direção nordeste-sudeste (CASAN, 2002).

Figura 17: Mapa de classes de espessura do Sistema Aquífero Campeche.



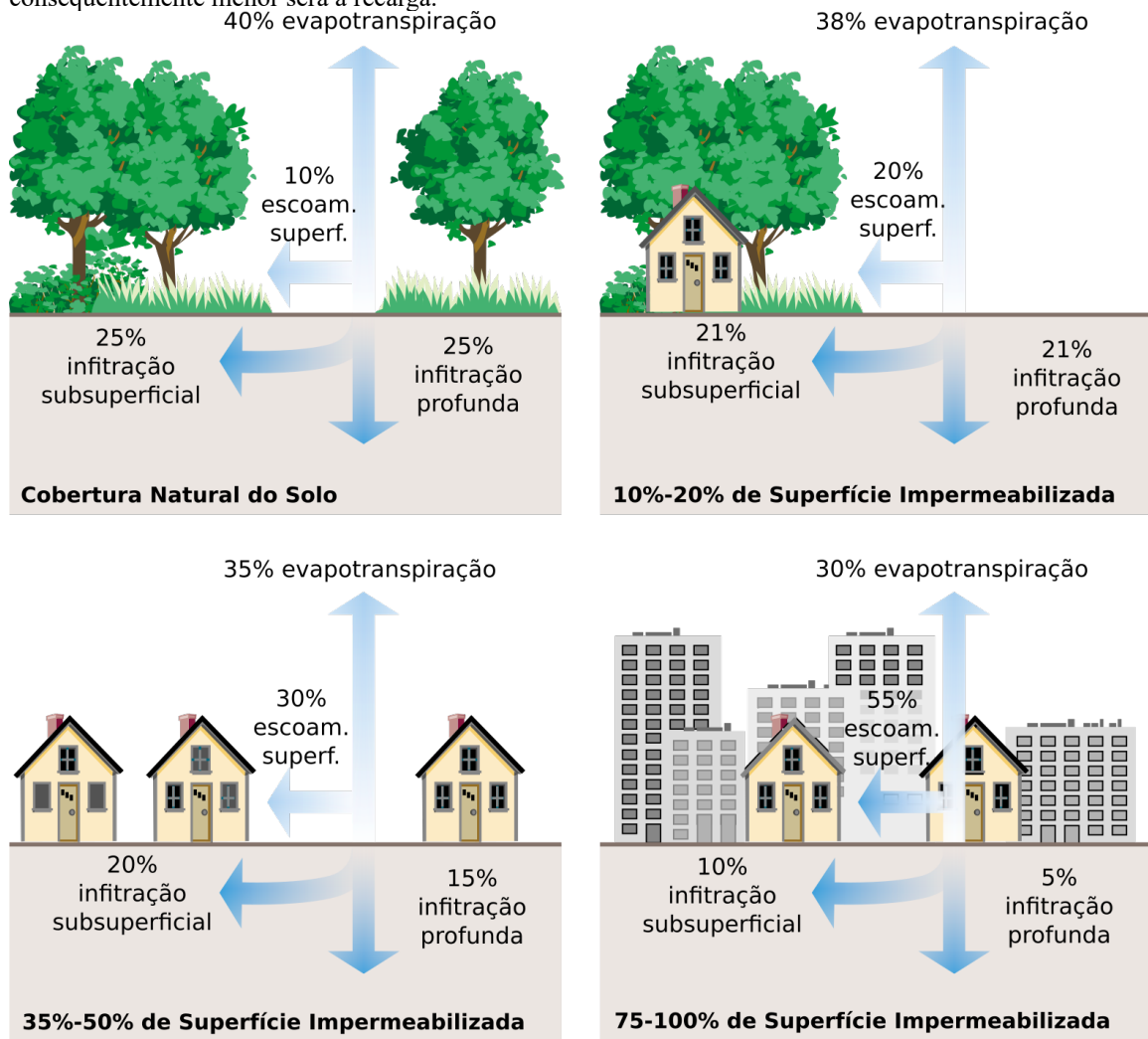
Fonte: Modificado de CASAN (2002).

#### 2.6.2.2. Recarga e descarga do SAC

A recarga natural ocorre principalmente por infiltração direta da precipitação, enquanto que a recarga artificial fica em segundo plano e é advinda dos sistemas sépticos e perdas do sistema de abastecimento. Destacam-se como importantes zonas de recargas: zonas onde depósitos coluvionares interdigitam-se com os sedimentos costeiros e na porção norte, mais precisamente na faixa de dunas móveis que formam uma cunha na direção da Praia da Joaquina (CASAN, 2002). As zonas de descargas encontram-se localizadas na Laguna da Conceição, nas várzeas e mangues do Rio Tavares e Ribeirão Sertão da Fazenda a oeste e principalmente na interface de água doce e salgada, junto à linha de praia a leste (CASAN, 2002). Em relação a esta interface, devido a sua natureza costeira, o aquífero está sujeito à intrusão salina, evento este provocado pelo bombeamento de poços tubulares próximos à linha de costa.

Sabe-se que a recarga natural provém principalmente do regime pluviométrico (quantidade de chuvas) e do equilíbrio estabelecido entre a infiltração, escoamento e evapotranspiração (Figura 18). Desta forma, a topografia da área, pedologia, litologia e a situação atual da cobertura vegetal, têm papel essencial na recarga dos aquíferos (MMA, 2007; FISRWG, 1998), pois estabelecerão diferentes cenários de impermeabilização dos solos e a consequente inibição das recargas,

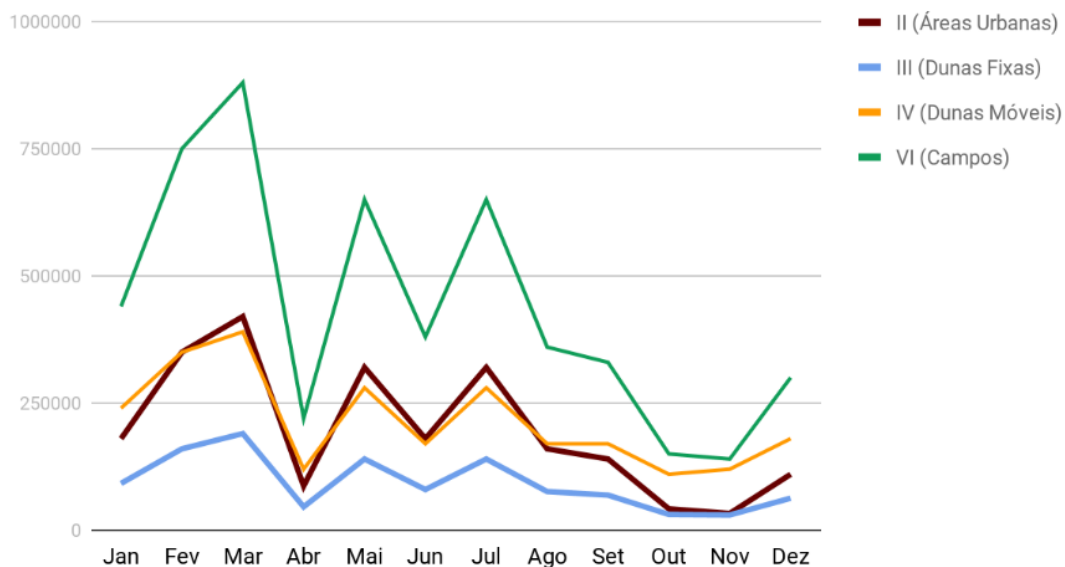
Figura 18: O uso da terra em relação a taxa de infiltração/recarga, escoamento e evapotranspiração. Quanto maior a impermeabilização do solo, maior será o escoamento superficial, menor será a infiltração e consequentemente menor será a recarga.



Fonte: Traduzido de FISRWG (1998).

De acordo com a CASAN (2002), as principais zonas de recarga e seus respectivos valores totais mensais no ano de 2000 encontram-se representados na Figura 19. No bombeamento são retirados  $3,58 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano do aquífero, o que representa 31,79% da recarga total anual, estimada em  $1,13 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ano.

Figura 19: Gráfico que demonstra o cálculo das recargas totais mensais em m<sup>3</sup> no ano de 2000 (Método de Penman).

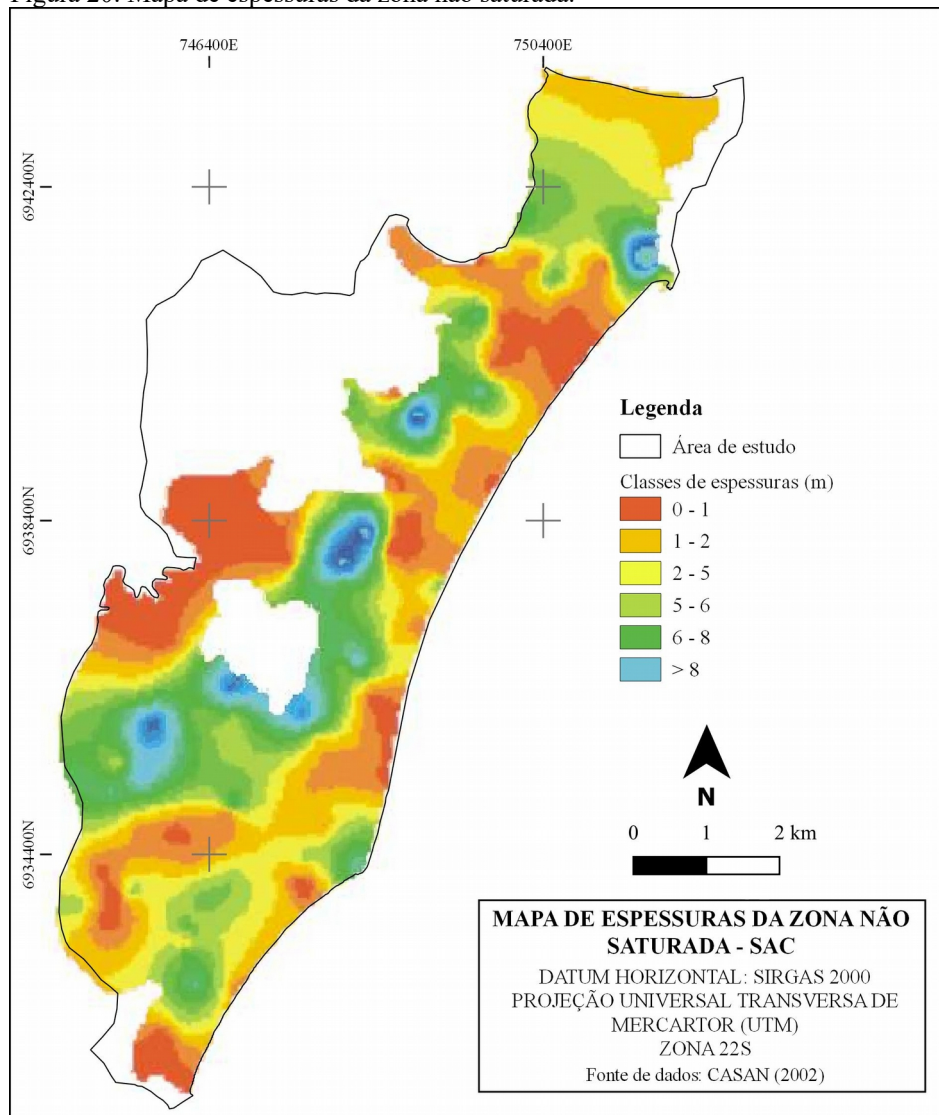


Fonte: Modificado de CASAN (2002).

### 2.6.2.3. Espessura da zona não saturada

A zona não saturada do aquífero apresenta-se conforme a Figura 20. Esta zona foi obtida a partir de dados de geofísica, dos níveis estáticos medidos em campo e também da atribuição do valor zero ao nível freático de cursos e corpos de água perenes (corpos lagunares, mangues e banhados), pois os mesmos estão conectados diretamente com o aquífero (CASAN, 2002).

Figura 20: Mapa de espessuras da zona não saturada.



Fonte: Modificado de CASAN (2002).

#### 2.6.2.4. Fluxo das águas subterrâneas

O fluxo das águas subterrâneas do SAC tende, uma parte, a se movimentar na direção da linha de praia e, outra parte, na direção das áreas baixas para oeste na bacia hidrográfica do Rio Tavares. A velocidade do fluxo superficial das águas subterrâneas na área varia entre 5 cm/dia a 50 cm/dia (CASAN, 2002).

#### 2.6.2.5. Valores de vazão dos poços tubulares

A água explotada dos poços tubulares da zona Costa Leste/Sul é enviada para a Estação de Tratamento de Água (ETA) do Campeche, localizado próximo ao Centro Comercial Castanheiras, onde passa por tratamento convencional para ser distribuída, proporcionando assim, o seu

monitoramento e desempenho através de macromedidores de vazão. O controle de vazão e volume extraídos de água no tempo são registrados pelos funcionários da CASAN na unidade avançada do Campeche e, em seguida, tratados na divisão de engenharia. Nas tabelas (2, 3 e 4) a seguir, é possível comparar os dados mais antigos (BORGES, 1996) e os mais recentes fornecidos pela CASAN (2002/2018).

Tabela 2: Tabela de poços da CASAN analisados por Borges (1996) e seus respectivos valores de nível estático, dinâmico e vazão.

<b>Código Casan</b>	<b>Vazão média (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>NE médio (m)</b>	<b>ND médio (m)</b>	<b>Prof (m)</b>
P10	38	1,9	13	47
FNS 8	53	4,7	9,7	44
FNS 9	44	3,3	14	43,5
FNS 10	61	1,9	10	39,5
FNS 11	54	2	10,10	43
FNS 12	50	5	9	41
FNS 13	52	4,6	11,30	36
FNS 14	-	2	-	35
FNS 15	49	2	6	34,5
FNS 16	44	2,2	13,6	26,5
FNS 17	23,3	3,5	13,24	26
FNS 26	56	2	11	42,8
FNS 27	56	2	14,10	42,6
SC405	-	2,5	-	43
SC405	-	2,5	-	30

Fonte: Modificado de Borges (1996).

Tabela 3: Dados dos poços profundos no período de junho de 1999 a maio de 2000.

<b>Código CASAN</b>	<b>Apelido</b>	<b>Vazão média (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>NE médio (m)</b>	<b>ND médio (m)</b>	<b>Prof (m)</b>
250.2.FNS 14	Areias 1	40	5,35	9,25	34
308.2.FNS 26	Areias 2	30	6	11,50	36
324.2.FNS 33	Areias 3	60	6	14,73	39,60
325.2.FNS 34	Areias 4	52	-	-	-
244.2.FNS 8	Coruja	40	4,7	9,7	44
249.2.FNS 13	Torres I	49	4,6	11,30	36
406	Perdizes	60	-	-	-
383	COHAB	41	-	-	-
246.2.FNS 10	Lagoinha	45	1,75	8	39,50
243.2.FNS 10	Eros	45	1,90	10	39,50
307.2.FNS 25	Garcez	36	-	-	-

<b>Código CASAN</b>	<b>Apelido</b>	<b>Vazão média (m³/h)</b>	<b>NE médio (m)</b>	<b>ND médio (m)</b>	<b>Prof (m)</b>
238.2.FNS 2	Bertoldo	36	1,45	10,65	47

Fonte: Modificado de CASAN (2002).

Tabela 4: Dados dos poços profundos e piezômetros ao longo do ano de 2018.

<b>Código CASAN</b>	<b>Apelido</b>	<b>Vazão média (m³/h)</b>	<b>NE médio (m)</b>	<b>ND médio (m)</b>	<b>Prof(m)</b>
248.2.FNS 12	Eros	52	3,25	9,20	39,50
249.2.FNS 13	Torres I	52,80	3,67	14,34	36
250.2.FNS 14	Areias I	40	3,94	12,67	34
324.2.FNS 33	Areias II	56	2,58	15,21	36
308.2.FNS 26	Areias III	85	3,17	11,11	39,60
325.2.FNS 34	Coruja Dourada	51	2,84	13,82	44
406.2.FNS 39	Perdizes	56	6,55	19,34	-
PZ 01 CA	Piezômetro 1 (p1)	-	1,67	2,06	35,80
PZ 02 CA	Piezômetro 2 (p2)	-	1,47	2,13	35,40
PZ 03 CA	Piezômetro 3 (p3)	-	1,35	2,17	-

Fonte: Modificado de CASAN (2018).

#### 2.6.2.6. Estudos sobre vulnerabilidade natural do aquífero

Há um estudo preexistente sobre a vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Campeche utilizando níveis freáticos (NF) médios que leva em consideração os métodos GOD e DRASTIC, segundo o relatório técnico da CASAN (2002). No trabalho de Borges (1996) encontra-se somente um estudo, onde é utilizado o método GOD.

De acordo com Borges (1996), ao utilizar-se o estudo GOD proposto por Foster e Hirata (1988), o Sistema Aquífero Campeche apresentou em uma escala de 0 a 1, o índice de vulnerabilidade igual a 0,6, sendo assim considerado de alto risco. Posteriormente o mesmo estudo foi feito pela CASAN (2002), tendo como resultado um índice igual a 0,8, que representa risco extremo. Esses índices indicam que este aquífero é altamente suscetível à contaminação, por meio da infiltração, a qualquer substância potencialmente poluidora.

O método DRASTIC foi realizado primeiramente no ano de 2002 e consta seu resultado no relatório da CASAN. O estudo seguiu os parâmetros mostrados no quadro 6 e obteve como resultado o mapa de vulnerabilidade apresentado na Figura 21.

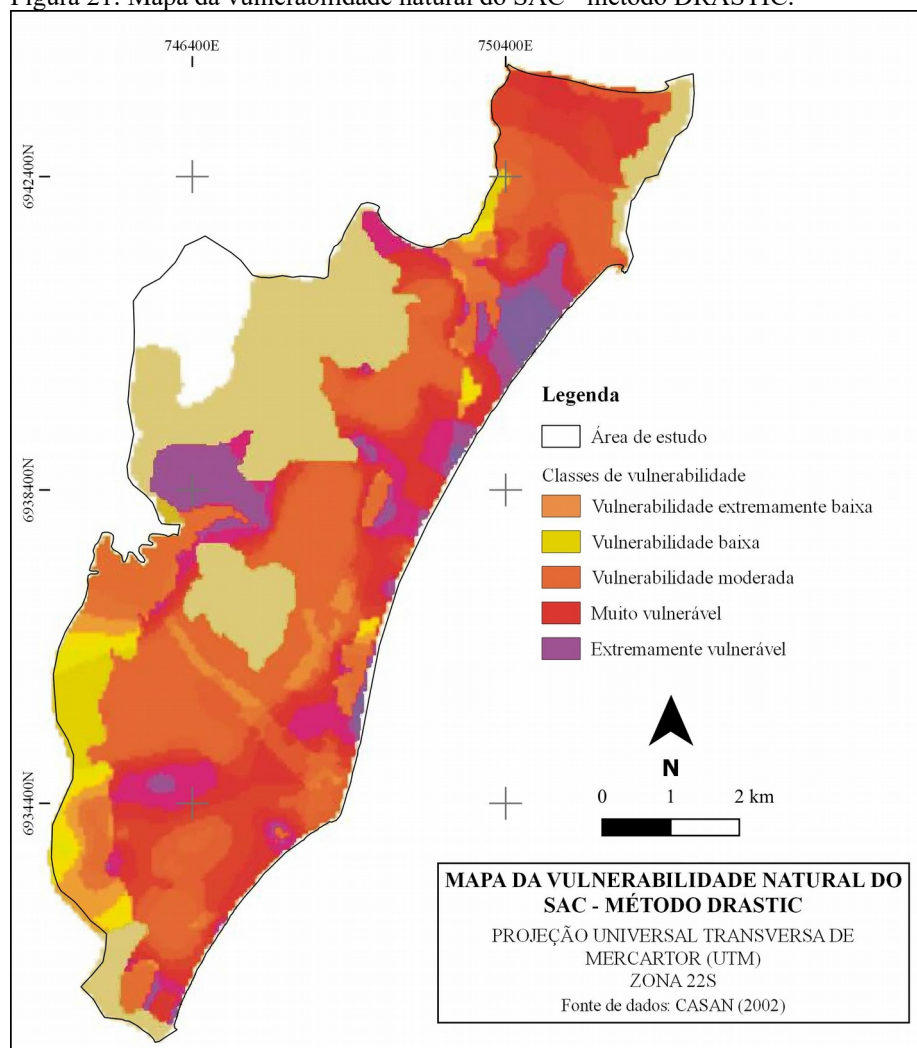


Quadro 6: Alguns parâmetros utilizados para estudo DRASTIC.

Elemento Descritor	Peso	Discretização/ Intervalos de Classe/ Valor do atributo
Espessura da zona não-saturada (D)	5	0m – 1m – 10 1m – 2m – 9 2m – 3m – 7 3m – 4m – 5 4m – 5m – 3 >5m – 1
Recarga (R)	4	Contribuição anual nula – 1 Contribuição anual (0mm – 300mm) – 5 Contribuição anual (>300m) – 9
Topografia (T)	2	Intervalo de cotas (0 – 12m) – 9 Intervalo de cotas (12 m – 24 m) – 8 Intervalo de cotas (24m – 36m) – 7 Intervalo de cotas (36m – 48m) – 3 Intervalo de cotas (48m – 60m) – 3 Intervalo de cotas (>60m) – 1
Geologia (G)	3	Embasamento e depósitos coluviais – 1 Depósitos lagunares/banhados – 5 Depósitos marinhos praias/eólicos – 9

Fonte: CASAN (2002).

Figura 21: Mapa da vulnerabilidade natural do SAC - método DRASTIC.



Fonte: Modificado de CASAN (2002).



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta sessão é dedicada à explicação dos materiais e procedimentos utilizados durante a elaboração deste trabalho. Entre os materiais utilizados estão os dados dos poços tubulares profundos que foram imprescindíveis para o levantamento de campo. Os poços apresentam seus respectivos códigos, apelidos e coordenadas fornecidos pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, juntamente a base de dados da plataforma SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (Quadro 7).

Quadro 7: Dados de códigos, apelidos e localizações (SIRGAS 2000 UTM 22S) dos poços fornecidos pela CASAN (2002), (2018) e a plataforma SIAGAS (2018).

Fonte	Código	Apelido	Coordenadas UTME	Coordenadas UTMN
CASAN (2002/2018)	250.2.FNS 14	Areias 1	746100	6933140
CASAN (2002/2018)	308.2.FNS 26	Areias 2	746163	6933298
SIAGAS (2018)	JA 911		746108	6933291
CASAN (2002/2018)	324.2.FNS 33	Areias 3	746222	6933599
SIAGAS (2018)	JP561		746165	6933594
CASAN (2002/2018)	325.2.FNS 34	Areias 4	746371	6933984
SIAGAS (2018)	JA 912	Coruja Dourada	746323	6933984
CASAN (2002/2018)	244.2.FNS 8	Corujas do Sul	746674	6934978
CASAN (2002/2018)	249.2.FNS 13	Torres I	746677	6934116
SIAGAS (2018)	JP812	Poço da Torre	746626	6934109
CASAN (2002/2018)	406	Perdizes	746325	6934254
CASAN (2002)	383	COHAB	748410	6936471
SIAGAS (2018)	JA910		748352	6936462
CASAN (2002)	246.2.FNS 10	Lagoinha	748770	6937936

Fonte	Código	Apelido	Coordenadas UTME	Coordenadas UTMN
SIAGAS (2018)	9RT-01-SC	Lagoa Pequena (Rio Tavares)	747650	6938000
CASAN (2002/2018)	243.2.FNS 10	Eros	748487	6937495
SIAGAS (2018)	JA909		748439	6937497
CASAN (2002)	307.2.FNS 25	Garcez	749620	6939621
SIAGAS (2018)	JA908		749568	6939619
CASAN (2002)	238.2.FNS 2	Bertoldo	749923	6940890
SIAGAS (2018)	9LC-03-SC		749670	6940980
SIAGAS (2018)	9LC-14-SC	Lagoa da Conceição	751050	6943300

Fonte: Modificado de CASAN (2002), (2018) e SIAGAS (2018).

O levantamento de campo foi realizado para a visitação e reconhecimento dos poços. Para isso, utilizaram-se os seguintes materiais:

- 1) Informações referentes aos poços, como demonstra o quadro 7, para consulta e checagem dos mesmos;
- 2) Planilha elaborada para anotação da localização, identificação e código de cada poço registrado (Anexo A);
- 3) GPS (GARMIN Etrex 30 – software versão 3.0) para obtenção das coordenadas UTME e UTMN dos poços, configurado para o datum WGS84 UTM 22S;
- 4) *Smartphone* para registro fotográfico;
- 5) Equipamento medidor do nível do lençol freático fornecido pela CASAN de marca HS – Hidrosuprimentos modelo HSNA-100 com capacidade de 100m, dimensões 26 x 36 x 25 cm e peso de 5kg (Figura 22). O equipamento utilizado chama-se medidor elétrico do nível do lençol freático que é o responsável pela medição de nível de água. O mesmo calcula a profundidade do lençol freático através de um poço de inspeção e é constituído de um carretel com um cabo, onde em sua extremidade possui um sensor. Assim que o sensor atinge o nível d'água, o aparelho emite um som como sinal e em seu painel é ativado um sensor de luz.

Figura 22: Medidor elétrico de nível de água.



Fonte: Da autora (2018).

Por fim, outros materiais como bases cartográficas e *softwares* auxiliaram e possibilitaram a construção do trabalho e encontram-se apresentados no quadro 8.

Quadro 8: Bases cartográficas e *softwares* utilizados.

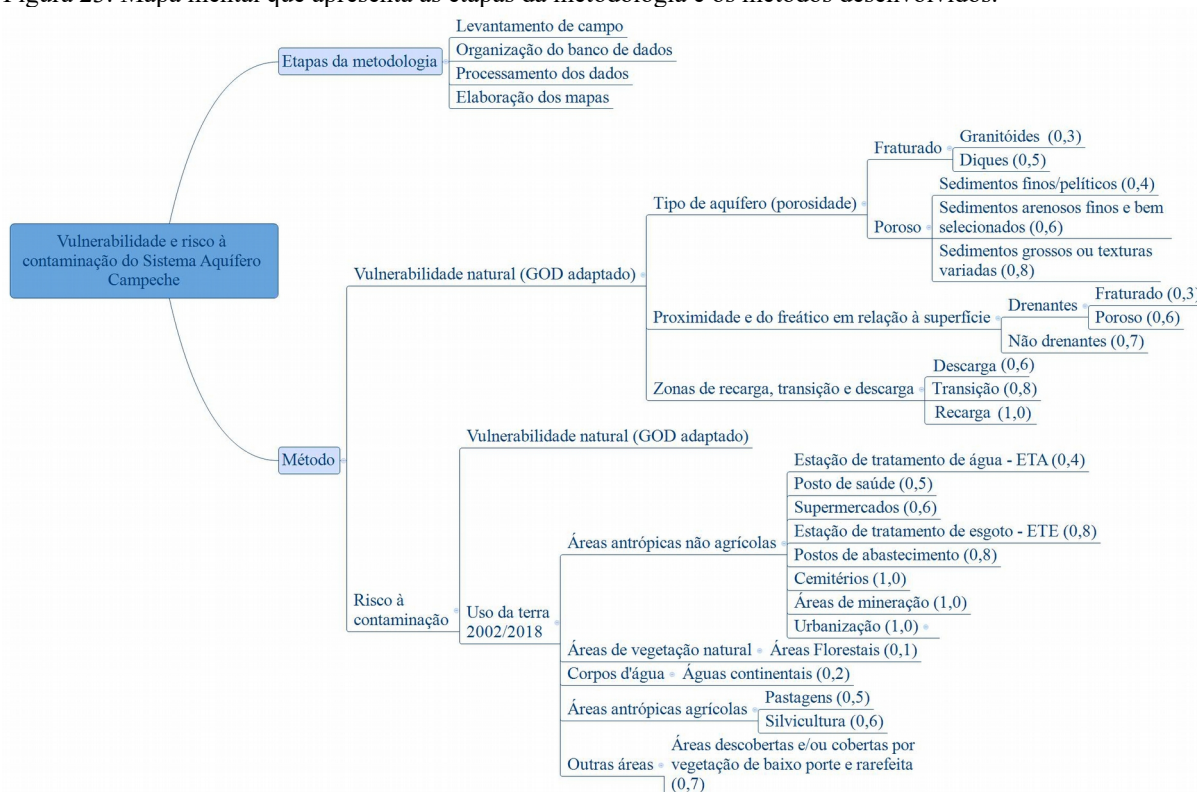
<b>Mapa geológico</b>	Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina dos autores Tomazzoli e Pellerin (2014). O mesmo, embora esteja apresentado na escala 1:50.000, foi elaborado sob base cartográfica em escala 1:2.000 o que, combinado ao elevado grau de detalhamento geológico de suas unidades, torna-o compatível à visualização e impressão em escala 1:10.000. Encontra-se no sistema de coordenadas SAD69 UTM 22S. Este mapa foi reprojetoado no programa QGIS para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 22S, posteriormente foi vetorizado e criado um banco de dados com as informações geológicas: litotipo/tipo de depósito, idade e simbologia. Na área de estudo foram identificados 18 formações geológicas (Figura 10).
<b>Modelo Digital de Terreno (MDT)</b>	Oriundo da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina/SDS (2010), possui a resolução espacial de 1 metro e que posteriormente foi alterada para 2 metros. Os MDTs utilizados foram: SG22-Z-D-V-2 e SG22-Z-D-VI-1.
<b>Base de dados OSM</b>	Utilizada em formato shape para obtenção dos acessos principais à área.
<b>Google Earth e Street View plugin</b>	Para o mapeamento do uso e ocupação da terra foram utilizadas as imagens de satélite do Google Earth dos dias 19/11/2002 e 20/05/2018. Foi utilizado também o Street View plugin no QGIS, o qual serviu de ferramenta de busca para a localização/visualização de supermercados, cemitérios, postos de saúde, hospitais e postos de combustíveis da região.
<b>QGIS versão 3.4</b>	Trata-se de um software livre de código-fonte aberto e é considerado uma multiplataforma de sistemas de informação geográfica. Este permite a visualização, edição, vetorização, georreferenciação, processamento e análise de dados geográficos. Para multiplicação dos mapas foi utilizada a ferramenta “Calculadora Raster”. Por ser um software livre, qualquer usuário pode estudar, mudar e melhorar o mesmo. Um exemplo disso é a permissão de utilizar e/ou criar complementos, escritos em linguagem Python ou C++, que podem estender e complementar ferramentas pré-existentes.

Fonte: Da autora (2018).

### 3.1. ETAPAS DA METODOLOGIA

As etapas da metodologia e os métodos desenvolvidos neste trabalho encontram-se representados a seguir (Figura 23).

Figura 23: Mapa mental que apresenta as etapas da metodologia e os métodos desenvolvidos.



Fonte: Da autora (2018).

#### 3.1.1. Levantamento de campo

A visitação aos poços tubulares profundos foi realizada no dia 19 de abril de 2018, juntamente a um técnico da CASAN (José Hamilton Alves Batista) e a professora Liliana Sayuri Osako, com os seguintes objetivos:

- 1) Medição do NF de cada poço;
- 2) Revisão da localização, identificação dos poços com base nos dados da CASAN (2002 - 2018) e SIAGAS (2018);
- 3) Registro fotográfico dos mesmos.

#### 3.1.2. Organização do banco de dados

Nesta etapa foram realizadas as seguintes atividades:

- 1) Montagem da planilha, no software LibreOffice Calc, dos dados de níveis freáticos medidos em campo;
- 2) Pesquisa dos materiais a serem utilizados no estudo (vide Quadro 8), que integram na geração dos produtos cartográficos.
- 3) Discussão e decisão de quais seriam os parâmetros, usos da terra e valores para o método GOD adaptado e uso e ocupação da terra.

### 3.1.3. Processamento dos dados

Em ambiente SIG, foram seguidos os seguintes passos:

- 1) Digitalização, georreferenciamento e reprojeção das imagens de satélite, MDT e mapa geológico no software QGIS versão 3.4;
- 2) Vetorização dos três mapas de parâmetros do método GOD e dos mapas de uso e ocupação da terra dos anos de 2002 e 2018;
- 3) Organização das tabelas de atributos destes *shapefiles* constando os parâmetros, usos da terra e valores a serem utilizados;
- 4) Conversão de todos os *shapefiles*, citados anteriormente, em *rasters* para que fosse possível a realização do cruzamento entre as bases, a fim de gerar os mapas de vulnerabilidade natural (parâmetro G *versus* parâmetro O *versus* parâmetro D) e de risco à contaminação (mapa da vulnerabilidade natural *versus* mapa de uso e ocupação da terra).

### 3.1.4. Elaboração de mapas

Após o processamento dos dados foram gerados os mapas de vulnerabilidade natural, uso e ocupação do solo (2002 e 2018) e risco à contaminação Sistema Aquífero Campeche (2002 e 2018) de escala 1:25.000 através do *software* QGIS.

## 3.2. VULNERABILIDADE NATURAL

Tendo como diretriz o método GOD de Foster et al. (2006), e esta pesquisa se utilizou de uma adaptação do método, devido à limitação de informações e as especificidades da área, pois os resultados seriam pouco expressivos para a realização do estudo. Dentre as limitações/especificidades podemos destacar:

- 1) Trata-se de um aquífero predominantemente livre, não confinado o que resulta em um valor constante para o parâmetro “G”;

- 2) As classificações do parâmetro “O” são muito restritas para este estudo e podem ter uma maior amplitude descritiva para um melhor detalhamento;
- 3) A restrita espacialização dos poços gera dificuldade de representar as profundidades da água subterrânea ao longo da área para o parâmetro “D”.

Assim, foram considerados os seguintes parâmetros para o estabelecimento da vulnerabilidade natural: tipo de aquífero (classificado quanto a sua porosidade), proximidade do nível freático em relação à superfície e tipo de zona (recarga, transição e descarga). O quadro 9 apresenta um comparativo entre o método GOD clássico e o adaptado.

Quadro 9: Quadro demonstrativo do método de Foster et al. (2006) *versus* método GOD adaptado aplicado nesse estudo.

<b>Método GOD por Foster et. al (2006)</b>	<b>Parâmetros</b>		<b>Método GOD adaptado</b>	<b>Parâmetros</b>
<b>G</b>	Tipo de aquífero (pressão atuante)		<b>G</b>	Tipo de aquífero (porosidade)
<b>O</b>	Ocorrência dos Estratos de Cobertura		<b>O</b>	Proximidade do freático em relação à superfície
<b>D</b>	Profundidade da superfície freática		<b>D</b>	Zonas de Recarga, Transição e Descarga

Fonte: Da autora (2019).

O parâmetro G, no método de Foster et al (2006), define o tipo de aquífero em relação a sua pressão atuante (confinado, semiconfinado, não confinado). Nesta pesquisa, o mesmo parâmetro é classificado em relação a sua porosidade (fraturado e poroso), sendo Poroso para sedimentos grossos ou texturas variadas, sedimentos arenosos finos e bem selecionados e sedimentos finos, pelíticos; e Fraturado para diques e unidades granitóides do embasamento cristalino.

O parâmetro “O”, no método de Foster et al (2006), é definido pela ocorrência dos estratos de cobertura e suas características litológicas. Nesta pesquisa, o mesmo foi classificado em relação a proximidade do lençol freático e a condição de saturação do solo, sendo considerado Drenante (associado às áreas de terraços, menor proximidade ao lençol e menor a probabilidade de saturação do solo) e Não Drenante (associado às áreas de baixios, maior proximidade ao lençol e maior a probabilidade de saturação do solo).

O parâmetro “D”, no método de Foster et al. (2006), é definido pela profundidade da superfície freática. Nessa pesquisa, o mesmo foi classificado em relação às zonas de recarga, transição e descarga, tendo como base informações contidas no relatório da CASAN (2002). A adoção dessa característica e a não utilização do mapa de profundidades do lençol freático apresentado na Figura 16, se deve ao fato do SAC apresentar grande oscilação nos níveis freáticos, chegando a aflorar em condições de grande e/ou prolongadas pluviosidades.

Todos os parâmetros e seus critérios tiveram como base os polígonos das unidades geológicas do mapa geológico de Tomazzoli e Pellerin (2014) e receberam diferentes valores (quadro 10), diretamente proporcionais a vulnerabilidade natural do SAC. Assim, quanto maior a pontuação, maior é a vulnerabilidade natural, quanto menor for a pontuação, menor ela será.

Quadro 10: Valores de vulnerabilidade natural atribuídos para cada parâmetro.

Parâmetros	Classificações		Unidades geológicas	Valores
<b>Tipo de aquífero (porosidade)</b>	Fraturado	Granitóides	PGi – Granito Ilha PGsp - Granito São Pedro de Alcântara PGt – Granito Itacorubi	0,3
		Diques	KAn – Dique de Andesito KDb – Dique de Diabásio PRi – Dique de Riolito	0,5
	Poroso	Sedimentos finos, pelíticos	HLg – Depósitos Flúvio Lagunares-Lacustres HPm – Depósitos de Planície de Maré HPp – Depósitos Paludiais	0,4
		Sedimentos arenosos finos e bem selecionados	Heh – Depósitos Eólicos (dunas transversais ativas) HFb – Depósitos de Fundo de Baía/Bancos de Areia HLp – Depósitos Lagunares Praiais PIEc – Depósitos Eólicos (dunas tipo “climbing”) PIEp - Depósitos Eólicos (dunas longitudinais fixas) PIMp – Depósitos Marinhos Praiais/recobertos ou não por dunas	0,6
		Sedimentos grossos ou texturas variadas	HCa – Depósitos Colúvio-Aluvionares HMh – Depósitos Marinhos Praiais Atuais HPs – Depósitos Marinhos Praiais sub-atuais	0,8
	<b>Proximidade do freático em relação à superfície</b>	Drenante	KAn – Dique de Andesito KDb – Dique de Diabásio PRi – Dique de Riolito PGi – Granito Ilha PGsp – Granito São Pedro de Alcântara PGt – Granito Itacorubi	0,3
HCa – Depósitos Colúvio-Aluvionares Heh – Depósitos Eólicos (dunas transversais ativas) HMh – Depósitos Marinhos Praiais Atuais PIEc – Depósitos Eólicos (dunas tipo “climbing”) PIEp - Depósitos Eólicos (dunas longitudinais fixas) PIMp – Depósitos Marinhos Praiais/recobertos ou não por dunas			0,6	
Não Drenante		HFb – Depósitos de Fundo de Baía/Bancos de Areia HLg – Depósitos Flúvio Lagunares-Lacustres HLp – Depósitos Lagunares Praiais HPm – Depósitos de Planície de Maré HPp – Depósitos Paludiais HPs – Depósitos Marinhos Praiais sub-atuais	0,7	
<b>Zonas de recarga, transição e descarga</b>	Descarga	HFb – Depósitos de Fundo de Baía/Bancos de Areia HLg – Depósitos Flúvio Lagunares-Lacustres HLp – Depósitos Lagunares Praiais HPm – Depósitos de Planície de Maré	0,6	

Parâmetros	Classificações	Unidades geológicas	Valores
		HPp – Depósitos Paludiais HPs – Depósitos Marinhos Praiais sub-atuais	
	Transição	HCa – Depósitos Colúvio-Aluvionares HMh – Depósitos Marinhos Praiais Atuais PIEc – Depósitos Eólicos (dunas tipo “climbing”) PIMp – Depósitos Marinhos Praiais/recobertos ou não por dunas	0,8
	Recarga	KAn – Dique de Andesito KDb – Dique de Diabásio PRi – Dique de Riolito PGi – Granito Ilha PGsp - Granito São Pedro de Alcântara PGt – Granito Itacorubi PIEp - Depósitos Eólicos (dunas longitudinais fixas) Heh – Depósitos Eólicos (dunas transversais ativas)	1,0

Fonte: Da autora (2019).

Logo após o cruzamento dos pesos entre os parâmetros e, no intuito de gerar o mapa da vulnerabilidade natural, fez-se necessário determinar os intervalos das classes de vulnerabilidade (insignificante, baixa, média, alta e extrema). Para isso, foram estabelecidos valores de extremo e com base neles fatiaram-se as classes conforme proposto por Foster e Hirata (2006).

### 3.3. RISCO A CONTAMINAÇÃO

O método utilizado para o realizar o mapa de risco à contaminação foi o mapeamento de uso e ocupação da terra. O mapa de risco é resultante do cruzamento do mapa de vulnerabilidade natural e o de uso e ocupação da terra.

#### 3.3.1. Uso e ocupação da terra

Na área de estudo existem diversas formas de uso e ocupação da terra, sendo que algumas podem ser potenciais fontes de contaminação. Essas mudanças no uso e ocupação do solo da região são constantes, aumentam cada vez mais conforme o crescimento populacional e conseqüentemente também acabam afetando/refletindo nas águas subterrâneas.

Para determinar o risco de contaminação foi necessário o mapeamento do uso da terra e a atribuição de valores. Foram escolhidos os cenários dos anos 2002 e 2018 para compor esta pesquisa, seguindo os critérios recomendados pelo Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) que nesta área de estudo considera 5 categorias: áreas antrópicas agrícolas e não agrícolas, áreas de vegetação natural, corpos d’água e outras áreas. A interpretação e vetorização dos limites das classes de uso e ocupação da terra deram-se de forma manual, através da ferramenta edição de polígonos no *software* QGIS. Logo após foram classificadas e a elas atribuídas valores de 0 a 1, os quais variam



proporcionalmente com o risco à contaminação que remetem (Quadro 11). Na Figura 24, alguns usos da terra encontram-se representados fotograficamente para melhor representação e caracterização dos mesmos.

Quadro 11: Distribuição das classes e valores para o mapeamento do uso e ocupação da terra.

<b>USO E OCUPAÇÃO DA TERRA</b> <b>Categorias</b>	<b>USO E OCUPAÇÃO DA TERRA</b> <b>Classificações</b>	<b>Perigo à poluição</b>	<b>VALORES</b>
<b>Áreas antrópicas não agrícolas</b>	ETA (Estação de Tratamento de Água)	Possuem processos de controle rigorosos, porém trabalham com produtos químicos para o tratamento	0,4
	Postos de saúde, hospitais	O resíduo produzido por estes é considerado perigoso devido ao seu caráter infeccioso, tóxico ou radioativo	0,5
	Supermercados	Trânsito intenso de cargas diversas e pátio de manobras e estacionamento de veículos (óleos e graxas)	0,6
	ETE (Estação de Tratamento de Esgoto)	Possuem processos de controle rigorosos, porém podem apresentar vazamentos e utilizam produtos químicos diversos	0,8
	Postos de abastecimento	BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos)	0,8
	Cemitérios	Necrochorumes	1,0
	Áreas de mineração	Não metálicos: materiais produzidos para construção civil	1,0
	Zona urbana	Retirada do solo e impermeabilização, somada ao uso frequente de fossas sépticas + sumidouros,	1,0
<b>Áreas antrópicas agrícolas</b>	Pastagens	Retirada da vegetação nativa, pode incluir insumos como hormônios e amônia	0,5
	Silvicultura	Insumos químicos usados no processo e/ou liberação de fenóis (pinus)	0,6
<b>Áreas de vegetação natural</b>	Área florestal	Não recebe insumos agrícolas e não permite ocupação humana	0,1
<b>Corpos d'água</b>	Águas continentais	Voltadas a lazer e desporto em corpo d'água continental	0,2
<b>Outras áreas</b>	Áreas descobertas e/ou cobertas por vegetação de baixo porte e rarefeita	Áreas de praias, dunas e extensões de areia ou seixos no litoral ou no continente	0,7

Fonte: Modificado de IBGE (2013).

Figura 24: Exemplos de usos da terra classificados de acordo com o Manual Técnico do Uso da Terra (BRASIL, 2013): A) pastagens (UTME 745493, UTMN 6935053), B) Outras áreas (UTME 751618, UTMN 6942077), C) silvicultura (UTME 748595, UTMN 6939174), D) águas continentais (Lagoa Pequena UTME 748669, UTMN 6938370)



Fonte: Da autora (2019).

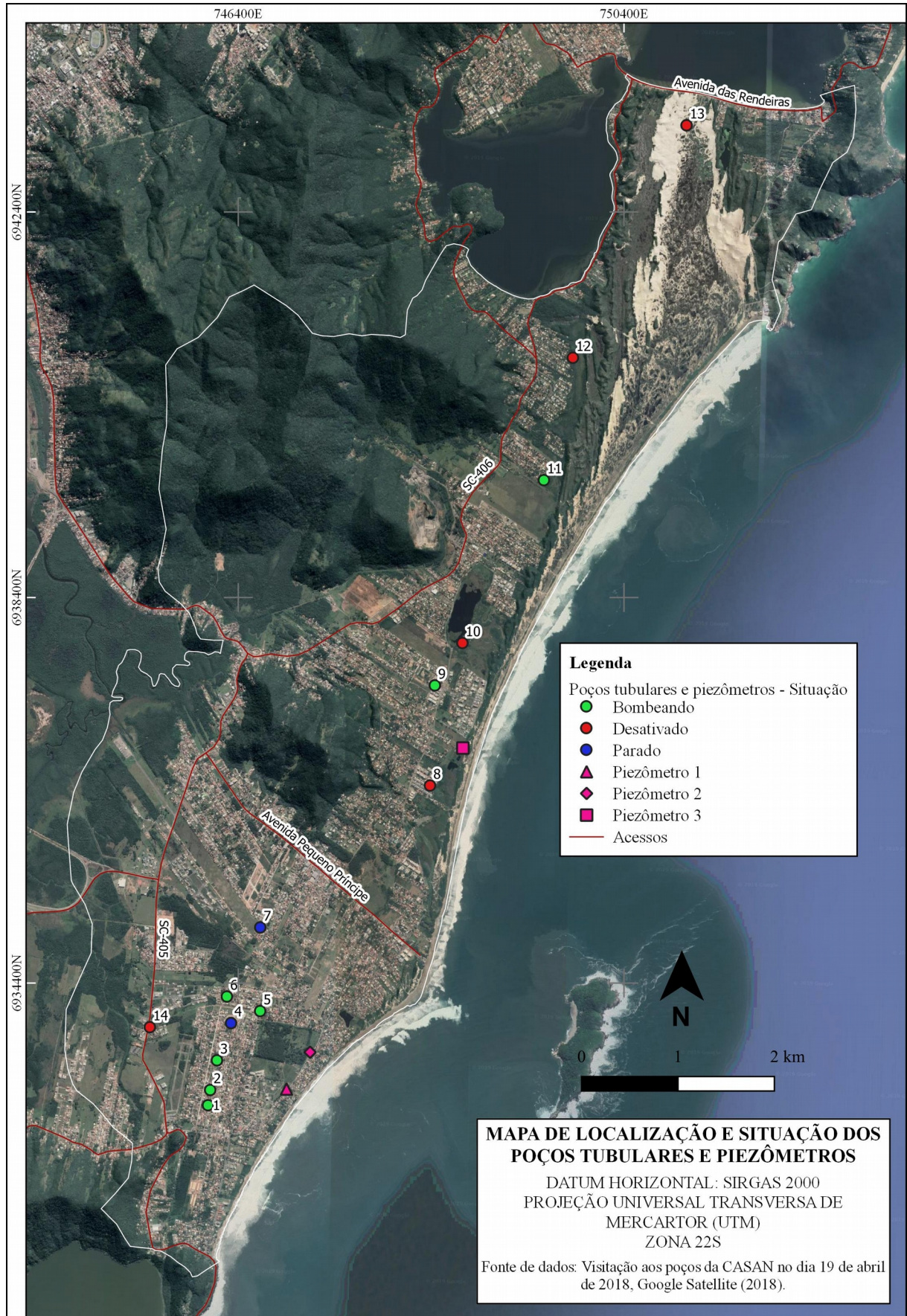
## **4. RESULTADOS**

### **4.1. LEVANTAMENTO DE CAMPO**

Em atividade de campo foram identificados 14 poços tubulares profundos e também três piezômetros na região do Sistema Aquífero Campeche. Desses 14 poços, um total de sete estavam em operação (verdes), dois inoperantes (azuis) e cinco definitivamente desativados (vermelhos) no dia 19 de abril de 2018, conforme o mapa a seguir (Figura 25). A situação dos poços pode alternar entre si dependendo do consumo da população naquele período (demanda).



Figura 25: Mapa de localização dos poços e piezômetros da CASAN de acordo com a visita realizada no dia 19 de abril de 2018.

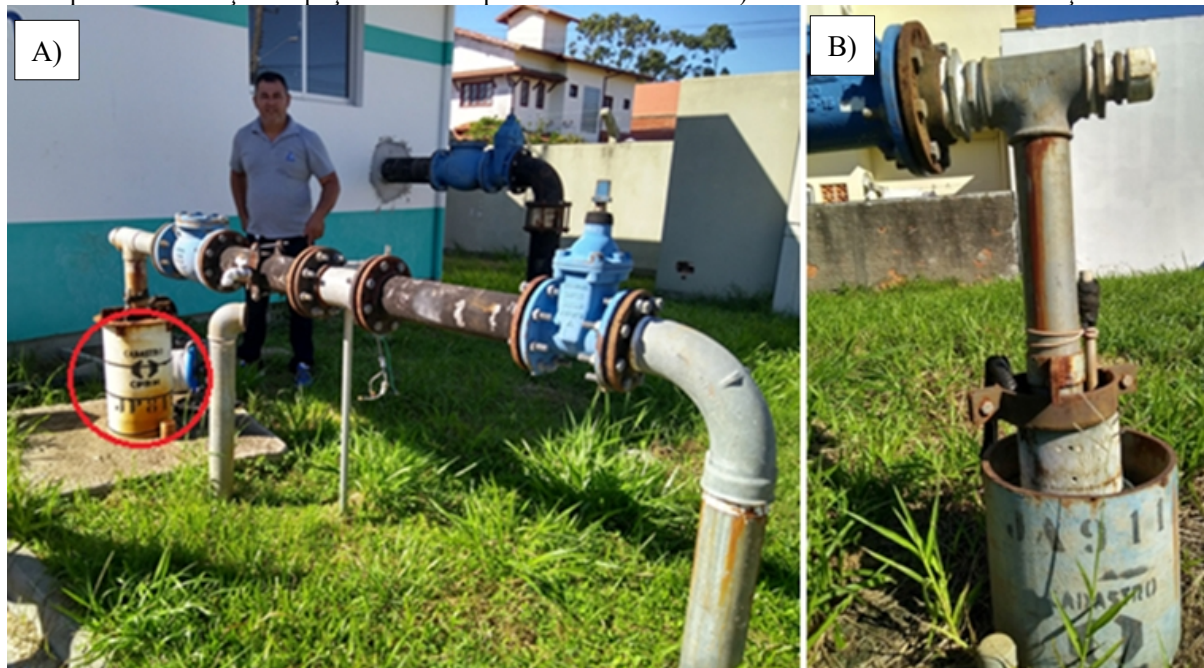


Fonte: Da autora (2018).



Em relação aos poços (Quadro 12), os mesmos ficam localizados em terrenos próprios, fechados com portões e cadeados para sua segurança. As medições dos níveis freáticos são realizadas uma vez ao mês e alguns apresentam o código da CPRM/SIAGAS (em destaque na Figura 26).

Figura 26: a) Estrutura padrão dos poços tubulares profundos em operação da CASAN (poço Torres I) e em destaque a identificação do poço cadastrado pela CPRM/SIAGAS. b) Foto em detalhe da identificação.



Da autora (2018).

Os poços em operação atualmente são: Areias I, II, III e IV, Perdizes, Torres I, Corujas do Sul, Eros e Garcez. Alguns destes poços, como o Eros e o Garcez, apresentam acoplado um dosador pressurizado chamado de NORCLOR TC 9005 (Figura 27) que tem como principal função a desinfecção da água, dosando as quantidades de cloro apropriadas para consumo humano.

Figura 27: Dosador Pressurizado NORCLOR TC9005 no poço Eros.



Fonte: Da autora (2018).

Os poços COHAB, Lagoinha, Bertoldo, Lagoa da Conceição e PM SC-405 estão desativados completamente (Figura 28). O COHAB foi transferido de posição, pois onde se localizava foi construído um condomínio (atualmente encontra-se perto do muro do estacionamento do estabelecimento). O Lagoinha encontra-se lacrado, porém acumula, no seu interior, muitas folhas e outros detritos não identificáveis a olho nu. O Lagoa da Conceição não foi possível avistá-lo, pois o mesmo encontra-se soterrado pelas dunas. Os poços PM SC-405 e Bertoldo estão situados dentro de estabelecimentos: o primeiro no pátio da Polícia Militar da SC-405 e o segundo nos fundos de um condomínio.

Figura 28: Exemplo de poço desativado (poço Bertoldo) somente a tubulação sem a estrutura externa maior como a figura 25 a.



Fonte: Da autora (2018).

Quadro 12: Poços tubulares profundos identificados e medidos durante a visitação em abr/2018.

Poço	Código		Apelido	Coord E	Coord N	Nível Estático (ES) em metros	Nível dinâmico (DI) em metros	Cota do poço (m)	Cota do Terreno (m)	Medição em campo (prof. NA)	Prof. do poço (m)	Situação
	CASAN	SIAGAS										
1	250.2.FNS 14	X	Areias I	746086	6933132	2,3	13,68	0,87	7,59	6,15	34,34	bombeando
2	308.2.FNS 26	JA 911	Areias II	746109	6933290	1,54	18,48	0,64	7,34	6,44	36,8	bombeando
3	324.2.FNS 33	JP561	Areias III	746179	6933598	3,46	13,49	0,84	6,46	3,84	36	bombeando
4	325.2.FNS 34	JA912	Areias IV ou Coruja Dourada	746325	6933984	3,8	15,8	0,80	7,8	4,8	38	parado
5	249.2.FNS 13	JP812	Torres I	746627	6934109	6,3	16,19	0,66	9	3,36	35,05	bombeando
6	406	X	Perdizes	746282	6934260	2,34	17,55	0,75	5,14	3,55	45	bombeando
7	244.2.FNS 8	X	Corujas do Sul	746628	6934977	6,35	*	0,39	7,11	1,15	35,75	parado
8	383	JA910	COHAB	748389	6936449	3,28	parado	0,08	4,88	1,68	44	desativado
9	243.2.FNS 10	JA909	Eros	748439	6937488	2,90	7,84	0,90	6,75	4,75	41,85	bombeando
10	246.2.FNS 10	X	Lagoinha	748725	6937928	X	X	X	X	2,01	X	desativado
11	307.2.FNS 25	JA 908	Garcez ou Pedra II	749570	6939618	5,09	17,09	0,41	6,69	1,08	42,70	bombeando
12	238.2.FNS 2	9LC-03-SC	Bertoldo	749871	6940888	3,55	X	0,30	4,33	2,59	72	desativado
13	X	9 LC-14- SC	Lagoa da Conceição	751050	6943300	X	X	X	X	X	44	desativado
14	X	PM SC 405		745483	6933942	0,48	X	0,09	2,98	X	X	desativado

\*Corujas do Sul não possui NF dinâmico, pois ainda não foi bombeado e foi construído para qualquer emergência de abastecimento que possa ocorrer.

Fonte: Da autora (2018).



O SAC possui alguns dispositivos de gestão integrada de águas, assim como o controle da cunha salina. O monitoramento de eventuais intrusões salinas é realizado através de piezômetros (Figura 29 e Quadro 13), que estão instalados na mesma direção dos poços que estão em operação (bombeando) e estão dispostos ao longo da costa. Suas instalações servem como uma linha de proteção e controle da posição da cunha salina em relação ao aquífero. Além disso, também servem como ponto de amostras para análises hidroquímicas (principalmente para verificar a quantidade de cloreto presente naquela região). As coletas para amostragem são realizadas uma vez por semana no verão (devido à alta temporada e alto consumo) e uma vez ao mês nas demais estações (baixa temporada).

Figura 29: Piezômetro (PZ2)



Fonte: Da autora (2019).

Quadro 13: Piezômetros localizados no Sistema Aquífero Campeche.

<b>Piezômetros</b>	<b>Coordenadas UTME</b>	<b>Coordenadas UTMN</b>	<b>Nível Estático (ES) (m) *(ES= NF - Cota do piez)</b>	<b>Cota do piezômetro (m)</b>
<b>PZ 1</b>	746901	6933300	1,265	0
<b>PZ 2</b>	747145	6933682	0,82	0,37
<b>PZ 3</b>	748730	6936838	1,375	0

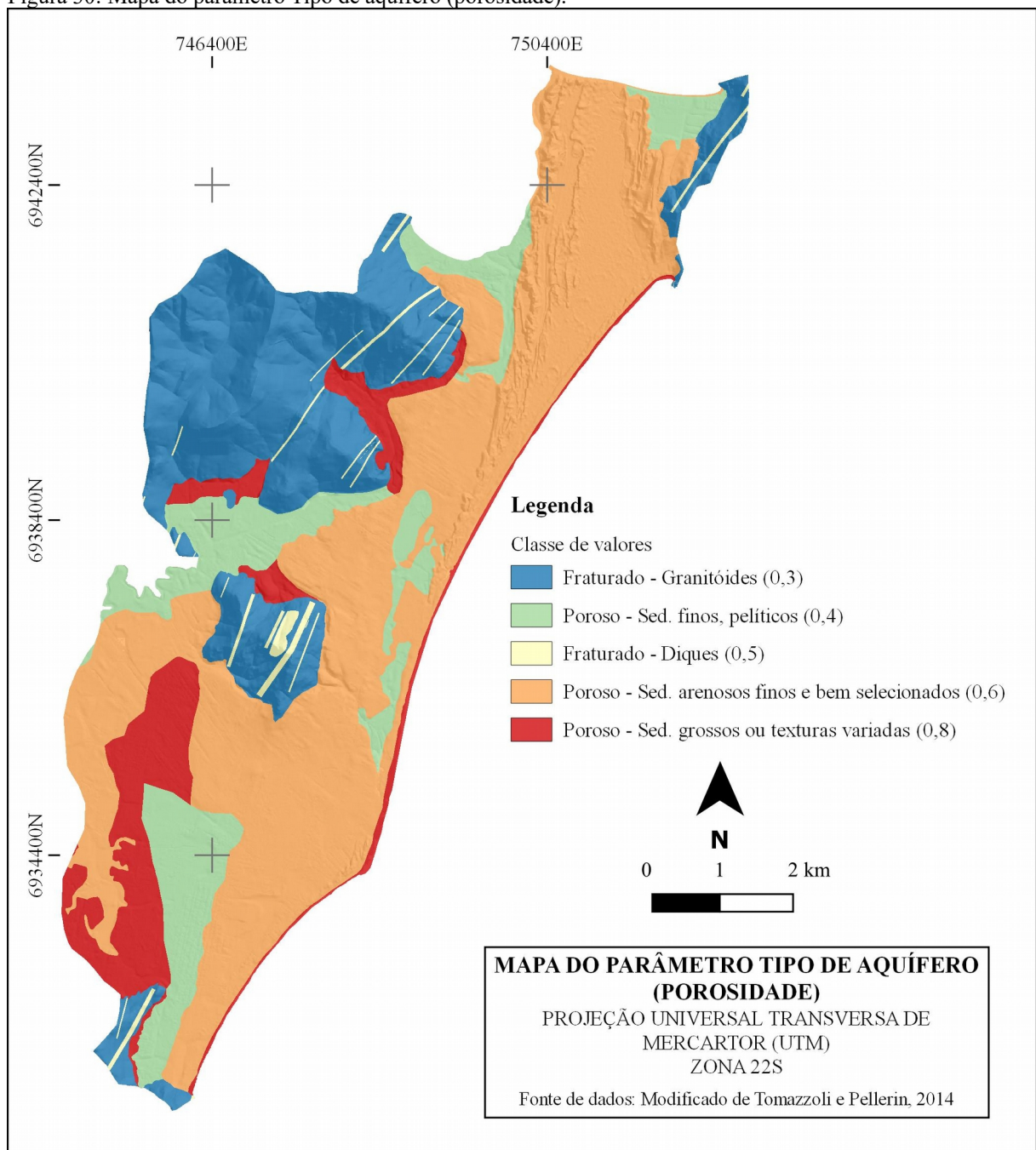
Fonte: Da autora (2018).



## 4.2. VULNERABILIDADE NATURAL

Das 18 unidades geológicas presentes na área de estudo e totalizando uma área de aproximadamente (~) 41,22 km<sup>2</sup>, o primeiro parâmetro “Tipo de Aquífero” (Figura 30), mostrou que da tipologia fraturada tem ~10,32 km<sup>2</sup> (25,03%) compreendem granitóides e ~0,58 km<sup>2</sup> (1,41%) compreendem diques. Da tipologia porosa, a predominância está entre os sedimentos arenosos finos e bem selecionados com ~20,02 km<sup>2</sup> (48,56%), seguido dos sedimentos finos/pelíticos que compreendem ~5,81 km<sup>2</sup> (14,10%) da área e por último, dos sedimentos grossos ou texturas variadas com ~4,49 km<sup>2</sup> (10,90%).

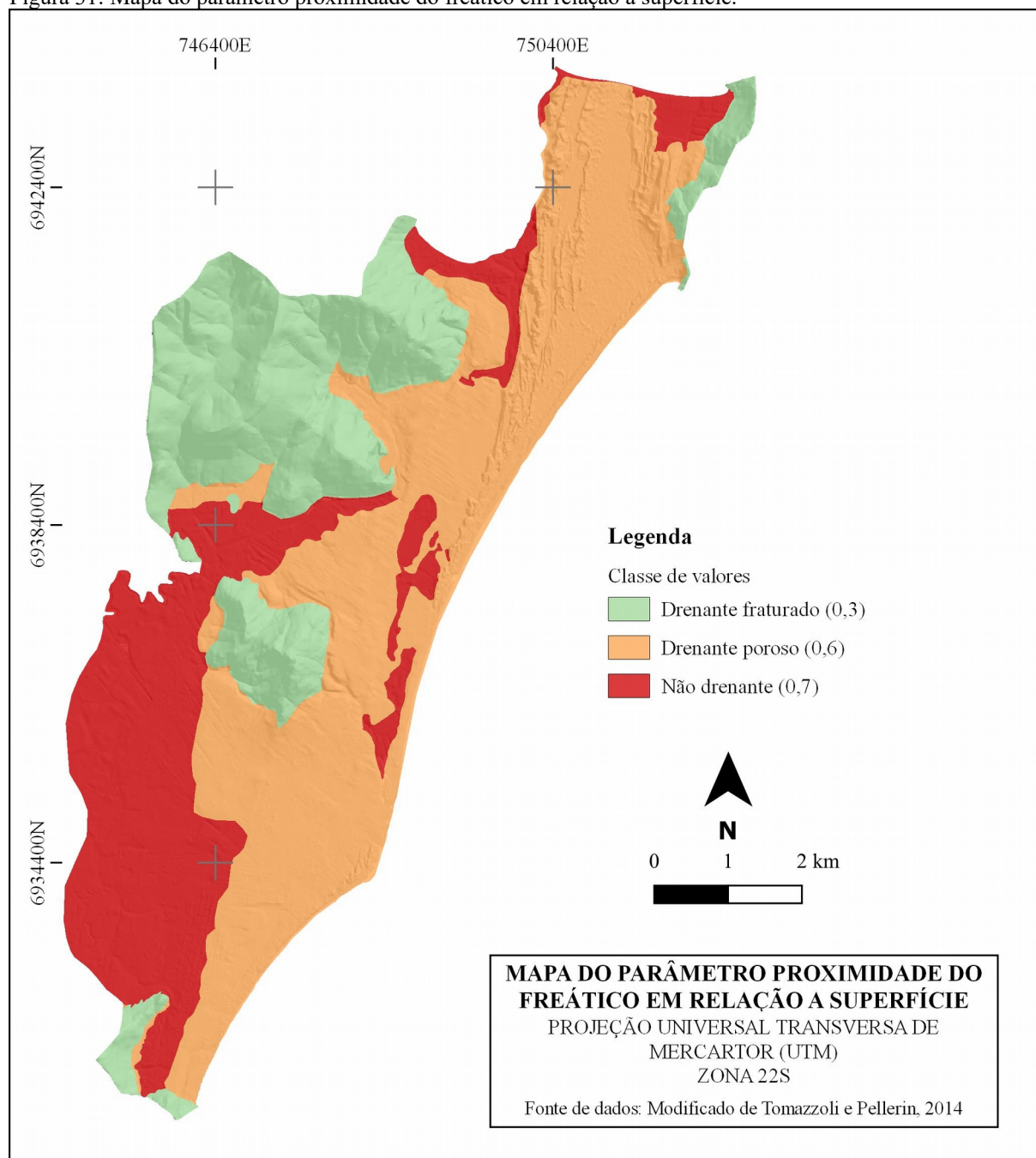
Figura 30: Mapa do parâmetro Tipo de aquífero (porosidade).



Fonte: Da autora (2019).

O segundo parâmetro de “Proximidade do freático em relação a superfície” mostra a predominância de zonas drenantes (Figura 31) com 12 unidades geológicas que abrangem o total de ~29,90 km<sup>2</sup> (72,54%) da área de estudo para ~11,32 km<sup>2</sup> (27,46%) das não drenantes.

Figura 31: Mapa do parâmetro proximidade do freático em relação a superfície.

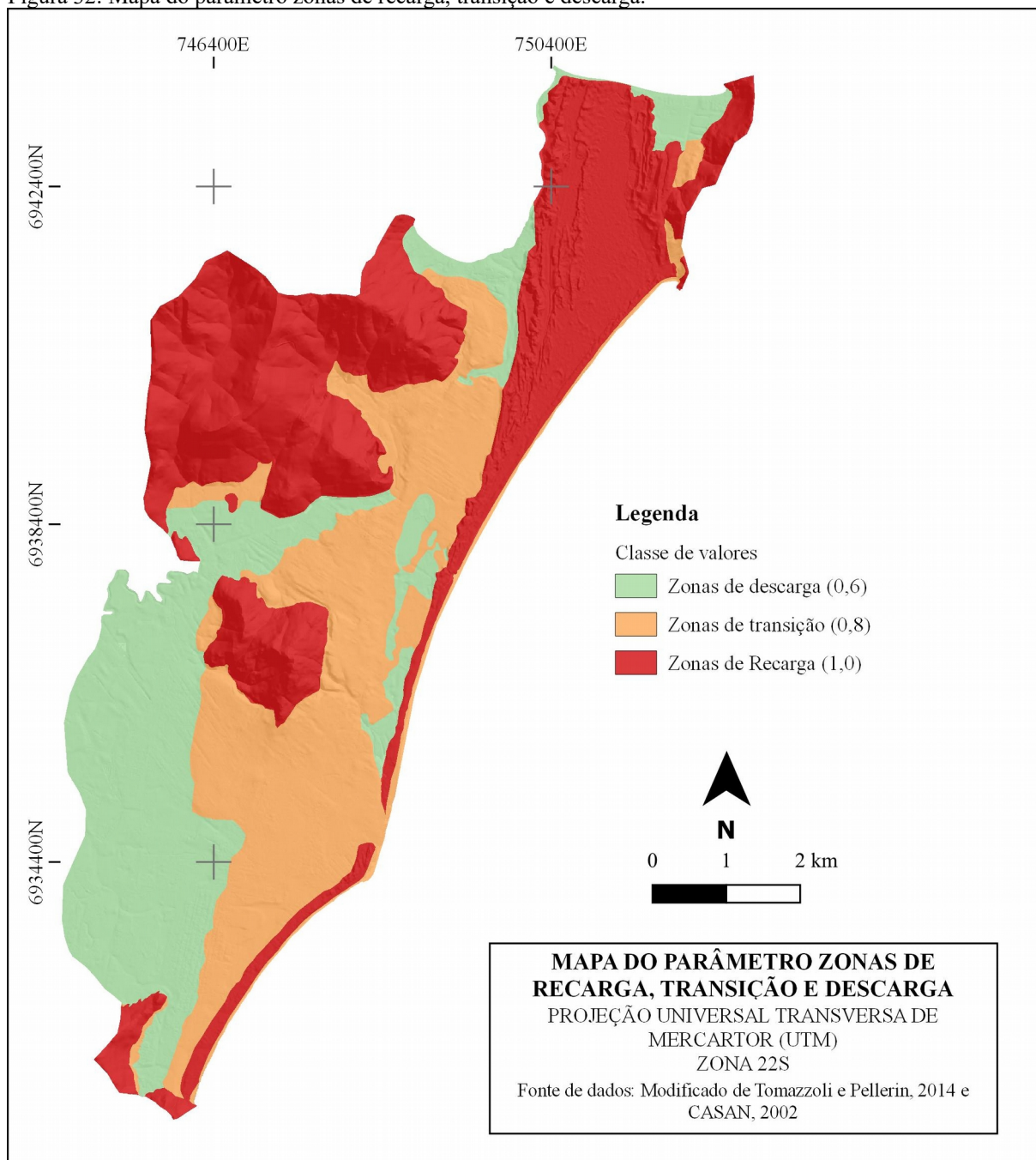


Fonte: Da autora (2019).

O terceiro parâmetro “Zonas de recarga, transição e descarga” (Figura 32) mostrou a predominância de zonas de recarga (8 unidades geológicas) que totalizando compreendem ~17,61 km<sup>2</sup>

(42,73%) da área de estudo, seguidos das zonas de transição (~12,29 km<sup>2</sup> ou 29,81%) e por fim as de descarga (~11,32 km<sup>2</sup> ou 27,46%).

Figura 32: Mapa do parâmetro zonas de recarga, transição e descarga.

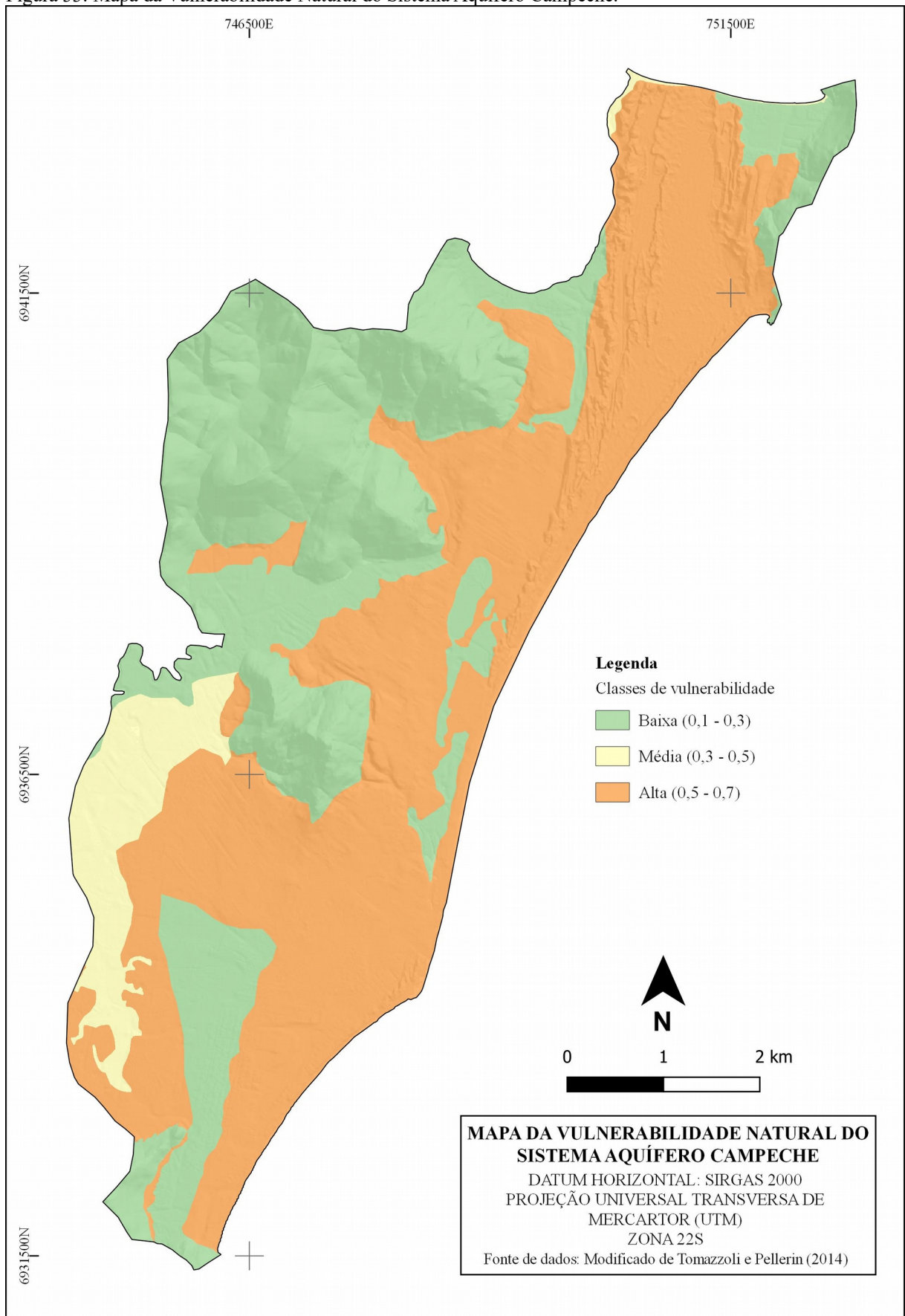


Fonte: Da autora (2019).

Após o cruzamento dos parâmetros, obteve-se o resultado das áreas correspondentes as classes de vulnerabilidade (Figura 33), as quais são: alta ~21,80 km<sup>2</sup> (52,88%), baixa ~16,71 km<sup>2</sup> (40,54%), média ~2,71 km<sup>2</sup> (6,57%).



Figura 33: Mapa da Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Campeche.



Fonte: Da autora (2019).

### 4.3. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

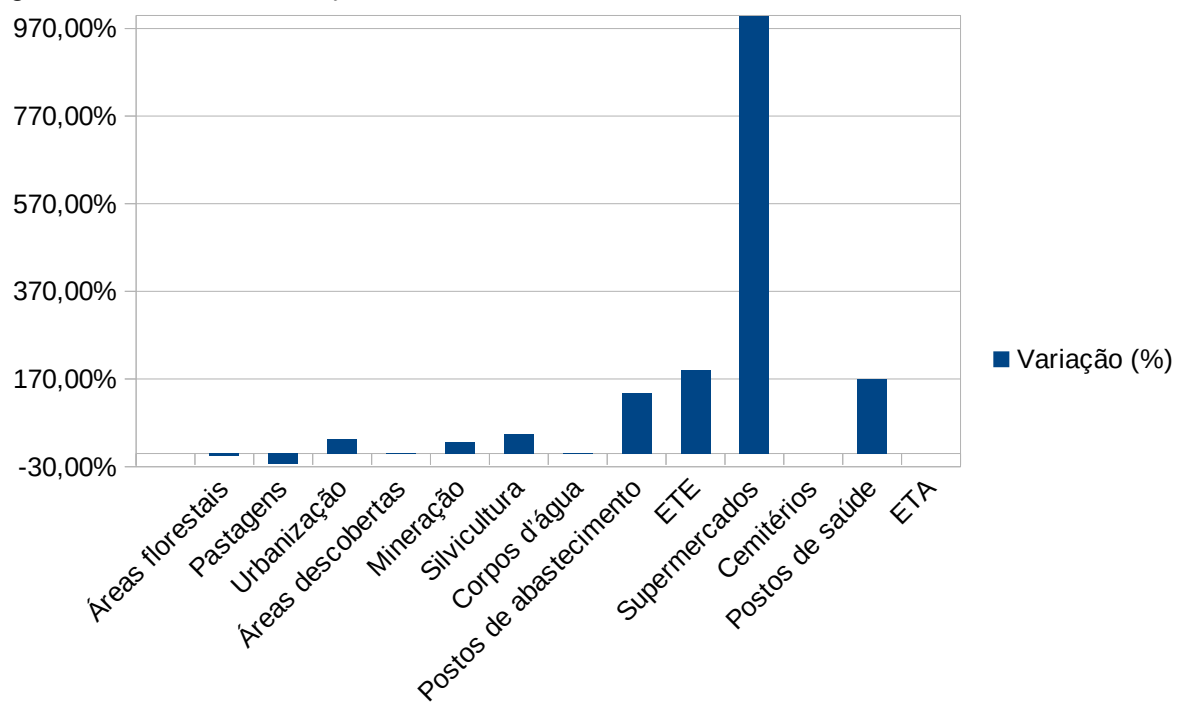
Mapas de uso e ocupação da terra foram construídos para os cenários de 2002 e 2018, no intuito de confrontar com os dados apresentados pelo relatório da CASAN e prover uma atualização (Figuras 35 e 36). A Tabela 5 e a Figura 34 apresentam os resultados aproximados referentes a cada uso para a área de abrangência representada em km<sup>2</sup> e em porcentagem dentro do espaço estudado. A mesma tabela apresenta ainda a variação de usos e cobertura entre os cenários avaliados.

Tabela 5: Área em km<sup>2</sup> e respectiva porcentagem de acordo com o uso e ocupação da terra para os anos de 2002 e 2018.

Usos	2002		2018		Variação (%) (2018-2002)/2002*100
	Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	
Áreas florestais	15,536920	37,69	14,628295	35,49	-5,85
Pastagens	8,953568	21,72	6,898933	16,74	-22,95
Zona Urbana	8,438284	20,47	11,298369	27,41	33,89
Áreas descobertas	7,763672	18,83	7,644878	18,55	-1,53
Mineração	0,184165	0,45	0,232297	0,56	26,14
Silvicultura	0,158653	0,38	0,227973	0,55	43,69
Corpos d'água	0,151846	0,37	0,155238	0,38	2,23
Postos de abastecimento	0,010618	0,03	0,025241	0,06	137,72
ETE	0,009029	0,02	0,026146	0,06	189,58
Supermercados	0,006592	0,02	0,072458	0,18	999,18
Cemitérios	0,006544	0,02	0,006544	0,02	0
Postos de saúde	0,001546	0	0,004173	0,01	169,92
ETA			0,000892	0	0
<b>Total</b>	<b>41,221437</b>	<b>100%</b>	<b>41,221437</b>	<b>100%</b>	

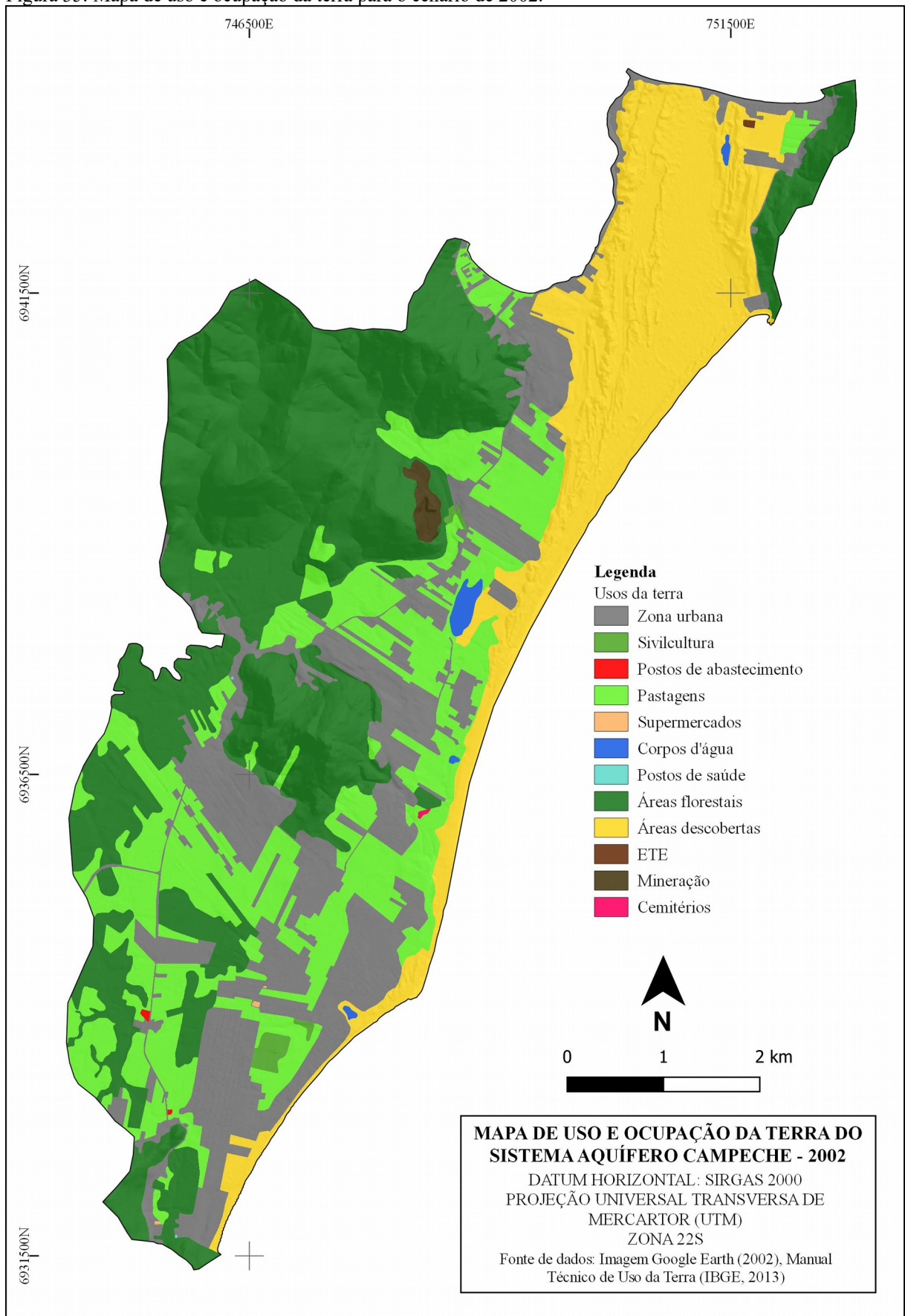
Fonte: Da autora (2019).

Figura 34: Gráfico sobre a variação dos usos da terra entre os anos 2002 e 2018.



Fonte: Da autora (2019).

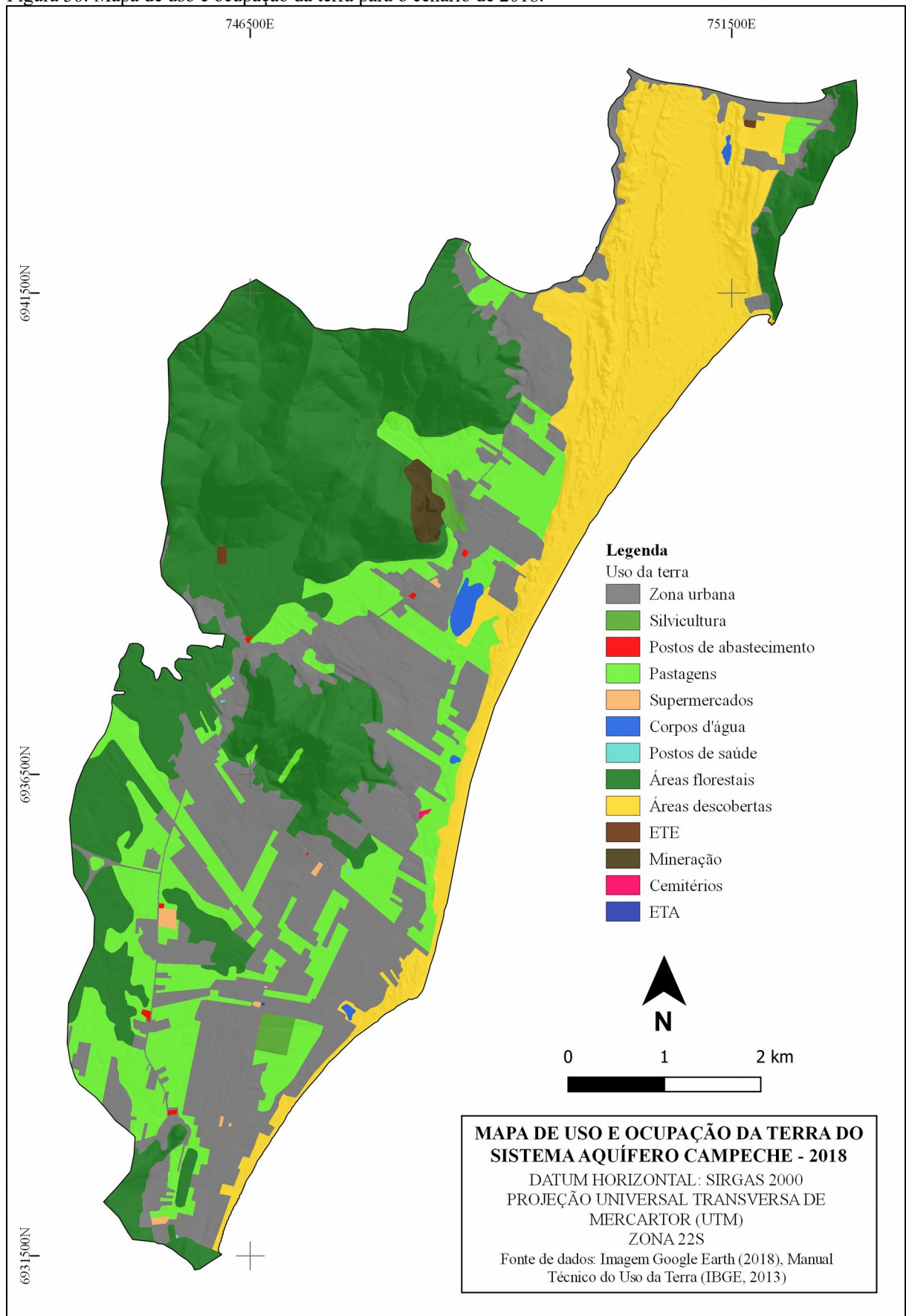
Figura 35: Mapa de uso e ocupação da terra para o cenário de 2002.



Fonte: Da autora (2019).



Figura 36: Mapa de uso e ocupação da terra para o cenário de 2018.



Fonte: Da autora (2019).



#### 4.4. RISCO À CONTAMINAÇÃO

Os mapas de risco à contaminação são produtos do cruzamento entre o mapa de vulnerabilidade natural e os mapas de uso e ocupação da terra para os cenários de 2002 e 2018.

No cenário de 2002 (Figura 38), predominavam as áreas com risco insignificante com ~ 15,12 km<sup>2</sup> ou 36,69%, seguido das classes: média (~ 8,88 km<sup>2</sup> ou 21,54%), extrema (~ 7,23 km<sup>2</sup> ou 17,54%), alta (~ 7,23 km<sup>2</sup> ou 17,52%) e baixa (~ 2,76 km<sup>2</sup> ou 6,71%).

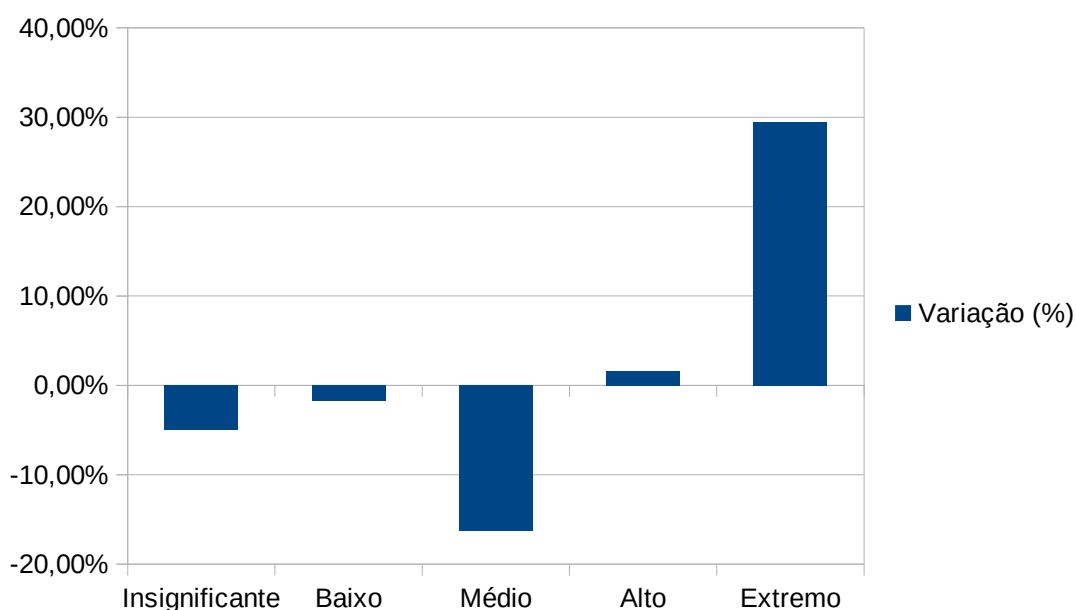
Em 2018 (Figura 39), também predominavam as áreas com risco insignificante com ~14,37 km<sup>2</sup> ou 34,87%, seguido das classes: extrema (~ 9,36 km<sup>2</sup> ou 22,70%), média (~ 7,44 km<sup>2</sup> ou 18,04%), alta (~ 7,34 km<sup>2</sup> ou 17,80%) e baixa (~ 2,72 km<sup>2</sup> ou 6,59%). Na tabela 6 e na Figura 37 é possível perceber a variação entre os dois anos para cada classificação de risco.

Tabela 6: Variação do risco à contaminação para os cenários de 2002 e 2018.

Risco à contaminação	Classes	2002		2018		Variação (%) (2018-2002)/2002*100
		Área (km <sup>2</sup> )	%	Área (km <sup>2</sup> )	%	
	Insignificante	15,124965	36,69	14,372359	34,87	-4,96%
	Baixo	2,761811	6,71	2,717098	6,59	-1,78%
	Médio	8,877767	21,54	7,438359	18,04	-16,25%
	Alto	7,225332	17,52	7,336731	17,80	1,60%
	Extremo	7,231550	17,54	9,356846	22,70	29,42%

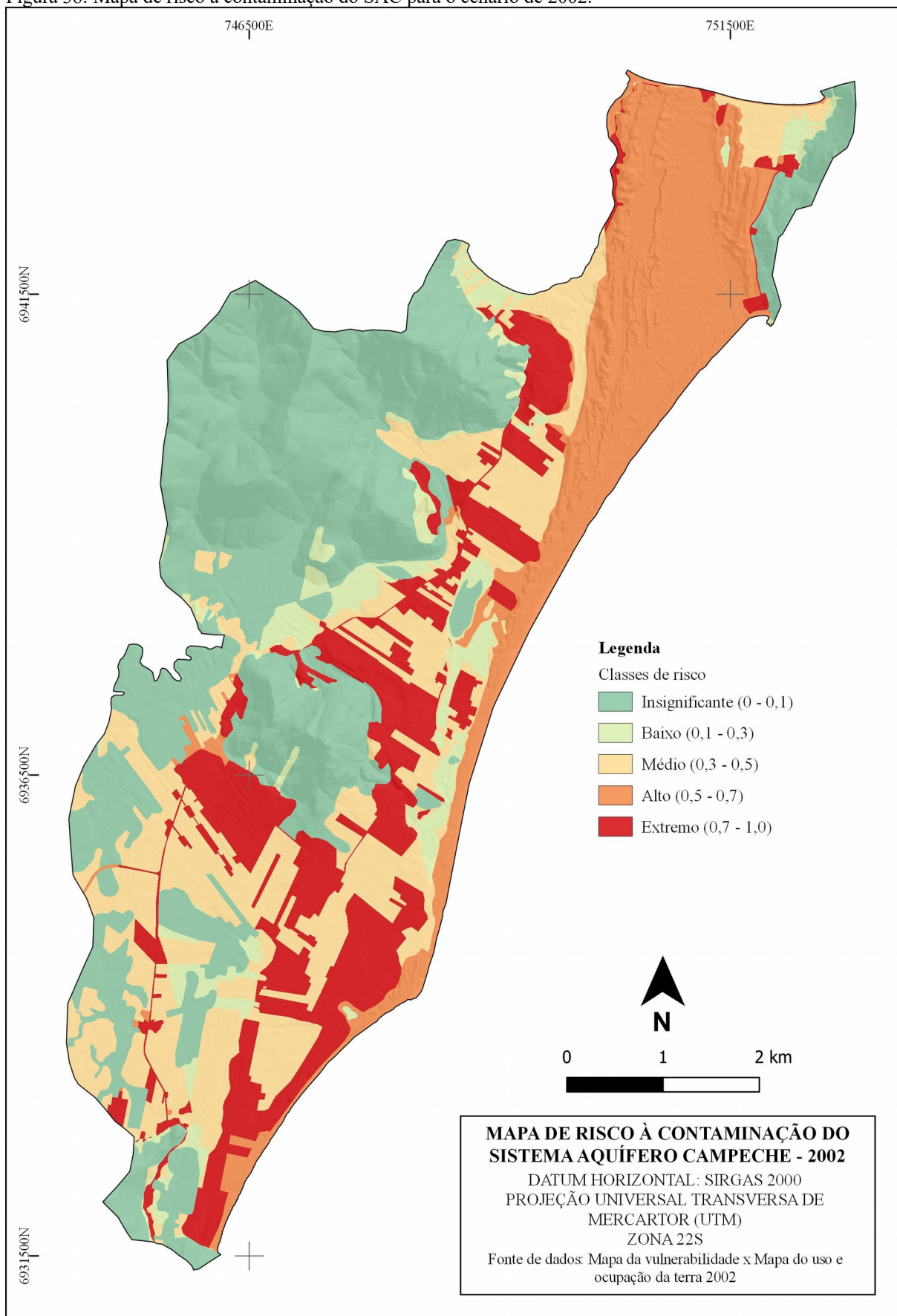
Fonte: Da autora (2019).

Figura 37: Gráfico sobre a variação do risco à contaminação entre os anos 2002 e 2018.



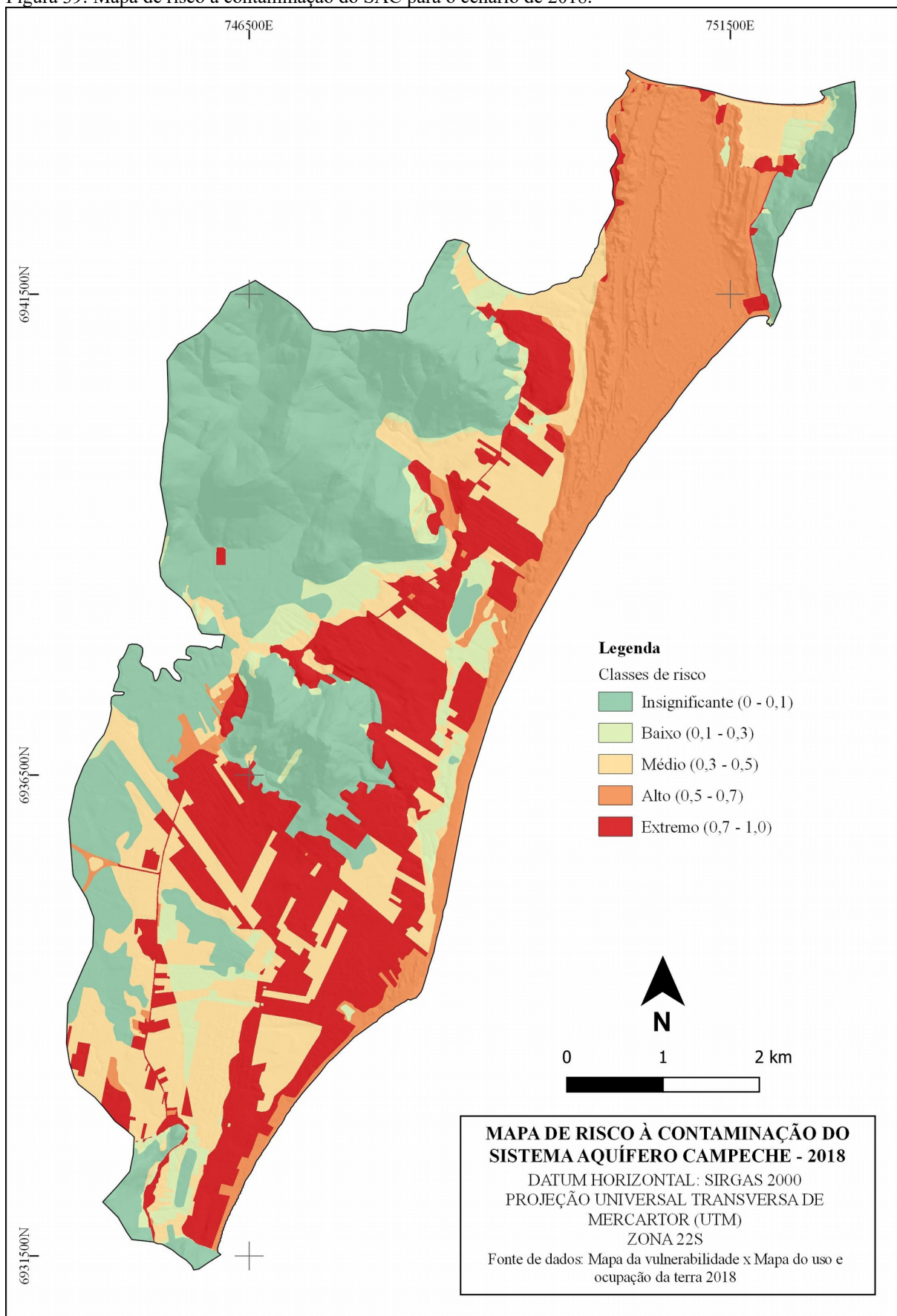
Fonte: Da autora (2018).

Figura 38: Mapa de risco à contaminação do SAC para o cenário de 2002.



Fonte: Da autora (2019).

Figura 39: Mapa de risco à contaminação do SAC para o cenário de 2018.



Fonte: Da autora (2019).

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A determinação da vulnerabilidade natural mostrou a predominância de áreas com alta vulnerabilidade à contaminação, compreendendo aquelas áreas com maior porosidade e conseqüentemente maior permeabilidade. Neste caso, as unidades geológicas porosas de sedimentos arenosos finos a grossos, zonas drenantes, de transição e principalmente de recarga são as que merecem maior atenção no que tange à gestão adequada do SAC. As áreas de menor vulnerabilidade compreendem as porções rochosas, as de sedimentos finos ou zonas de descarga, os quais conseqüentemente possuem uma menor porosidade e menor permeabilidade, diminuindo assim a vulnerabilidade nestas regiões.

É notável o aumento das áreas urbanizadas devido ao crescimento populacional. Este uso e ocupação urbano trata-se de uma fonte de contaminação difusa, a qual se mostrou nos dois cenários estudados de extremo risco ao aquífero. Em virtude disso, é perceptível e esperado:

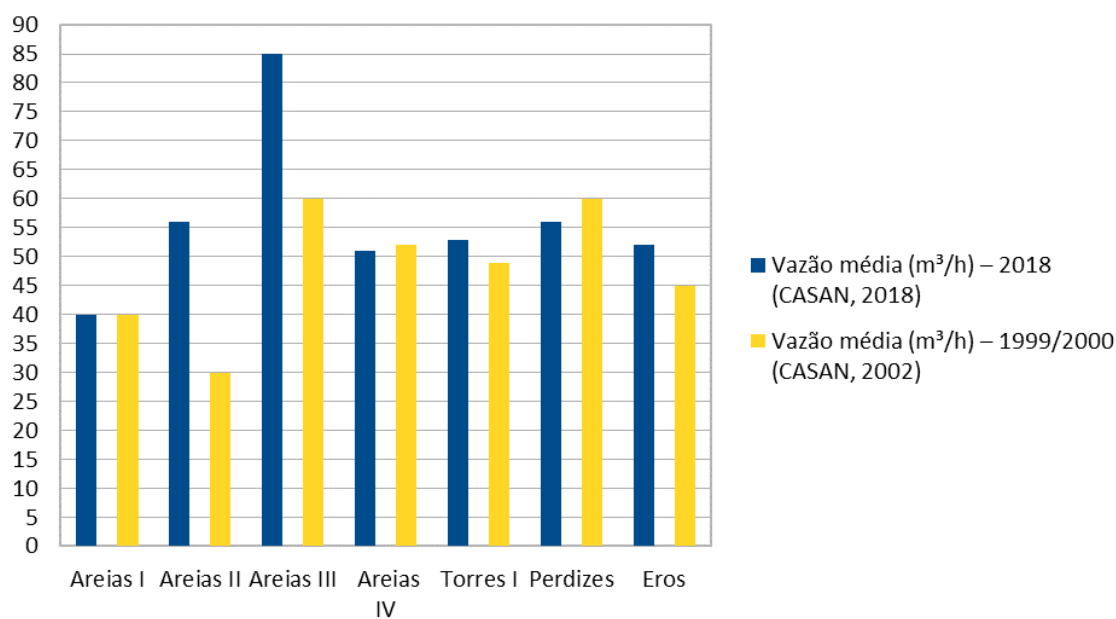
- 1) o crescimento dos principais focos de contaminação pontual que podem afetar o aquífero (postos de abastecimento, supermercados, postos de saúde, cemitérios);
- 2) a diminuição das áreas de pastagens e também florestais, as quais possivelmente foram ocupadas pela urbanização;
- 3) aumento da demanda de água e conseqüentemente a taxa de bombeamento dos poços e estímulo à recarga artificial por parte das perdas nos volumes de distribuição e infiltração por sistemas de tratamento como o fossa-filtro-sumidouro;
- 4) aumento da produção de dejetos, o que torna necessário a criação de estações de tratamento de esgotos (ETE), motivo do qual está em construção a nova unidade de tratamento no Rio Tavares (na rodovia SC405), que segundo a CASAN (2017) na primeira etapa já beneficiará 25 mil moradores.
- 5) diminuição das áreas de recarga do aquífero em virtude da impermeabilização dos terrenos e conseqüentemente dos volumes de recarga do mesmo.

É perceptível a redução das áreas de risco insignificante, baixo e médio, provavelmente porque as mesmas migraram para as de risco alto ou extremo entre os cenários de 2002 e 2018. Os principais pontos de contaminação, apesar de serem fontes pontuais, são considerados de alto risco a risco extremo e, merecem também seu destaque devido ao crescimento considerável passados 16 anos aqui avaliados. Em 2002 existiam dois postos de abastecimento, dois postos de saúde, três supermercados e uma ETE. Já em 2018 estes números representam: sete postos de abastecimento, quatro postos de saúde, oito supermercados (com destaque para o maior deles – Fort Atacadista – o que explica a alta porcentagem nos resultados), uma ETA e duas ETE. Em relação aos resultados menores que 3%, possivelmente são diferenças mínimas na vetorização ou a possibilidade que estas áreas estão realmente sendo respeitadas.

As áreas classificadas como risco insignificante, em boa parte incluíram as áreas florestais, o que se deve ao fato de serem uma camada de proteção natural, não receberem insumos agrícolas, não permitirem ocupação humana e/ou estarem localizadas em boa parte nos granitóides, os quais possuem menor vulnerabilidade em virtude de suas características naturais. As áreas de risco médio à contaminação compreendem em maior parte as áreas de pastagens, pois são locais onde ocorreram a retirada da vegetação nativa e conseqüentemente tornam-se mais suscetíveis caso ocorra algum tipo de contaminação. As áreas descobertas, que compreendem os campos de dunas incluindo as áreas próprias de vegetação nativa (restingas), mostraram-se como zonas de risco alto à contaminação pelo fato de apresentarem uma maior permeabilidade.

Em relação a taxa de bombeamento dos poços, em 2002 haviam 12 poços em uso, dos quais quatro atualmente estão totalmente desativados. Em comparação com os mesmos poços existentes nos dois cenários (Areias I, II, III, IV, Torres I, Perdizes e Eros), com base nas Tabelas 2, 3 e 4, demonstram que a vazão média atual dos mesmos está maior, o que provavelmente seja o reflexo do aumento populacional e, conseqüentemente, da demanda de água (Figura 40).

Figura 40: Comparativo entre as taxas de vazão média (m<sup>3</sup>) dos anos de 2018 e 1999-2000.



Fonte: Da autora (2018).

Em relação a gestão do SAC, neste trabalho não foi possível realizar as ZCs correspondentes de cada poço de captação de água da CASAN, devido a falta dos parâmetros necessários para o cálculo dos diferentes métodos citados no Item 2.5. Porém, outras questões a respeito da gestão podem ser discutidas, assim como a utilização das fossas sépticas + sumidouro na região do aquífero. Além de serem sistemas dos quais precisam de manutenção periodicamente (para retirada do lodo e espuma), contribuem com a possibilidade de contaminação do lençol freático, pois são indicados somente a locais em que o NF é profundo, situação diferente da comumente encontrada no SAC, o qual trata-se de um aquífero costeiro com níveis freáticos rasos.

## 6. CONCLUSÃO

Após a finalização de toda esta pesquisa, conclui-se que o mapeamento da vulnerabilidade e do risco, mostrou-se hábil para espacializar áreas de maior ou menor vulnerabilidade e risco à contaminação para o SAC. Além disso, o uso de um sistema de informação geográfica se mostrou eficiente como ferramenta de compilação de dados da área, assim como o processamento e a análise dos mesmos.

Conclui-se que o SAC se trata de um sistema aquífero altamente vulnerável e que, com o passar dos anos o risco à contaminação torna-se cada vez maior em virtude da expansão e especulação imobiliária. Assim, é nítido que o crescimento populacional desenfreado é o fator mais agravante para a continuação da conservação do sistema aquífero em questão. Crescimento este que não está ocorrendo somente horizontalmente, mas sim cada vez mais verticalmente, ocasionando nesses casos uma carga de contaminação que passa a ser bem maior pontualmente. Além disso, a amplificação destas zonas pode cada vez mais acarretar na diminuição das áreas florestais ou dos campos de dunas e assim contribuir para o aumento do risco à contaminação do aquífero e a diminuição das zonas de recarga do mesmo.

Como soluções propostas para melhorar a gestão do SAC: as fossas sépticas+sumidouros podem ser substituídos por sistemas menores, individuais, que promovem uma melhor separação dos diferentes tipos de águas (cinzas e contaminadas) e são integrados ao ambiente. Estes sistemas tratam-se dos dispositivos como a bacia/tanque de evapotranspiração, círculo de bananeiras e wetlands construídas (citados no Item 2.5.1), os quais diminuem o uso de sistemas convencionais de centrais de tratamento, nos quais se tem uma grande perda de água para o transporte e o sistema fossa-filtro-sumidouro com a possibilidade de contaminação do lençol freático por agir como agente de recarga das águas subterrâneas.

Outra problemática que pode ser considerada é a expansão urbana e sua constante impermeabilização do solo, diminuindo a capacidade de recarga do SAC. A implementação de áreas verdes com espaços livres e vegetados com espécies nativas por exemplo, além de serem espaços públicos, favorecem a infiltração da água de chuva, contribuem para a recarga dos aquíferos e evitam a constante impermeabilização do solo. Praças, jardins botânicos, hortas comunitárias de base orgânica, parques urbanos, parques fluviais, parques balneários e esportivos podem ser implementados principalmente nas zonas de pastagens existentes na região, antes que essas sejam ocupadas pela urbanização.

Por fim, espera-se que o resultado final desta pesquisa dê margem a novas reflexões, para que possa alertar e auxiliar à população e os órgãos públicos da cidade de Florianópolis sobre os riscos ambientais que podem afetar este manancial subterrâneo.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). 2010. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional/Agência Nacional de Águas; Engecorps/ Cobrape - Brasília: ANA: Engecorps/Cobrape.

ALBINET, M.; MARGAT, J. Groundwater pollution vulnerability mapping. **Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières Bull BRGM 2nd Series**, v. 3, n. 4, p. 13-22, 1970.

ALLER et al. **Drastic: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings**. Ada, Oklahoma: Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory. Office of Research and Development. U.S Environmental Protection Agency., 1985.

ALMEIDA et al. Províncias Estruturais Brasileiras. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8º., Campina Grande. **Atlas**. Campina Grande: SBG. p.363-391, 1977.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BASEI, M. A. S. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina**. São Paulo. 195f. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, 1985.

BORGES, Sergio Freitas et al. Características hidroquímicas do aquífero freático do Balneario Campeche, Ilha de Santa Catarina-SC. 1996.

BRASIL. **Lei Complementar nº 482, de 17 de janeiro de 2014**. Institui o plano diretor de urbanismo do município de Florianópolis que dispõe sobre a política de desenvolvimento urbano, o plano de uso e ocupação, os instrumentos urbanísticos e o sistema de gestão. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-florianopolis-sc>>. Acesso em: 20 set. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm)> . Acesso em: 16 jun. 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Brasília, Diário Oficial da União. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 14 jun 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006**. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. Disponível em: <[http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/conama\\_res\\_cons\\_2006\\_369\\_supressao\\_de\\_vegetacao\\_em\\_app.pdf](http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/conama_res_cons_2006_369_supressao_de_vegetacao_em_app.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396, de 7 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 20 set. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 126, de 29 de junho de 2011**. Estabelece diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/cadastro-de-usuarios-de-recursos-hidricos-integracao-base-de-dados/1455-resolucao-no-126-de-29-de-junho-de-2011/file>>. Acesso em: 20 set. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 153, de 17 de dezembro de 2013**. Estabelece critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território Brasileiro. Disponível em:

<<http://www.cnrh.gov.br/aguas-subterraneas/1715-resolucao-153-recarga/file>>. Acesso em: 16 jun. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 02, de 14 de agosto de 2014**. Dispõe sobre o uso das águas subterrâneas no Estado de Santa Catarina. Disponível em: <[http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/DHRI/Legislacao/resolucao\\_2014-02-uso\\_agua\\_subterranea.doc](http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/resolucao_2014-02-uso_agua_subterranea.doc)>. Acesso em: 21 set. 2019.

BITENCOURT, M. F. et al. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. Revista Pesquisas em Geociências, 35(1): 109-136, 2008.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do MERCOSUL. Curitiba: Os Autores, 2004. 214p.

CAMPOS, Edson Telê et al. A gestão territorial urbana no município de Florianópolis: uma abordagem sobre a expansão imobiliária e seus impactos ambientais. 2004.

CAMPOS, E. T. A expansão urbana na região metropolitana de Florianópolis e a dinâmica da indústria da construção civil. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina: Tese de Doutorado, 2009.

CARVALHO, A.; HIRATA, R. **Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo**. Geologia USP. Série Científica, v. 12, n. 1, p. 53-70, 1 abr. 2012.

COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO (CASAN). **Estudo do Manancial Subterrâneo da Costa Leste Campeche, Município de Florianópolis, SC**. Executado por Engenharia e Pesquisas Tecnológicas. Porto Alegre, RS: 2002.

COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO (CASAN). CASAN inicia construção da ETE Rio Tavares. CASAN, 2017. Disponível: <<https://www.casan.com.br/noticia/index/url/casan-inicia-construcao-da-ete-rio-tavares#0>>. Acesso em: 12 out 2019.

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA (NRC). **Ground Water Vulnerability Assessment: Predicting Relative Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty**. Washington, DC: The National Academies Press, 1993.

COSTA, Waldir Duarte. Uso e Gestão das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C. et al. (Org.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. p. 725 - 741.

FEITOSA, Fernando A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2a ed. Fortaleza: CPRM, 2000. 391p.

FEITOSA, Fernando A.C; FEITOSA, Edilton C. Metodologia Básica de Pesquisa de Água Subterrânea. In: FEITOSA, F.A.C. et al. (Org.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008.

FIGUEIREDO, Adma Hamam de (Org.). 2016. Brasil: uma visão geográfica e ambiental no início do século XXI. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Geografia.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; SANTOS, Bárbara S. C dos; TONETTI, Adriano Luiz. **Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras**. Campinas, SP: Biblioteca Unicamp, 2018. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2017/11/Fossa-Verde-e-C%C3%Adrculo-de-Bananeiras-UNICAMP.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2019.

FILHO, João Manoel. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C. et al. (Org.)



- Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. p. 381-404.
- FISRWG (1998). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. Federal Interagency Stream Restoration Work Group (FISRWG).
- FITTS, Charles R. **Águas subterrâneas**. Tradução da 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima, Peru: CEPIS, 1988.
- FOSTER, S. et al. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servmar - Serviços Técnicos Ambientais LTDA., 2006.
- GOERL, R.F; KOBAYAMA, M; PELLERIN, J.R.G.M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. Boletim de Geografia, Maringá, v.30, n.1, p.81-100, 2012.
- GONÇALVES, Lucas Rubbo. Vulnerabilidade natural e avaliação de risco de contaminação dos sistemas de aquíferos nas áreas degradadas pela extração de carvão na bacia hidrográfica do Rio Mãe Luzia. 2012.
- HIRATA, Ricardo et al. A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. 2019.
- HORN FILHO, N.O. & LIVI, N.S. **Mapa geoevolutivo da planície costeira da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. ISBN 978-85-60501-10-6. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE divulga as Estimativas de População dos municípios para 2018**. 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018>>. Acesso em: 04 set. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico do uso da Terra**. 2013. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6>>. Acesso em: 04 set. 2018.
- KARMANN, Ivo. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.; TAIOLI, F. ed. Decifrando a Terra (capítulo 7). São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p.114-138.
- LE GRAND, H. **System for evaluating contamination potential for some waste sites**. *American Water Work Association Journal*. V.56 (8), 1964, 959-974 p.
- LEMOS, Luiz Fernando, et al. Análise das leis, normas e técnicas de disposição final dos efluentes tratados na Ilha de Santa Catarina: estudo de caso da bacia do Rio Ratonas. 2005.
- LOPES, A. R. DE B. C.; SCHEIBE, L. F. Vulnerabilidade e risco de contaminação das águas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Rio do Peixe/SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 30, n. 3, p. 560–570, 2015.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Águas Subterrâneas**. Brasília: DF, 2007. 40p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/167/\\_publicacao/167\\_publicacao28012009044356.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2018.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Parques e Áreas Verdes**. 2019. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/parques-e-%C3%A1reas-verdes.html>> Acesso em: 03 out. 2019.

NANNI, A. S. et al. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Serra Geral pela suinocultura na região das missões-RS. **XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2005.

OLIVEIRA, Daniel da Cruz. **Modelos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos**. Salvador: UFB, 2013. Monografia (graduação) – Instituto de Geociências, Curso de Graduação em Geologia – Universidade Federal da Bahia, Bahia. 2013, 41 p.

OSM, Open Street Map. Open Street Map. 2018. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org>>. Acesso em: 04 set. 2017.

PAULO, Paula Loureiro; GALBIATI, Adriana Farina; MAGALHÃES, Jorge Correa Filho. Catálogo de Soluções Sustentáveis de Saneamento: Gestão de Efluentes Domésticos. Campo Grande: UFMS, 2018. 50 p.

PEREIRA, Laura Medeiros da Costa. **Estudo das auréolas termais e processos de fusão gerados na interface diques básicos cretáceos do Enxame de Diques de Florianópolis e encaixantes graníticas neoproterozoicas do Batólito Florianópolis, SC**. 2017. Disponível em: <[https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/185101/TCC\\_LauraMedeiros.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/185101/TCC_LauraMedeiros.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 14 jan. 2018.

PEREIRA, Renée. Odebrecht e Brookfield disputam R\$ 400 mi da BRK Ambiental. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 31 mai. 2019. Economia & Negócios, p. 1. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/negocios,odebrecht-e-brookfield-disputam-r-400-mi-da-brk-ambiental,70002850707>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

PRESS, F. et al. Para entender a Terra (capítulo 13). 4ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006. p.313-337.

QGIS Development Team, 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

RAPOSO, M.I.B., ERNESTO, M., RENNE, P.R. Paleomagnetism and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of the early Cretaceous Florianópolis dike swarm. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, v. 108, n. 4, p. 275-290, 1998.

REBOUÇAS, A.C. Águas Subterrâneas. Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo, Escrituras Editora. 2006. p. 111-144.

SANCHEZ, A. A. Desempenho de sistema piloto de alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal no tratamento secundário de efluente sanitário. 2017. 148f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do ABC, 2017.

SDS, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **SIGSC**. 2010. Disponível em: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>. Acesso em: 04 set. 2018.

SIAGAS. Serviço Geológico do Brasil. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. 2018. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

SILVA, L.C.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. Zircon U/Pb SHRIMP dating of a São Paulo, UNESP, Geociências, v. 37, n. 4, p. 715 - 731, 2018 731 Neoproterozoic overprint in Paleoproterozoic granitic gneissic terranes, southern Brazil. **American Mineralogist**, v. 85, p. 649-667, 2000.

SOUSA, J. T. de, van HAANDEL, A.C . GUIMARÃES, A.V.A. *Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents*. Water Science and Technology, v.48, n.6, p. 295-299, 2003.

TOMAZZOLI, E.R. Enxame Florianópolis-Ilha de Santa Catarina. In: **Projeto: “Tectônica rúptil meso-cenozoica e magmatismo associado: estudo integrado do embasamento adjacente à bacia de Santos, S-SE do Brasil”**. Rio de Janeiro (RJ). Convênio PETROBRAS e Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Convênio Específico N° 9. Termo de Cooperação N° 0050.0022710.06.4. (inédito). 2011.

TOMAZZOLI, E.R.; PELLERIN, J.R.M; HORN FILHO, Norberto Olmiro. Geologia da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. 2018. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/download/12880/12473>>. Acesso em: 10 out. 2019.

TOMAZZOLI, E.R. & PELLERIN, J.R.M. Mapa geológico da ilha de Santa Catarina. Departamento de Geociências UFSC. 2014. Disponível em: <<http://lmo.ufsc.br/mapa-geologico-da-ilha-desanta-catarina/>>. Acesso em: 04 out. 2019.

TOMAZZOLI, E.R. & PELLERIN, J.R.M. O Enxame de Diques Florianópolis na ilha de Santa Catarina (SC): mapa geológico. In: IV SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2008, Foz do Iguaçu (PR). **Anais.2008**. CDROM.

TOMAZZOLI, E.R.; PELLERIN, J.R.G.M. Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina: as rochas. **Geosul**, 30(60): 225-247, 2015.

UFABC. Roseli Frederigi Benassi. Universidade Federal do ABC (Org.). Manual de Sistemas de Wetlands construídas para para o tratamento de esgotos sanitários: Implantação, operação e manutenção. São Paulo: UFABC, FUNASA, SABESB, 2018. 53 p.

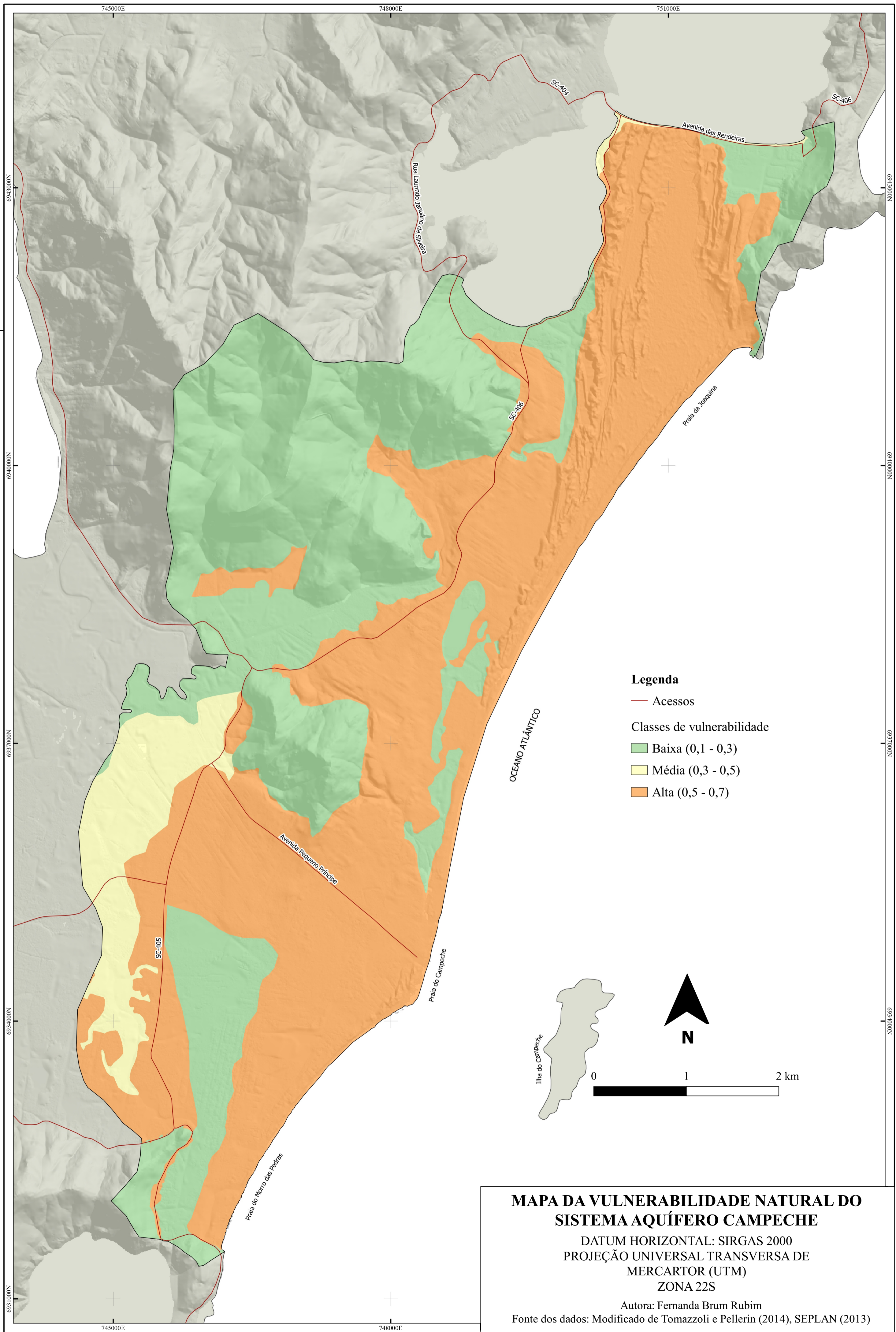
VIRTUOSO, Anadelson Martins; REIS, Claudio Henrique. Mapeamento da cobertura e uso da terra nas Áreas De Preservação Permanente do rio Muriaé no município de Campos dos Goytacazes–RJ. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6674-6685, 2017.

WHO - World Healtg Organization. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards, of a WHO meeting of experts**. Technical report series, Genebra: n. 517, 1973.

**ANEXO A**

<b>Poço</b>	<b>Código</b>	<b>Apelido</b>	<b>Coord E</b>	<b>Coord N</b>	<b>Nível Estático (ES)</b>	<b>Nível dinâmico (DI)</b>	<b>Cota do poço (m)</b>	<b>Prof. do poço (m)</b>	<b>Situaçã o</b>

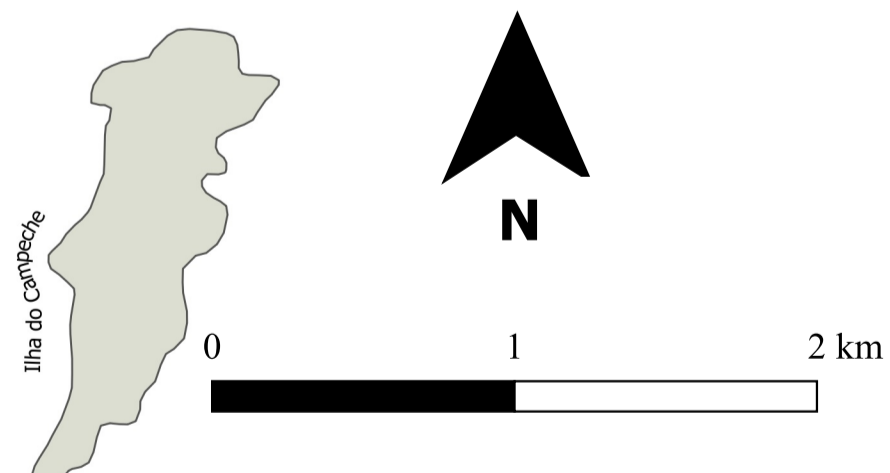




**Legenda**

- Acessos
- Classes de vulnerabilidade
  - Baixa (0,1 - 0,3)
  - Média (0,3 - 0,5)
  - Alta (0,5 - 0,7)

OCEANO ATLÂNTICO

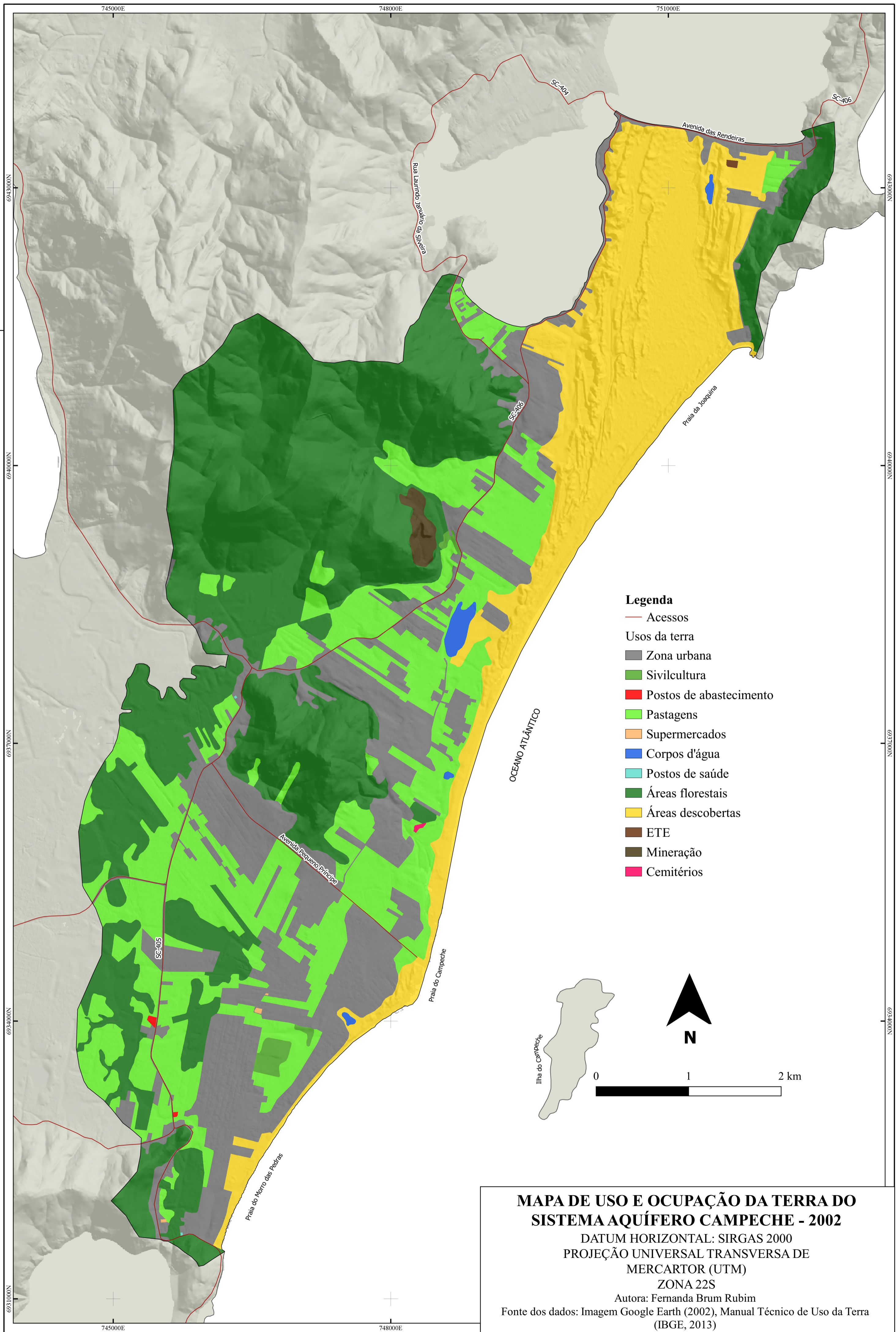


**MAPA DA VULNERABILIDADE NATURAL DO SISTEMA AQUÍFERO CAMPECHE**

DATUM HORIZONTAL: SIRGAS 2000  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)  
 ZONA 22S

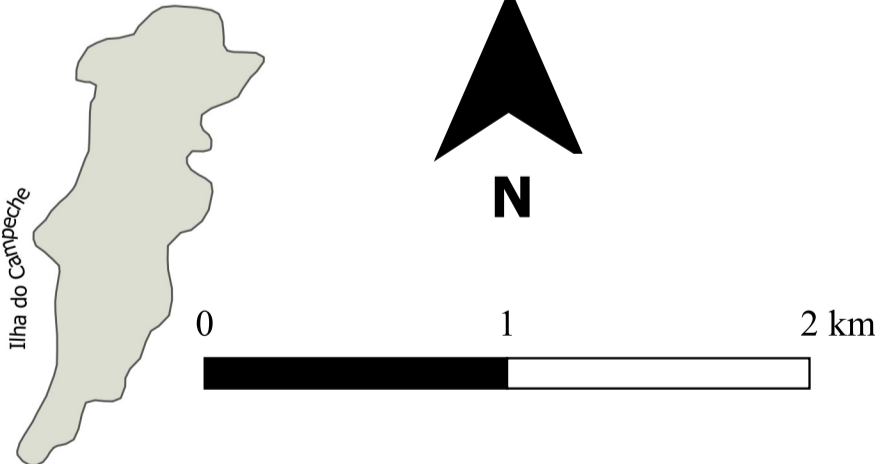
Autora: Fernanda Brum Rubim  
 Fonte dos dados: Modificado de Tomazzoli e Pellerin (2014), SEPLAN (2013)





**Legenda**

- Acessos
- Usos da terra
- Zona urbana
- Sivilcultura
- Postos de abastecimento
- Pastagens
- Supermercados
- Corpos d'água
- Postos de saúde
- Áreas florestais
- Áreas descobertas
- ETE
- Mineração
- Cemitérios



**MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DO SISTEMA AQUÍFERO CAMPECHE - 2002**

DATUM HORIZONTAL: SIRGAS 2000  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)  
 ZONA 22S

Autora: Fernanda Brum Rubim

Fonte dos dados: Imagem Google Earth (2002), Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013)



