



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS IMPACTADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NO SUL DE SANTA CATARINA

1º RELATÓRIO DE ATIVIDADES EXECUTADAS

Período: Março de 2023 a Março de 2024

DEPARTAMENTO DE GESTÃO TERRITORIAL

Núcleo de Apoio de Criciúma - NUMA

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial de Porto Alegre - GEHTE-PA

Autores

Marcos Alexandre de Freitas

Guilherme Casarotto Troian

Criciúma, Abril de 2024

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB-CPRM)

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Inácio Melo

Diretor de Geologia e Recursos Minerais interino

Francisco Valdir Silveira

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

Departamento de Gestão Territorial

Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues A. da Silva

Chefe da Divisão de Gestão Territorial

Maria Adelaide Mansini Maia

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

Superintendente

Franco Turco Buffon

Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Franco Turco Buffon

Supervisor de Hidrologia e Gestão Territorial

Renato Ribeiro Mendonça

Supervisora de Hidrologia e Gestão Territorial

Adriana Burin Weschenfelder

Núcleo de Apoio de Criciúma - NUMA

Chefe

Guilherme Casarotto Troian

APOIO INSTITUCIONAL

Departamento de Hidrologia-DEHID

Andrea de Oliveira Germano

Divisão de Hidrogeologia e Exploração-DHIEXP

Valmor José Freddo Filho

Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória – DIEMGE

Ruben Sardou Filho

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Marcos Alexandre de Freitas

Guilherme Casarotto Troian

EQUIPE EXECUTORA

Pesquisadores em Geociências

Albert Teixeira Cardoso

Eduardo Moussale Grissolia

Eliel Martins Senhorinho

Guilherme Casarotto Troian

Marcos Alexandre de Freitas

Marcelo Goffermann

Melissa Franzen

William Ribeiro Lopes

Geólogas Residentes

Anna Alice Couto Gomes

Jéssica Finardi Ramos

Técnicos em Geociências

Alexandre Ritter Volkmann

Bruno Francisco B. Schiehl

Douglas Sanches Soller

Helton Roberto Gomes de Souza

Luís Alberto da Costa e Silva

Patrícia Wagner Sotério

Pedro Cesar de Freitas

COLABORAÇÃO TÉCNICA

Bruno Ludovico Dihl Horn (Geologia)

Camila Dalla Porta Mattiuzi (Hidrologia)

Karine Pickbrenner (Hidrologia)

Marcelo Eduardo Dantas (Geomorfologia)

Maria Paula Pivi Simonette (Aplicativo QField)

Marlon Colombo Hoelzel (Geologia Ambiental)

Marta Rubbo (Banco de dados SIAGAS)

Raimundo Almir Costa Conceição (aplicativo Qfield)

Oscar Scherer (Geoprocessamento)

Ricardo Wosniak (Modelagem 3D)

Acad. Geografia Raul Gick Schumacher (Estagiário)

Acad. Eng. de Minas Gabriel Tweedie Müller (Estagiário)

Acad. Eng. Ambiental Bárbara Victória Pazzini Uribe (Estagiária)

Acad. Eng. Ambiental Júlia de Bona Sartor (Estagiária)

Este produto pode ser encontrado em:

Serviço Geológico do Brasil (SGB)

www.sgb.gov.br

seus@sgb.gov.br

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização das Bacias Hidrográficas onde está inserida a área de estudo...	2
Figura 2 Mapa de localização da área de estudo.....	3
Figura 3 Treinamento da equipe do SGB-CPRM na sede da Water Services and Technologies em Florianópolis-SC.	6
Figura 4 Anaglifos georreferenciados, gerados a partir de fotografias aéreas escalas 1:60.000 de 1964 a 1966.	8
Figura 5 Sondagem para pesquisa de carvão com marco e placa de identificação preservados.....	13
Figura 6 Detalhe da placa de identificação da sondagem para pesquisa de carvão mineral.....	14
Figura 7 Mosaico dos mapas da CEPCAN e sua abrangência na área de estudo.	15
Figura 8 Mapa geológico preliminar na escala 1:100.000 integrado de várias fontes (Silva, 2000; Krebs 2004; Krebs, 2007; Wildner, et al. 2014 e Horn et al, 2022).	17
Figura 9 Destaque para os pontos verificados em campo durante a integração e consistência do mapa geológico integrado.	18
Figura 10 Visita ao afloramento de depósitos colúvio-aluvionares (leques aluviais) no sopé da Serra da Rocinha(BR-285) em Timbé do Sul-SC.	19
Figura 11 Visão panorâmica dos sedimentos quaternários na foz do rio Araranguá. ..	19
Figura 12 Afloramento da Formação Botucatu capeada pelas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, dando origem a diversas nascentes. Notar que esta unidade repousa sobre as formações permianas, onde o fundo do vale (cota 422 m) corresponde à formação Palermo. Localidade de Três Barras, Orleans-SC.....	19
Figura 13 Mapa das sondagens utilizadas para a geração do modelo geológico tridimensional	21
Figura 14 Modelo 3D preliminar (a) e corte realizado segundo a seção A'-A (b).....	22
Figura 15 Mapa de distribuição dos pontos cadastrados pelo Programa SIAGAS do SGB-CPRM até dezembro de 2023.....	24
Figura 16 Tela inicial do SIOUT-SC.....	25
Figura 17 Equipamento portátil para digitalização: scanner de gaveta Brother DS640.	26
Figura 18 Exemplo de perfil litológico construtivo de poço tubular construído em Araranguá-SC pela Hidrogeo Poços Artesianos Ltda.....	27
Figura 19 Exemplo de relatório de poço tubular construído pela Hidropel Perfurações, contendo o perfil litológico construtivo (à esquerda) e planilha de teste de bombeamento (à direita).	28

Figura 20 Organograma hierárquico exibindo a relação entre as várias tabelas do aplicativo para cadastramento de pontos de água subterrânea no QField (parte 1)....	30
Figura 21 Organograma hierárquico ilustrando a relação entre as várias tabelas do aplicativo para cadastramento de pontos de água subterrânea no QField (parte 2)....	31
Figura 22 Tablet com aplicativo cadastramento de pontos de água subterrânea no QField.....	32
Figura 23 Corpo de prova e seu uso para medir profundidade de poço tubular em Orleans.....	33
Figura 24 Medição de nível d'água em poço tubular (nível estático) com medidor eletrônico Solinst.	33
Figura 25 Medição in loco dos parâmetros físico-químicos com sonda multiparamétrica.	34
Figura 26 Mapa dos pontos de e água subterrânea cadastrados em campo até dezembro de 2023.....	35
Figura 27 Mapa das estações fluviométricas selecionadas na área de abrangência do estudo.....	37
Figura 28 Localização das estações pluviométricas selecionadas na área de abrangência do estudo.	39
Figura 29 Localização das estações meteorológicas inventariadas na área de abrangência do estudo.	39
Figura 30 Mapa de localização dos pontos do GTA cujos dados serão interpretados no âmbito do estudo geoquímico.	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Número de pontos de captação de água subterrânea cadastrados na base SIAGAS até 2023.....	23
Gráfico 2 Frequência dos diversos tipos de pontos d'água subterrânea cadastrados na Base SIAGAS até dezembro de 2023.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Relação das estações fluviométricas localizadas na área de abrangência dos estudos hidrológicos.	36
Tabela 2 Relação das estações pluviométricas localizadas na área preliminar de abrangência dos estudos hidrológicos.	37
Tabela 3 Relação das estações climatológicas localizadas na área de abrangência dos estudos hidrológicos e arredores.	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Lista dos municípios com território abrangido totalmente e parcialmente pela área de estudo.	4
Quadro 2 Equipe Técnica Permanente do Projeto.	5
Quadro 3 Parâmetros de campo de laboratório analisados atualmente pelo GTA.	9
Quadro 4 Tipos de pontos de captação de água subterrânea e sua distribuição existentes na Base SIAGAS até dezembro de 2023.	23

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	2
3.	ÁREA DE ESTUDO.....	2
4.	ATIVIDADES EXECUTADAS.....	4
4.1	PROCEDIMENTOS INICIAIS.....	4
4.1.1	Mobilização, Planejamento e Detalhamento das Ações Previstas.....	4
4.1.2	Definição da Equipe Técnica.....	4
4.1.3	Aquisição de Softwares e Treinamento	5
4.1.4	Aquisição, Preparo e Integração de Dados Cartográficos	6
4.1.5	Confecção de Anaglifos na escala 1:60.000.....	7
4.1.6	Consistência do Banco de Dados do Grupo Técnico de Assessoramento – GTA	8
4.1.7	Elaboração da Revisão Bibliográfica da Área de Estudo.....	10
4.2	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-ESTRUTURAL	11
4.2.1	Solicitação junto a ANM a cópia dos processos minerários na área de estudo	11
4.2.2	Solicitação junto ao SIESESC das informações de sondagens.....	11
4.2.3	Criação do banco de dados de sondagens para pesquisa de carvão.....	11
4.2.4	Atualização do mapeamento geológico e estrutural	15
4.2.5	Elaboração do modelo geológico 3D.....	20
4.3	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	22
4.3.1	Atualização do banco de dados de pontos de água subterrânea	22
4.3.2	Panorama Atual da Base SIAGAS	23
4.3.3	Coleta de Dados e Informações de Pontos de Captação de Água Subterrânea.....	25
4.3.4	Cadastramento de Pontos em Campo	28
4.4	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E CLIMATOLÓGICA.....	35
4.5	CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA AMBIENTAL	41
5.	PRÓXIMOS PASSOS	42
6.	REFERÊNCIAS.....	43

LISTA DE SIGLAS

ANA-Agência Nacional de Águas

ANM-Agencia Nacional de Mineração

CEPCAN-Comissão Executiva do Plano do Carvão Nacional

DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral

DRH-SDS-Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

FAMOR – Fundação Ambiental de Orleans

FATMA – Fundação de Amparo à Tecnologia e Meio Ambiente

IMA-Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina

GeoSGB- Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil – SGB-CPRM

GTA-Grupo Técnico de Assessoramento

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMA-Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

SEMAEV – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Economia Verde do Estado de Santa Catarina

SDS- Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável

SIAGAS-Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do SGB-CPRM

SIG-Sistema de Informações Geográficas

SIESESC-Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina

USGS – Serviço Geológico dos Estados Unidos da América

1. INTRODUÇÃO

A mineração do carvão na Região Sul de Santa Catarina, por décadas, vem causando significativos impactos aos recursos hídricos de três bacias hidrográficas, principalmente pela geração de drenagem ácida de mina (DAM), provocada pela presença de minerais sulfetados que ocorrem em camadas adjacentes ao carvão.

Devido a intensa degradação dos recursos hídricos, e existência de extensas áreas degradadas pela extração do carvão, a Ação Civil Pública 93.8000533-4, também conhecida como ACP do Carvão, movida pelo Ministério Público Federal, condenou as empresas do setor carbonífero a implementar uma recuperação ambiental, de modo a devolver o equilíbrio aos ecossistemas aquáticos e garantir a função social e econômica das áreas degradadas.

Atualmente o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) é responsável por executar o monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nas três bacias hidrográficas. Ao todo são monitorados semestralmente mais de duzentos pontos entre rios, córregos, poços de monitoramento e bocas de mina abandonadas. O principal propósito do monitoramento é avaliar os resultados das medidas mitigadoras e obras de recuperação ambiental que estão sendo realizadas na região.

Tendo em vista o grande volume de informações já geradas pelo monitoramento do SGB-CPRM e pelos Relatórios de Indicadores Ambientais, é necessário que seja realizado inicialmente uma avaliação e assimilação destes dados. Tal avaliação permitirá rever o monitoramento executado até o momento, bem como as ações tomadas para a recuperação ambiental, além de embasar um novo modelo conceitual ambiental da região.

Neste cenário, o objetivo principal do estudo referido na NOTA TÉCNICA Nº 21/2022/NUMA/SUREG-PA/PR/CA é o Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina, com enfoque na interação entre os fluxos de águas superficiais e subterrâneas, submetidas aos processos de geração de drenagem ácida da mineração de carvão.

Como objetivos secundários busca integrar as informações disponíveis sobre o meio físico em um ambiente SIG, utilizando ferramentas de modelagem 3D, que possibilitem a identificação espacial das interações entre as fontes de poluição (áreas degradadas) e os corpos hídricos, de modo a permitir um nível maior de gerenciamento e auxiliar nas tomadas de decisão, além de definir os parâmetros físico-químicos que poderão ser afetados por cada método de recuperação disponível.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste primeiro relatório é apresentar e descrever as atividades realizadas no primeiro ano de execução do estudo para a execução do Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina no tocante ao meio físico.

3. ÁREA DE ESTUDO

A região Carbonífera de Santa Catarina está inserida na macrorregião hidrográfica do Atlântico Sul (ANA, 2020), mais precisamente em três Bacias Hidrográficas: Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga. Estas Bacias estão localizadas entre as coordenadas 27,735° Sul 48,752° Oeste e 29,122° Sul 50,017° Oeste (Figura 1).

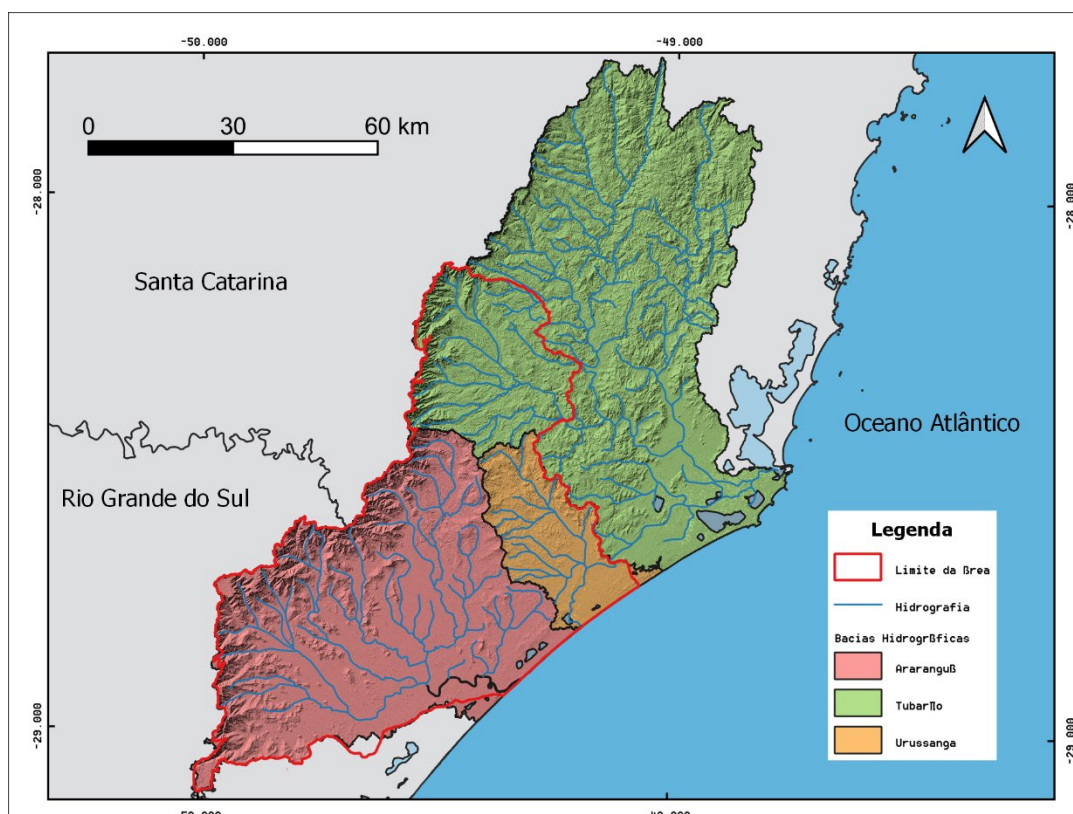
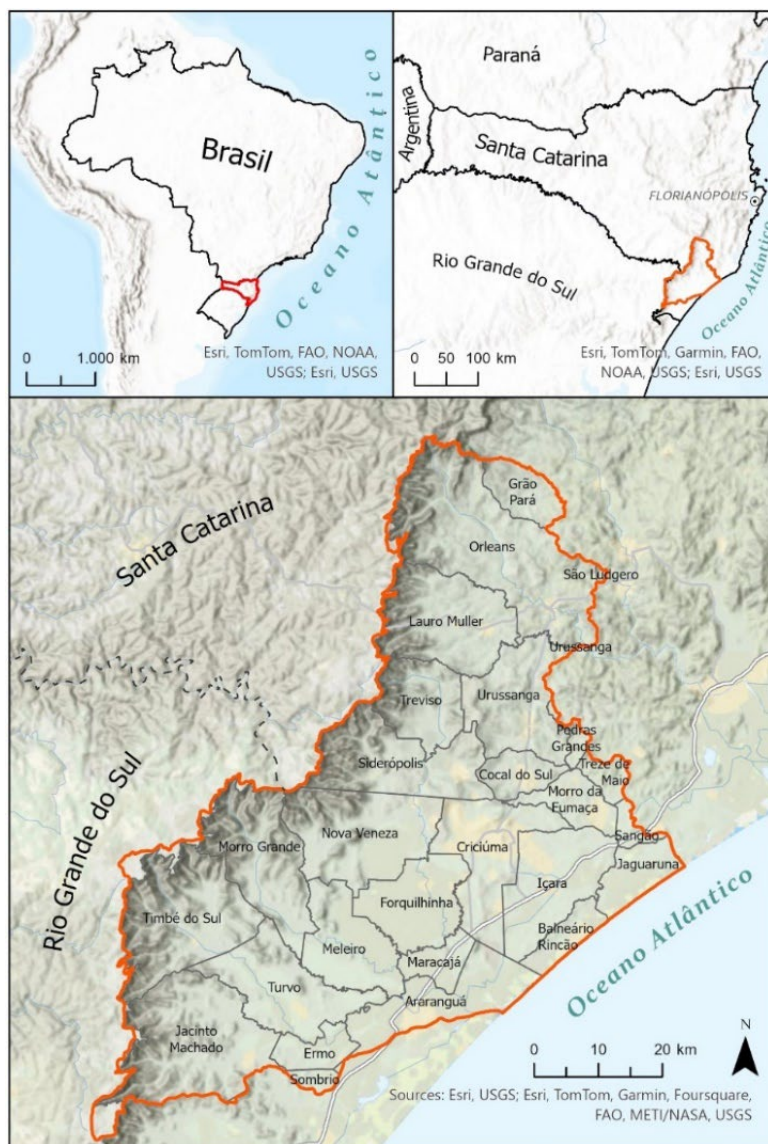


Figura 1 Localização das Bacias Hidrográficas onde está inserida a área de estudo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá possui 3.089 km², com 4.735 km², a Bacia do Rio Tubarão é a maior em extensão, enquanto a Bacia do Rio Urussanga é a menor, com 680 km². De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2017), a Bacia Hidrográfica do Tubarão está

localizada na região hidrográfica 9, Sul Catarinense, e sua área abrange, total ou parcialmente, 22 municípios. Já as Bacias Hidrográficas de Araranguá e Urussanga se localizam na região hidrográfica 10, Extremo Sul Catarinense, e suas áreas abrangem, total ou parcialmente, 16 e 8 municípios, respectivamente (SANTA CATARINA, 2017).

O limite da área foi traçado conforme as condições de contorno dos sistemas aquíferos presentes, sobretudo do Sistema Aquífero Rio Bonito. Desta forma a área engloba totalmente as bacias hidrográficas dos rios Araranguá e Urussanga e a porção oeste da Bacia do rio Tubarão (Figura 2). O Quadro 1 apresenta a lista dos municípios com território abrangido totalmente e parcialmente pela área de estudo.



Área do Projeto Diagnóstico Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina

Figura 2 Mapa de localização da área de estudo.

Quadro 1 Lista dos municípios com território abrangido totalmente e parcialmente pela área de estudo.

Municípios totalmente incluídos na área	Municípios parcialmente incluídos na área
Balneário Rincão, Cocal do Sul, Criciúma, Ermo, Forquilha, Içara, Lauro Muller, Maracajá, Meleiro, Morro da Fumaça, Morro Grande, Nova Veneza, Orleans, Siderópolis, Timbé do Sul, Treviso, Turvo e Urussanga	Araranguá, Grão Pará, Jacinto Machado, Jaguaruna, Pedras Grandes, Sangão, São Ludgero, Sombrio e Treze de Maio

4. ATIVIDADES EXECUTADAS

Os trabalhos desenvolvidos no primeiro ano de execução do Projeto estão descritos resumidamente a seguir. Os tópicos foram organizados conforme o cronograma executivo proposto.

4.1 PROCEDIMENTOS INICIAIS

4.1.1 Mobilização, Planejamento e Detalhamento das Ações Previstas

Para dar início à execução dos trabalhos foi necessário a realização de atividades preparatórias como mobilização dos recursos físicos e humanos; reuniões de planejamento para definição dos critérios de trabalho; consolidação do Plano de Trabalho, contendo o planejamento técnico e físico de cada atividade, com descrição da metodologia a ser empregada, os prazos previstos para execução, os insumos necessários ao desenvolvimento do trabalho e a composição da equipe.

4.1.2 Definição da Equipe Técnica

A equipe multidisciplinar para a execução do Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina é composta basicamente por integrantes da Superintendência Regional de Porto Alegre e do Núcleo de Apoio de Criciúma. Também está sendo fornecido apoio técnico e outras unidades regionais do SGB-CPRM como Núcleo de Curitiba, Superintendência Regional de São Paulo e de Salvador.

A equipe executora permanente do Projeto está discriminada no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 Equipe Técnica Permanente do Projeto.

Nome	Cargo	Tema
Marcos Alexandre de Freitas	Geólogo DSc	Coordenação e Hidrogeologia
Guilherme Casarotto Troian	Geólogo DSc	Geologia e Hidrogeologia
Albert Teixeira Cardoso	Eng ^o Ambiental DSc	Hidrologia, Climatologia e Meio Ambiente
Melissa Franzen	Geóloga DSc	Geoquímica Ambiental
Marcelo Goffermann	Geólogo MSc	Hidrogeologia e poços
Camila Matiuzzi	Eng ^a Ambiental MSc	Hidrologia e Climatologia
Eliel Martins Senhorinho	Geólogo	Cartografia Hidrogeológica e poços
Anna Alice Couto Gomes	Geóloga	Geologia, Hidrogeologia e Geoprocessamento
Jéssica Finardi Ramos	Geóloga	Geologia, Hidrogeologia e Geoprocessamento
William Ribeiro Lopes	Geofísico MSc	Geofísica
Douglas Sanches Soller	Técnico em Hidrologia	Hidrologia
Luís Alberto Costa	Técnico em Mineração	Cadastramento de Poços
Patrícia Wagner Sotério	Técnica em Hidrologia	Hidrologia e geoprocessamento

4.1.3 Aquisição de Softwares e Treinamento

Com objetivo de dotar a equipe com ferramentas que possibilitem a melhor gestão dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos foram adquiridos, junto a empresa *Water Services and Technologies* Ltda os seguintes softwares acompanhados de seus respectivos treinamentos específicos:

- AQUIFER TEST: Utilizado para interpretação de ensaios de bombeamento e *slug test*, fornecendo soluções analíticas para definir os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos;

- AQUACHEM: Utilizado para análise hidrogeoquímica com variedade de funções e cálculos, complementados e apresentados por uma extensa seleção de gráficos geoquímicos comumente usados para representar as características químicas dos dados de qualidade de água;

- HYDRO GEOANALYST: É utilizado para armazenar todos os dados ambientais em um único banco de dados centralizado que pode ser acessado com segurança por vários usuários em rede.

Em setembro de 2023 a equipe que irá utilizar os softwares recebeu treinamento (online e presencial) a fim de conhecer as principais ferramentas aplicáveis ao projeto (Figura 3).



Figura 3 Treinamento da equipe do SGB-CPRM na sede da Water Services and Technologies em Florianópolis-SC.

4.1.4 Aquisição, Preparo e Integração de Dados Cartográficos

Esta etapa teve como objetivo arquitetar um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para região da carbonífera. A fim de se obter os dados cartográficos disponíveis para a área de estudo, foi realizado levantamento de informações disponíveis em órgãos/empresas públicos, entidades não governamentais e universidades, tais como:

- Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM);
- Agência Nacional de Mineração (ANM);
- Agência Nacional de Águas (ANA);
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE) de Santa Catarina;
- Prefeituras Municipais;
- Universidades Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);
- Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC);
- Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC);
- Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina (SIESESC);

- Sociedade de Assistência aos Trabalhadores do Carvão (Satc).

Os dados obtidos foram consistidos, digitalizados (quando necessário) e organizados em um banco de dados com as bases cartoriais que compõem o SIG do projeto. Estas informações servirão como base para a definição do limite da área de estudo bem como dar suporte técnico às atividades desenvolvidas ao longo do projeto.

BASE CARTOGRÁFICA TEMÁTICA

Uma etapa importante do trabalho foi a digitalização e georreferenciamento das cartas topográficas da Comissão Executiva do Plano do Carvão Nacional (CEPICAN), as quais fornecem informações cartográficas detalhadas, na escala 1:10.000, da região na década de 70 e 80. Estas informações são de extrema valia para obter informações das áreas ainda não mineradas.

As 169 cartas foram digitalizadas e transformadas em arquivos tif. Posteriormente esses arquivos foram georreferenciados, cortados e mosaicados para geração de um mapa único.

CONFECÇÃO DE ANAGLIFOS NA ESCALA 1:60.000

Para fornecer subsídios aos trabalhos de mapeamento tanto geológico como hidrogeológico foram gerados anaglifos a partir de fotografias aéreas do Projeto USAF 63-32 da UNITED STATES AIR FORCE (1964-1966), cujas referências dos fotoíndices são CPRM - 2924 e CPRM - 2940. Estas fotografias aéreas, da década de 60 e na escala 1:60.000, têm a vantagem de recobrir grande porção da área de estudo em uma época com menor ocupação urbana, o que favorece a interpretação de feições geológicas, normalmente mascaradas pela antropização posterior, além de exibir o uso do solo naquela época.

O anaglifo pode ser definido com a figura resultante da impressão ou projeção, em superposição, de um par de fotografias estereoscópicas em cores complementares (azul e vermelho), de tal forma que a imagem vista em relevo, ou em 3D, é obtida pela observação do anaglifo, através de óculos com filtros, nas usadas cores complementares. A geração das cópias digitais das fotos aéreas da área obedeceu aos parâmetros definidos por Cruz e Iglesias (2016), como tons de cinza com profundidade de 8 bits, resolução a partir de 600 dpi e imagens salvas em formato TIF. A geração dos anaglifos foi feita no software *StereoPhoto Maker 5.0*, com licença livre. O procedimento possibilita gerar seus arquivos de camada de geologia e estruturas, diretamente sobre a imagem no monitor de computador, com o uso de óculos 3D, não sendo necessário o uso de estereoscópio e das imagens físicas das fotografias aéreas, gerando o mapa geológico em meio digital.

Foram produzidos 54 anaglifos que foram posteriormente georreferenciados, ou seja, tiveram suas coordenadas geográficas conhecidas num dado sistema de

referência. Este processo iniciou-se com a obtenção das coordenadas de pontos na imagem, que são locais que oferecem uma feição física identificável (estradas, rios, topo de morro, dentre outros). Para esta situação foram utilizados pontos de controle das imagens RapidEye (ortoretificadas). Os anaglifos compõe o SIG estão disponíveis no geodatabase do Projeto. Na Figura 4 pode-se observar a espacialização dos anaglifos raster georreferenciados para o setor leste da área de estudo.

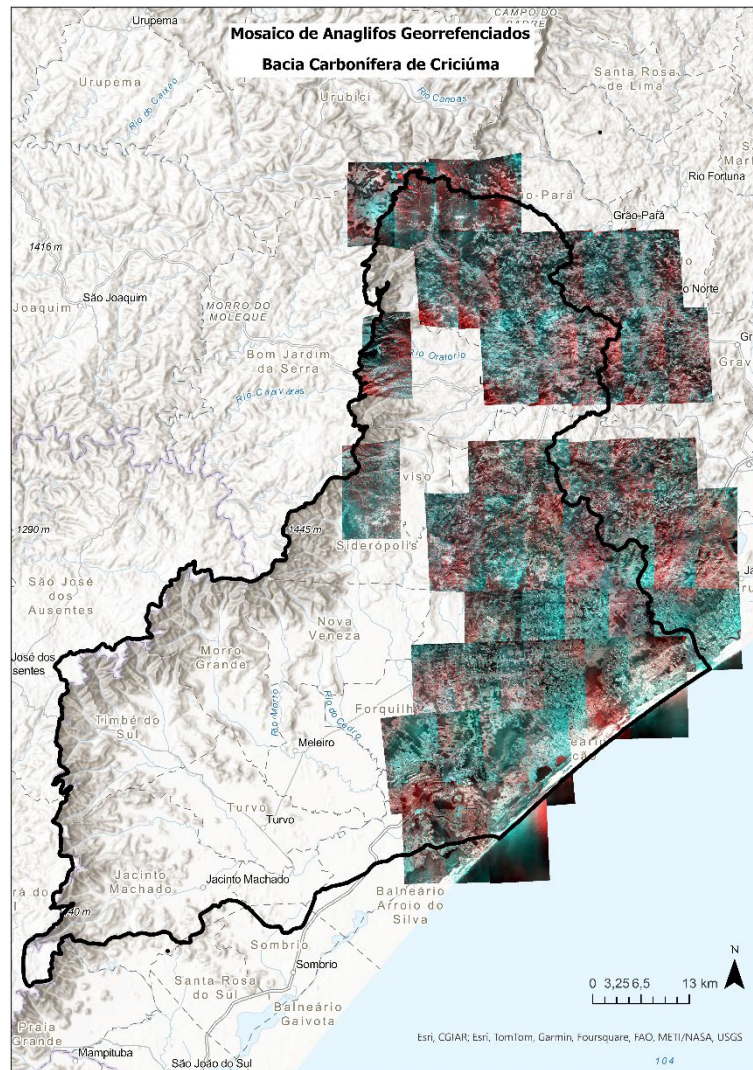


Figura 4 Anaglifos georreferenciados, gerados a partir de fotografias aéreas escalas 1:60.000 de 1964 a 1966.

4.1.5 Consistência do Banco de Dados do Grupo Técnico de Assessoramento – GTA

Em decorrência da ACP do Carvão, em 2002 foi iniciado o monitoramento dos recursos hídricos das três bacias hidrográficas impactadas pela mineração. Inicialmente o monitoramento foi feito através de convênio entre a SATC - Educação e Tecnologia e o SGB/CPRM, e, a partir de 2009, apenas pelo SGB/CPRM. Os dados deste

monitoramento são utilizados para confecção dos Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais do GTA, apresentados anualmente à população através de audiência pública e disponibilizados no portal da ACP do Carvão (<https://acpcarvao.com.br>).

Visando a inserção dos dados de monitoramento do GTA no banco de dados Hydrogeo Analist foi realizada uma análise de consistência dos dados coletados em todas as campanhas de monitoramento de indicadores ambientais.

Foram analisados os dados de campo e de laboratório dos pontos monitorados (águas superficiais, águas subterrâneas e bocas de mina) onde se encontrou alguns erros de unidades e de digitação, que imediatamente foram corrigidos e preparados para inserção no banco de dados.

Quadro 3 Parâmetros de campo de laboratório analisados atualmente pelo GTA.

Parâmetros de campo	Parâmetros de laboratório
Temperatura da água	pH
pH	Condutividade elétrica
Potencial de oxirredução (ORP)	Alcalinidade total
Oxigênio Dissolvido (OD)	Cloreto
Condutividade elétrica	Sulfato
Total de sais dissolvidos	Ferro total
Turbidez	Ferro II
Profundidade da coleta	Manganês
Nível estático	Alumínio
Nível final	Magnésio
	Cálcio
	Potássio
	Cobre
	Cádmio
	Chumbo
	Sódio
	Zinco
	Arsênio
	Mercúrio

4.1.6 **Elaboração da Revisão Bibliográfica da Área de Estudo**

Com o objetivo de nivelar o conhecimento sobre a área de estudo, foi realizado o levantamento de informações, estudos e projetos existentes, como dados bibliográficos e cartográficos, incluindo relatórios técnicos, bancos e arquivos de dados gerados em universidades, empresas de saneamento, empresas de exploração mineral, instituições públicas, entre outras. Os seguintes dados foram levantados:

- artigos técnicos, relatórios, monografias, dissertações e teses que trazem informações geológicas, hidrogeológicas, hidrológicas, ambientais, geomorfológicas, pedológicas, hidrometeorológicas da área;
- dados de afloramentos com resultados de análises petrográficas, químicas, geocronológicas, paleontológicas e de recursos minerais do Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, denominado GeoSGB;
- aerofotos, imagens de satélite e modelos digitais do terreno (MDT) existentes;
- cartografia em várias escalas existentes na área de estudo relacionadas à geologia, geofísica, estruturas geológicas, geomorfologia, pedologia, hidrogeologia, hidrologia, e hidrometeorologia;
- cadastros e fichas técnicas de poços tubulares junto às empresas perfuradoras, Companhia Catarinense de Águas e Saneamento-CASAN e Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (DRH-SDS);
- informações de poços presentes na base SIAGAS localizados nos municípios que abrangem a área do projeto;
- resultados de análises de qualidade de água subterrânea com parâmetros físicos, químicos e microbiológicos presentes em repositório do DRH-SDS, SIAGAS, entre outras fontes, e estudos hidrogeológicos feitos em trabalhos anteriores;
- informações referentes à outorga de direito de uso de águas subterrâneas e superficiais junto ao DRH-SDS em Florianópolis;
- dados hidrometeorológicos disponíveis em instituições públicas atuantes nessa área;

Estas informações, adquiridas diretamente, servirão de base para o desenvolvimento das demais ações que integrarão o Projeto. Os dados compilados estão sendo sistematizados e integrados para serem posteriormente utilizados na elaboração dos estudos.

O estado da arte do conhecimento da geologia, hidrogeologia, hidrologia, climatologia e meio ambiente da região foi reunido num documento, sob a forma de revisão bibliográfica da área de estudo, que será apresentada como parte integrante deste projeto.

4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA-ESTRUTURAL

4.2.1 **Solicitação junto a ANM a cópia dos processos minerários na área de estudo**

Foram solicitados junto a Agência Nacional de Mineração-ANM os limites das áreas mineradas em subsolo, contendo a profundidade (ou cotas) da camada de carvão Barro Branco.

Em resposta a ANM disponibilizou mapas em formato *.dwg* com as plantas das minas em operação, tomando como base o ano de 2020. Tais dados serão utilizados para consistência de informações obtidas de sondagens geológicas, em vistas a identificação dos principais blocos estruturais da região, auxiliando na elaboração do modelo geológico/hidrogeológico 3D.

4.2.2 **Solicitação junto ao SIESESC das informações de sondagens**

Foi realizado contato junto ao Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina (SIESESC), a fim de se obter dados de sondagens exploratórias realizadas pelas empresas carboníferas da região.

Em resposta o sindicato repassou ao SBG-CPRM duas planilhas contendo informações de sondagens (coordenadas, cota de lapa e cota de teto) realizadas na porção norte e sul da região carbonífera. No entanto, a pedido do SIESESC, ficou acordado que, tanto no relatório como no modelo 3D, serão suprimidas as informações de espessura das camadas de carvão. Sendo assim, para fim de visualização no modelo 3D, se padronizou para todos os furos a espessura da camada em 1,5 m.

4.2.3 **Criação do banco de dados de sondagens para pesquisa de carvão**

Em agosto de 1983 a CPRM em conjunto com o então Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), iniciou a pesquisa intitulada Projeto Borda Leste, com o intuito de mapear as camadas de carvão presentes na borda leste da Bacia do Paraná nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. As sondagens

realizadas no Projeto Borda Leste formam a principal fonte de dados que está sendo utilizada para elaboração do modelo geológico/hidrogeológico 3D da região.

A etapa de elaboração do banco de dados exigiu a busca de arquivos físicos dos 939 boletins de furos de sondagem que estão dentro da área do presente estudo. Estes boletins foram então digitalizados, e com as informações disponíveis foi elaborado o banco de dados contendo as seguintes informações:

- Nome do Furo;
- Data de Perfuração;
- Coordenadas UTM;
- Profundidade total;
- Limites superior e inferior das formações geológicas, camadas de carvão e diques/sils de diabásio.

Após a plotagem destas sondagens em mapa observou-se que poderiam existir deslocamentos em função da metodologia utilizada na época para o georreferenciamento dos pontos. Vale ressaltar que na época em que foi realizada a campanha de sondagem, a locação da malha de sondagem com a posição dos furos não contava com a tecnologia de Sistema de Posicionamento Global (GPS) e, portanto, estava sujeita a erros de posicionamento das coordenadas dos furos.

Foi então realizada busca na bibliografia e com profissionais que trabalharam no projeto se identificou que a base cartográfica utilizada para a a locação dos furos de sondagem foi gerado a partir de fotos aéreas da região tiradas em 1956 e organizado pela Comissão Executiva do Plano do Carvão Nacional (CEPCAN). Após este levantamento foi identificada uma diferença de aproximadamente 300m de deslocamento entre a base cartográfica utilizada na época em relação a base atual.

Visando uma melhor precisão iniciou-se o trabalho de correção dessas coordenadas para uso das sondagens na construção do modelo geológico tridimensional da área da Bacia Carbonífera. Foram realizadas campanhas de campo com o objetivo de encontrar e identificar os furos de sondagem, utilizando para isso um GPS de navegação para comparar as coordenadas obtidas com as coordenadas originais informadas durante a campanha de sondagem. Houve muita dificuldade de encontrar locais onde os marcos e placas de identificação dos furos ainda estivessem preservados (Figura 5). Como a maior parte das sondagens foram perfuradas há cerca de 50 anos, muitas não foram encontradas pois tiveram sua estrutura removida. Foi possível levantar 79 furos de sondagem que tiveram sua indicação por placa (Figura 6), marco ou localização indicada por algum ex-funcionário que trabalhou na perfuração.

Comparou-se as coordenadas dos furos de sondagem encontrados em campo com as coordenadas originais, registrando-se as diferenças. Foi observado um

deslocamento médio na faixa de 310 e 360 m para sul e 23 m para oeste, sendo esse último mais aleatório. Esta primeira revisão a partir de levantamento de campo dividiu as sondagens em grupos de confiabilidade muito alta a baixa, sendo de confiabilidade muito alta os furos que ainda possuíam marco e que foram referência na consistência desses dados. Para o deslocamento dos demais pontos que não foram encontrados em campo, optou-se por fazer uma análise dos mapas da CEPCAN para quantificar o deslocamento dos pontos em mapa e aplicar o mesmo para os pontos restantes. Estes mapas, num total de 169 unidades, representam a topografia original da região com base nas fotos aéreas adquiridas em 1956.



Figura 5 Sondagem para pesquisa de carvão com marco e placa de identificação preservados.



Figura 6 Detalhe da placa de identificação da sondagem para pesquisa de carvão mineral.

O processo de correção das sondagens se deu por correlação de elementos observados em carta com os do mapa base atual disponibilizado pelo software. Após o georreferenciamento, as cartas foram organizadas no banco de dados para consulta individual e utilizadas para composição de mosaico geral da área (Figura 7).

A etapa final da consistência de dados foi validar as novas coordenadas de furos de sondagem com a localização a partir de furos de sondagem em minas de carvão na região. As plantas com a distribuição de sondagem onde foi possível identificar e correlacionar os furos utilizados no banco de dados deste projeto foram verificadas ponto a ponto. Furos de sondagem onde havia algum deslocamento teve sua distância medida e armazenada em planilha. Como a distância observada nessa etapa não foi significativa e seguia valores específicos por grupos de furos, preferiu-se manter as coordenadas revisadas anteriormente e deixar armazenada esta informação caso haja necessidade de consulta.

Após todas as fases de consistência foram gerados dois arquivos em *excel*: um arquivo denominado *collar* contendo as coordenadas no formato necessário para uso no software de modelagem *Leapfrog*, e um planilha geral contendo todos os pontos de sondagem e informações adicionais pertinentes. Além disso foram gerados arquivos vetoriais *shapefile* das coordenadas originais, dos dados após o deslocamento dos

pontos e uma versão final projetada em no sistema UTM Sirgas 2000 em conformidade com os dados do projeto.

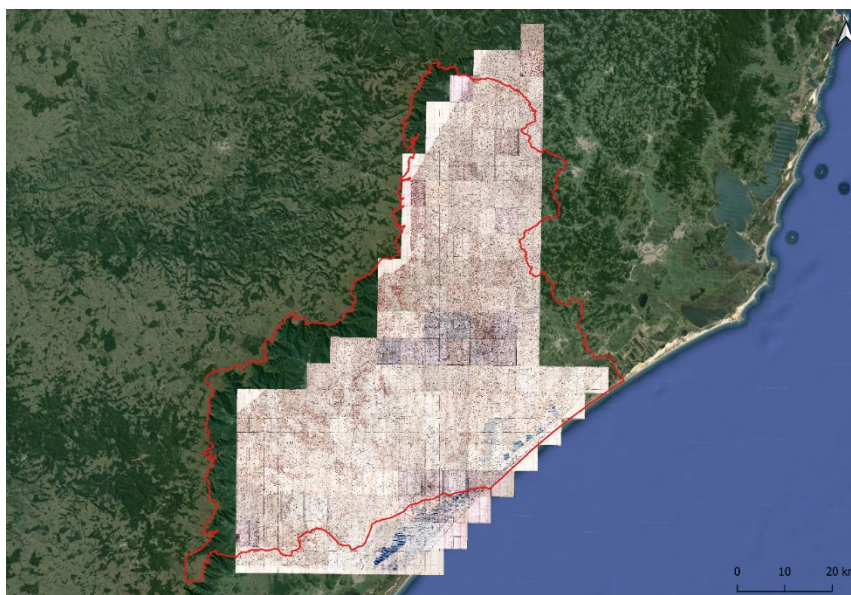


Figura 7 Mosaico dos mapas da CEPCAN e sua abrangência na área de estudo.

4.2.4 Atualização do mapeamento geológico e estrutural

Visando reunir em um SIG os diversos tipos de unidades geológicas e suas estruturas tectônicas na escala 1:100.000 deu-se início à compilação e unificação dos vários mapas geológicos existentes na região. Foram observados as pesquisas e mapeamentos anteriores da área e seu entorno, disponíveis em diversas escalas, considerando-se os aspectos litoestratigráficos, tectônicos e recursos minerais, além de fatores que influenciam na hidrogeologia, hidrodinâmica e hidroquímica. Também foram feitas interpretações das imagens de sensores remotos disponíveis para a região, tais como: fotografias aéreas e imagens de satélite.

Entre as várias fontes consultados destacam-se o mapa geológico na escala 1:250.000 da Folha Criciúma-SH.22- X-B (Silva, 2000), mapa geológico da tese de doutoramento apresentada por Krebs (2004), mapa geológico da bacia do rio Urussanga e da bacia do rio Tubarão (Krebs, 2007 inédito), mapa geológico de Santa Catarina confeccionado pela CPRM na escala 1:500.000 (Wildner *et al*, 2014) e Mapa Geológico da Bacia do Paraná (Horn *et al*, 2022).

Os arquivos vetoriais, que compõem o mapa geológico conforme regras adotadas no SGB-CPRM para as tabelas de atributos, foram padronizados e consistidos no pacote *Arc Map* 10.8.1. A (Figura 8) ilustra a distribuição das unidades estratigráficas

presentes na área bem como seu arcabouço estrutural. Este mapa contempla o novo limite da área de estudos traçado a partir dos divisores de água das bacias hidrográficas.

Posteriormente à confecção do SIG Geologia foram realizadas etapas de verificação dos contatos litológicos em campo através de seções geológicas regionais e afloramentos locais utilizando o aplicativo *QField* em um *tablet*. O *QField* é um projeto paralelo ao QGIS, construído para utilização em dispositivos móveis (principalmente *smartphones* e *tablets*) para atividades de campo. Desenvolvido pela OpenGIS, funciona com a mesma licença pública do QGIS, a GNU (*General Public License*), com código totalmente aberto para uso, inspeção e modificação. Este aplicativo funciona com a localização por GPS, com todas as funcionalidades *offline*, capacidade de sincronização e permite a visualização de todas as camadas (*raster* e vetoriais) carregadas previamente no projeto e vetorização de camadas.

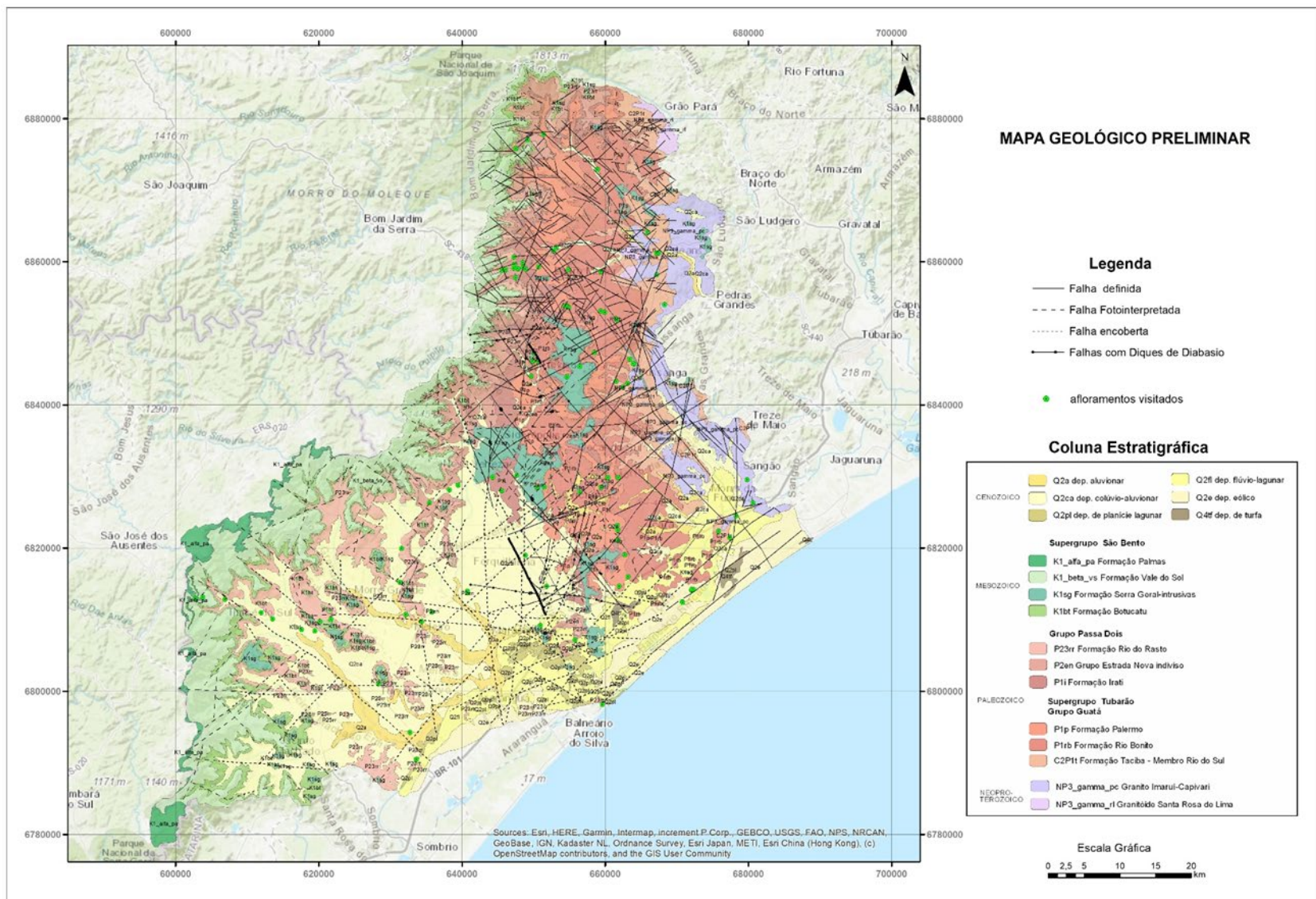


Figura 8 Mapa geológico preliminar na escala 1:100.000 integrado de várias fontes (Silva, 2000; Krebs 2004; Krebs, 2007; Wildner, et al. 2014 e Horn et al, 2022).

Em campo foram verificados 101 pontos de afloramento na área de estudo (Figura 9) onde na maioria das vezes os pontos correspondiam aos contatos registrados em mapa. Nesta atividade procurou-se realizar seções que contemplassem visitar todas as unidades lito-estratigráficas presentes na área de estudo.

Nos afloramentos foram observadas feições litológicas, mineralógicas, estruturais e pedológicas (Figura 10). Também foram observadas características geomorfológicas (Figura 11) e estruturais que controlam a ocorrência de água subterrânea sua relação com as águas superficiais (Figura 12).

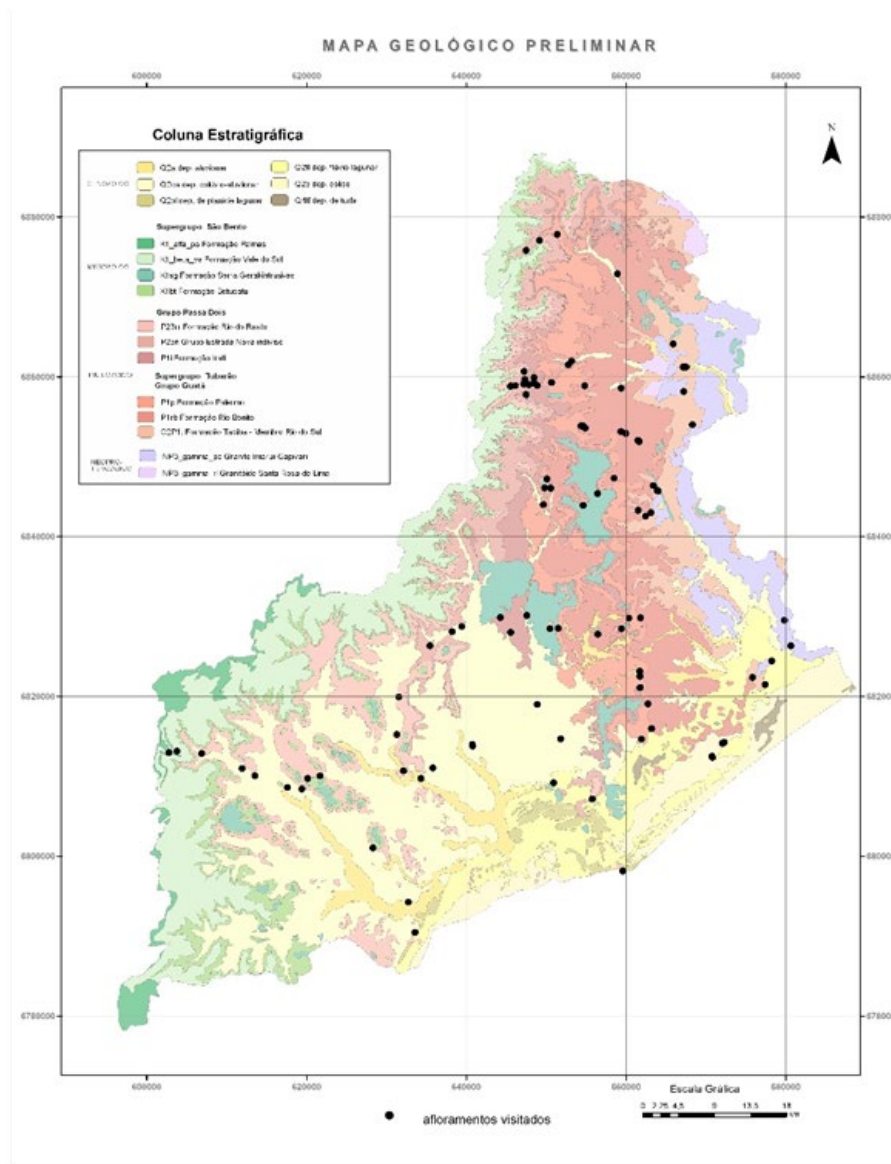


Figura 9 Destaque para os pontos verificados em campo durante a integração e consistência do mapa geológico integrado.



Figura 10 Visita ao afloramento de depósitos colúvio-aluvionares (leques aluviais) no sopé da Serra da Rocinha(BR-285) em Timbé do Sul-SC.

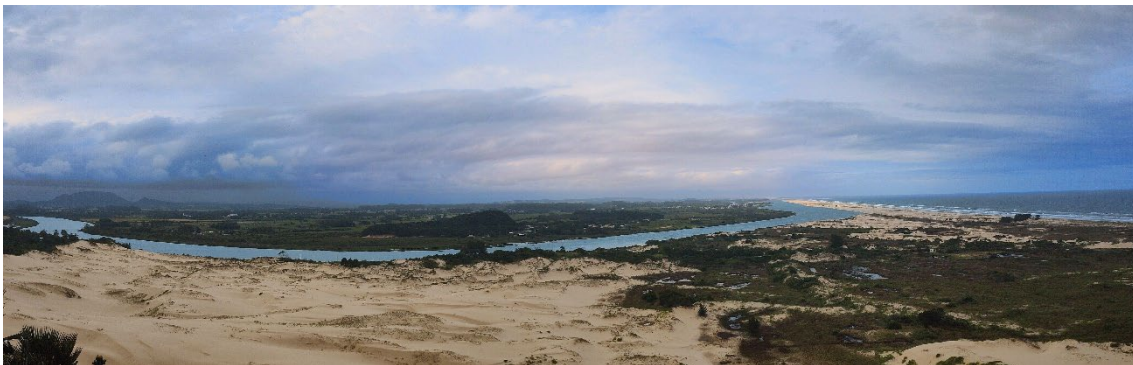


Figura 11 Visão panorâmica dos sedimentos quaternários na foz do rio Araranguá.



Figura 12 Afloramento da Formação Botucatu capeada pelas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, dando origem a diversas nascentes. Notar que esta unidade repousa sobre as formações permianas, onde o fundo do vale (cota 422 m) corresponde à formação Palermo. Localidade de Três Barras, Orleans-SC.

Após os trabalhos de campo e a integração no SIG o mapa foi corrigido e enviado para a equipe de geoprocessamento com a finalidade de corrigir prováveis erros topológicos.

As próximas etapas do mapeamento geológico continuarão com a consistência do mapa apoiada por trabalhos de campo para verificar a estratigrafia e sobretudo a geologia estrutural da área.

4.2.5 **Elaboração do modelo geológico 3D**

O modelo geológico tridimensional da Região Carbonífera de Santa Catarina está sendo construído inteiramente no software *Leapfrog Geo* v.2023.2.

A base de dados de sondagem utilizada (Figura 13) contou com 1940 furos de sondagem provenientes de diferentes fontes de dados, sendo 869 do Projeto Borda Leste, 949 do SIESESC, 101 da Mina D e 21 da mina Verdinho.

As informações de geologia e camadas de carvão, presentes em cada um dos poços, foram utilizadas para alimentar as tabelas de entrada dos dados no software *Leapfrog*. Os dados posicionais, contendo as coordenadas x, y, z, foram inseridos na tabela Collar, as informações de orientação dos poços compuseram a tabela Survey e as descrições geológicas alimentaram a tabela *Geology*.

A superfície topográfica utilizada para geração do modelo 3D foi obtida a partir de imagens Alos Palsar, com resolução de 12,5m, as quais foram arranjadas sob a forma de um mosaico de modo a cobrir a totalidade da área de estudo. Para o perfeito ajuste dos poços na topografia, foi realizada uma projeção das cotas z das bocas dos mesmos na superfície gerada.

As unidades litoestratigráficas foram geradas utilizando o algoritmo *deposit*, seguindo o ordenamento do topo para base. Os contatos entre as unidades foram ajustados através de linhas oriundas do mapa geológico integrado (inédito).

O arcabouço estrutural foi construído através de filtragem, onde foram preservadas apenas as principais estruturas, as quais apresentam deslocamentos das camadas guias de carvão. Estes descolamentos foram obtidos através da espacialização dos furos de sondagem.

A Figura 14 ilustra o comportamento das unidades litoestratigráficas em 3D na área de estudo com exemplo de uma seção A'-A gerada que revela o comportamento dos estratos em profundidade.

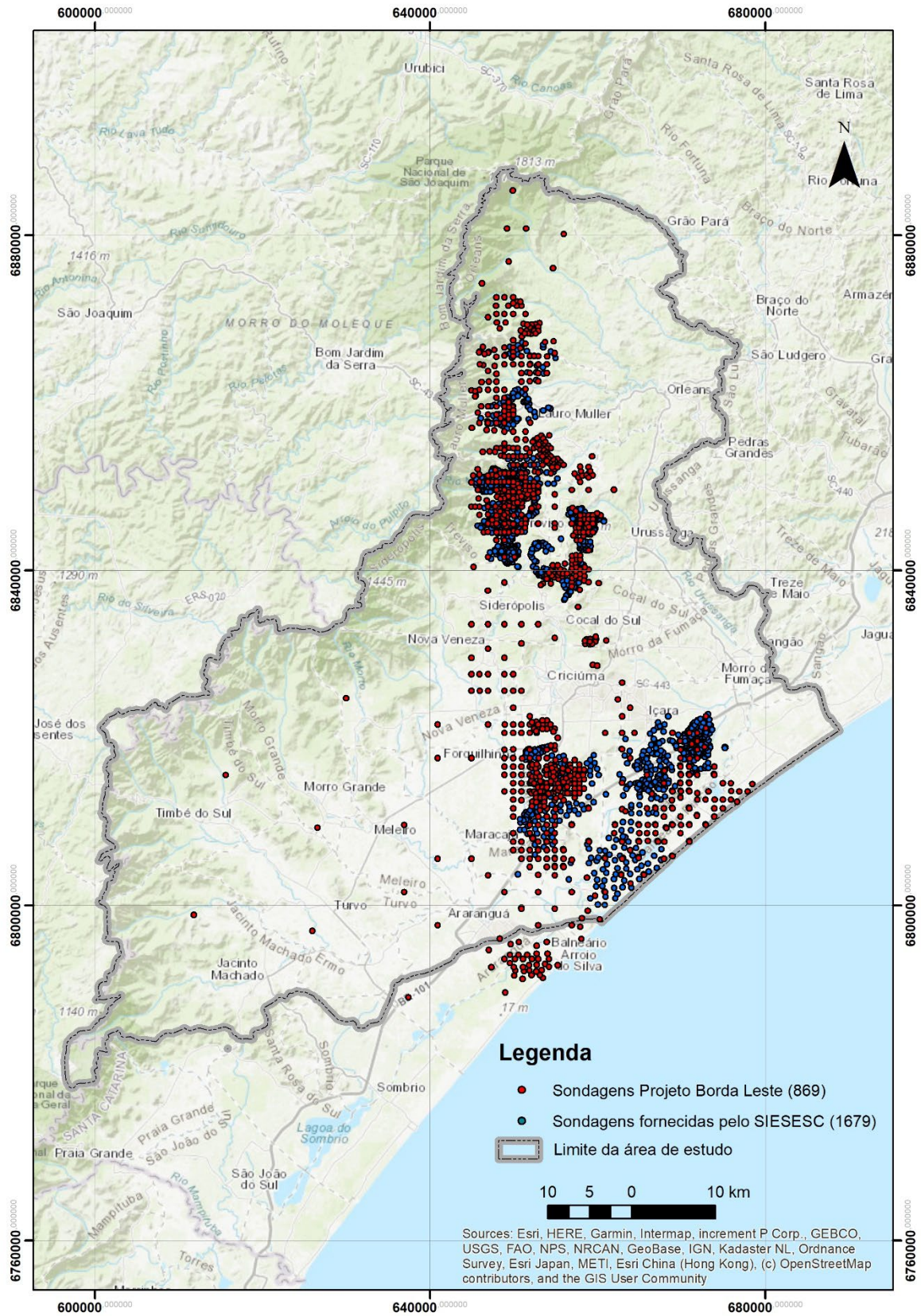


Figura 13 Mapa das sondagens utilizadas para a geração do modelo geológico tridimensional

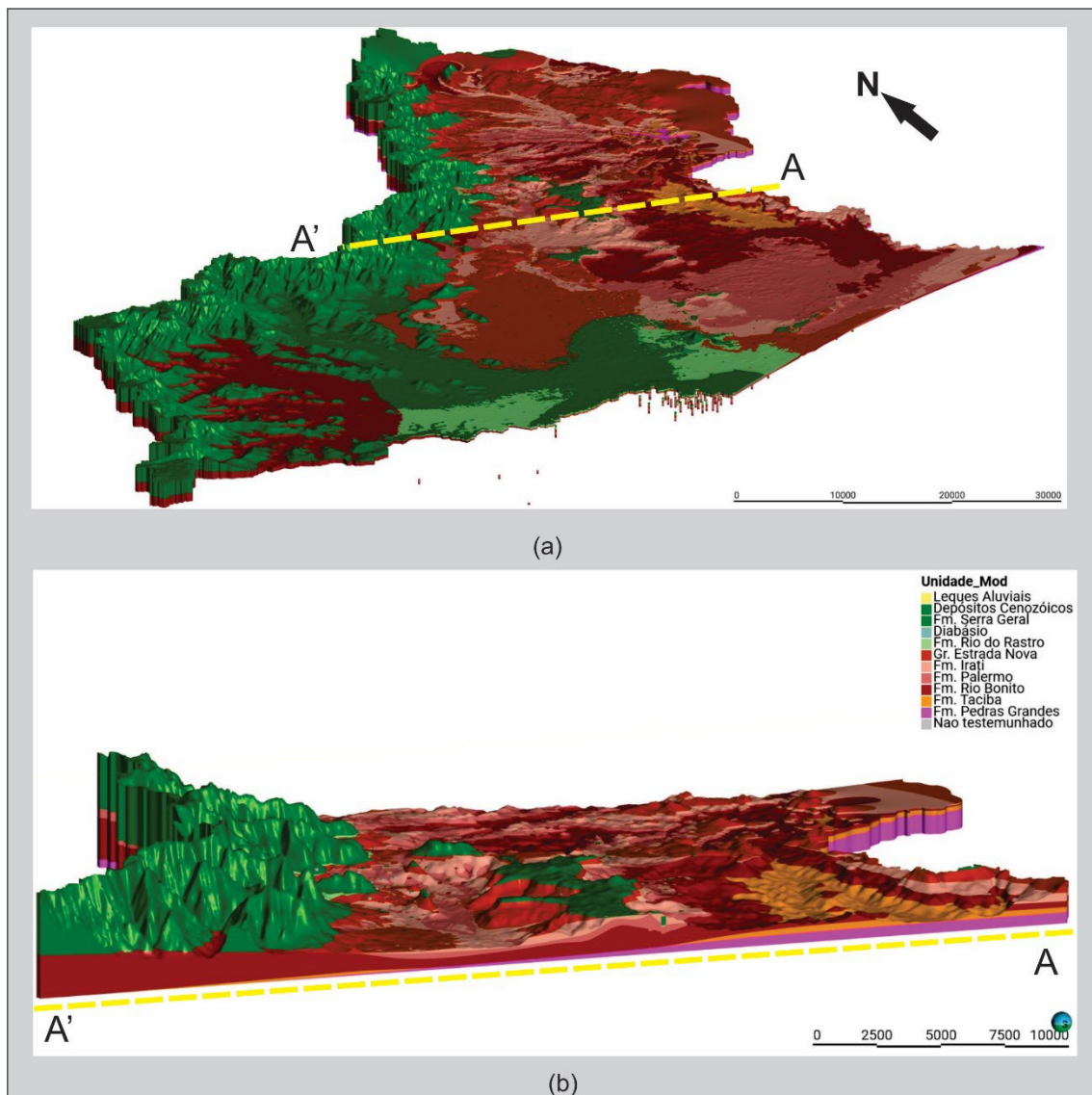


Figura 14 Modelo 3D preliminar (a) e corte realizado segundo a seção A'-A (b).

4.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

4.3.1 Atualização do banco de dados de pontos de água subterrânea

O inventário e o cadastramento de poços têm como objetivo buscar o conhecimento parcial da infraestrutura hídrica subterrânea instalada, a estimativa dos recursos de águas subterrâneas utilizados, a oferta de água subterrânea existente e fornecer informações sobre a qualidade das águas subterrâneas em diversos sistemas aquíferos presentes na área de estudo.

4.3.2 Panorama Atual da Base SIAGAS

A base do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas-SIAGAS do SGB-CPRM contém 560 registros distribuídos conforme o Quadro 3, com período de alimentação de 1997 até o final de 2023. O período mais frequente de alimentação desta base foi entre 2003 e 2009 (Gráfico 1), quando ocorreram grandes projetos de cadastramento de pontos em campo, como por exemplo o Mapa Hidrogeológico de Santa Catarina.

Quadro 4 Tipos de pontos de captação de água subterrânea e sua distribuição existentes na Base SIAGAS até dezembro de 2023.

Tipo de ponto	Quantidade	Percentual
poços tubulares	444	79,29
poços escavados	21	3,76
ponteiras	1	0,18
poços de monitoramento	13	2,33
fontes naturais	81	14,52

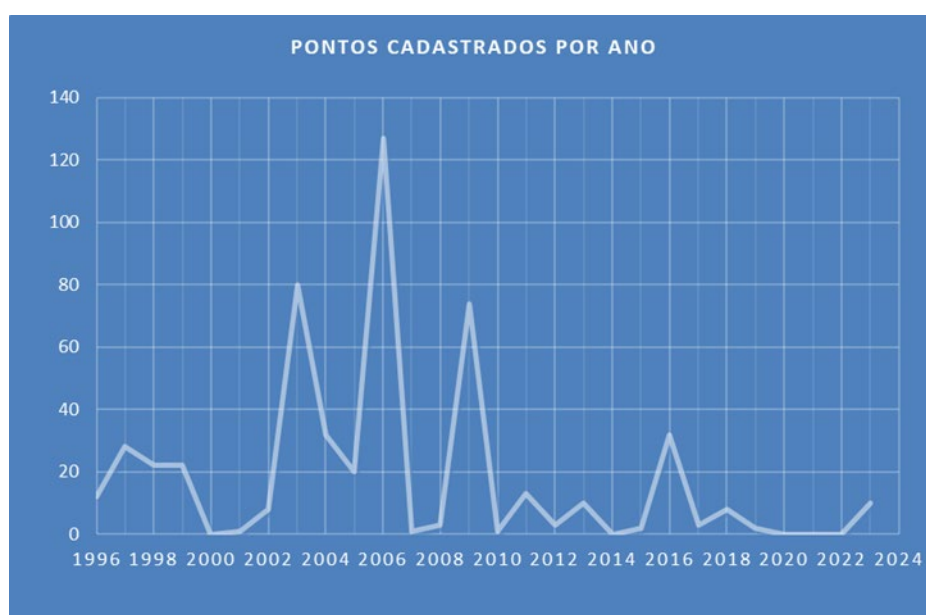


Gráfico 1 Número de pontos de captação de água subterrânea cadastrados na base SIAGAS até 2023.

Observa-se que a grande maioria dos pontos é constituída de poços tubulares e captações de fontes (Gráfico 2) utilizados para as mais diversas finalidades. A distribuição espacial desses pontos cadastrados indica que a maioria dos pontos se encontra na porção da bacia do rio Tubarão e na bacia do rio Araranguá (Figura 15).

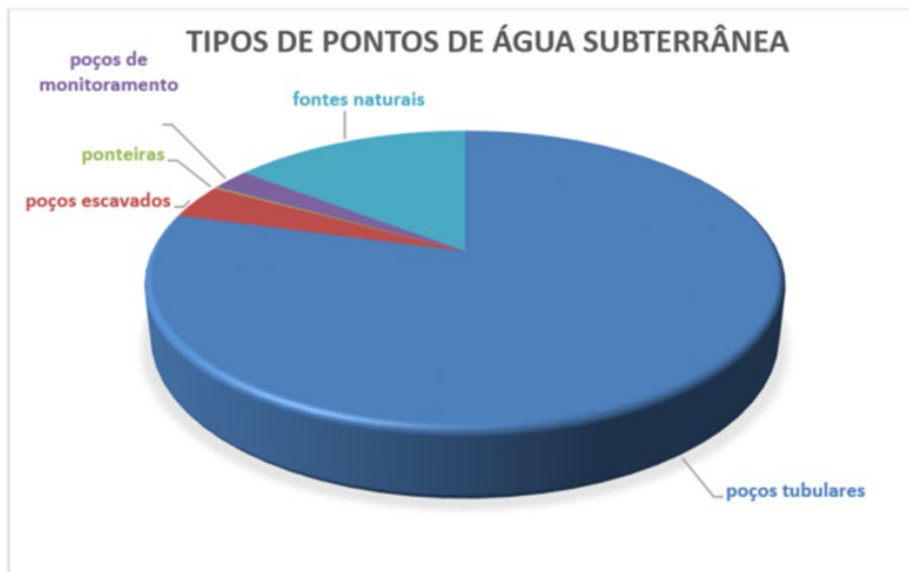


Gráfico 2 Frequência dos diversos tipos de pontos d'água subterrânea cadastrados na Base SIAGAS até dezembro de 2023.

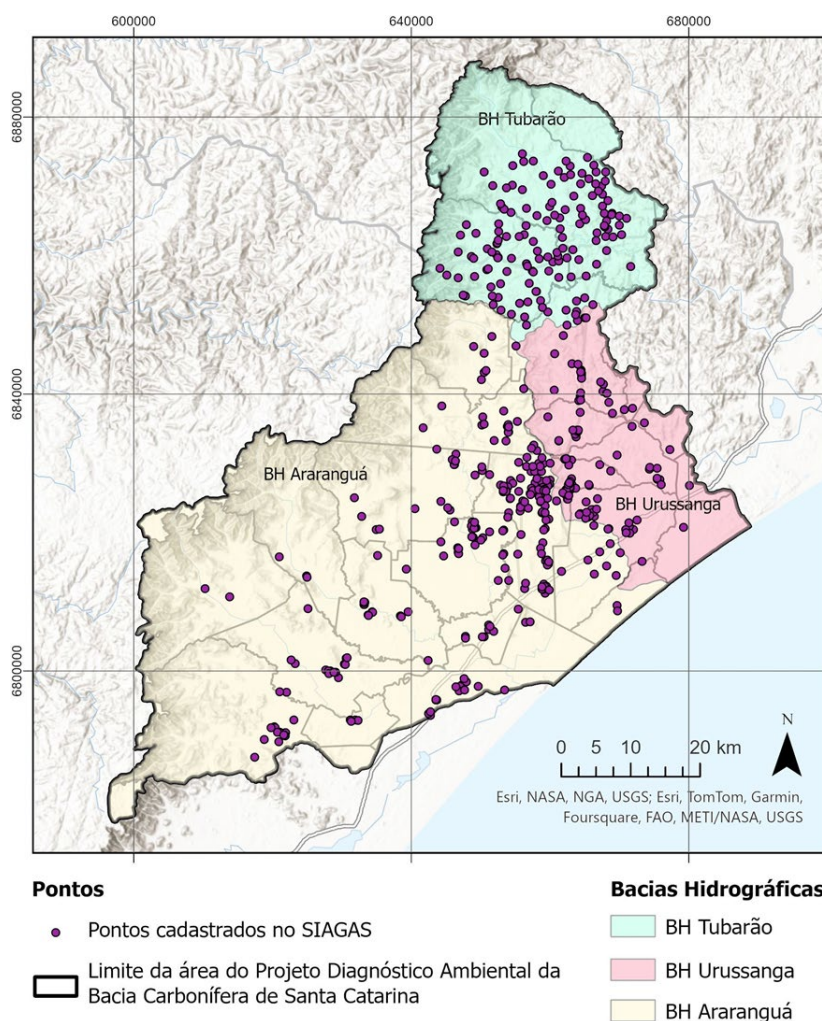


Figura 15 Mapa de distribuição dos pontos cadastrados pelo Programa SIAGAS do SGB-CPRM até dezembro de 2023.

4.3.3 Coleta de Dados e Informações de Pontos de Captação de Água Subterrânea

Visando atualizar a base deu-se início em julho de 2023 ao trabalho de busca de dados de captação de águas subterrâneas da SEMAEV – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Economia Verde, de Santa Catarina. A relação interinstitucional existente entre o SGB-CPRM e a SEMAEV foi reforçado por meio de um acordo de cooperação técnica, formalizado em meados de 2021 que tem por objetivo permitir amplo acesso aos dados de outorga existentes na Diretoria de Recursos Hídricos.

Os dados em questão referem-se às informações técnicas de captações de águas subterrâneas, principalmente de poços tubulares profundos, como perfis litológico-construtivos, ensaios de bombeamento e análises físico-químicas de água. Afora estes, outras informações de captações como poços rasos, escavados, ponteiros e nascentes também são importantes para o entendimento da hidrogeologia da região. Para tanto, foram realizadas visitas à Diretoria de Recursos Hídricos em Florianópolis nas quais nossos técnicos acessaram os processos físicos de outorga e os constantes no SIOUT (Sistema de Outorga de SC). O SIOUT-SC (Figura 16) trata-se de um sistema onde é possível acompanhar e realizar algumas pesquisas e download de diversos documentos digitais dos processos de outorga, entretanto, a maior parte do acervo ainda permanece em formato físico.



Figura 16 Tela inicial do SIOUT-SC.

No caso dos processos físicos, os relatórios são transformados em meio digital através de *scanners* de mão (Figura 17) priorizando-se os perfis dos poços, tabelas de ensaio de bombeamento e análises físico-químicas.

Também foram pesquisados arquivos de poços na Companhia de Saneamento de Santa Catarina-CASAN. Diversos poços da CASAN localizados na área de estudo foram abandonados, desativados e cedidos a concessionárias de abastecimento de água municipais, porém alguns dados foram mantidos no seu arquivo. Destaca-se a colaboração dos geólogos Larissa Ramage e Ramon Vitto.

A campanha de coleta de dados destinada ao projeto de Diagnóstico da Região Carbonífera mostrou-se profícua e muito útil ao projeto. Foram digitalizados na primeira campanha uma centena de registros de poços. Nestes registros estão incluídos desde relatórios completos até apenas dados de autorizações prévias. Os arquivos digitalizados foram tratados e organizados em escritório, finalizando com a montagem de um arquivo em PDF para cada registro de poço, considerando que por vezes um processo pode conter dados de mais de uma captação de água, mesmo que incompletos.

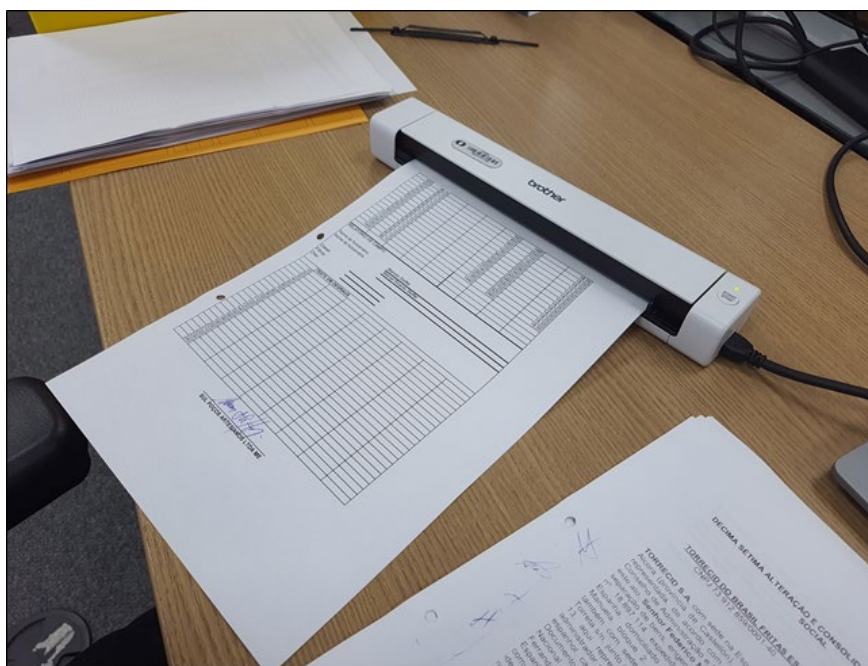


Figura 17 Equipamento portátil para digitalização: scanner de gaveta Brother DS640.

O levantamento realizado não abrangeu sequer metade do acervo de processos da SEMAEV-SC, ou seja, ainda resta um montante considerável de caixas e pastas para serem vasculhadas em campanhas futuras visando encontrar dados nos municípios abrangidos pelo estudo.

Também foram solicitados relatórios de poços tubulares em empresas de perfuração de poços privadas. Notou-se que são poucas as empresas particulares que

entregam documentação técnica suficiente. Destacam-se positivamente as empresas Hidrogeo de Canoas-RS e Hidropel de Curitiba-PR que apresentam dados completos e boas descrições litológicas dos seus poços (Figura 18 e Figura 19).

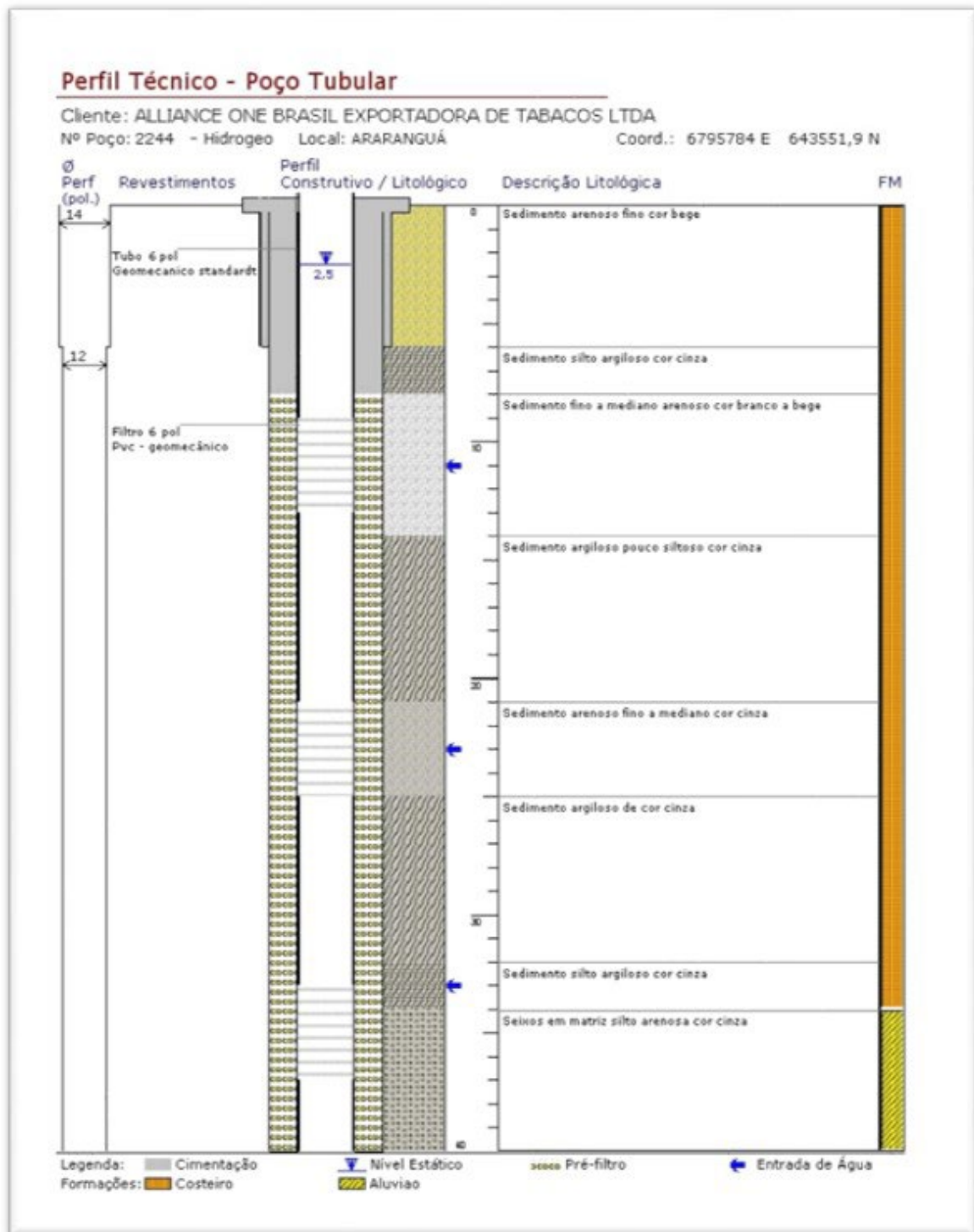


Figura 18 Exemplo de perfil litológico construtivo de poço tubular construído em Araranguá-SC pela Hidrogeo Poços Artesianos Ltda.

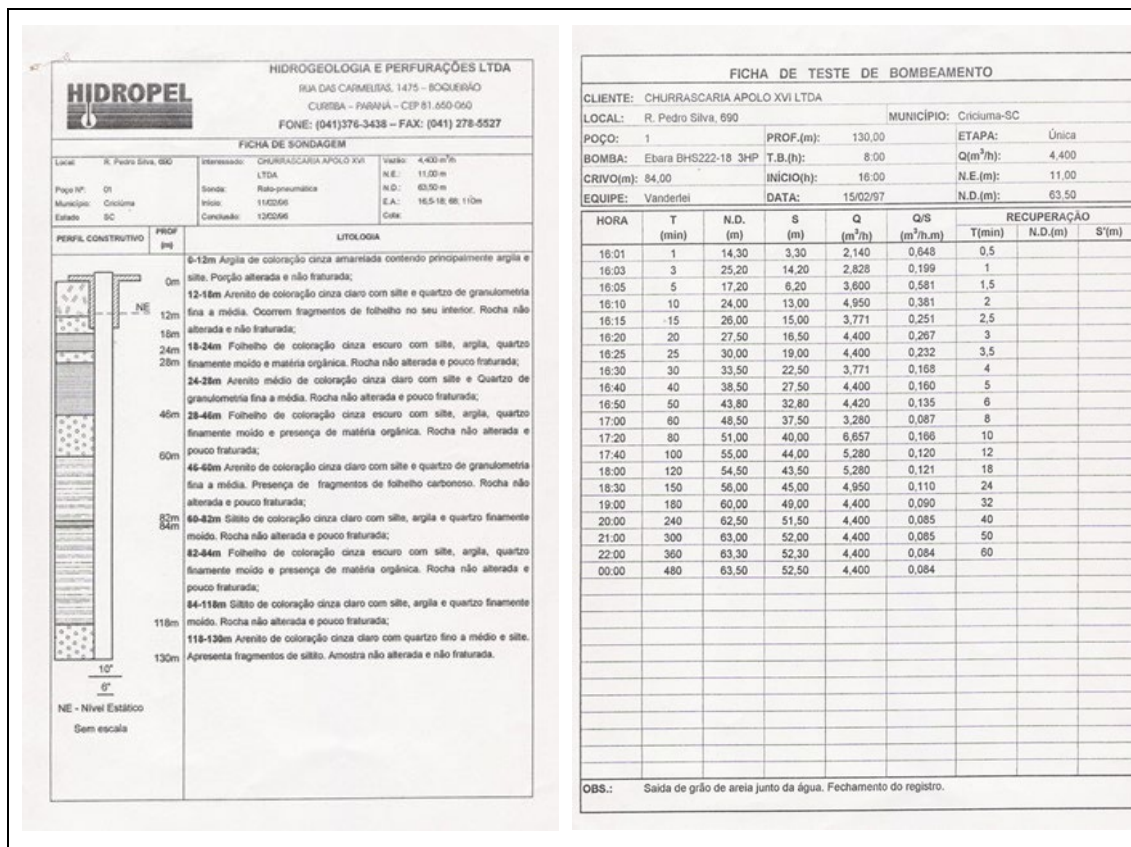


Figura 19 Exemplo de relatório de poço tubular construído pela Hidropel Perfurações, contendo o perfil litológico construtivo (à esquerda) e planilha de teste de bombeamento (à direita).

4.3.4 Cadastramento de Pontos em Campo

Após a análise da base SIAGAS e do levantamento prévio das fichas técnicas de poços tubulares em órgãos oficiais e empresas perfuradoras de poços foi dado início ao cadastramento de poços em campo. Nessa fase, o objetivo principal foi aprimorar a representatividade espacial dos dados relativos às características construtivas, demandas de água subterrânea e a potenciais fontes de contaminação que por ventura existam no entorno dos poços tubulares. Também são cadastradas as captações por nascentes de importância local e comunitária (interesse público) além de poços escavados e ponteiros.

Para a realização do inventário de pontos d'água subterrânea em campo foi criado um aplicativo no *QField*, a exemplo do que foi feito na correção do mapa geológico. A grande vantagem da utilização deste sistema é a padronização da entrada dos dados, a alta precisão do geoposicionamento dos pontos, o armazenamento de fotografias dos locais, dos perfis e relatórios dos poços, a dispensa da figura do digitador de fichas analógicas e a saída direta dos dados em *shape-files*. A entrada de dados. O

aplicativo de cadastramento de pontos de água subterrânea é composto por seis tabelas básicas a saber:

- Dados de identificação do ponto;
- Dados do ponto;
- Dados construtivos do ponto;
- Dados hidrodinâmicos (vazão e nível);
- Dados físico-químicos;
- Dados Hidrogeológicos.

A Figura 20 e a Figura 21 ilustram a relação entre as tabelas e os campos a serem preenchidos no aplicativo *QField* que agiliza e qualifica o trabalho de campo de cadastramento dos pontos de água subterrânea. O aplicativo possibilita carregar em sua tela durante a navegação um projeto montado no *QGis* que reúne mapas georreferenciados de geologia, estrutural, pontos SIAGAS, imagens de satélite Google, pontos do GTA, áreas degradadas, etc. (Figura 20).

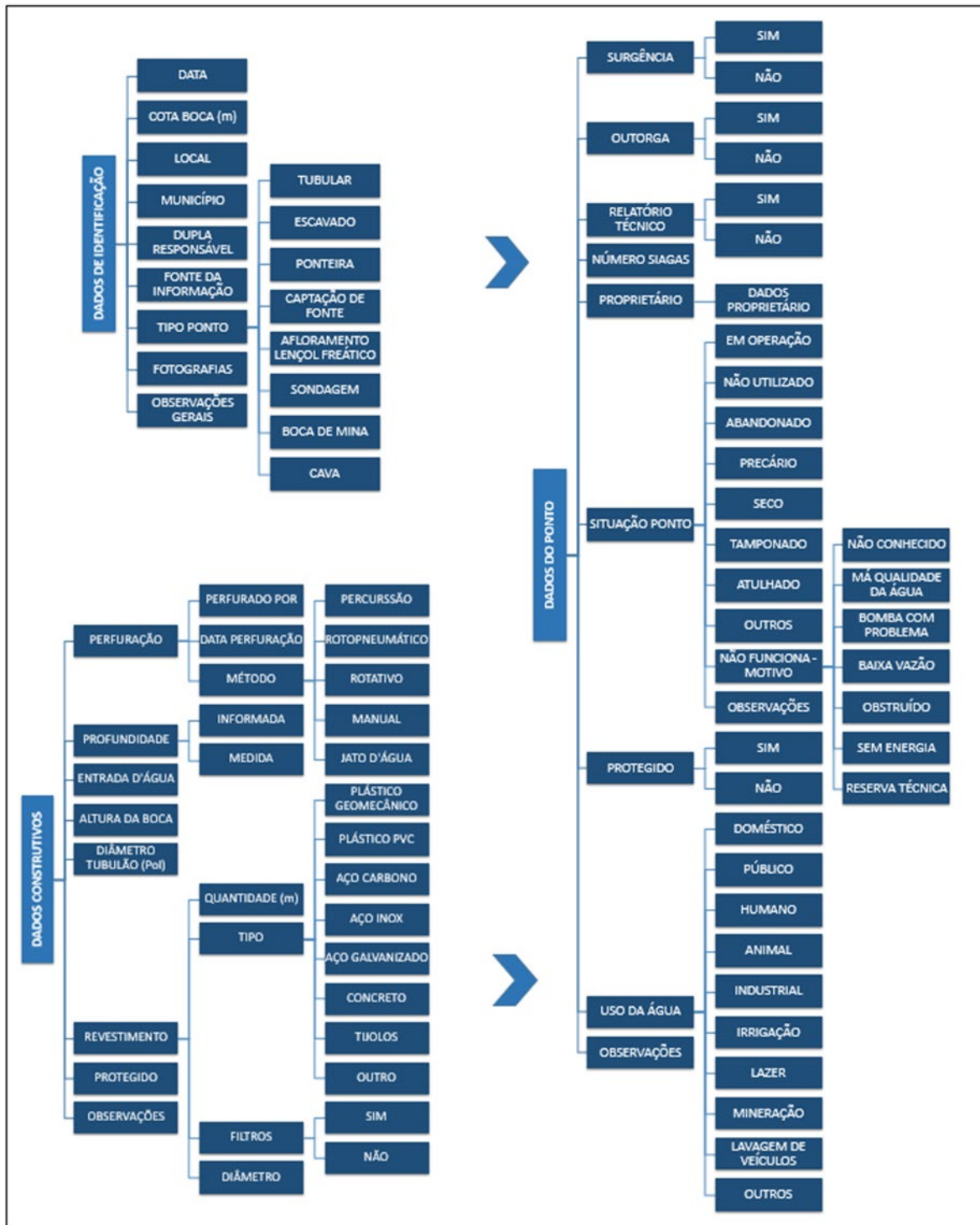


Figura 20 Organograma hierárquico exibindo a relação entre as várias tabelas do aplicativo para cadastramento de pontos de água subterrânea no QField (parte 1).



Figura 21 Organograma hierárquico ilustrando a relação entre as várias tabelas do aplicativo para cadastramento de pontos de água subterrânea no QField (parte 2).



Figura 22 Tablet com aplicativo cadastramento de pontos de água subterrânea no QField.

Além do *tablet* com o aplicativo *QField*, as equipes utilizam em campo um aparelho de GPS de navegação portátil marca *Garmin*; sondas multiparamétricas para análises físico-químicas marca *AquaRead* para medição de pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução, oxigênio dissolvido e temperatura; medidor de nível eletrônico tipo fita graduada; máquina fotográfica digital, bomba coletora portátil de água, quadro para marcação da sigla do ponto e corpo de prova para verificar a profundidade dos poços.

Em campo o ponto é registrado no aplicativo com as devidas informações técnicas obtidas em campo e no escritório. Quando possível, ou seja o poço não está instalado com bomba submersa, é feita a medição da profundidade do poço com o corpo de prova (Figura 23). O registro do nível estático com o medidor de nível (Figura 24) é fundamental para avaliar as cargas hidráulicas nos sistemas aquíferos e conseqüentemente para o entendimento da hidrogeologia da região. Parâmetros físico-químicos como pH, condutividade elétrica, potencial de oxirredução e temperatura são medidos *in loco* através do uso das sondas multiparamétricas (Figura 25).



Figura 23 Corpo de prova e seu uso para medir profundidade de poço tubular em Orleans.



Figura 24 Medição de nível d'água em poço tubular (nível estático) com medidor eletrônico Solinst.



Figura 25 Medição in loco dos parâmetros físico-químicos com sonda multiparamétrica.

O trabalho de cadastramento dos pontos de água subterrânea teve início pelos municípios de Orleans, Lauro Müller, Criciúma, Sangão, Timbé do Sul, Turvo, Meleiro e Maracajá. Foram feitas visitas às prefeituras municipais solicitando dados e informações de poços, bem como apoio às visitas em campo. Colaboraram com informações no município de Orleans a FAMOR (Fundação Ambiental de Orleans), EPAGRI, CIDASC e SAMAE-Orleans.

Até o momento foram cadastrados 137 pontos de captação de água subterrânea (Figura 26), sendo 56 em Orleans, 16 em Lauro Müller, 20 em Criciúma, 8 em Maracajá, 2 em Sangão, 2 em Meleiro, 10 em Timbé do Sul e 23 em Turvo.

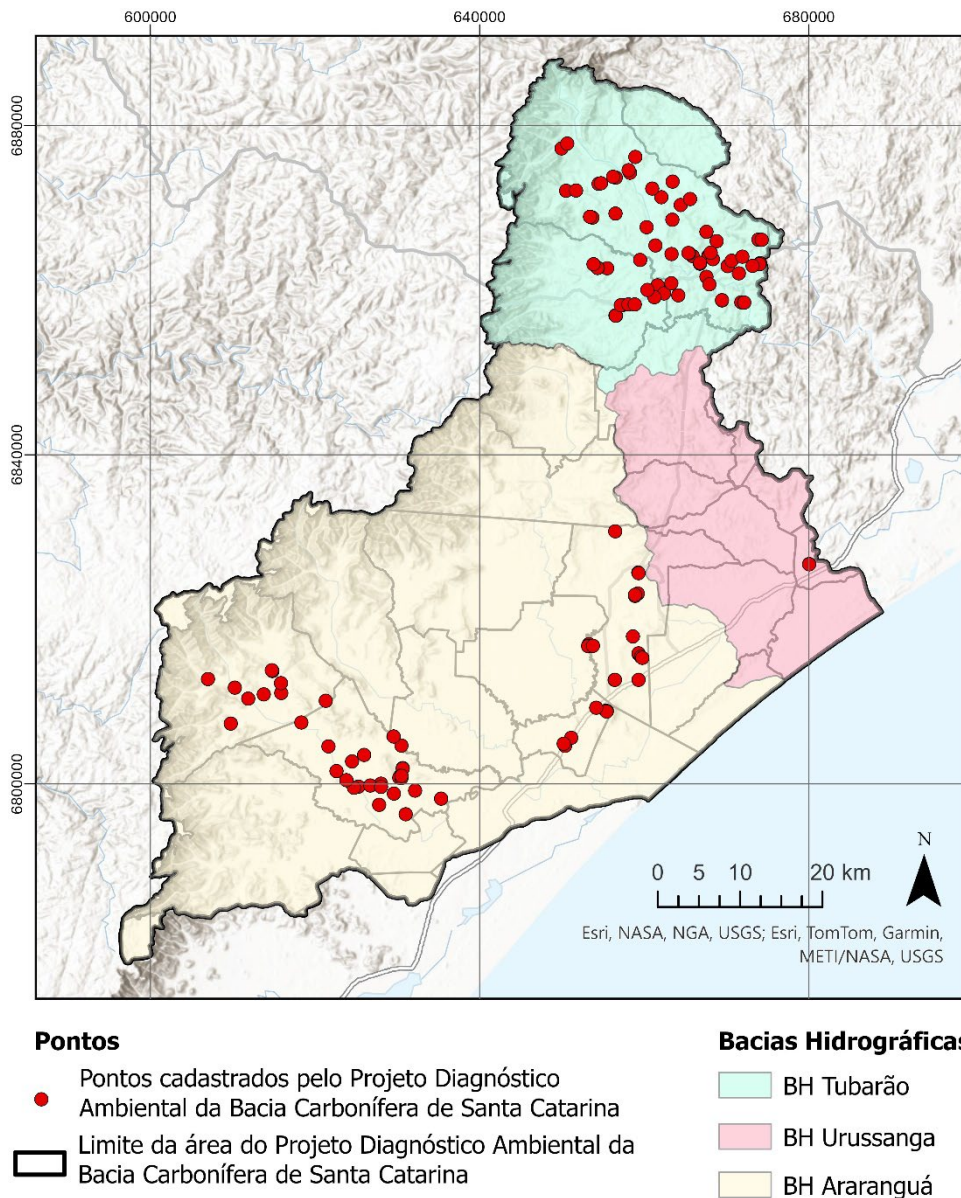


Figura 26 Mapa dos pontos de e água subterrânea cadastrados em campo até dezembro de 2023.

4.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA E CLIMATOLÓGICA

Neste tópico, além da revisão bibliográfica sobre a hidrologia e climatologia da área, foi feita uma pesquisa e coleta de dados fluviométricos, pluviométricos e meteorológicos. Os critérios utilizados para a seleção dos postos devem ser de possuir séries representativas, de boa qualidade e disponibilidade temporal, e estarem localizados em algum ponto de interesse nas bacias hidrográficas envolvidas.

Ao total foram verificados dados de vazão disponíveis em 26 postos fluviométricos (Tabela 1) relacionados no portal Hidroweb da ANA (ANA, 2023). Na

Figura 27 é possível observar a distribuição espacial destes pontos de monitoramento fluviométricos nas três bacias hidrográficas de estudo.

Tabela 1 Relação das estações fluviométricas localizadas na área de abrangência dos estudos hidrológicos.

Código	Estação	Entidade	Coordenadas		Período dos dados	
			Lat	Lon	Início	Fim
84249998	Orleans - Montante	EPAGRI-SC/ANA	-28,36	-49,30	16/03/1983	30/06/2023
84250000	Orleans li	EPAGRI-SC/ANA	-28,37	-49,29	17/05/1950	31/12/1981
84250008	Orleans I	EPAGRI-SC/ANA	-28,37	-49,29	24/05/1939	30/04/1954
84300000	Pedras Grandes	EPAGRI-SC/ANA	-28,43	-49,18	14/11/1985	16/06/2023
84500000	Povoamento	EPAGRI-SC/ANA	-27,90	-49,13	25/05/1942	31/03/1967
84520000	Divisa de Anitapolis	EPAGRI-SC/ANA	-28,00	-49,12	18/06/1944	30/06/2023
84520010	Santa Rosa de Lima	EPAGRI-SC/ANA	-28,03	-49,12	29/05/1986	30/06/2023
84534500	PCH Barra do Rio Chapéu Jusante	CGT ELETROSUL/ANA	-28,12	-49,14	17/04/2012	31/12/2022
84541000	Grão Pará	EPAGRI-SC/ANA	-28,19	-49,22	01/11/1945	31/03/1967
84551000	Rio Pequeno	EPAGRI-SC/ANA	-28,21	-49,20	22/05/1942	30/06/2023
84559800	Braco do Norte-Montante	EPAGRI-SC/ANA	-28,24	-49,16	01/09/1986	31/12/2021
84560000	São Ludgero I	EPAGRI-SC/ANA	-28,33	-49,18	24/05/1939	30/06/2023
84560002	São Ludgero li	EPAGRI-SC/ANA	-28,32	-49,16	21/09/1946	31/08/1988
84580000	Rio do Pouso	EPAGRI-SC/ANA	-28,42	-49,11	26/05/1939	30/06/2023
84580500	Tubarão	EPAGRI-SC/ANA	-28,47	-48,99	09/10/2020	31/12/2021
84597300	PCH Capivari Jusante	CONS.CAPIVARI/ANA	-28,12	-48,97	08/03/2013	31/12/2018
84598000	São Martinho	EPAGRI-SC/ANA	-28,17	-48,97	31/10/1978	31/07/1989
84598002	São Martinho-Jusante	EPAGRI-SC/ANA	-28,17	-48,97	11/08/1981	30/06/2023
84600000	Armazem Capivari	EPAGRI-SC/ANA	-28,26	-49,01	27/05/1942	31/12/2021
84800000	Serrinha - Jus 200 M - Casan	EPAGRI-SC/ANA	-28,61	-49,55	28/08/1985	31/01/2023
84820000	Forquilha	EPAGRI-SC/ANA	-28,75	-49,47	12/05/1942	31/01/2018
84850000	Meleiro	EPAGRI-SC/ANA	-28,83	-49,64	18/05/1942	15/10/1950
84853000	Foz do Manuel Alves	EPAGRI-SC/ANA	-28,85	-49,59	17/10/1977	31/12/2020
84949000	Turvo	EPAGRI-SC/ANA	-28,94	-49,70	22/09/1976	30/06/2023
84949800	Ermo	EPAGRI-SC/ANA	-28,97	-49,64	22/02/1978	04/12/2016
84950000	Taquaruçu	EPAGRI-SC/ANA	-28,96	-49,60	01/01/1943	31/01/2011

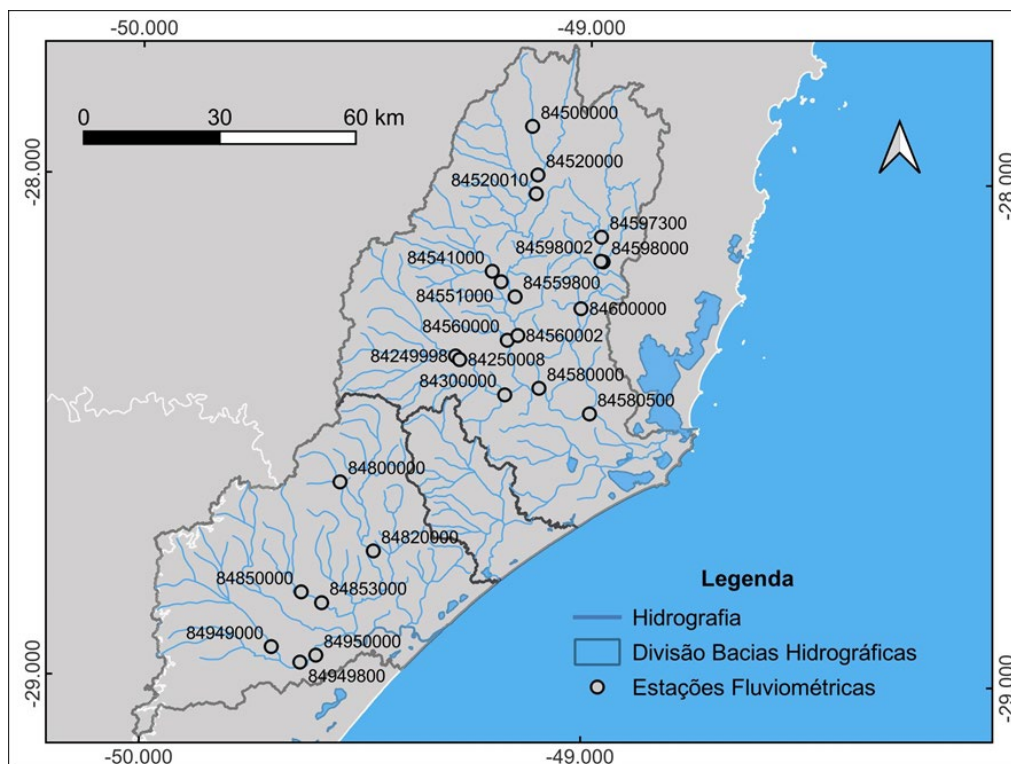


Figura 27 Mapa das estações fluviométricas selecionadas na área de abrangência do estudo.

Também foram compilados do portal Hidroweb da ANA (ANA, 2023) os dados de 55 estações pluviométricas localizadas dentro das três bacias hidrográficas de estudo e em um buffer de 20 km do limite da área (Figura 28). A Tabela 2, a seguir, contém a relação destas estações, assim como suas coordenadas e o período de dados de cada uma delas.

Tabela 2 Relação das estações pluviométricas localizadas na área preliminar de abrangência dos estudos hidrológicos.

Código	Estação	Entidade	Coordenadas		Período dos dados	
			Lat	Lon	Início	Fim
2748005	Poço Fundo	Epagri-SC/ANA	-27,70	-48,80	27/08/1950	30/06/2023
2748011	Teresópolis (Quecaba)	Epagri-SC/ANA	-27,80	-48,77	01/03/1911	31/03/1932
2748017	Paulo Lopes	Epagri-SC/ANA	-27,96	-48,67	14/03/1976	30/06/2023
2748018	São Bonifácio	Epagri-SC/ANA	-27,90	-48,93	17/03/1976	30/06/2023
2749007	Lomba Alta	Epagri-SC/ANA	-27,73	-49,38	01/01/1941	31/08/2022
2749010	Povoamento	Epagri-SC/ANA	-27,93	-49,12	26/05/1942	26/06/1972
2749012	Divisa de Anitapolis	Epagri-SC/ANA	-28,00	-49,12	18/11/1945	30/06/2023
2749014	Alfredo Wagner (Barracão)	Epagri-SC/ANA	-27,70	-49,28	01/01/1941	31/03/1976
2749020	Rancho Queimado	Epagri-SC/ANA	-27,67	-49,01	10/04/1976	30/06/2023
2749027	Anitapolis	Epagri-SC/ANA	-27,91	-49,13	28/06/1972	30/06/2023
2848000	Armazem Capivari	Epagri-SC/ANA	-28,26	-49,01	26/10/1945	31/12/2021
2848001	Laguna	INMET/ANA	-28,48	-48,80	01/07/1948	31/12/1989
2848003	Santa Marta (Cabo)	INMET/ANA	-28,53	-48,82	01/01/1943	31/05/1962
2848006	Vargem do Cedro	Epagri-SC/ANA	-28,10	-48,92	19/03/1976	30/06/2023
2848008	Jaguaruna	Epagri-SC/ANA	-28,62	-48,87	15/08/1979	31/05/1991
2848009	Sao Martinho-Jusante	Epagri-SC/ANA	-28,17	-48,97	01/12/1986	30/06/2023
2848100	PCH Capivari Jusante	CONS.CAPIVARI/ANA	-28,12	-48,97	03/03/2013	31/12/2018

2849000	Rio do Pouso	Epagri-SC/ANA	-28,42	-49,11	26/05/1939	30/06/2023
2849001	Orleans - Montante	Epagri-SC/ANA	-28,36	-49,30	01/05/1939	30/06/2023
2849002	São Ludgero I	Epagri-SC/ANA	-28,33	-49,18	28/05/1939	30/06/2023
2849004	Taquaruçu	Epagri-SC/ANA	-28,96	-49,60	15/11/1945	30/01/2011
2849005	Meleiro	Epagri-SC/ANA	-28,83	-49,64	16/05/1942	30/06/2023
2849006	Forquilha	Epagri-SC/ANA	-28,75	-49,47	13/11/1945	31/01/2018
2849007	Grão Pará	Epagri-SC/ANA	-28,18	-49,22	11/11/1945	31/03/1967
2849008	Rio Pequeno	Epagri-SC/ANA	-28,21	-49,20	09/11/1945	30/06/2023
2849009	Bom Jardim da Serra	CPRM/ANA	-28,34	-49,62	31/10/1969	31/08/2023
2849010	Morro da Fumaça	DNOS/ANA	-28,65	-49,15	06/07/1962	31/12/1968
2849011	Urussanga	INMET/ANA	-28,53	-49,32	01/06/1948	31/12/1994
2849012	Araranguá	INMET/ANA	-28,88	-49,52	01/06/1948	31/12/1978
2849013	Orleans	INMET/ANA	-28,33	-49,33	01/01/1961	31/12/1983
2849017	Criciúma	DNOS/ANA	-28,96	-49,38	01/01/1970	31/12/1989
2849018	Tubarão	DNOS/ANA	-28,48	-49,12	30/04/1979	28/02/1989
2849019	Timbé do Sul	Epagri-SC/ANA	-28,84	-49,84	09/04/1976	30/06/2023
2849020	Jaguaruna	Epagri-SC/ANA	-28,61	-49,03	12/03/1976	30/06/2023
2849021	Urubici	CPRM/ANA	-28,01	-49,59	01/08/1943	31/08/2023
2849022	Içara	Epagri-SC/ANA	-28,72	-49,30	01/04/1977	30/06/2023
2849024	Foz do Manuel Alves	Epagri-SC/ANA	-28,85	-49,59	18/10/1977	20/12/2020
2849026	Turvo	INMET/ANA	-28,94	-49,70	01/11/1980	31/12/1991
2849027	Tubarão	Epagri-SC/ANA	-28,47	-48,99	01/12/1986	30/06/2023
2849028	Pedras Grandes	Epagri-SC/ANA	-28,43	-49,18	01/03/1990	30/06/2023
2849029	Serrinha	Epagri-SC/ANA	-28,61	-49,55	01/12/1986	31/10/2022
2849030	Braco do Norte-Montante	Epagri-SC/ANA	-28,24	-49,16	01/12/1986	30/06/2021
2849031	Santa Rosa de Lima	Epagri-SC/ANA	-28,03	-49,12	01/12/1986	30/06/2023
2849035	Silveira	CPRM/ANA	-28,63	-49,93	20/12/2002	31/07/2023
2849043	PCH Barra do Rio Chapéu Barramento	CGT ELETROSUL/ANA	-28,08	-49,15	01/05/2012	31/12/2022
2849044	Ermo	Epagri-SC/ANA	-28,97	-49,64	01/10/2014	31/12/2016
2850002	Capela São José dos Ausentes	CPRM/ANA	-28,71	-50,07	16/01/1961	31/08/2023
2850007	Passo da Garrafa	CEEE/ANA	-28,93	-50,17	01/07/1947	31/03/1970
2949001	Praia Grande	Epagri-SC/ANA	-29,20	-49,96	26/11/1976	31/05/2023
2949003	Sombrio	Epagri-SC/ANA	-29,05	-49,61	13/03/1976	31/10/2022
2950003	Azulega	CEEE/ANA	-29,15	-50,17	31/05/1947	31/12/1978
2950007	Cambará do Sul	CEEE/ANA	-29,05	-50,15	08/08/1944	31/12/1978
2950008	Camisas	CPRM/ANA	-29,11	-50,19	19/02/1946	31/08/2023
2950054	Cambará do Sul	INMET/ANA	-29,05	-50,13	01/01/1998	31/12/1998
2950056	Mãe dos Homens	Epagri-SC/ANA	-29,25	-50,07	09/01/1983	30/06/2023

Foram inventariadas na área e em suas proximidades 29 estações climatológicas das redes de monitoramento da EPAGRI e do INMET (Figura 29). Tais estações, seus códigos, suas coordenadas, o período inicial e final dos seus dados, seus parâmetros monitorados e a entidade responsável por cada estação encontram-se listadas na Tabela 3 .

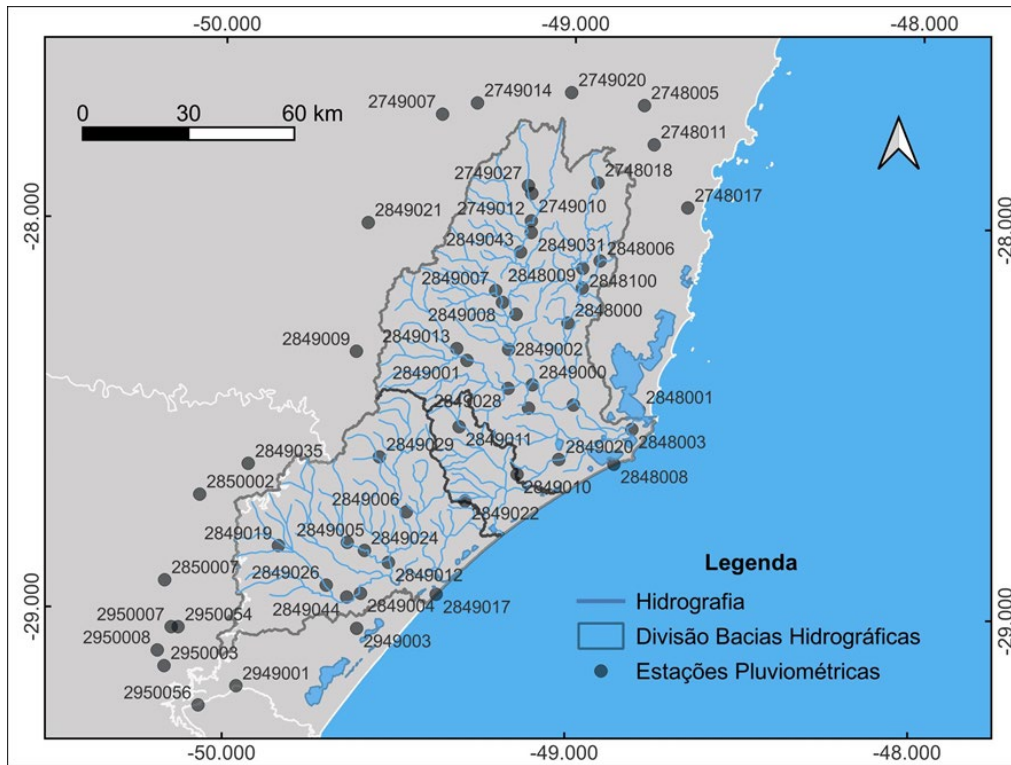


Figura 28 Localização das estações pluviométricas selecionadas na área de abrangência do estudo.

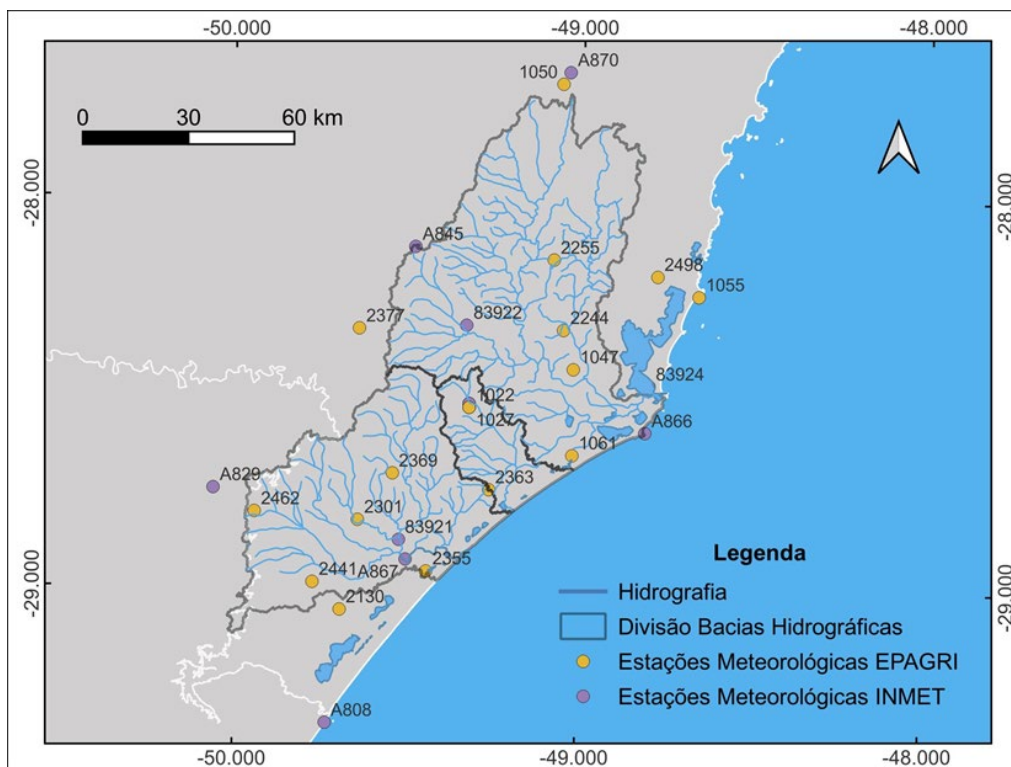


Figura 29 Localização das estações meteorológicas inventariadas na área de abrangência do estudo.

Tabela 3 Relação das estações climatológicas localizadas na área de abrangência dos estudos hidrológicos e arredores.

Cód.	Estação	Entidade	Coordenadas		Período dos dados		Parâmetros monitorados
			Lat	Lon	Início	Fim	
A808	Torres	INMET	-29,35	-49,73	31/05/2006	05/02/2024	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
A829	São José dos Ausentes	INMET	-28,75	-50,06	25/10/2006	05/02/2024	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
A866	Laguna	INMET	-28,60	-48,81	31/05/2008	05/02/2024	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
A845	Morro da Igreja	INMET	-28,13	-49,48	16/06/2007	05/02/2024	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
A870	Rancho Queimado	INMET	-27,68	-49,04	30/05/2016	05/02/2024	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
A867	Araranguá	INMET	-28,93	-49,50	27/09/2008	05/02/2024	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
A814	Urussanga	INMET	-28,53	-49,32	28/05/2008	05/02/2024	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
83921	Ararangua	INMET	-28,88	-49,52	31/12/1927	29/02/1980	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
83924	Laguna	INMET	-28,48	-48,80	31/12/1916	31/12/1989	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
83922	Orleans	INMET	-28,33	-49,33	31/12/1927	30/12/1984	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
83923	Urussanga	INMET	-28,53	-49,32	31/12/1923	29/09/2017	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
434	Urussanga	Epagri	-28,54	-49,32	31/03/1974	30/11/2016	1, 2, 4, 6, 12
1022	Urussanga	Epagri	-28,54	-49,32	15/05/2004	04/05/2008	2, 4, 6, 12
1027	Urussanga	Epagri	-28,54	-49,32	12/03/2017	05/02/2024	1, 2, 4
1047	Tubarão	Epagri	-28,44	-49,02	25/08/2019	05/02/2024	2, 4, 6, 12, 13
1050	Rancho Queimado	Epagri	-27,71	-49,06	13/04/2012	05/02/2024	2, 4, 6, 12, 13
1055	Imbituba	Epagri	-28,25	-48,66	24/03/2016	05/02/2024	2, 4, 6, 12, 13
1061	Jaguaruna	Epagri	-28,66	-49,02	24/10/2014	05/02/2024	2, 4, 6, 12, 13
2130	Sombrio	Epagri	-29,06	-49,69	23/05/2006	05/02/2024	2, 4, 6
2244	Gravatal	Epagri	-28,34	-49,05	27/09/2019	05/02/2024	2, 4, 6
2255	Rio Fortuna	Epagri	-28,16	-49,08	08/11/2019	05/02/2024	2, 4, 6
2301	Meleiro	Epagri	-28,83	-49,64	14/04/2010	30/10/2023	2, 4, 6
2355	Araranguá	Epagri	-28,96	-49,44	15/06/2011	05/02/2024	2, 4, 6
2363	Içara	Epagri	-28,75	-49,26	02/06/2011	05/02/2024	2, 4, 6
2369	Nova Veneza	Epagri	-28,71	-49,54	02/06/2011	05/02/2024	2, 4, 6
2377	Bom Jardim da Serra	Epagri	-28,34	-49,64	22/02/2011	05/02/2024	2, 4, 6
2441	Jacinto Machado	Epagri	-28,99	-49,77	09/07/2017	05/02/2024	2, 4, 6
2462	Timbé do Sul	Epagri	-28,81	-49,94	23/12/2004	05/02/2024	2, 4, 6
2498	Imaruí	Epagri	-28,20	-48,78	02/12/2023	05/02/2024	2, 4

Parâmetros: 1-Insolação Total Diária (horas); 2-Precipitação Total Diária (milímetros); 3-Temperatura Máxima Diária (°C); 4-Temperatura Média Compensada Diária (°C); 5-Temperatura Mínima Diária (°C); 6-Umidade Relativa do Ar Média Diária (%); 7-Umidade Relativa do Ar Mínima Diária (%); 8-Velocidade Média do Vento Diária (metros por segundo); 9-Pressão Atmosférica Média Diária (milibares); 10-Temperatura do Ponto de Orvalho Média Diária (°C); 11-Vento, Rajada Máxima Diária (metros por segundo); 12-Velocidade Média do Vento Diária (km/h); 13-Pressão Atmosférica Média Diária (hPa).

Os próximos passos incluem a consistência dos dados fluviométricos, pluviométricos e meteorológicos. Concomitantemente a esta etapa, serão gerados/adquiridos outros dados necessários para a modelagem hidrológica, como

modelo digital do terreno, mapa de tipo de solo, e mapa de uso e ocupação do solo. Após a consistência e aquisição destes dados será iniciada a etapa de calibração do modelo para as três bacias hidrográficas de estudo.

4.5 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA AMBIENTAL

No tópico geoquímica ambiental foi realizada uma revisão bibliográfica para a região Carbonífera de Santa Catarina que abordou os seguintes itens:

- aspectos ambientais;
- qualidade das águas superficiais e subterrâneas;
- impactos ambientais da mineração de carvão;
- conflitos com relação aos usos múltiplos da água;
- aspectos da recuperação ambiental.

No decorrer dos estudos será realizada a integração de dados do levantamento geoquímico de baixa densidade com dados do GTA (Figura 30) e da geoquímica tradicional do SGB-CPRM. Também será definida a malha de amostragem da coleta de sedimento de corrente e água para análise geoquímica e mineralógica, visando conhecer a extensão do impacto ambiental sobre os recursos hídricos subterrâneos, em suas configurações superficiais (sistemas aquíferos freáticos) e profundas, considerando a compartimentação natural e antrópica (provocada pela mineração). Também serão avaliadas as particularidades ambientais de cada bloco, no que diz respeito à vulnerabilidade e renovação. Estratégias serão propostas para o uso integrado aos recursos superficiais, apropriados de acordo com a qualidade atual e pretendida, respeitando os usos múltiplos e a sustentabilidade para as gerações futuras.

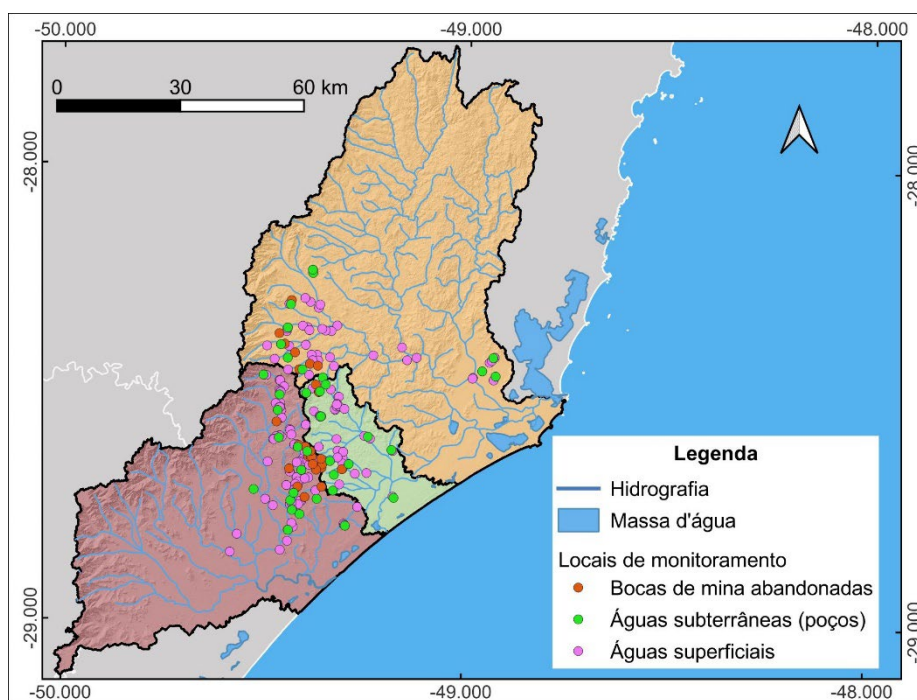


Figura 30 Mapa de localização dos pontos do GTA cujos dados serão interpretados no âmbito do estudo geoquímico.

5. PRÓXIMOS PASSOS

No decorrer dos estudos serão realizadas as seguintes atividades:

- Continuidade dos trabalhos de campo para consistência da base geológica e estrutural;
- Correção topológica do mapa Geológico/estrutural;
- Aperfeiçoamento do modelo geológico tridimensional;
- Continuidade do cadastramento de poços na área de estudo e montagem da nova base de dados de pontos de água subterrânea;
- Execução dos testes de aquífero (ensaio de bombeamento e slug-test);
- Realização dos ensaios de permeabilidade para determinação da condutividade hidráulica vertical K_v ;
- Interpretação dos resultados analíticos dos pontos de águas subterrâneas monitorados pelo GTA;
- Coleta de água superficial e subterrânea para a realização de análises físico-químicas e isotópicas;
- Seleção de poços para nivelamento topográfico e medição de níveis para elaboração dos mapas potenciométricos;
- Iniciar ao mapeamento hidrogeológico na escala 1:100.00 da área de estudo;
- Dar início à elaboração dos mapas de forma de relevo;
- Alimentação do banco de dados de pontos de água subterrânea e superficial (Hydrogeo Analyst);
- Realizar a consistência dos dados fluviométricos, pluviométricos e meteorológicos;
- Geração e aquisição de outros dados necessários para a modelagem hidrológica, como modelo digital do terreno, mapa de tipo de solo, e mapa de uso e ocupação do solo;
- Calibração do modelo para as três bacias hidrográficas de estudo;
- Interpretação dos resultados analíticos dos pontos de água superficial monitorados pelo GTA;
- Integração de dados da levantamento geoquímico de baixa densidade com dados do GTA e geoquímica tradicional;
- Reamostragem e análises químicas de sedimento de corrente e água das bacias do Sul e extremo Sul de SC;
- Organização e alimentação do banco de dados da Bacia Carbonífera de SC.

6. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Regiões Hidrográficas. Brasília: ANA, 2020.
- CRUZ, R. F.; IGLESIAS, C. M. da F. Fotointerpretação digital com base em anaglifos, a metodologia aplicada na geração de mapas geológicos In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. Anais[...] São Paulo: SBG, 2016. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/spui/handle/doc/17083> acesso em 7 fev.2024.
- HORN, B.L.D.; OLIVEIRA, A.A.; SIMÕES, M.S.; BRESSER, M.L.; ARAÚJO, L.L. Projeto Geologia e Potencial Mineral da Bacia do Paraná. Mapa Geológico. Porto Alegre. SGB/CPRM. Escala 1:1.000.000. 2022.
- KREBS, A.S.J. 2004. Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do Rio Araranguá, SC. Florianópolis, 375p. Tese de Doutorado, Curso de Doutorado em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC: caracterização geral das regiões hidrográficas de Santa Catarina: RH9 – Sul Catarinense. [S.I.], 2017.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC: caracterização geral das regiões hidrográficas de Santa Catarina: RH10 – Sul Catarinense. [S.I.], 2017.
- SILVA, M. A. S. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Criciúma, Folha SH.22-X-B. Estado de Santa Catarina. Escala 1:250.000. / Organizado por Marco Aurélio Schneiders da Silva e Sérgio Reali Leites. – Brasília: CPRM, 2000.x
- WILDNER, W., CAMOZZATO, E., TONIOLO, J.A., BINOTTO, R.B., IGLESIAS, C.M.F. & LAUX, J.H. 2014. Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina. Programa Geologia do Brasil, Superintendência Regional de Porto Alegre, v.1, escala 1:500.000