



Mapeamento Geológico e Hidrogeológico do Município de Joinville-SC

Produto P8 - Resumo Executivo

Setembro 2021



Prefeitura de
Joinville



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL - CPRM

Dados internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M297 Mapeamento geológico e hidrogeológico do município de Joinville, SC: produto 8, resumo executivo / Organização Marcos Alexandre de Freitas; Carlos Moacyr da Fontoura Iglesias. – Porto Alegre : CPRM, 2021.
1 Recurso eletrônico : PDF

ISBN 978-65-5664-207-9

1.Geologia Regional. 2. Hidrogeologia. 3.Santa Catarina I. Freitas, Marcos Alexandre de (org.). II. Iglesias, Carlos Moacyr da Fontoura (org.). III. Título.

CDD 558.164

MAPEAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE - SC

PRODUTO 8 | RESUMO EXECUTIVO

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL | CPRM DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Márcio José Remédio

Diretor 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

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

Superintendente

Alexandre Trevisan Chagas (interino)

Gerência de Geologia e Recursos Minerais

Carla Klein

Gerência de Infraestrutura Geocientífica

Ana Cristina Bomfim Peixoto

Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial

Franco Turco Buffon

Gerência de Administração e Finança

Alexandre Trevisan Chagas

EQUIPE EXECUTORA

COORDENADOR E RESPONSÁVEL TÉCNICO

Geólogo DSc Marcos Alexandre de Freitas

Supervisores

Geólogo DSc Bruno Ludovico Dihl Horn

Geólogo DSc Jorge Henrique Laux

Geólogo MSc Marcelo Goffermann

Executores

Geóloga MSc Andrea Sander

Geóloga DSc Andreia Oliveira Monteiro da Silva Gross

Geólogo DSc Bruno Ludovico Dihl Horn

Geóloga DSc Carla Klein

Geólogo MSc Carlos Augusto Silva Provenzano

Geólogo MSc Carlos Moacyr da Fontoura Iglesias

Geólogo MSc Leandro Menezes Betiollo

Geóloga MSc Paloma Gabriela Rocha

Engenheira Geóloga DSc Lucy Takehara Chemale

Geofísico Jairo Jamerson Correia de Andrade (SUREG-SP)

Geofísico Dsc Luiz Gustavo Rodrigues Pinto (SUREG-SP)

Geofísico William Ribeiro Lopes

Geólogo Eliel Martins Senhorinho

Geólogo MSc Marcelo Goffermann

Geólogo DSc Marcos Alexandre de Freitas

Engenheira Hidróloga MSc Adriana Burin Weschenfelder

Engenheira Hidróloga MSc Camila Dalla Porta Mattiuzi

Engenheira Hidróloga MSc Karine Pickbrenner

Engenheira Hidróloga MSc Marta Rubbo

Engenheira Cartógrafa Giana Grupioni Rezende

Técnicos em Geociências

Bruno Francisco B. Schiehl (SUREG-PA)

Luís Alberto da Costa e Silva (SUREG-PA)

Pedro Cesar de Freitas (SUREG-PA)

Ramon Darwin de Araújo (SUREG-PA)

Clézio Ribeiro dos Santos (SUREG-SP)

Reinaldo Rodrigues da Gama (SUREG-SP)

Sergio Roberto Estevam de Carvalho (SUREG-SP)

Sílvia Santana de Souza (SUREG-SP)

Estagiários

Adolfo Nicolau Britzke (Geologia – UNISINOS)

Andrey Martins de Lima (Geologia – UNISINOS)

Bruno Rocha Bartz (Geologia – UNISINOS)

Elisa Valéria Bonho Link Barbosa (Geologia – UFRGS)

Emanuel Mendonça Francisco (Geologia -UNISINOS)

Henrique Bocalon (Eng. Cartográfica – UFRGS)

Henrique Pereira dos Santos

(Eng. Cartográfica – UNISINOS)

Jeniffer Kunzler Rohmann (Cartografia – UFRGS)

Nicole Montanari da Silva (Geologia – UNISINOS)

Thayna Isabella Gonçalves de Araújo

(Geologia – UNISINOS)

Apoio

Geóloga MSc Débora Lamberty (SUREG-PA)

Geólogo Renato Ribeiro Mendonça (SUREG-PA)

Geólogo DSc Roberto Eduardo Kirchheim (SUREG-SP)

Estagiária Graziela Beatriz de Lima

(Geografia UNESP-Rio Claro)

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

| PROGRAMA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL |

MAPEAMENTO GEOLÓGICO **E HIDROGEOLÓGICO DO** **MUNICÍPIO DE JOINVILLE - SC**

PRODUTO 8 | RESUMO EXECUTIVO

ORGANIZADORES

Marcos Alexandre de Freitas
Carlos Moacyr da Fontoura Iglesias



Prefeitura de
Joinville



SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM

Porto Alegre
Setembro de 2021



SUMÁRIO

1. Introdução	13
1.1 Apresentação.....	13
1.2 Localização.....	14
1.3 Áreas Mapeadas	14
2. Produtos Gerados	16
2.1 Produto 1 – Plano de Trabalho	16
2.2 Produto 2 – Nota Técnica.....	16
2.2.1 Apresentação.....	16
2.2.2 Resultados.....	16
2.3 Produto 3 – Inventário e Cadastramento de Poços.....	17
2.3.1 Apresentação.....	17
2.3.2 Resultados.....	18
2.4 Produto 4 – Mapa Hidrogeoquímico	23
2.4.1 Apresentação.....	23
2.4.2 Resultados.....	23
2.5 Produto 5 – Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	27
2.5.1 Apresentação.....	27
2.5.2 Resultados.....	27
2.6 Produto 6 – Mapa Geológico, Estrutural e de Recursos Minerais.....	31
2.6.1 Apresentação.....	31
2.6.2 Resultados.....	32
2.6.2.1 Unidades Litológicas	33
2.6.2.2 Geologia Estrutural.....	35
2.6.2.3 Geofísica Aérea e Terrestre	37
2.6.2.4 Recursos Minerais	38
2.7 Produto 7 – Mapa Hidrogeológico e de Favorabilidade Hídrica Subterrânea	39
2.7.1 Apresentação.....	39
2.7.2 Resultados.....	39
2.7.2.1 Cartografia Hidrogeológica	39
2.7.2.2 Unidades Hidroestratigráficas	40
2.7.2.3 Recarga.....	44
2.7.2.4 Isotopia.....	45
2.7.2.5 Favorabilidade Hídrica Subterrânea	46
3. Considerações Finais	48
4. Responsáveis Técnicos	50
5. Referências	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Localização do município de Joinville – SC e seus municípios limítrofes.....	14
Figura 1.2 Área mínima de mapeamento. A área com limite em amarelo refere-se à escala 1:10.000 e em laranja na escala 25.0000.	15
Figura 2.1 Tipos de obras de captação e características litológicas simplificadas de Joinville.	18
Figura 2.2 Localização dos pontos de captação de água subterrânea cadastrados.	19
Figura 2.3 Medição in loco com sonda multiparamétrica das características físico-químicas das águas subterrâneas	20
Figura 2.4 Pontos amostrados e pontos relacionados às análises físico-químicas compiladas.....	24
Figura 2.5 Diagrama de Piper das águas amostradas.....	25
Figura 2.6 Distribuição espacial dos tipos hidroquímicos das águas nas amostras de água subterrânea coletadas.	25
Figura 2.7 Zoneamento hidrogeoquímico.....	26
Figura 2.8 Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação segundo a metodologia GODS.....	28
Figura 2.9 Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação segundo a metodologia DRASTIC	29
Figura 2.10 Distribuição espacial das fontes pontuais com potencial gerador de carga contaminante para o aquífero.	30
Figura 2.11 Mapa das fontes potenciais de contaminação difusas.....	31
Figura 2.12 Síntese do Mapa Geológico do município de Joinville.	35
Figura 2.13 Distribuição dos fotolineamentos na área do município sobre a imagem do mosaico de ortofotos de 2012 em transparência sobre o relevo sombreado.....	36
Figura 2.14 Esquema para classificação de aquíferos quanto a porosidade e potencialidade segundo a Convenção Internacional de Cores para Mapas Hidrogeológicos (modificada de Struckmeier e Margat, 1995).....	39
Figura 2.15 Unidades hidroestratigráficas pertencentes ao Domínio Hidrogeológico Fraturado e suas classes de produtividade.....	41
Figura 2.16 Unidades hidroestratigráficas pertencentes ao Domínio Hidrogeológico Granular e suas classes de produtividade.	42
Figura 2.17 Mapa hidrogeológico simplificado de Joinville.....	43
Figura 2.18 Mapa dos índices de favorabilidade hídrica subterrânea.	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Diagrama da frequência dos tipos de captação de água subterrânea cadastrados em Joinville.	19
Gráfico 2.2 Histograma das classes de uso da água nos diversos tipos de captação de água subterrânea cadastrados.	21
Gráfico 2.3 Histograma das vazões dos poços tubulares cadastrados.	22
Gráfico 2.4 <i>Plot</i> de correlação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de amostras de águas superficiais e subterrâneas GNIP – Joinville e dos dados bibliográficos (Barros, 2005).	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Produtos apresentados e suas escalas de apresentação.....	13
Tabela 2.1 Resumo de recargas médias por bacia hidrográfica (mm/ano e hm ³ /ano).....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 Parâmetros e fontes de dados para a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos conforme método GOD (Fonte: Foster e Hirata, 1988).	27
Quadro 2.2 Parâmetros utilizados para calcular o índice DRASTIC.	29
Quadro 2.3 Classes de produtividade de aquífero adotadas para o mapeamento hidrogeológico de Joinville – SC, conforme o sistema de classificação elaborado por Diniz et al. (2012, 2014), baseado em Struckmeier e Margat (1995), e adotado pelo SGB-CPRM. *Valores válidos para testes de bombeamento de pelo menos 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 m.....	40

LISTA DE SIGLAS

CAJ – Companhia Águas de Joinville

DRASTIC – *Depth to water, Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone and Conductivity of the aquifer method*

GDB – *Geodatabase*

GNIP – *Global Network for Isotopes in Precipitation*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PMJ – Prefeitura Municipal de Joinville

SAMA – Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente de Joinville

SGB-CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIMGeo – Sistema Municipal de Informações Georreferenciadas da PMJ

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SPT – *Standard Penetration Test*

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Esta Nota Explicativa apresenta uma síntese dos produtos entregues relativos ao mapeamento geológico e hidrogeológico de Joinville – SC, contratado pela SAMA-UGA (contrato nº 075/2019) e executado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Esse levantamento foi conduzido segundo o objetivo principal que é dotar o município de Joinville de mapeamento geológico de detalhe na escala 1:25.000 (área total do município), 1:10.000 para a área urbanizada e de mapeamento hidrogeológico na escala 1:50.000 em todo o território municipal.

Os estudos foram desenvolvidos no intuito de avançar na caracterização e entendimento do arcabouço geológico-estrutural e suas ocorrências minerais. Também se buscou a compreensão dos aquíferos existentes, características das obras de captação, uso e qualidade das águas subterrâneas, vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos e favorabilidade hídrica subterrânea no município.

Os resultados obtidos fornecem subsídios para auxiliar no Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável de Joinville, no Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Dona Francisca, e também como contribuição para a elaboração do Plano Municipal de Mineração e do Plano Municipal de Gerenciamento de Riscos Geológicos.

Sua execução contou com as seguintes etapas: plano de trabalho (produto P1); nota técnica (produto P2); inventário e cadastramento de poços (produto P3); mapa hidrogeoquímico (produto P4); mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos (produto P5); mapa geológico, estrutural e de recursos minerais (produto P6) e mapa hidrogeológico e de favorabilidade hídrica subterrânea (produto P7). Nos produtos acima descritos cada tema foi abordado detalhadamente e acompanhado de mapas, tabelas e de um SIG compatível com o SimGeo. A Tabela 1.1 relaciona os produtos entregues e suas escalas de apresentação.

As atividades desenvolvidas ao longo do projeto propiciaram o acesso a uma quantidade expressiva de informações inéditas, que vêm a contribuir não apenas com o presente estudo, mas com o conhecimento técnico e científico disponível no município.

Tabela 1.1 Produtos apresentados e suas escalas de apresentação.

Produto	Escala
P1 – Plano de Trabalho	-
P2 – Nota Técnica	-
P3 – Inventário e Cadastramento de Poços	1:50.000
P4 – Mapa Hidrogeoquímico	1:50.000
P5 – Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	1:50.000
P6 – Mapa Geológico, Estrutural e de Recursos Minerais	1:10.000 E 1:25.000
P7 – Mapa Hidrogeológico e de Favorabilidade Hídrica Subterrânea	1:50.000
P8 – Resumo Executivo	-

Este resumo executivo, denominado P8, apresenta uma síntese dos resultados obtidos nos estudos e mapeamentos executados. Os relatórios, base de dados e mapas encontram-se de forma completa e detalhada nos produtos entregues no decorrer do projeto.

1.2 LOCALIZAÇÃO

O município de Joinville localiza-se na região norte do estado de Santa Catarina (Figura 1.1) e possui 597.658 habitantes, conforme estimativa IBGE de 2020. É a maior cidade do estado, à frente da capital Florianópolis, e é a terceira mais populosa cidade da Região Sul do Brasil atrás apenas de Porto Alegre. Possui uma área de 1.126,106 km². Pertence à Microrregião de Joinville e à Mesorregião do Norte Catarinense e é sede da Região Metropolitana do Norte/Nordeste Catarinense, a qual contava, no último censo, aproximadamente 1,34 milhão de habitantes, assim sendo, a mais populosa região metropolitana do estado de Santa Catarina.

1.3 ÁREAS MAPEADAS

A área de mapeamentos geológico, estrutural e de distribuição de recursos minerais abrangeu minimamente o polígono que inclui todo o limite urbano de Joinville, assim como alguns setores adjacentes, conforme definido na Figura 1.2 Tal área, mapeada na escala 1:10.000, possui extensão aproximada de 470 km² e situa-se, majoritariamente, em ambiente de depósitos cenozoicos de planície costeira, incluindo morros e elevações do embasamento, assim como trechos de planícies aluviais dos principais rios da região. Nas demais áreas do município o mapeamento geológico foi executado na escala 1:25.000.

Todos os estudos e mapeamentos hidrogeológicos foram executados na totalidade do território municipal, com extensão de 1.134 km², à escala de 1:50.000.

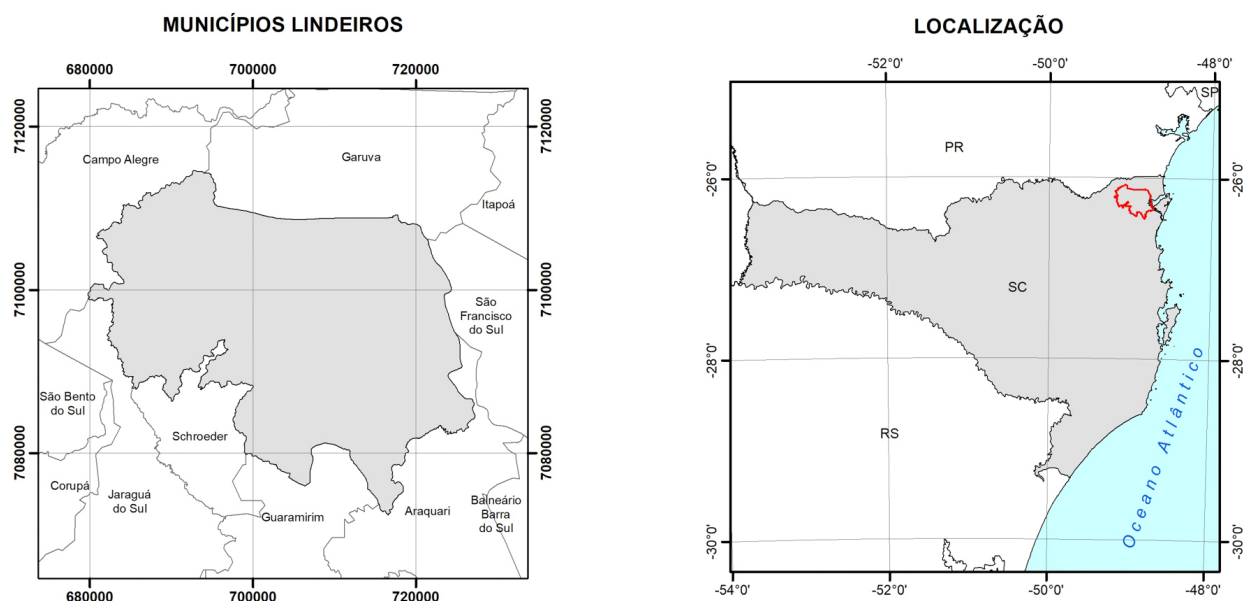


Figura 1.1 Localização do município de Joinville – SC e seus municípios limítrofes.

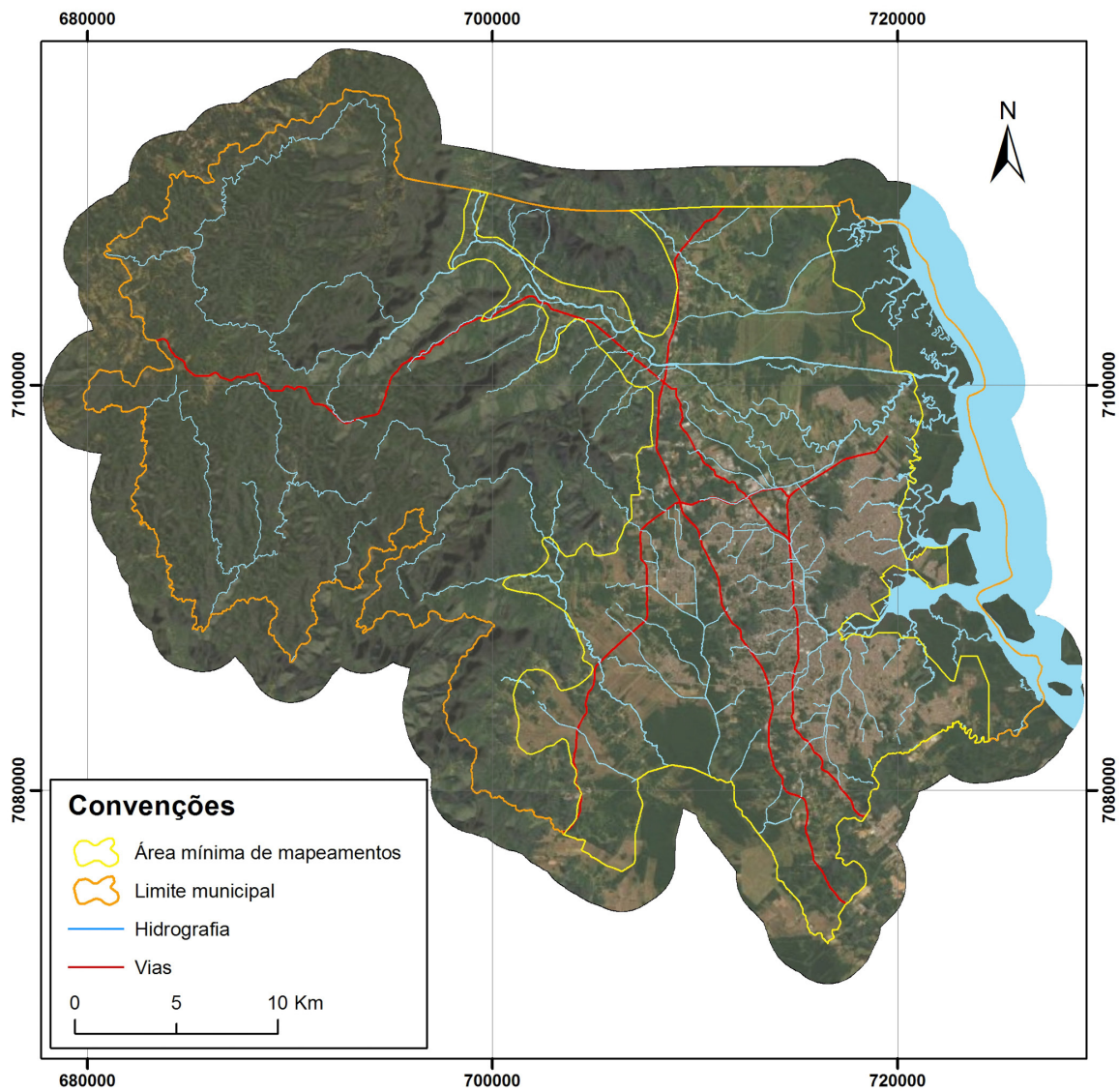


Figura 1.2 Área mínima de mapeamento. A área com limite em amarelo refere-se à escala 1:10.000 e em laranja na escala 25.0000.

2. PRODUTOS GERADOS

2.1 PRODUTO 1 - PLANO DE TRABALHO

O Plano de Trabalho, estabeleceu o planejamento dos trabalhos contratados e orientou a condução metodológica durante a execução do projeto. O documento apresentou o detalhamento de todas as atividades descritas no item 5 – do Memorial Descritivo de Serviços de Engenharia SEI N° 1428915/2018 do Anexo Único do referido contrato, bem como os respectivos prazos e condições técnicas para o pleno cumprimento dos serviços contratados.

2.2 PRODUTO 2 - NOTA TÉCNICA

2.2.1 Apresentação

A Nota Técnica baseou-se em revisão bibliográfica, na compilação de dados de trabalhos e levantamentos anteriormente realizados relacionados aos temas de interesse do Mapeamento Geológico e Hidrogeológico do Município de Joinville.

Desta forma, foram consultados artigos técnicos e científicos, teses, dissertações e relatórios técnicos. Também, foram levantados dados secundários de afloramentos, poços tubulares, análises físico-químicas de água subterrânea, imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas de uso do solo, etc.

Foram abordados neste levantamento do estado da arte da geologia e hidrogeologia em Joinville os seguintes temas: Bases cartográficas; Geologia; Geofísica; Hidrogeologia; Banco de dados de poços cadastrados; Hidroclimatologia; Vulnerabilidade e risco a contaminação dos aquíferos; Favorabilidade hídrica subterrânea.

Destacam-se como importante fonte dados disponibilizados pela Prefeitura de Joinville a base cartográfica, os processos de licenciamento ambiental e os dados de sondagens *spt* realizadas para o estudo de viabilidade de obras no município.

A base cartográfica oficial do município de Joinville foi adaptada para compor os mapas temáticos executados pelo SGB-CPRM e adota o referencial geodésico do Sistema Geodésico Brasileiro, que é a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), meridiano central W 51°; Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000); elipsoide de referência GRS80; Datum Vertical do Marégrafo de Imbituba (SC).

Os dados secundários existentes na área do município, coletados e analisados previamente, forneceram uma visão global de temas relacionados à geologia e à hidrogeologia de Joinville. Verificou-se uma riqueza de dados e informações disponíveis, que embasaram os trabalhos posteriormente desenvolvidos.

2.2.2 Resultados

Algumas constatações observadas na Nota Técnica estão relacionadas a seguir:

- Em Joinville predominam rochas cristalinas relacionadas ao Escudo Catarinense na porção oeste e a leste tais rochas estão recobertas por depósitos sedimentares da planície litorânea;
- As unidades hidrogeológicas são divididas, quanto ao tipo de porosidade, em fraturadas e granulares, sendo que ocorre um aquífero freático (com espessuras superiores a 30 m) associado à zona saturada da camada de rocha alterada e aos sedimentos inconsolidados recentes e outro fraturado associado às rochas do complexo granulítico;
- As condições hidrogeológicas do aquífero fraturado são de aquífero livre a semiconfinado com porosidade por fraturamento ampliada localmente por aquíferos de porosidade intergranular, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico;
- As vazões dos poços no aquífero fraturado variam entre 2,0 e 9,0 m³/h, com raros poços cuja vazão supera os 20,0 m³/h;
- Os aquíferos com porosidade intergranular são formados por sedimentos continentais de origem aluvial e fluvial, localmente com algum sedimento marinho intercalado;

- As vazões captadas por poços tubulares e ponteiros variam entre 1,0 e 3,0 m³/h;
- Os níveis estáticos no aquífero sedimentar são próximos da superfície e variam geralmente entre 2,0 e 4,0 m;
- Apesar de menos produtivos, os aquíferos que ocupam áreas relacionadas com a região urbana de Joinville apresentam grande importância hidrogeológica local;
- Geralmente as águas subterrâneas apresentam excelente qualidade no município de Joinville, com pH variando entre 7,0 e 8,2, dureza entre 39 e 81 mg/L de CaCO₃, com concentrações elevadas de ferro localmente;
- Ocorrem águas salinizadas em poços próximos a cursos de água com influência de marés;
- As águas do aquífero fraturado são bicarbonatadas cálcicas a mistas;
- As águas dos aquíferos sedimentares rasos são mais suscetíveis à contaminação;
- A presença de possíveis passivos ambientais está relacionada aos elevados teores de fenol, ferro, manganês, óleos, graxas e sulfeto, encontrados em várias pesquisas;
- Na base SIAGAS, 90 % dos poços apresenta águas com condutividade elétrica entre 10 e 300 µS/cm, enquanto que 10 % tem condutividades elétricas mais altas;
- Em 5% dos poços, as águas têm salinidade acima de 1.200 µS/cm;
- As águas com condutividades elétricas mais elevadas estão associadas a contribuições de aquíferos superficiais, freáticos, relacionados às planícies de depósitos quaternários, sujeitos à contribuição de águas salinizadas relacionadas à interferência das marés ou mesmo à presença de águas conatas muito salinizadas;
- Havia na base SIAGAS 168 poços cadastrados dentro da área do município de Joinville, sendo 123 poços em operação, 6 poços parados, 24 abandonados, 5 não instalados, 2 fechados, 2 secos e 6 sem informações com relação à sua situação;
- A maioria dos poços são para uso industrial e abastecimento múltiplo;
- Os poços possuem profundidades máximas de 150 m, mas alguns chegam até 450 metros;
- A precipitação anual média varia de 2.227 mm/ano a 2.100 mm/ano na porção oeste do município com cotas que podem ultrapassar 1.200 m de altitude e de 2.100 a 1.775 mm/ano na porção leste com cotas abaixo de 100 m de altitude;
- O município de Joinville – SC dispõe de muita informação do meio físico e em escala adequada para ser aplicado o método DRASTIC na escala 1:50.000, com algumas adaptações às condições locais;
- O mapeamento hidrogeológico e da favorabilidade hídrica subterrânea serão conduzidas a partir dos resultados obtidos dos trabalhos de mapeamento geológico, cadastramento de poços, ensaios de bombeamento, aerofotointerpretação na escala 1:60.000 (relevo e traçado de lineamentos morfoestruturais), estudo de balanço hídrico e geofísica terrestre;
- As informações serão analisadas à luz das lógicas de cálculo da favorabilidade hídrica subterrânea, seus parâmetros e devidos pesos e ponderações.

A revisão bibliográfica apresentada e a coleta de dados realizadas durante a execução do Produto P2 Nota Técnica embasaram, de forma bastante consistente, a execução dos demais produtos, descritos e programados no Plano de Trabalho apresentado no Produto P1.

2.3 PRODUTO 3– Inventário e Cadastramento de Poços

2.3.1 Apresentação

Este produto reuniu os resultados do cadastramento de poços realizados entre agosto de 2019 e março de 2020, cujo objetivo principal foi buscar o conhecimento parcial da infraestrutura hídrica instalada e a estimativa dos recursos de águas subterrâneas utilizados, bem como avaliar e caracterizar os tipos de obras de captação de água subterrânea instaladas no município de Joinville. O panorama das obras de captação existentes em Joinville foi traçado através de análise crítica e propositiva, o que culminou com uma diretriz para as futuras obras de captação de água subterrânea no município.

Foram apresentados banco de dados de poços em formato geodatabase, mapa de pontos cadastrados, fichas cadastrais de campo e fotografias dos pontos cadastrados em meio digital. Também foi elaborado um manual simplificado sobre a forma de perfuração, operação e manutenção de poços tubulares para exploração das águas subterrâneas nos sistemas aquíferos presentes no município de Joinville – SC.

2.3.2 Resultados

As obras de captação encontradas em Joinville durante o inventário de pontos de captação de água subterrânea, foram poços tubulares, poços de pequeno diâmetro ou ponteira, poços escavados e captações de fontes naturais. Os tipos de obra de captação subterrânea são condicionados à natureza dos aquíferos e sobretudo às suas litologias. O método de perfuração e construção da obra depende do tipo de rocha, conforme pode ser observado na Figura 2.1, que apresenta o modelo conceitual dos aquíferos e os tipos de obra de captação em Joinville.

As equipes de campo do SGB-CPRM cadastraram 379 pontos de captação de água subterrânea, sendo: 139 poços tubulares, 146 poços de pequeno diâmetro, 61 poços escavados e 33 captações de fontes naturais (Figura 2.2 e Gráfico 2.1). Essa amostragem aponta que no município predominam os poços de pequeno diâmetro devido ao seu baixo custo de construção e de operação (Gráfico 2.1). Na grande maioria dos casos, os poços são perfurados de modo clandestino por pequenos equipamentos de perfuração e não são tomadas medidas de vedação sanitária e proteção dos aquífero, os tubulares requerem uma perfuratriz de maior porte e costumam mais caro, sendo mais comuns em indústrias, hotéis, postos de combustíveis e supermercados, já os escavados foram muito utilizados no passado e as captações de fontes naturais são muito comuns no interior do município, onde não há rede pública de abastecimento.

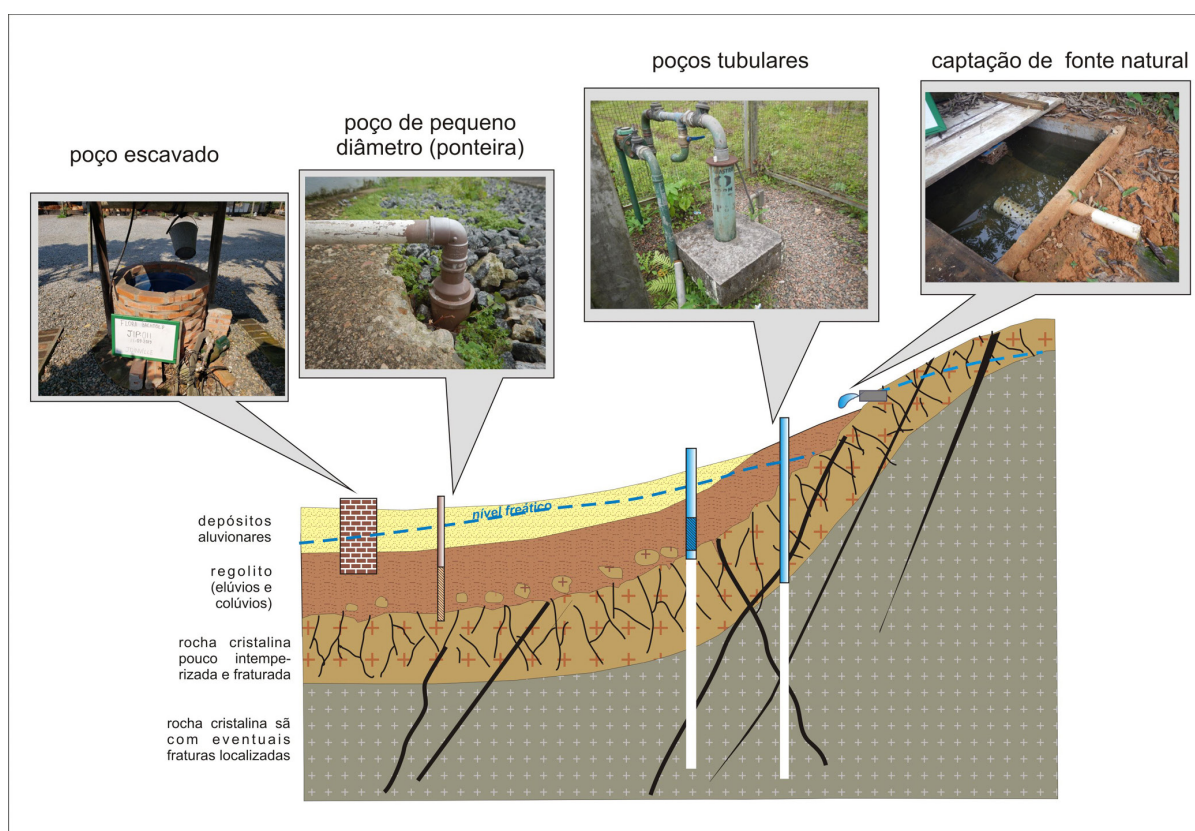


Figura 2.1 Tipos de obras de captação e características litológicas simplificadas de Joinville.

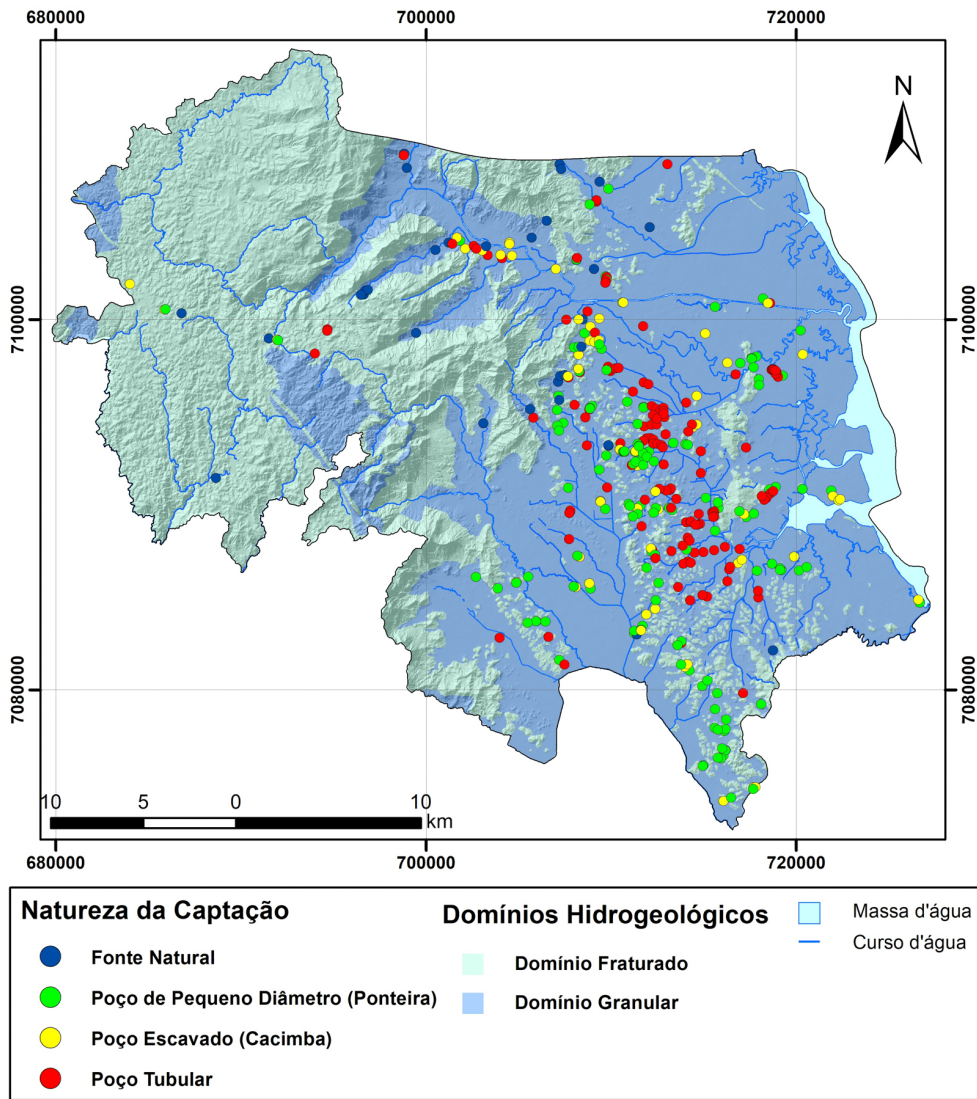


Figura 2.2 Localização dos pontos de captação de água subterrânea cadastrados.

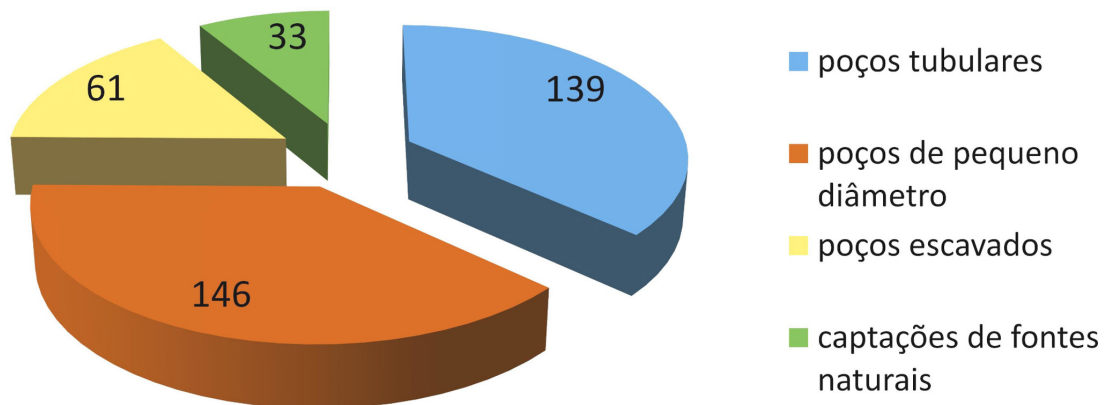


Gráfico 2.1 Diagrama da frequência dos tipos de captação de água subterrânea cadastrados em Joinville.

Durante o cadastramento em campo dos pontos de captação de água subterrânea, foram medidos *in loco* com a sonda multiparâmetro marca Aquameter, modelo AP-800 (Figura 2.3), os seguintes parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas: pH, condutividade elétrica (CE), temperatura da água, potencial de oxirredução (ORP ou Eh), turbidez e oxigênio dissolvido (OD), que também estão incluídos no banco de dados e SIG.



Figura 2.3 Medição *in loco* com sonda multiparamétrica das características físico-químicas das águas subterrâneas

A maioria destes pontos de captação subterrânea cadastrados estavam em funcionamento, sendo utilizados principalmente para abastecimento industrial, doméstico e múltiplo (Gráfico 2.2).

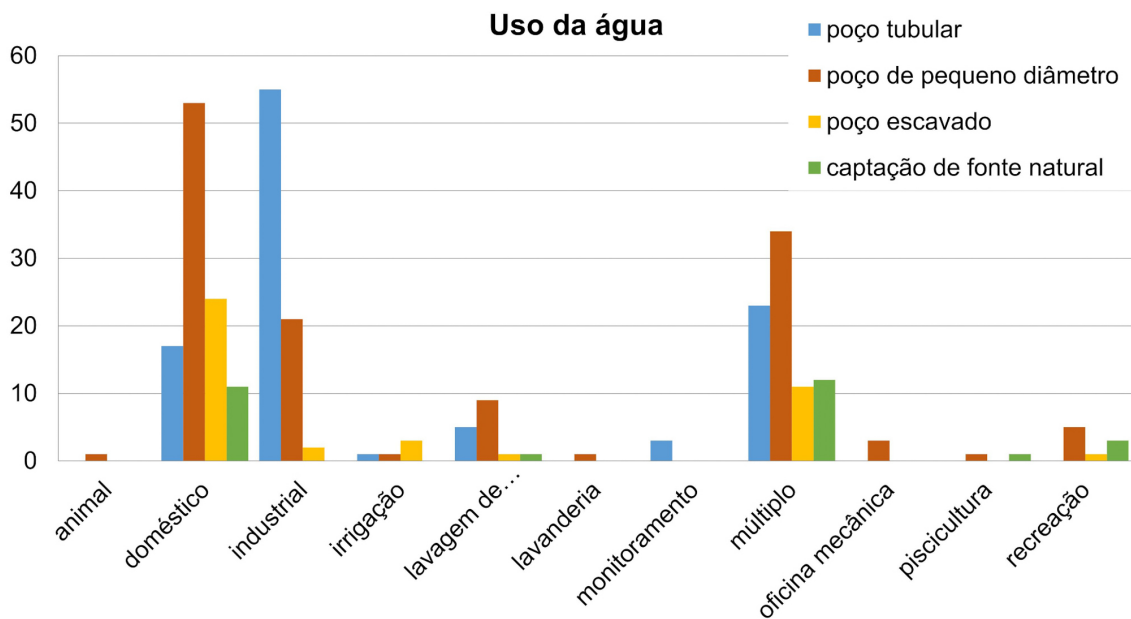


Gráfico 2.2 Histograma das classes de uso da água nos diversos tipos de captação de água subterrânea cadastrados.

Os poços tubulares cadastrados apresentam profundidades que variam de 3,9 m a 370,0 m. A média da profundidade dos poços é de 127,2 m, enquanto a mediana é de 105,0 m. Cerca de 74,02% dos poços possuem profundidades até 150 m, mas há uma expressiva parcela de poços com profundidades maiores que 200 m. Os poços de pequeno diâmetro apresentam profundidades que variam de 4,0 a 63,0 m com média de 20,87 m e mediana de 19,0 m. Os poços escavados cadastrados destacam-se por possuírem a menor das profundidades entre todos, devido ao seu característico método de construção, que é a escavação manual. As profundidades variam entre 0,87 e 15,0 m, com média de 4,81 m. Cerca de 80% dos poços escavados possui profundidades de até 6,0 m.

As vazões dos poços tubulares são muito variáveis, oscilando entre 0,4 e 29,0 m³/h, com média de 8,04 m³/h e mediana de 6,2 m³/h. Em 75,79% dos casos (Gráfico 2.3) as vazões são de até 10,0 m³/h, o que é considerado muito satisfatório para aquíferos fraturados, quando são comparados a aquíferos cristalinos nas demais regiões do país. Dos 23 poços com vazões superiores a 10,0 m³/h, 16 captam também água dos filtros em porções superiores relacionadas ao aquífero granular.

Os poços de pequeno diâmetro apresentam vazões de até 1,0 m³/h, podendo atingir até 2,0 m³/h, caso o do nível dinâmico não seja muito profundo. O que se observa é que os poços, a despeito de não possuírem grandes vazões, são utilizados várias horas por dia e produzem volumes diários que podem ultrapassar os 5.000 litros diários.

A produtividade dos poços escavados está relacionada à constituição litológica local, profundidade e diâmetro da escavação. Os poços construídos em sedimentos de natureza aluvionar, sobretudo de composição arenosa, têm maior recarga e, portanto, melhor produtividade do que construídos em elúvios e colúvios de composição siltico-argilosa. O fator profundidade determina o quanto o poço penetrou na zona saturada (lençol freático) e o diâmetro, em conjunto com a profundidade, define o volume armazenando de água.

Histograma da Profundidade dos Poços Tubulares

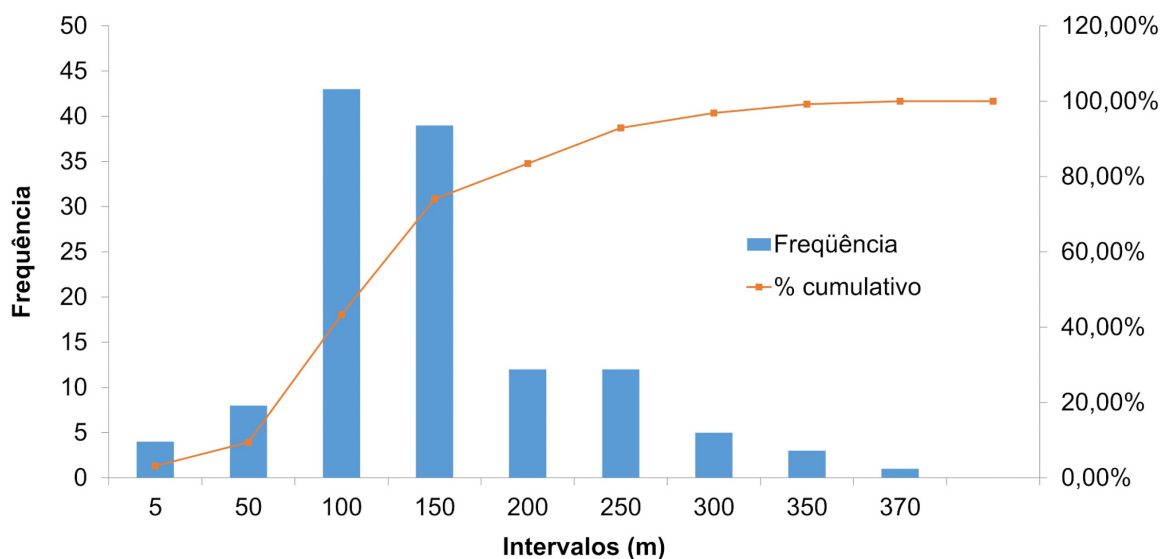


Gráfico 2.3 Histograma das vazões dos poços tubulares cadastrados.

As captações de fontes naturais apresentam as mais diversas vazões em função da recarga e do tipo de captação. A recarga depende da variação na precipitação pluviométrica e das condições de acumulação e percolação de água local. Em relação ao tipo, as fontes podem ser captadas em um único ponto ou em uma pequena bacia de captação. No cadastramento realizado, as vazões das captações de fontes são muito variadas e em alguns locais chegam a produzir vazões superiores a 5 m³/h.

Durante o cadastramento dos pontos e captação de água subterrânea, verificou-se muitos problemas construtivos e operacionais devidos a fatores diversos, entre os quais:

- Negligência ou desconhecimento das normas técnicas vigentes de construção das obras de captação por parte dos usuários;
- Contratação de empresas ou pessoas não habilitadas para a perfuração de poços tubulares e poços de pequeno diâmetro;
- Fiscalização insuficiente por parte dos órgãos responsáveis;
- Problemas econômicos enfrentados pela população, principalmente a de menor renda, que contrata serviços inadequados por conta dos custos mais baixos;
- Insuficiência do serviço público de abastecimento pretérito ou atual.

O cadastramento de pontos de captação de água subterrânea permitiu traçar um panorama atual de como os recursos hídricos estão sendo explorados e utilizados em Joinville. As informações obtidas aprimoraram o conhecimento hidrogeológico do município e possibilitaram reunir novos dados técnicos e científicos, em um completo banco de dados em formato geodatabase. O manuseio correto desse banco de dados vai permitir a proposição de estratégias de controle e de gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município. Também foram estabelecidos como sugestão dois projetos construtivos básicos para a construção de poços tubulares no município.

Apesar da legislação brasileira atribuir o poder de gerenciamento e controle dos recursos hídricos aos estados, algumas ações de caráter municipal foram sugeridas para minimizar a problemática da água subterrânea em Joinville a curto e em médio prazo, a saber:

- Incrementar a fiscalização da perfuração de poços tubulares;
- Tomar maior cuidado com poços abandonados (poços ponteira, escavados e tubulares), realizando campanhas de fomento à cimentação dos mesmos (em toda a coluna perfurada), evitando riscos de contaminação das águas subterrâneas;
- Orientar a população para a melhoria das condições de aproveitamento das nascentes, através de proteção de fontes corretamente construídas e realizar campanhas de educação ambiental para reforçar a necessidade da preservação das matas e nascentes;
- Realizar campanhas para minimização dos desperdícios, especialmente em decorrência de perdurados vazamentos nas redes de distribuição pública (nas cidades e no meio rural) e nas canalizações para as lavouras;
- Instalar dispositivos contra desperdício nos poços naturalmente jorrantes;
- Incentivar a cultura do reaproveitamento das águas residuais (reuso) e fomentar a captação de água de chuva;
- Promover arrocho nos dispositivos regulamentares para coibir a poluição das águas subterrâneas e superficiais;
- Fomentar, em conjunto com a SDE, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos subterrâneos em todo o município;
- Dar continuidade ao cadastramento de captações de água subterrânea com a finalidade de sempre manter atualizada a base de dados.

2.4 PRODUTO 4 – MAPA HIDROGEOQUÍMICO

2.4.1 Apresentação

Apresentado de forma detalhada (relatório, mapas e banco de dados) no Produto P4-Mapa Hidrogeoquímico, o estudo teve por objetivo principal identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico. Neste produto constam os resultados encontrados, os diversos tipos físico-químicos das águas subterrâneas e as considerações sobre as características e evolução geoquímica destas águas. Os resultados também foram comparados com os padrões de potabilidade e adequabilidade ao uso das águas.

A interpretação dos resultados e suas conclusões estão espacializadas em um mapa hidrogeoquímico na escala 1:50.000 que também compõem um SIG. Os resultados analíticos originais das análises realizadas acompanham a mídia digital do referido produto em formatos PDF, e os resultados resumidos, em formato XLSX.

2.4.2 Resultados

A avaliação qualitativa das águas subterrâneas e sua caracterização hidrogeoquímica baseou-se nas campanhas de amostragem de águas subterrâneas e no levantamento de dados pré-existentes. Foram coletados entre as campanhas de campo (outubro e dezembro de 2019 - novembro de 2020) 60 amostras, sendo 30 poços tubulares, 18 de pequeno diâmetro, 6 captações de fonte natural, 5 escavados e 1 de água superficial. Os dados secundários compilados referem-se a 19 análises físico-químicas completas de poços tubulares realizadas entre 1998 e 2017. A Figura 2.4 ilustra a distribuição espacial dos pontos amostrados e das análises compiladas. Para o estudo da qualidade das águas subterrâneas foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, potencial de oxirredução; condutividade elétrica, elementos principais, metais, fenóis, série nitrogenada, compostos orgânicos voláteis (VOC), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e agrotóxicos. Também foi realizada a coleta de amostras

de água para análise isotópica de Oxigênio-18 (^{18}O) e Deutério (^2H) em todos os pontos amostrados para análises físico-químicas da área.

Os principais tipos hidroquímicos das águas subterrâneas amostradas no município de Joinville (Figura 2.5), são as águas bicarbonatadas mistas (44 casos), seguidas pelas águas bicarbonatadas cálcicas (13 casos) e sódicas (13 casos), cloretadas sódicas (3 casos), mistas (2 casos), mistas sódicas (1 caso), bicarbonatadas magnesianas (1 caso) e cloretada mista (1). Os tipos hidroquímicos estão representados espacialmente na Figura 2.6 onde se pode notar que as águas bicarbonatadas mistas ocorrem em praticamente todos os setores do município associadas principalmente às áreas relacionadas às rochas gnáissicas e coberturas regolíticas. Algumas nascentes e poços escavados apresentam águas bicarbonatadas cálcicas que estão intimamente relacionadas às águas de origem meteórica de baixo tempo de residência, sobretudo na região da Serra da Dona Francisca e Estrada Bonita. As águas bicarbonatadas sódicas predominam na porção centro leste na área de ocorrência de sedimentos quaternários e de topografia plana. As águas cloretadas indicam áreas onde há processo de salinização devido à interferência das águas da Baía da Babitonga que adentram a cidade através dos cursos d'água, sobretudo pelo rio Cachoeira. As demais classes, pouco expressivas, revelam águas mistas onde vários processos de misturas estão ocorrendo.

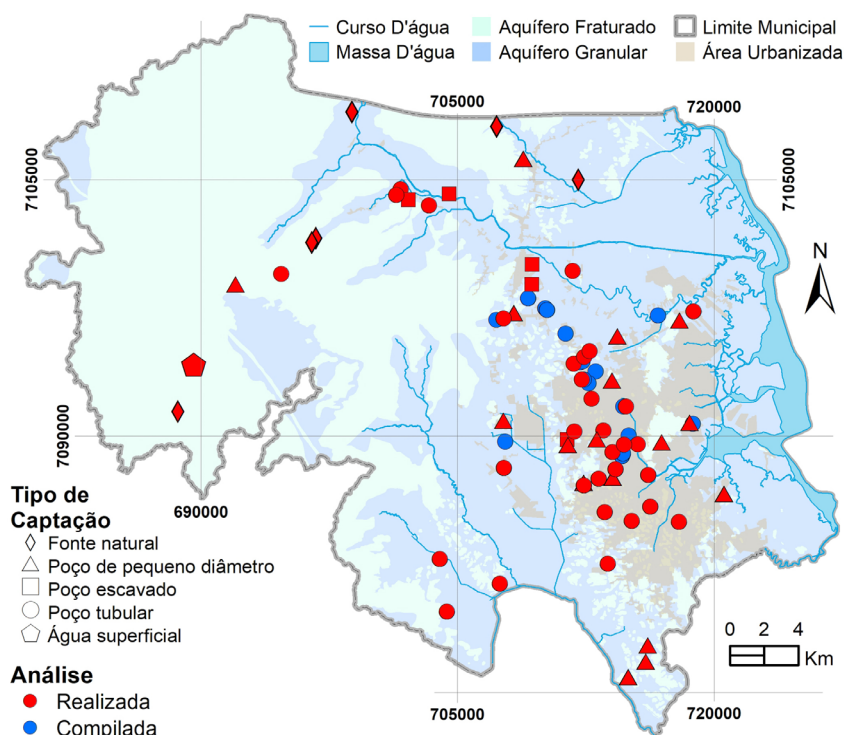


Figura 2.4 Pontos amostrados e pontos relacionados às análises físico-químicas compiladas.

As águas dos aquíferos fraturados tendem a ser de pouco duras a duras e apresentam maiores concentrações dos seguintes parâmetros: condutividade elétrica, sais totais dissolvidos, pH, dureza total, Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn total e F. Verificou-se que há correlação positiva entre Na^+ e Cl^- em poços de maior salinidade, sugerindo a dissolução de halita (NaCl) presente nas águas de origem marinha. As águas dos aquíferos granulares são brandas e pouco duras e apresentam maiores valores de turbidez, Eh, K^+ , NO_3^- e Fe total.

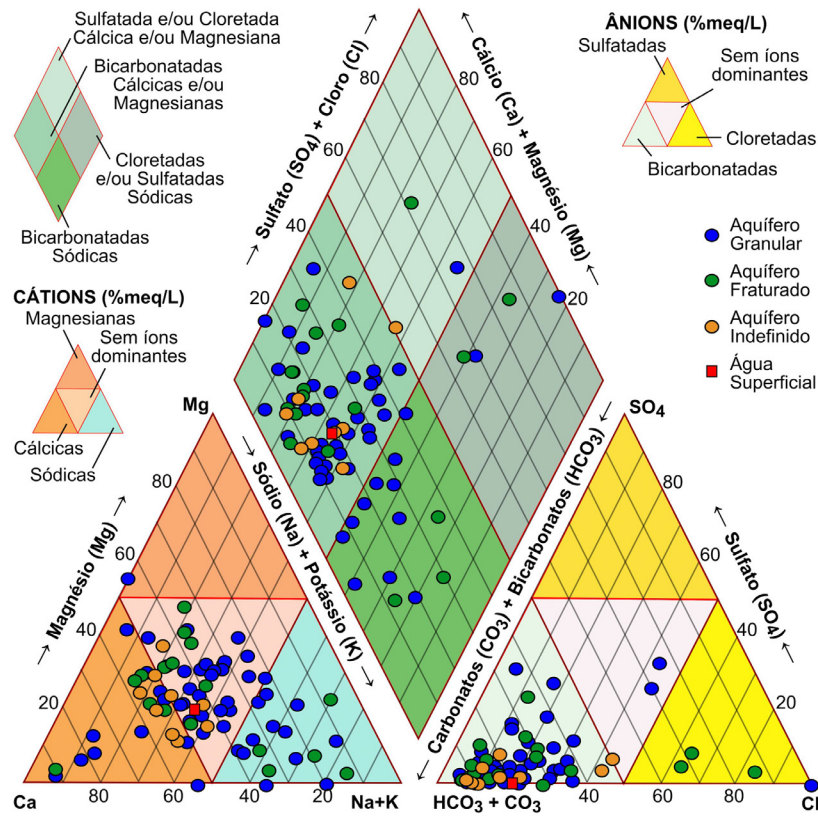


Figura 2.5 Diagrama de Piper das águas amostradas.

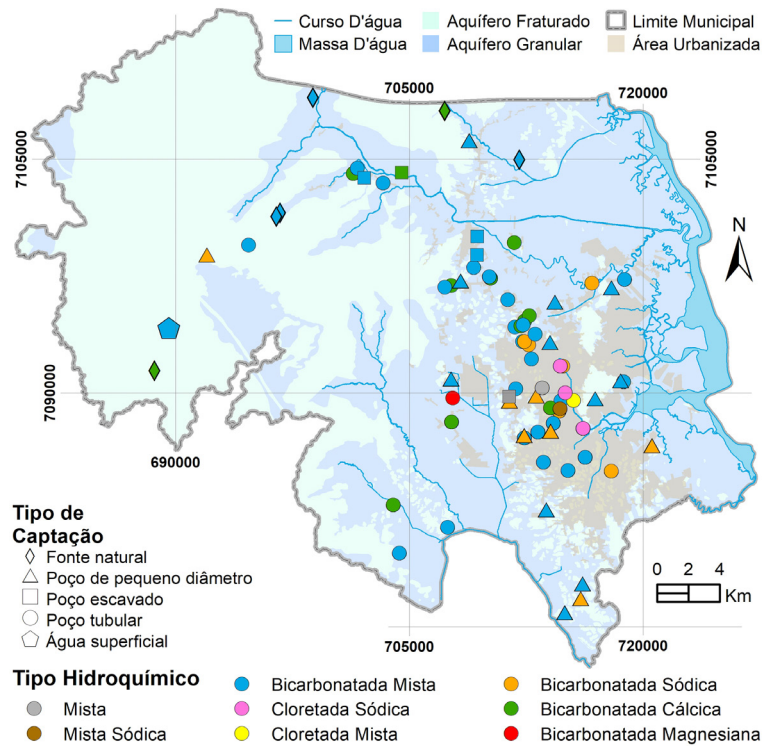


Figura 2.6 Distribuição espacial dos tipos hidroquímicos das águas nas amostras de água subterrânea coletadas.

As características hidroquímicas permitiram dividir a área de estudo em zonas: com predomínio de águas bicarbonatadas cálcicas e mistas; com predomínio de águas bicarbonatadas sódicas e com predomínio das águas cloretadas. Esse zoneamento (Figura 2.7) reflete regionalmente a evolução geoquímica das águas subterrâneas, que partem de uma água bicarbonatada cálcica no início do ciclo hidrológico, passando por águas do tipo bicarbonatada sódica e chegando a água cloretada sódica.

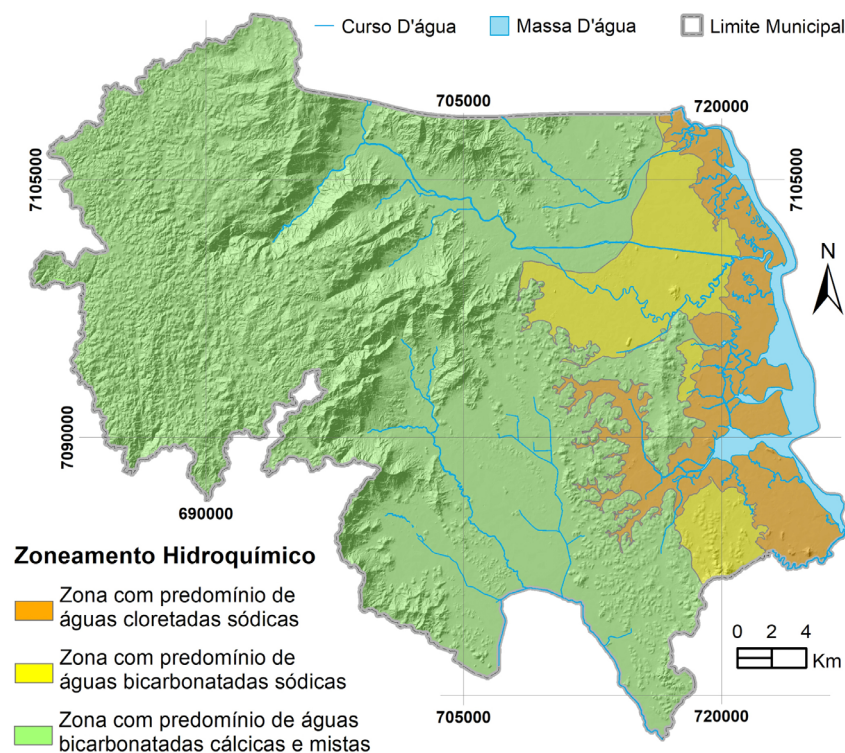


Figura 2.7 Zoneamento hidrogeoquímico.

Em geral, as águas subterrâneas no município de Joinville são adequadas aos padrões de potabilidade, uso na indústria e na agricultura, podendo ser afetadas principalmente pelos parâmetros ferro e manganês. Estes elementos estão presentes nas rochas e minerais que constituem boa parte das formações geológicas do município. O enriquecimento do ferro e manganês pode ocorrer tanto de forma dissolvida quanto em suspensão nas captações. Esta última forma ocorre provavelmente pela má construção das captações. Outros metais, como chumbo, alumínio e níquel, apresentaram, em algumas amostras valores acima do valor máximo permitido pela Portaria N° 5 do Ministério da Saúde. Estes metais ocorrem de forma muito rara nas águas subterrâneas. Mesmo as concentrações mais elevadas encontradas estão muito próximas daquelas estabelecidas para a potabilidade, constituindo-se em valores considerados baixos. Valores acima do máximo permitido para consumo humano para agrotóxicos, fenóis, BTEX e hidrocarbonetos totais, não foram constatados em nenhuma das captações de águas subterrâneas amostradas.

O estudo recomendou que futuramente o município crie um plano de amostragem abrangente e estabeleça, baseado nos resultados encontrados, uma rede de monitoramento qualitativo. Também são recomendados estudos localizados e em escala de maior detalhe, sobretudo nas áreas de passivo ambiental e nas áreas de alto risco de contaminação das águas subterrâneas.

2.5 PRODUTO 5 – MAPA DE VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS

2.5.1 Apresentação

A definição da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação consiste no primeiro passo para a avaliação do risco de contaminação da água subterrânea e para proteção de sua qualidade. Este estudo apresenta o resultado de dois modelos consagrados de cartografia de vulnerabilidade de aquíferos, que foram utilizados para a determinação qualitativa do risco de poluição das águas subterrâneas no município de Joinville – SC. A vulnerabilidade natural foi determinada segundo os métodos GOD (FOSTER; HIRATA, 1993) e DRASTIC (ALLER; LEHR; PETTY, 1985), com os mapas produzidos através de técnicas de geoprocessamento na escala 1:50.000. O risco baseia-se na interação entre os mapas de vulnerabilidade de aquíferos e a carga contaminante potencial possível de ser gerada nas 894 atividades antrópicas cadastradas.

Os resultados obtidos estão detalhadamente expostos no relatório do Produto P5- Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos. Este produto contém o relatório técnico detalhado, os mapas de vulnerabilidade dos aquíferos e as fontes potenciais de contaminação cadastradas. Todo o material compõe um SIG – Sistema de Informações Geográficas – em formato GDB – Geodatabase.

2.5.2 Resultados

A geração do mapa de vulnerabilidade natural segundo o modelo GOD baseou-se no cruzamento das seguintes informações: grau de confinamento da água subterrânea; ocorrência de estratos e/ou cobertura do aquífero; distância até o nível freático. Também foi incluído o tipo de cobertura dos solos, o que leva o modelo de vulnerabilidade gerado a ser chamado de GODS. O Quadro 2.1 apresenta os parâmetros utilizados e a fonte dos dados para a geração do mapa de vulnerabilidade GODS. O cálculo foi realizado através da atribuição de um índice a cada um destes parâmetros, sendo que o valor 1 representa a maior vulnerabilidade. Estes índices são multiplicados entre si para produzir a classificação final, que é então transformada em vulnerabilidade de aquíferos, variando entre extrema (por exemplo aquíferos livres, rasos e de litologia grosseira) a baixa (aquíferos confinados ou aquíferos livres profundos com solos impermeáveis).

Quadro 2.1 Parâmetros e fontes de dados para a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos conforme método GOD (Fonte: Foster e Hirata, 1988).

Parâmetros	Fonte dos dados
Grau de Confinamento da Água Subterrânea (G)	<ul style="list-style-type: none">• Mapeamento hidrogeológico e relatórios de poços cadastrados
Ocorrência de Estratos de Cobertura (O)	<ul style="list-style-type: none">• Mapeamento geológico, perfis de poços tubulares obtidos no cadastramento de poços
Distância até o Lençol Freático ou Teto do Aquífero Confinado (D)	<ul style="list-style-type: none">• Medição de nível estático realizada em poços escavados obtidos no cadastramento de poços;• Compilação de dados de sondagens SPT fornecidas pela SAMA• Níveis medidos nas sondagens executadas para os testes de infiltração
Tipo de solos (S)	<ul style="list-style-type: none">• Reclassificação do mapa pedológico do município

O modelo GODS resultou no mapa de vulnerabilidade natural com quatro classes, a saber: insignificante, baixa, média e alta (Figura 2.8). A classe insignificante é muito restrita em área, ocorrendo em pequenas manchas esparsas totalizando somente 0,06 km². A classe baixa abrange uma área de 607,99 km² associada à zona de ocorrência das rochas cristalinas, compostas sobretudo pelos ortognaisses granulíticos Luís Alves, em terrenos mais elevados e declivosos, onde o nível da água subterrânea tende a ser mais profundo. A classe de média vulnerabilidade à contaminação ocupa uma área de 417,34 km² perfazendo sobretudo o fundo dos vales cobertos por sedimentos inconsolidados do tipo colúvio-aluvionares, áreas de serra mais elevadas com litologias e composição preferencialmente arenosas cobertas por solos mais permeáveis e áreas de mangue. A classe de vulnerabilidade alta ocupa uma área de 72,16 km² associada à ocorrência de sedimentos inconsolidados arenosos com rasos níveis da água subterrânea e topografia bastante plana. São as áreas mais sensíveis à poluição das águas subterrâneas e, portanto, requerem especial atenção no tocante a sua ocupação e gerenciamento ambiental.

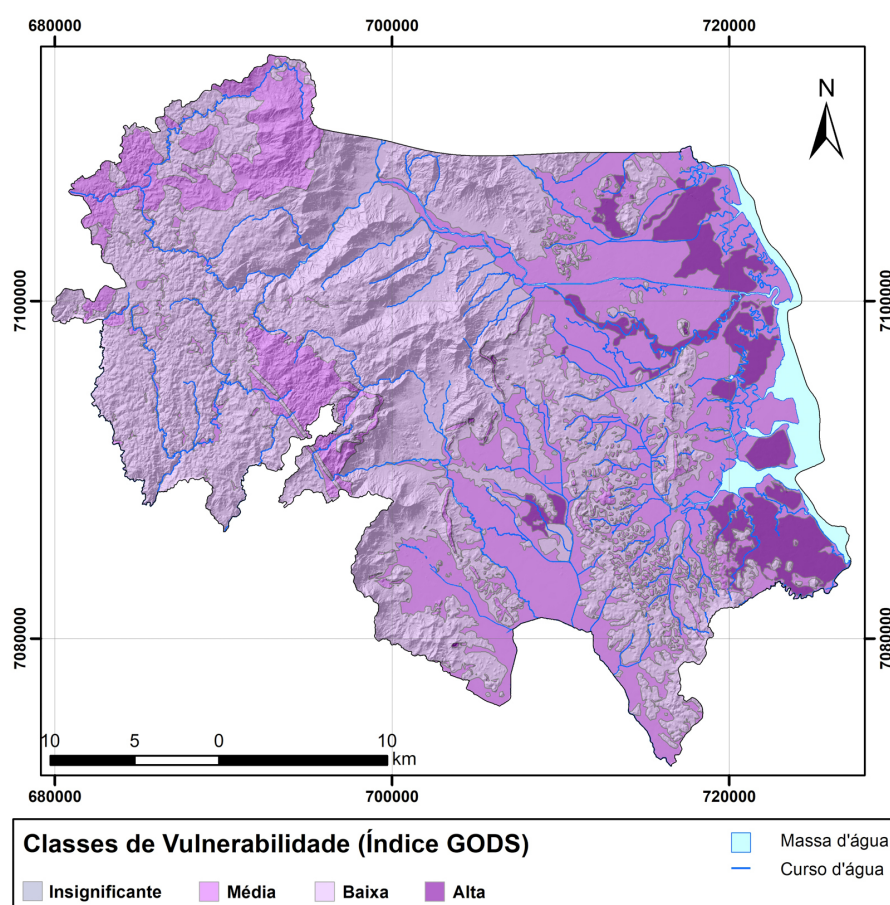


Figura 2.8 Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação segundo a metodologia GODS.

O mapa de índices DRASTIC foi obtido a partir do ajuste e adaptação dos parâmetros existentes na base de dados de Joinville – SC (Quadro 2.2) aos pesos definidos por Aller, Lehr e Petty (1985). Os parâmetros são: D – Profundidade do nível da água; R- Recarga do aquífero; A – litologia do aquífero; S – tipo de solo; T – Topografia do terreno; I – textura da zona vadosa e C- Condutividade hidráulica. Assim como o método GODS, os vários planos de informação e seus atributos foram ponderados e cruzados no ambiente SIG.

Quadro 2.2 Parâmetros utilizados para calcular o índice DRASTIC.

Parâmetros	Fonte dos dados	Peso (r)
Profundidade do Nível D'água (D)	Medição de nível estático realizada em poços escavados durante o cadastramento de poços; compilação de dados de sondagens SPT fornecidas pela SAMA e níveis medidos nas sondagens executadas para os testes de infiltração	5
Recarga do Aquífero (R)	Cálculo do balanço hídrico	4
Litologia do Aquífero (A)	Mapa geológico	3
Tipo de Solo (S)	Mapa pedológico do município	2
Topografia do Local (T)	Declividade do terreno gerado a partir do modelo digital de elevação	1
Textura da Zona Vadosa (I)	Mapa geológico e mapa pedológico do município	5
Condutividade Hidráulica do Aquífero (C)	Ensaio de permeabilidade dos solos; testes de bombeamento e compilação bibliográfica	3

O cruzamento realizado através de geoprocessamento obteve índices DRASTIC (Figura 2.9) variando de 83 a 205, divididos em quatro intervalos iguais que deram origem as classes: Insignificante ou Muito Baixa (83 a 113,5); Baixa (113,5 a 144); Média (144 a 174,5) e Alta (174,5 a 205).

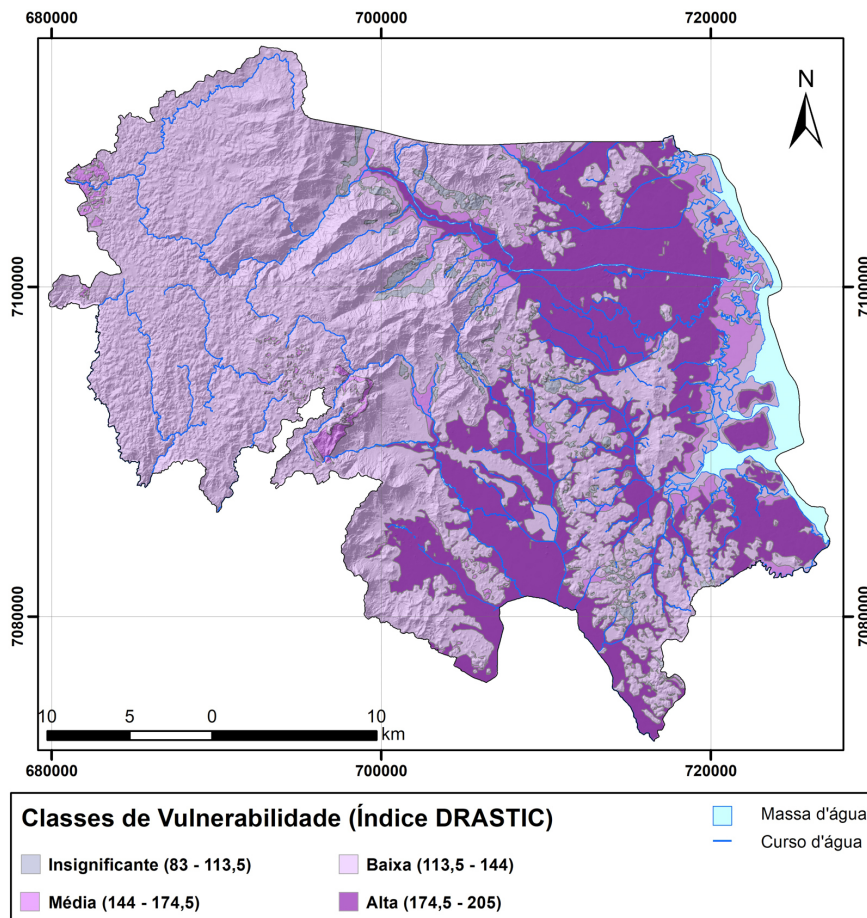


Figura 2.9 Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação segundo a metodologia DRASTIC.

A classe insignificante, ou muito baixa, abrange 20,45 km², estando relacionada às pequenas áreas isoladas em costados de morros formados por gnaisses com alta declividade e solos impermeáveis, com orientação noroeste. A classe baixa abrange uma área total de 730,24 km² correspondendo principalmente às áreas de ocorrência do embasamento cristalino, em elevadas altitudes e médias declividades e às áreas onde ocorrem sedimentos argilo-arenosos e argilosos no setor costeiro. A classe de média vulnerabilidade abrange uma área de 59,80 km² de modo esparso. É uma classe de pequena abrangência, mas requer atenção na sua gestão territorial e ambiental. Apesar de ocorrer dentro da área urbanizada central do município, sua maior expressão se dá nas áreas rurais e junto à Baía da Babitonga. A classe de alta vulnerabilidade, é a mais importante porque reúne as características do meio físico com maior peso e que resultam na facilidade do aquífero ser contaminado por uma atividade antrópica. Abrange uma área de 287,05 km² perfazendo áreas planas, com nível freático raso, constituídas por litologias e solos que imprimem a elas uma característica de alta permeabilidade do terreno, estando presentes nas porções nordeste, leste e sudoeste da área de estudo.

Comparando-se os mapas obtidos segundo as metodologias GODS e DRASTIC nota-se que ambos métodos apontam para a existência de vulnerabilidade mais alta nas zonas cobertas por aluviões e mais baixa nas zonas mais elevadas relacionadas às rochas do embasamento cristalino. A metodologia DRASTIC, por incorporar um maior número de parâmetros quando comparada com o método GODS, reflete com maior detalhe as nuances da vulnerabilidade nas mais diversas classes, e por considerar também a topografia do terreno através do modelo digital de elevação, acaba sendo mais adequada ao município de Joinville – SC. No entanto a metodologia GODS também pode ser utilizada, pois trata-se de um método consagrado e amplamente adotado no mundo todo. Como há disponibilidade de dois mapas, é recomendável, sempre que se achar necessário, realizar comparações entre os dois métodos na hora de se estudar uma determinada área.

O levantamento das fontes potenciais de contaminação baseou-se nos cadastros de empreendimentos fornecidos pelos órgãos estadual e municipal de Licenciamento Ambiental, classificadas conforme as resoluções CONSEMA 99/2017 e COMDEMA 01/2013, respectivamente. As atividades foram classificadas de acordo com o potencial de contaminação da metodologia POSH (FOSTER *et al.*, 2002) e divididas entre fontes pontuais (Figura 2.10) e difusas (Figura 2.11).

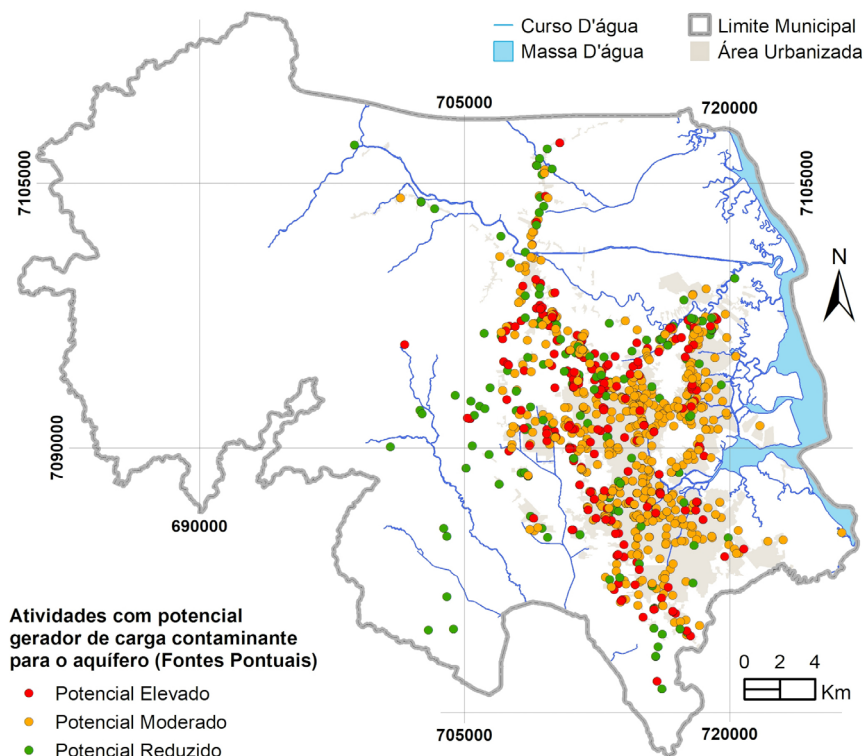


Figura 2.10 Distribuição espacial das fontes pontuais com potencial gerador de carga contaminante para o aquífero.

A avaliação do risco potencial de contaminação é qualitativa e deve ser executada observando a intersecção das diversas fontes potenciais de contaminação sobre os mapas de vulnerabilidade. O projeto recomendou a execução de trabalhos posteriores de estudos hidrogeológicos com maior detalhe, sobretudo nas áreas urbanas e de maior vulnerabilidade natural. A partir da execução desses estudos com o uso de modelos matemáticos, será possível projetar uma rede de monitoramento, principalmente abrangendo as áreas de alto risco.

Os mapas de vulnerabilidade dos aquíferos possibilitaram uma indicação inicial do risco potencial de contaminação da água subterrânea, dotando os profissionais de planejamento e desenvolvimento territorial e ambiental de bases concretas para avaliar novas propostas de desenvolvimento da cidade e estabelecer prioridades no controle da contaminação e no monitoramento da qualidade da água subterrânea.

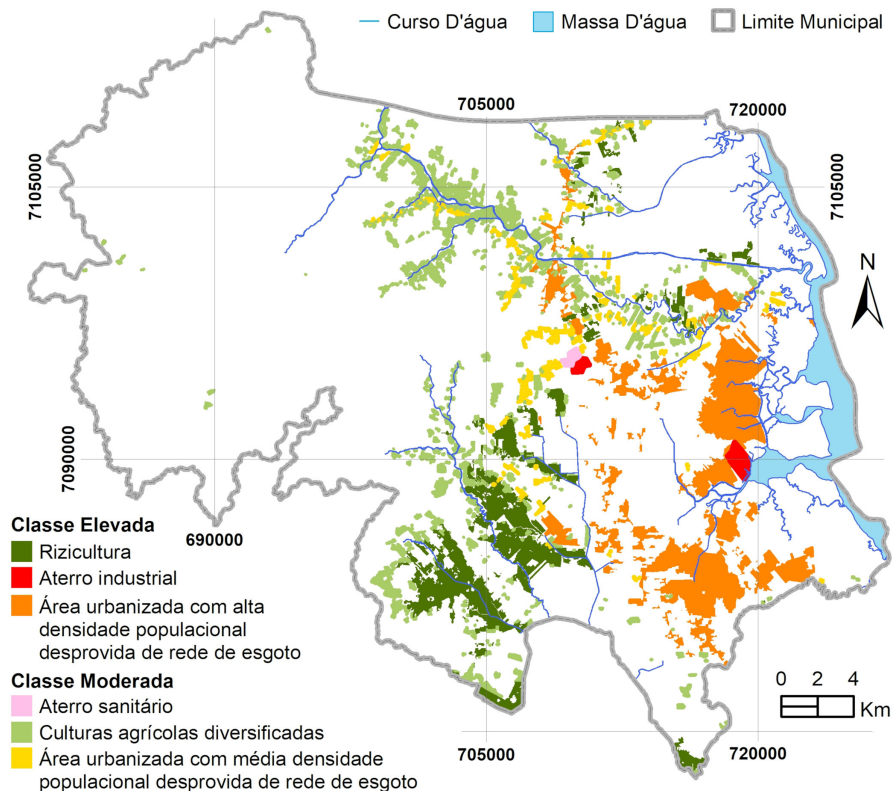


Figura 2.11 Mapa das fontes potenciais de contaminação difusas.

2.6 PRODUTO 6-Mapa geológico, estrutural e de recursos minerais

2.6.1 Apresentação

O trabalho executado no município de Joinville – SC envolve o registro das observações geológicas realizadas em campo com a descrição de afloramentos, coleta de amostras, descrições petrográficas, obtenção de dados de geologia estrutural e de recursos minerais, para a produção de um mapa geológico integrado. A geologia obteve dados de campo que contemplam a distribuição das rochas que pertencem a diferentes unidades litológicas, com seus contatos, depósitos superficiais, estruturas tectônicas e recursos minerais.

O território do município de Joinville – SC foi representado em 17 mapas: 1 mapa na escala 1:50.000 (área total do município, de 1.134 km²), 12 mapas na escala 1:10.000 que correspondem a 470 km² referente à área urbana e o restante da área rural do município (664 km²) representado por 4 mapas na escala 1:25.000, incluindo a área urbana. Os mapas geológicos do município de Joinville – SC compõem um SIG em formato GDB (*Geodatabase*).

2.6.2 Resultados

O mapeamento geológico teve como objetivo conhecer o embasamento litoestrutural do município, classificando os tipos de rocha, suas características litoestruturais e recursos minerais, de modo a estabelecer critérios de comportamento geológico, hidrogeológico e geomorfológico. O município de Joinville – SC situa-se nos contrafortes da Serra do Mar onde há uma grande variação de altitude do relevo. Geomorfologicamente a área pode ser subdividida em dois domínios: o domínio litorâneo, que é a parte constituída pela área urbana, com grande predominância de depósitos sedimentares quaternários, com cotas altimétricas médias de 5 a 30 m e com morros testemunhos de 70 a 400 m de altitude, dispersos pela região; e o domínio da Serra do Mar, representado pela região da Serra da Dona Francisca e os campos de altitude em direção à cidade de Campo Alegre, onde a cota altimétrica média é de 800m, podendo chegar a 1.300m. Estes dois domínios, apesar de terem diferenças geomorfológicas, têm o embasamento constituído predominantemente por rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina, que se caracterizam por serem rochas de alto grau metamórfico, o que intrinsecamente gera uma região com misturas de litotipos e geologia estrutural diversa e complexa.

No domínio da serra predominam rochas de idade pré-cambrianas (do neoarqueano/paleoproterozoico ao neoproterozoico), caracterizadas pelas litologias do Complexo Granulítico de Santa Catarina (rochas ultramáficas, granulitos félsicos, granulitos máficos, formações ferríferas bandadas, granulitos pelíticos e granitos paleoproterozoicos), granitos da Suíte Serra do Mar e bacias vulcanosedimentares associadas, do neoproterozoico, com diques básicos e rochas alcalinas mesozoicas cortando as mais antigas. Suas formas de relevo são: i) no topo forma um planalto arrasado com pequena amplitude na variação das cotas, e se desenvolve um perfil de solos médio a profundo e ii) na encosta da serra, com grande declividade, com escarpas íngremes e com rocha aflorante e grande geração de colúvios na meia encosta e base.

No domínio litorâneo, que inclui o perímetro urbano, zonas rurais e margens dos rios e da Baía da Babitonga, as rochas do Complexo Granulítico de Santa Catarina formam o embasamento muito alterado, apresentando estruturas de relevo isoladas (morros, morrotes e colinas) que se comportam como ilhas em meio aos sedimentos quaternários. Nessa área, devido à intensa alteração intempélica causada pela ação climática, há um grande desenvolvimento de solos sobre os locais mais altos da topografia e geração de colúvios por ação da gravidade nas encostas, com interdigitação com os sedimentos aluviais e transicionais da planície costeira.

A área de sedimentação do município de Joinville consiste em dois ambientes: continental e transicional. Na área e adjacências são registrados depósitos de colúvios e aluviais de rios e marés. A área fonte dos sedimentos é o embasamento cristalino que sob influência dos processos intempéricos, em locais mais planos, desenvolve espessos pacotes de solos eluviais, mantendo algumas características da rocha mãe. Por outro lado, em locais íngremes, onde a força gravitacional atua mais, ocorrem depósitos de colúvios.

Os processos intempéricos que alteram as rochas, juntamente com os processos de transporte que

removem o produto da alteração, constroem a paisagem. Sendo assim, a geomorfologia da área do município é formada pela Serra do Mar, que possui escarpas abruptas; morros isolados com cotas altimétricas de mais de 200m ou até pequenos maciços; dependendo do grau de inclinação das encostas ou morros, associados ainda ao clima da região que é predominantemente chuvosa, desenvolverá fluxos gravitacionais que produzirão depósitos coluviais, leques aluviais e aluviais.

Em terrenos mais planos e baixos, próximos do nível do mar, o predomínio é de depósitos aluvionares de sedimentos quaternários, inconsolidados, constituídos de cascalhos, areias grossas a finas, areno argilosas e siltico argilosas, nos ambientes fluviais e transicionais. O predomínio de padrão de drenagem de rios é o meandrante e ocorrem alguns casos de retificação antrópica que desembocam na Baía Babitonga. Este ambiente transicional, composto por sedimentos arenoargilosos e siltico argilosos com presença de bioclastos (moluscos) e matéria orgânica em decomposição, formam, respectivamente, o estuário e os mangues.

2.6.2.1 Unidades Litológicas

As unidades litológicas mapeadas nas escalas 1:25.000 e 1:10.000 são representadas a seguir:

Neoarqueano/Paleoproterozoico

A4PP2sc – Complexo Granulítico Santa Catarina formado por : A4PP2 μ bv – Unidade Máfica – Ultramáfica Barra Velha – granulitos ultramáficos, metagabros, meta-piroxenitos, meta-hornblenda piroxenitos com ou sem plagioclásio, meta piroxênio-hornblenda noritos, meta-hornblenda gabro noritos e meta-hornblenda piroxenitos com granada; A4PP2la – Gnaisses Granulíticos Luís Alves – granulitos máficos a félsicos, que podem ser isótopos, ou bandados e/ou foliados, com mineralogia composta por ortopiroxênio, clinopiroxênio, hornblenda, plagioclásio e quartzo, podendo ou não ocorrer biotita, com enclaves de gabronoritos, piroxenitos e hornblenditos. Também ocorrem gnaisses máficos, ortognaisses quartzo-feldspáticos e meta-quartzodioritos. 2716, 2680 e 2170 Ma; A4PP2gla – Paragnaisses Luis Alves – subdividido em (A4PP2glg) gnaisses metassedimentares, granulitos e gnaisses pelíticos com sillimanita e/ou cordierita e granada, gnaisses calciossilicatados e (A4PP2glq) lentes de quartzito com foliação marcada pela orientação de muscovita, (localmente fuchsita) e quartzitos bandados com lentes ferruginosas e formações ferríferas bandadas (BIF) todos com com lineação de estiramento de quartzo; PP2 γ rl – Suíte Rio da Luz – sieno a monzogranitos protomiloníticos a miloníticos, foliados, porfiríticos, de colocação vermelha e granulação média a grossa. 2195 \pm 4,7 Ma U-Pb.

Neoproterozoico

NP3 γ m – Suíte Serra do Mar Mar – granitos intrusivos, não deformados, isótopos, de natureza alcalina a peralcalina: monzogranitos, sienogranitos, quartzo-sienitos, quartzo-monzonitos, sienitos e feldspato alcalino granitos. A fase máfica predominante nos granitos alcalinos é biotita e biotita \pm anfibólios e nos granitos peralcalinos é biotita, hornblenda, anfibólios sódicos (riebeckita, arfvedsonita), piroxênios sódicos (aegirina, aegirina-augita).600 - 580Ma U-Pb; NP3 γ mdf – Granito Dona Francisca – sienogranito a sienito, leucocráticos, cor vermelho-carne, isótopos, granulação fina e média a grossa. Ortoclásio, quartzo, plagioclásio, poucos máficos, anfibólios prismáticos finos e intersticiais e rara biotita fina. Epidoto verde e pirita fina são acessórios, cavidades miarolíticas são eventuais; NP3 γ mpi - Granito Piraí - feldspato alcalino granito (sienogranito a sienito), leucocrático, cor vermelho-carne, granulação média a grossa, isótopo. Constituído essencialmente por ortoclásio,

quartzo e plagioclásio, com poucos máficos (biotita). Intercrescimento gráfico quartzo-K-feldspato. Fluorita azul e verde disseminada e em cavidades mirolíticas.

Bacias de Campo Alegre e Joinville

NP3ca – Grupo Campo Alegre NP3cam - Formação Serra de São Miguel - derrames traquíticos a quartzo-traquíticos com membros riolíticos e traquiandesíticos subordinados e camadas de fluxo piroclástico; NP3can - Formação Rio Negrinho - derrames e intrusões básicas, intermediárias e ácidas. Basaltos e andesitos intercalados com traquitos e quartzo-traquitos. Níveis de pelitos laminados no topo. 570 ± 30 Ma U-Pb; NP3bt – Formação Bateias-NP3brb – Membro Rio do Bugre – arenitos arcoseanos, granulação grossa a fina, estratificação cruzada tabular de pequeno porte, lentes de conglomerados finos na base e arenitos arcoseanos de granulação média a fina intercalados a siltitos arenosos e argilosos no topo; NP3bcg – Membros São Bento do Sul e Papanduvinha – conglomerados com seixos, blocos e pequenos matacões, angulosos a sub-arredondados, com matriz arenosa feldspática a arcoseana, rica em minerais máficos, argila variável e cimentação ferruginosa.

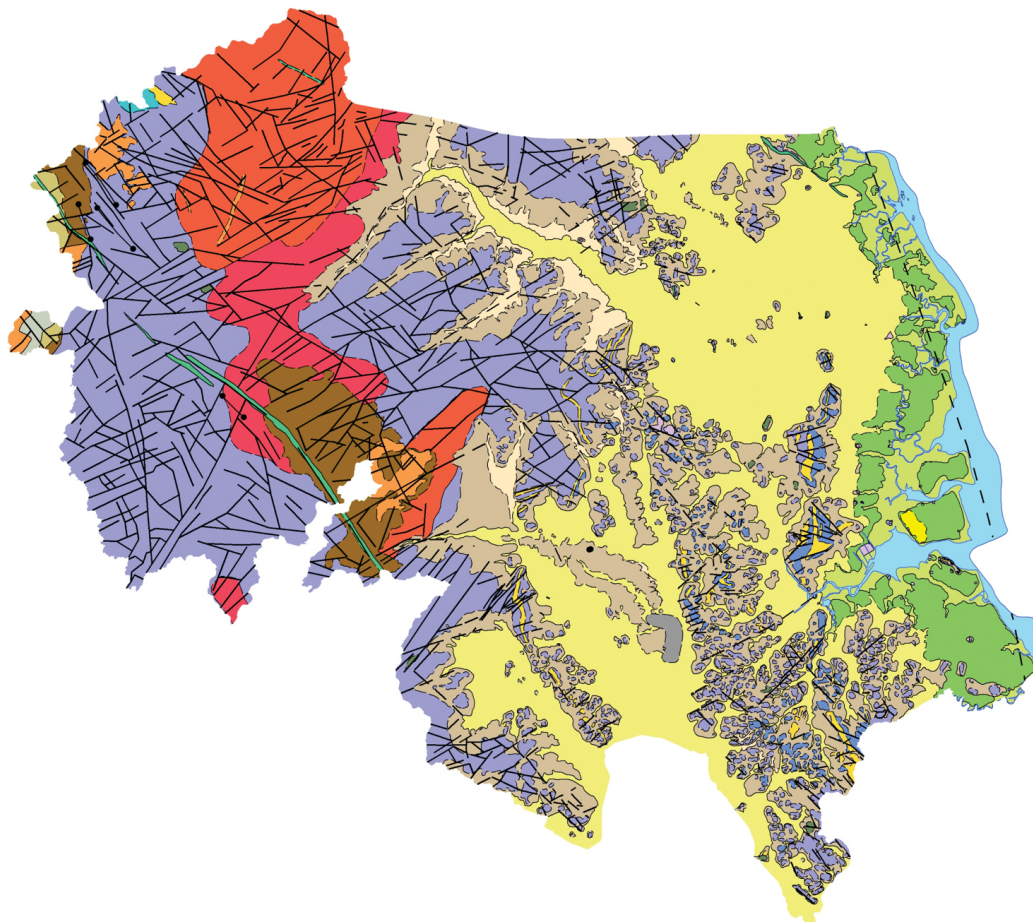
Mesozoico

K1 β sg – Grupo Serra Geral -K1 δ db – Diabásios Serra Geral – diques e sills de diabásio; K λ – Intrusivas alcalinas – aegirina sienito e diques de nefelina sienito com vulcanoclásticas subordinadas e diques de lamproítos.

Cenozoico

Q2co - Depósitos coluvionares - sedimentos mal selecionados, normalmente síltico-argilosos, associados às vertentes das elevações e formados através de processos gravitacionais, com detritos rochosos produtos de intemperismo, que se deslocam encosta abaixo; Q2ca – Depósitos colúvio-aluvionares aluvionares - depósitos coluvionares distais composto por sedimentos mal selecionados formados por fluxos gravitacionais sendo retrabalhados por ação fluvial, onde o sedimento aluvionar se concentra nos canais atuais; Q2a – Depósitos aluvionares- areias, cascalheiras e sedimentos síltico-argilosos depositados em planícies de inundação, terraços e calhas da rede fluvial. Depósito aluvionares distais constituídos de areia muito fina indicam um contínuo retrabalhamento dos sedimentos a jusante dos depósitos proximais; Q2pe – Depósitos paleo-estuarinos - sedimentos areno-siltosos, mal selecionados, com matéria orgânica, bioturbação e eventuais bancos conchíferos naturais depositados em ambiente estuarino; Q2el - Depósitos eólicos litorâneos- areias finas a muito finas, bem a muito bem selecionadas, de coloração esbranquiçada, sem estruturas visíveis. Estes depósitos eólicos são de espessura normalmente reduzida e bastante pedogeneizados. Depósitos com idades entre 120 e 18 mil anos; Q2pm – Depósitos de pântanos e mangues – sedimentos recentes, finos, ricos em matéria orgânica, variando de argila a areia fina. Nesta unidade estão incluídas planícies de marés com sedimentos mistos de areia fina e lama, canais de maré, com areia mal selecionada e areias de barras de maré. Áreas com influência marinha de intramarés, com marcante presença de vegetação pioneira flúvio-marinha; Q2tf – Turfeiras – sedimentos formados por argila orgânica amarronzada, visivelmente com fragmentos de vegetais, subordinadamente gradando de areia argilosa para areia muito fina, rica em matéria orgânica marrom escura a preta; Q2at – Depósitos antropogênicos- sedimentos acumulados pela ação do homem, aterros, rejeitos minerais, lixo urbano, aterros sanitários, e sítios arqueológicos litorâneos e estuarinos, acumulando conchas de moluscos, ossos e sedimentos diversos (sambaqui).

O mapa representativo da geologia do município de Joinville – se encontra resumido na (Figura 2.12)



ERA	PERÍODO	IDADE (Ma)	CRONO-ESTRATIGRAFIA DO MUNICÍPIO DE JOINVILLE							
MESOZOICO CENOZOICO	Quaternário	2,58 0,66	Q2ca	Depósitos colúvio-aluvionares	Q2el	Depósitos eólicos litorâneos	Q2pm	Depósitos de pântanos e mangues	Q2at	Depósitos antropogênicos
			Q2co	Depósitos colúvionares	Q2a	Depósitos aluvionares	Q2pe	Depósitos paleo-estuarino	Q2tf	Turfeiras
MESOZOICO CENOZOICO	Cretáceo	145 251 541	BACIA DO PARANÁ							
			K ₁	Intrusivas Alcalinas						
NEOPROTEROZOICO	Ediacarano	635 1000 1600	Suíte Serra do Mar (NP3 _γ m)				Bacias Neoproterozoicas: Campo Alegre e Joinville			
			Np3 _{mdf}	Granito Dona Francisca	Np3 _{mpi}	Granito Pirai	NP3 _{cam}	Fm Serra de São Miguel	NP3 _{can}	Fm Rio Negrinho
NEO ARQUEANO/PROTEROZOICO		2800	CRÁTON LUÍS ALVES							
			Complexo Granulítico de Santa Catarina							
			PP2 _{rl}	Suíte Rio da Luz						
			A4PP2 _q A4PP2 _g	Paragnaisses Luis Alves - g - gnaisses; q - quartzitos						
	A4PP2 _{la}	Gnaisses Granulíticos Luis Alves								
	A4PP2 _{lv}	Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha								

Figura 2.12 Síntese do Mapa Geológico do município de Joinville.

2.6.2.2 Geologia estrutural

A geologia estrutural da área do município de Joinville – foi realizada a partir da análise e interpretação de fotografias aéreas com o traçado de fotolineamentos (Figura 2.13), juntamente com a compilação de acervo de medidas/dados geológico-estruturais anteriores e os obtidos no âmbito do projeto, a partir do levantamento estrutural em áreas-chave, permitiram fazer correlação dos padrões das estruturas representadas pelos fotolineamentos (direções, frequência e extensão) com as informações obtidas no campo.

O padrão geral observado foi:

- Estruturas dúcteis: formam uma guirlanda de eixo N-S com variações a NW (principal) e NE;
- Estruturas rúpteis – dúcteis: formam um eixo N-S com variações a NW e uma direção NE-SW bem definida;
- Estruturas rúpteis: formam um padrão geral E-W e NW-SE principais e uma direção de espalhamento no quadrante NE;
- Fotolineamentos da área total do município: representam estruturas frágeis ou rúpteis e mostram direções principais NE-SW a ENE-WSW e NW-SE e de forma secundária ocorre agrupamento com direção geral E-W.

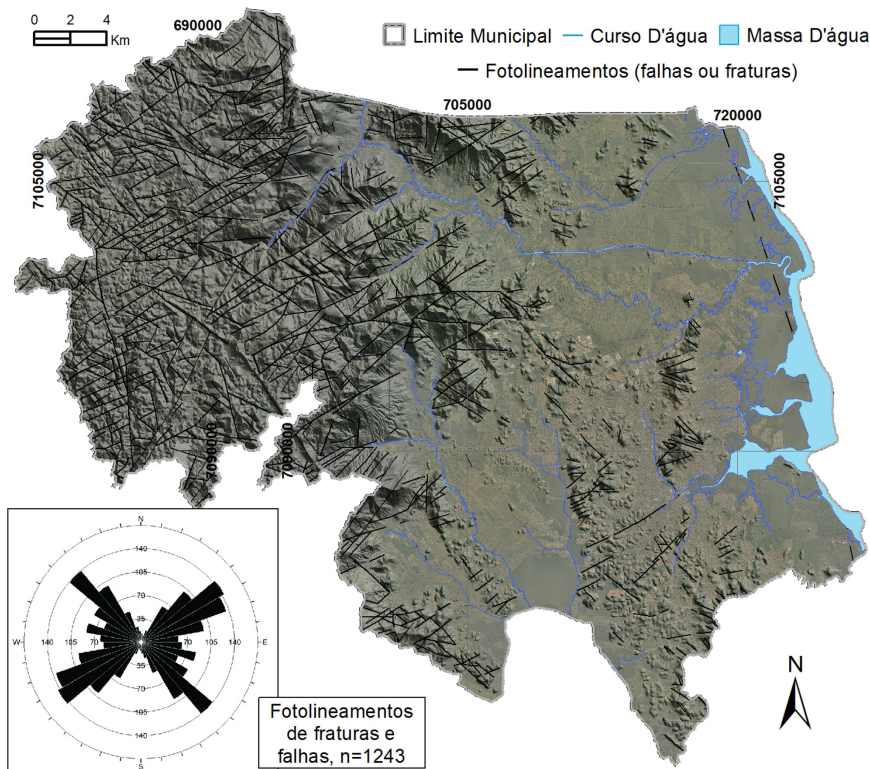


Figura 2.13 Distribuição dos fotolineamentos na área do município sobre a imagem do mosaico de ortofotos de 2012 em transparência sobre o relevo sombreado.

Relações importantes foram observadas e descritas: as principais direções de estruturas rúpteis registradas no campo, com percolação de água ou como rede de fraturas abertas, foram principalmente as de direções NNE-SSW a NE-SW e E-W a ESE-WNW, essas direções de falhas e fraturas quando cruzam com planos de falhas e fraturas de baixo ângulo, podem ser os principais condutos de água subterrânea no aquífero fraturado, porém, também formam horizontes de alteração intempérica e importantes discontinuidades onde se deve atentar para os riscos geológicos de deslizamentos associados a essas estruturas. Nesses planos também foram encontrados precipitados de óxidos de manganês botrioidais, já constatados como contaminante em águas subterrâneas do município. Assim, as estruturas rúpteis – dúcteis e as rúpteis de alto ângulo formam uma trama penetrativa para o fluxo de água que se conecta com as falhas e fraturas de baixo a médio ângulo de mergulho, com predomínio de mergulhos

de ângulos $<40^\circ$. O agrupamento de medidas de falhas e fraturas de baixo ângulo com direção predominante ENE-WSW pode ser associado à reativação de falhas de empurrão, com movimento inicial de topo para NNW, herdadas da estruturação de um evento de deformação de direção NE-SE.

2.6.2.3 Geofísica aérea e terrestre

A interpretação qualitativa dos dados aerogeofísicos de magnetometria e gamaespectrometria teve como finalidade auxiliar os trabalhos executados no mapeamento geológico e hidrogeológico do município de Joinville – SC. De modo geral, o estudo restringiu-se à análise de feições geofísicas, a partir dos contrastes laterais de propriedades físicas de minerais (susceptibilidade magnética e emissão de radiação gama – elementos eTh, eU e K) existentes na litologia do terreno.

O processamento e interpretação dos dados de magnetometria permitiram traçar os principais lineamentos magnetométricos compostos por diques, lineamentos NW-SE e lineamentos SW-NE. Os resultados das soluções de Euler para profundidades de até 100m e 200m apresentaram uma boa correlação com os diques de direção NW-SE interpretados a partir dos mapas magnetométricos.

Os mapas dos radioelementos eTh, eU, K e contagem total correspondem à geologia de superfície e representam a distribuição das diferentes rochas e solos aflorantes. A gamaespectrometria ou radiometria costuma ser vista como um guia para localizar rochas com radioatividades acima do background, como os granitoides e as rochas alcalinas.

Os dados gamaespectrométricos são bastante utilizados na pesquisa mineral, mapeamento geológico, mapeamento do regolito e das crostas lateríticas devido a sua capacidade de diferenciar assinaturas radiométricas de diferentes litologias. O aumento do intemperismo diminui a concentração do potássio que tende a ser lixiviado ou absorvido em argilominerais, já o urânio e o tório são menos móveis. O urânio é mais móvel em condições oxidantes e precipita em condições redutoras e o tório tende a se concentrar no regolito por meio de minerais resistentes e óxidos de ferro. No intuito de analisar de forma mais aprofundada a relação entre o intemperismo e os dados gamaespectrométricos, foi gerado o índice laterítico.

Os dados de eletrorresistividade são representados por meio da técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), realizadas no perímetro urbano do município de Joinville – SC, com a finalidade de investigar diferentes níveis de profundidade do substrato geológico. Poços e furos de sondagem próximos às SEVs foram utilizados para correlacionar e melhor interpretar as SEVs. O levantamento geofísico ocorreu em duas etapas, a primeira contou com aquisições de dados de SEV no período de 11 a 19 de setembro de 2019, totalizando 8 dias de campo; a segunda etapa de aquisição de dados contou com a técnica de Caminhamento Elétrico (CE) e SEV, a mesma foi realizada no período de 11 a 25 de novembro de 2020, totalizando 11 dias úteis de campo.

Os resultados obtidos mostram o potencial de aplicação integrada dos métodos eletrorresistividade e polarização, na caracterização geoambiental da área. As técnicas geofísicas utilizadas forneceram uma grande quantidade de dados e informações que permitem uma análise da área quanto às características do meio físico e quanto à possível contaminação da zona saturada pela cunha de água salgada.

A análise conjunta das curvas obtidas pela técnica de Sondagem Elétrica Vertical possibilitou o posicionamento das camadas em subsuperfície (cobertura superficial, zona saturada e zona não saturada), assim como, permitiu definir a espessura de cada camada. Em relação às camadas em subsuperfície foram identificados de 3 a 5 horizontes geoeletricos. Ressalta-se que na zona saturada são observados valores baixos de resistividade ($< 4.0 \text{ Ohm.m}$), o que sugere uma contaminação pela intrusão de água salgada dentro desta zona e esta análise é corroborada pelo fato das SEVs estarem localizadas próximo ao litoral.

A interpretação dos dados obtidos pelo levantamento elétrico 2D (resistividade e IP) permitiu uma primeira aproximação para o formato das camadas e valores de resistividade e cargabilidade, tornando os resultados mais precisos e confiáveis e, também, mostrou-se um processo de interpretação simples e rápido. A técnica de Caminhamento Elétrico/IP, com arranjo dipolo-dipolo, mostrou variações laterais de resistividade e cargabilidade que estão relacionadas com três camadas geoeletricas denominadas de A, B e C. Com base nos resultados dessa técnica, foi possível identificar dentro da zona saturada a presença de anomalias com baixos valores de resistividade associados a baixos valores de cargabilidade, que sugerem a contaminação gerada pela intrusão de água salgada proveniente de sedimentos marinhos. A zona de transição (camada geoeletrica B) é caracterizada por valores intermediários de resistividade, mostrando um desenvolvimento desta zona no sentido N, como um possível caminho da contaminação, e para isso é necessária uma concordância deste sentido com o sentido do fluxo subterrâneo local. A resistividade, muito mais do que a cargabilidade, permitiu definir a geometria da zona de transição. O efeito IP corrobora com a interpretação de uma região sem contaminação do aquífero por intrusão de água salgada. Diversas descontinuidades laterais, provavelmente associadas a falhas e fraturas podem ser caminhos preferenciais de recarga do aquífero.

Em síntese, a aplicação integrada dos métodos da eletrorresistividade e polarização induzida mostram-se como ferramenta de grande potencialidade na caracterização geoambiental da área, contribuindo para a avaliação de locais com o imageamento de possíveis zonas saturadas com águas salinizadas, sugerindo que o fenômeno de salinização seja provavelmente associado ao avanço da cunha salina marinha.

Para uma melhor interpretação dos dados obtidos pelos métodos geofísicos terrestres são necessárias informações geológicas prévias obtidas por métodos de investigação direta, como por exemplo, poços de monitoramento e furos de sondagens. Logo, para minimizar a ambiguidade das respostas obtidas pelos métodos geofísicos, devido à solução de um determinado problema não ser única, é preciso utilizar métodos de investigação diretos para fornecer maiores informações desejáveis e necessárias para a obtenção de resultados mais confiáveis. Portanto, para o programa de caracterização geoambiental da área, recomenda-se a coleta e análise de água para a confirmação da existência de contaminação nos locais interpretados como com salinização. Sugere-se a realização de novas SEVs em regiões onde as populações de poços são pobres e realizações de CEs na escala de detalhe e alta resolução em alvos específicos.

2.6.2.4 Recursos minerais

Os recursos minerais mais expressivos no município de Joinville – SC são os referentes à construção civil como pedreiras para brita nos granulitos das unidades do Complexo Granulítico de Santa Catarina, principalmente nos gnaisses granulíticos Luís Alves e nos paragnaisses Luís Alves, com saibreiras nos corpos de quartzitos. As saibreiras são comuns e ocorrem principalmente ao longo das estradas vicinais e nos bairros periféricos, o material é utilizado na manutenção e construção de estradas, com produção sazonal, e a maioria se encontram desativada. Ainda na unidade dos quartzitos e formações ferríferas se destaca a abundância de corpos e lentes de formações ferrífera bandadas, com camadas milimétricas a centimétricas de magnetita, distribuídas a leste da encosta da Serra do Mar e pela área urbana do município, porém são de pequenas dimensões e baixo potencial econômico.

Nos sedimentos do Quaternário foram encontrados alguns locais com turfa, com uma área mais expressiva na bacia do Rio Piraí. Esse material se mostra mais um problema para a construção civil do que um recurso econômico na área do município de Joinville.

Também ocorrem com menos destaque os depósitos de Fe, Mn, caulim, areia, argila, e água mineral.

2.7 PRODUTO 7 – MAPA HIDROGEOLÓGICO E DE FAVORABILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

2.7.1 Apresentação

O mapa Hidrogeológico produzido reúne em um cartograma, na escala 1:50.000, a caracterização dos aquíferos existentes em Joinville, a qualidade das águas subterrâneas, obras de captação, recarga, dados isotópicos, vulnerabilidade natural, linhas equipotenciais e sentido de fluxo das águas subterrâneas.

Já o mapa de favorabilidade hídrica subterrânea representa o potencial aquífero relativo do município e foi elaborado a partir do modelo hidrogeológico conceitual, definido pelos vários estudos necessários para a cartografia hidrogeológica e pelo cruzamento de planos de informação através de geoprocessamento.

2.7.2 Resultados

2.7.2.1 Cartografia Hidrogeológica

A confecção do mapa hidrogeológico de Joinville é baseada na tabela de Struckmeier e Margat (1995) – modificada *in* Diniz *et al.* (2012, 2014), metodologia oficial da CPRM para cartografia hidrogeológica. As unidades geológicas foram interpretadas em relação à porosidade e classificadas conforme seu comportamento aquífero em porosos e fraturados, no eixo horizontal, e em relação a sua potencialidade, no eixo vertical (Figura 2.14).

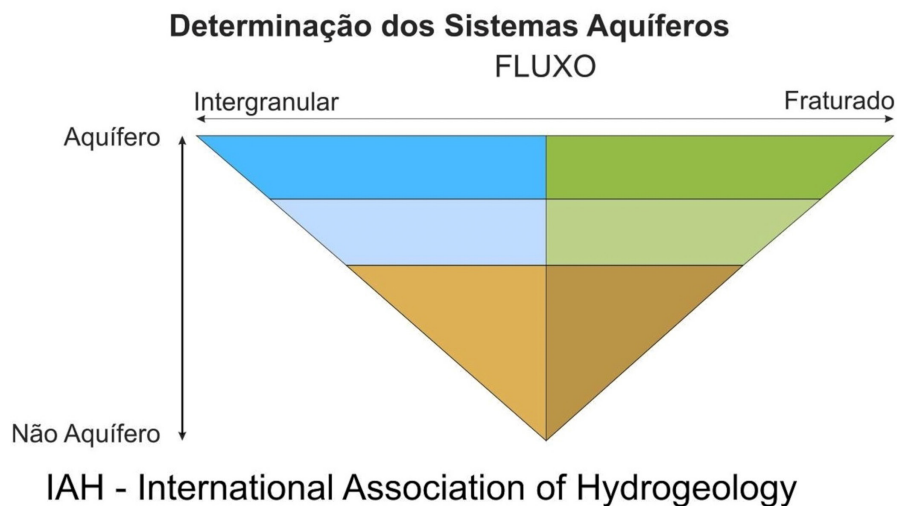








Figura 2.14 Esquema para classificação de aquíferos quanto a porosidade e potencialidade segundo a Convenção Internacional de Cores para Mapas Hidrogeológicos (modificada de Struckmeier e Margat, 1995).

As unidades aquíferas e não-aquíferas foram separadas mediante características de potencialidade que resultam em classes de produtividade de aquíferos, baseados nos parâmetros hidrodinâmicos numéricos: a vazão de estabilização de ensaios de bombeamento, a capacidade específica de poço e a condutividade hidráulica de aquífero. Tais parâmetros são provenientes dos ensaios de bombeamento das obras de captação, além de uma grande gama de informações adicionais de ampla pesquisa bibliográfica.

A classificação de produtividade dos aquíferos em Joinville é baseada no sistema classificatório de Diniz *et al.* (2012, 2014), baseado em Struckmeier e Margat (1995), e adotado pelo SGB-CPRM. As classes de produtividade de aquíferos são úteis para fins comparativos universais, diferenciando bem os aquíferos baseados em suas capacidades de produção de água através de obras de captação. São consideradas 6 classes de aquíferos universais, que podem ser aplicadas a todas as unidades que ocorrem no território brasileiro, sendo o número 1 atribuído à classe de maior produtividade (para unidades hidroestratigráficas que sejam excelentes aquíferos) e 6 atribuído à classe de menor produtividade (para unidades hidroestratigráficas praticamente não-aquíferas ou de fato não-aquíferas). Para a definição das classes de produtividade dos aquíferos em Joinville, foram avaliados os ensaios de bombeamento de 67 poços, os quais foram interpretados com métodos de cálculo para poço único através do método da recuperação de Theis e Jacob *apud* Kruseman e De Ridder (1970).

As unidades mapeadas no município de Joinville – SC enquadraram-se nas classes de produtividade de aquífero de 4 à 6. Os aquíferos de classe 4 são aqueles de mais alta produtividade encontrada, apresentando os melhores valores e características hidrogeológicas. Os aquíferos de classe 5 são de uma faixa de produtividade baixa, porém, são os mais comuns para a região, aproveitados de forma ampla e diversificada. Por fim, neste contexto municipal, os aquíferos de classe 6 são aqueles praticamente improdutivos, aquíferos ou aquíferos. Em Joinville a produtividade dos aquíferos varia entre a classe 6, a mais baixa e menos produtiva, e a classe 4, a mais alta e mais produtiva (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 Classes de produtividade de aquífero adotadas para o mapeamento hidrogeológico de Joinville – SC, conforme o sistema de classificação elaborado por Diniz *et al.* (2012, 2014), baseado em Struckmeier e Margat (1995), e adotado pelo SGB-CPRM. *Valores válidos para testes de bombeamento de pelo menos 12 horas e rebaixamentos máximos de 25 m.

Classe	Granulares	Fraturnadas	Q/s (m ³ /h/m)*	T (m ² /s)	K (m/s)	Vazão (m ³ /h)
(4)			0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁵ ≤ T < 10 ⁻⁴	10 ⁻⁷ ≤ K < 10 ⁻⁶	10 ≤ Q < 25
(5)			0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁶ ≤ T < 10 ⁻⁵	10 ⁻⁸ ≤ K < 10 ⁻⁷	1 ≤ Q < 10
(6)			< 0,04	< 10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁸	< 1

2.7.2.2 Unidades Hidroestratigráficas

O município de Joinville – SC é composto por uma sucessão de unidades hidroestratigráficas que representam todos os domínios geológicos desde o Neo-Arqueano-Paleoproterozoico até o Cenozoico, sendo que muitas delas são captadas simultaneamente pelos poços tubulares. No mapa hidrogeológico escala 1:50.000 foram determinadas e descritas as seguintes unidades: Embasamento Cristalino, Bacias Neoproterozoicas (Campo Alegre e Joinville), Serra Geral (diques de diabásio), Intrusivas Alcalinas e Sedimentos Cenozoicos. As unidades Embasamento Cristalino, Serra Geral e Intrusivas Alcalinas compõem o Domínio Hidrogeológico Fraturado enquanto que as Bacias Neoproterozoicas e Sedimentos Cenozoicos dão origem ao Domínio Granular.

O Domínio Hidrogeológico Fraturado (Figura 2.15) é composto pelas rochas do embasamento cristalino de Joinville, representado pelo Complexo Granulítico de Santa Catarina, cujos litotipos e unidades

geológicas predominantes são os granulitos intermediários a félsicos com composições quartzo-dioríticas, tonalíticas, granodioríticas e monzograníticas pertencentes à Unidade Gnaisses Granulíticos Luís Alves. Também fazem parte dessa unidade, os piroxenitos, gabronoritos e quartzo-gabros da Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha, assim como os granulitos pelíticos, quartzitos e formações ferríferas bandadas da Unidade Paragnaisses Luís Alves. Os diques de diabásio e rochas intrusivas alcalinas, relacionados ao evento Serra Geral, também compõem o Domínio Hidrogeológico Fraturado. Eventos tectônicos sobre as rochas do embasamento cristalino propiciam a formação de zonas fraturadas que dão origens aos aquíferos fraturados. Geralmente a zona fraturada desenvolve-se em profundidades de dezenas a centenas de metros.

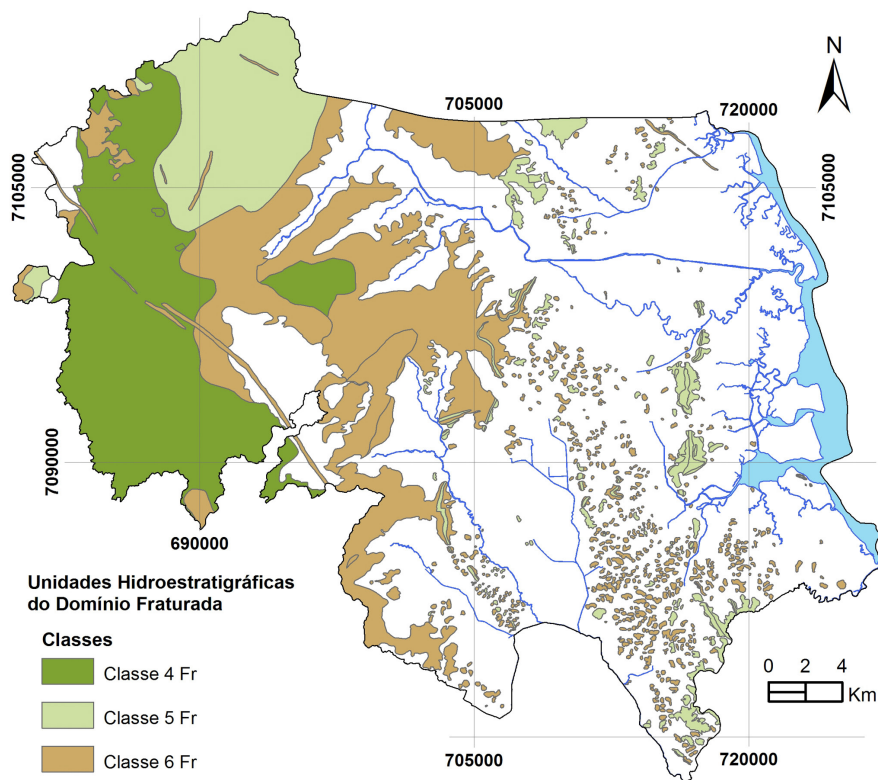


Figura 2.15 Unidades hidroestratigráficas pertencentes ao Domínio Hidrogeológico Fraturado e suas classes de produtividade.

O aquífero fraturado, associado às zonas de fraturas das rochas granítico-gnáissicas do embasamento cristalino na região, é classificado como desde não aquífero até aquífero com produtividade baixa a muito baixa, assim variando entre a classe 6 e a classe 5, com transmissividades na ordem de 10^{-6} e 10^{-5} e condutividades hidráulicas variando entre 10^{-6} e 10^{-7} . Entretanto, a predominância é de que se comporta como pouco produtivo ou não aquífero, situando-se na classe 6. Aproximadamente 30% dos poços cadastrados no SIAGAS que possuem perfis geológicos identificando este aquífero realizam a captação de água exclusivamente desse aquífero, não utilizando outro aquífero sobreposto. Seu comportamento é de semiconfinado a livre, dependendo da profundidade das fraturas e sua interconexão com a superfície. São comuns as tentativas sem sucesso da perfuração de poços tubulares neste aquífero, resultando em vazões nulas. Ao contrário do aquífero poroso, onde poços do tipo ponteira podem ser utilizados,

neste somente poços tubulares podem ser perfurados, em função do tipo de equipamento apropriado (necessita ser de grande porte) e pelas profundidades maiores a serem atingidas. Normalmente as águas captadas exclusivamente deste aquífero possui qualidade superior àquelas captadas dos aquíferos porosos, em função do condicionamento geológico destes aquíferos.

A maioria dos poços tubulares considerados, cadastrados no SIAGAS, capta água de dois aquíferos simultaneamente: do fraturado sotoposto e de um granular sobreposto, configurando as captações como mistas. Normalmente estas captações ocorrem quando há insucesso nas perfurações que têm por objetivo captar exclusivamente o aquífero fraturado, principalmente pelas baixas vazões que ele proporciona em muitos casos. Desta forma, são instalados revestimentos com seções de filtros no aquífero superior, poroso, para aumentar a vazão do poço. A cobertura formada pelos aquíferos granulares amplia a produtividade dos aquíferos fraturados.

O Domínio Hidrogeológico Granular (Figura 2.16) é representado por todas as rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados que dão origem aos aquíferos de porosidade intersticial, que apresentam características de os aquíferos livres. Os aquíferos granulares são representados pelas rochas neoproterozoicas da Formação Bateias, composta pelo Membro São Bento do Sul, Membro Papanduvinha e Membro Rio do Bugre, bem como os sedimentos cenozoicos representados pelos depósitos recentes, inconsolidados, do Período Quaternário. Este último encontra-se representado pelos depósitos colúvionares, colúvio-aluvionares, aluvionares, paleo-estuarinos, eólicos litorâneos, depósitos de turfeiras e depósitos de pântanos e mangues.

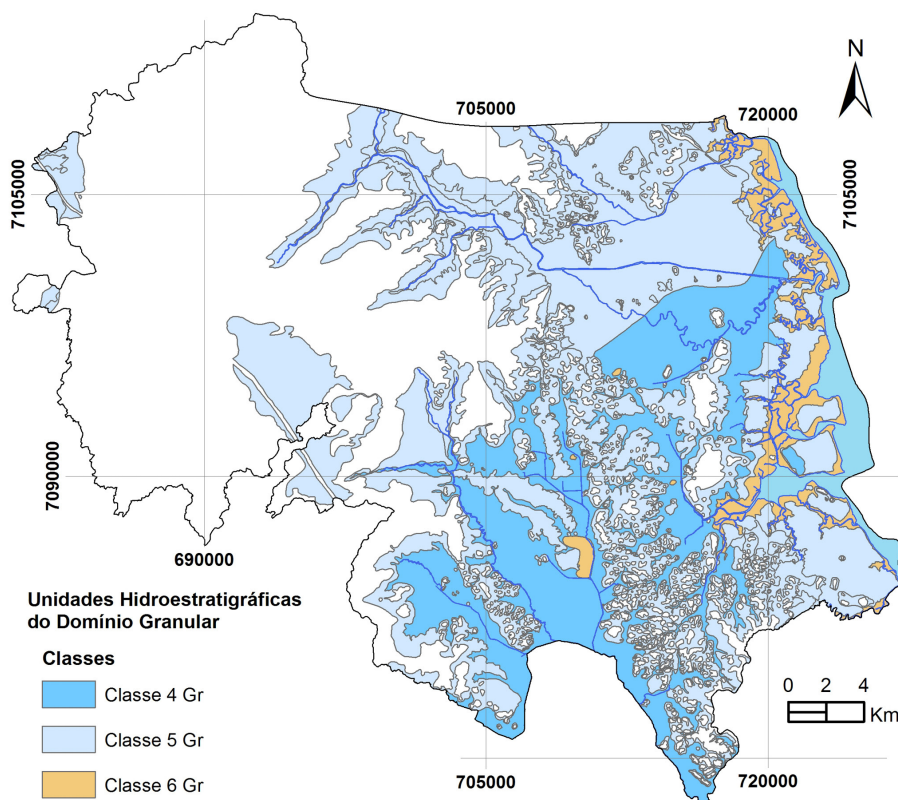


Figura 2.16 Unidades hidroestratigráficas pertencentes ao Domínio Hidrogeológico Granular e suas classes de produtividade.

Os aquíferos granulares têm como recarga principal a precipitação pluviométrica, porém apresentam intensa relação com as águas superficiais, isto é, ora sendo recarregados por elas, ora descarregando nelas suas águas. Nesta dinâmica é que em algumas áreas há influência dos canais que contêm águas salinas derivadas das águas da Baía da Babitonga. Geralmente são aquíferos muito vulneráveis à poluição devido a sua constituição litológica e nível freático raso. A forma de captação predominantemente nos aquíferos granulares é através de poços tubulares de pequenos diâmetros (diâmetros menores que 4”), especificamente poços popularmente conhecidos como ponteiras (diâmetros menores que 2”), perfurados com pequenas profundidades e que podem atender as demandas dos proprietários, desde que não haja a necessidade de grandes consumos de água. Suas transmissividades são da ordem de 10^{-4} a 10^{-6} m²/s e sua condutividade hidráulica varia entre 10^{-7} e 10^{-5} m/s. Em algumas situações localizadas, este aquífero pode apresentar produtividades mais altas, dependendo das condições geológicas e geomorfológicas, como por exemplo em regiões com sedimentos mais arenosos, mais espessos, mais planos. A utilização mais frequente deste aquífero se dá através de poços do tipo ponteira, de pequeno diâmetro, com extrações de água com pequenas vazões (0,5m³/h a 1m³/h, em média)

A Figura 2.17 apresenta a síntese do mapa hidrogeológico, reunindo as unidades hidroestratigráficas classificadas juntamente com as linhas equipotenciais do aquífero livre formado pelo regolito das rochas cristalinas e os depósitos de natureza sedimentar.

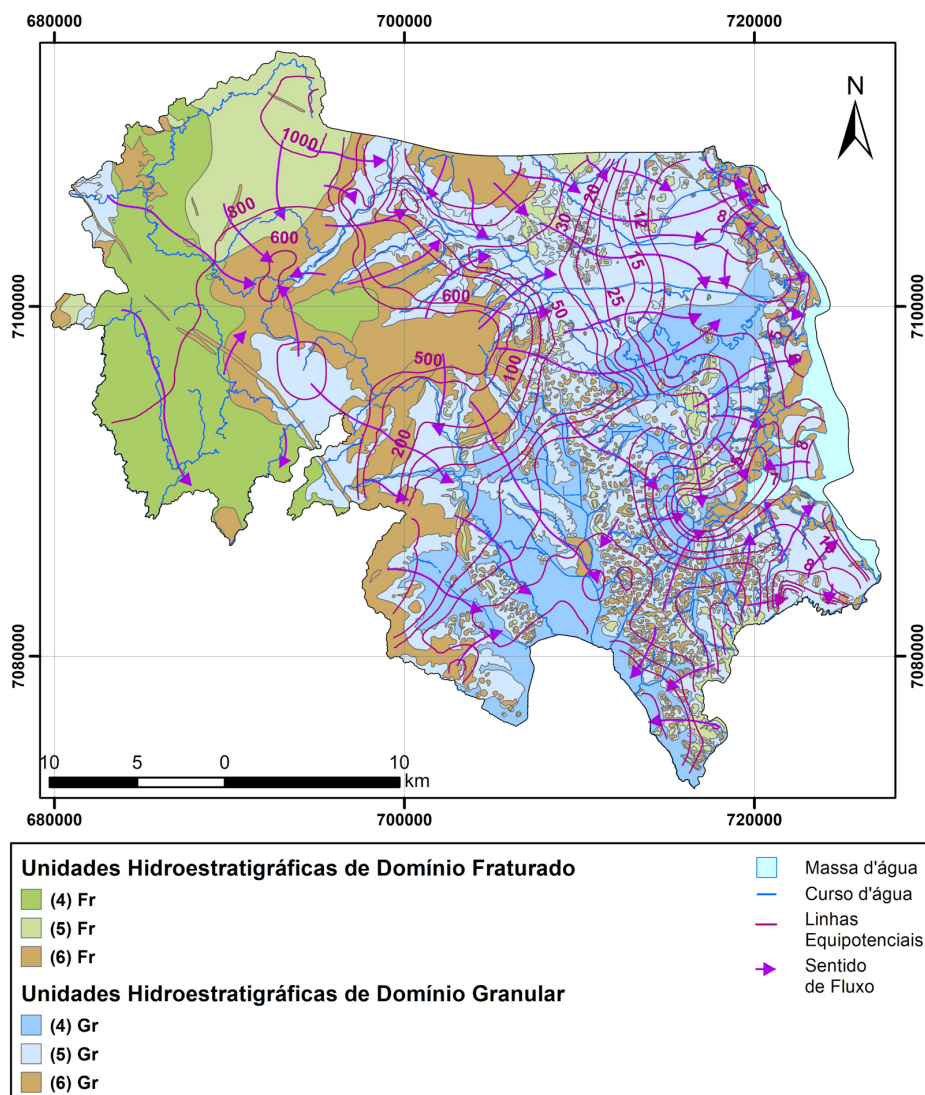


Figura 2.17 Mapa hidrogeológico simplificado de Joinville.

2.7.2.3 Recarga

A estimativa da recarga para o município de Joinville – SC foi desenvolvida contemplando a área de abrangência limitada pelas bacias hidrográficas do Cachoeira, do Cubatão, do Itapocuzinho, do Palmital, do Paraná, do Piraí, Independentes da Vertente Leste e Independentes da Vertente Sul. As metodologias utilizadas para os cálculos da recarga consideraram a origem das águas de recarga em ambientes naturais e urbanos. Para a estimativa da recarga natural, a metodologia baseou-se na precipitação e suas relações com as variáveis do balanço hídrico. Na estimativa da parcela urbana, referente às águas importadas, a metodologia aplicada abrangeu o cálculo da recarga a partir das perdas nas redes de distribuição de água, nas redes de coleta de esgoto e as estimativas em áreas sem coleta de esgoto. A metodologia utilizada é baseada no estudo desenvolvido pelo *New Jersey Geological Survey*, descrito por Charles *et al.* (1993) e, emprega um balanço hídrico no solo dado pela seguinte equação:

$$R=P-ETR-ES-\Delta S$$

onde:

R é a recarga (mm);

P é a precipitação (mm);

ETR é a evapotranspiração real (mm);

ES é o escoamento superficial (mm);

ΔS é a variação de armazenamento de água no solo (mm).

A recarga urbana é composta por três componentes: 1) recarga gerada a partir das perdas na rede de distribuição de água, 2) recarga gerada a partir das perdas na rede coletora de esgoto, e 3) recarga gerada através da infiltração de esgoto gerado em locais em que existe rede de água, porém não há rede coletora de esgoto. O resumo dos resultados anuais médios das oito bacias hidrográficas está apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Resumo de recargas médias por bacia hidrográfica (mm/ano e hm³/ano).

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Recarga Natural Balanço Hídrico (mm/ano)	Recarga Natural Balanço Hídrico (hm ³ /ano)	Recarga Urbana (mm/ano)	Recarga Urbana (hm ³ /ano)	Recarga Total (mm/ano)	Recarga Total (hm ³ /ano)
Cachoeira	82,8	349,6	29,0	225,3	18,7	574,8	47,6
Cubatão	392,4	918,8	360,5	19,2	7,5	938,0	368,1
Itapocuzinho	123,0	921,8	113,3	0,0	0,0	921,8	113,3
Palmital	99,5	850,9	84,7	3,7	0,4	854,6	85,0
Paraná	0,9	852,3	0,8	0,0	0,0	852,3	0,8
Piraí	310,4	815,7	253,2	14,3	4,4	830,0	257,7
Vertente Leste	55,1	458,4	25,3	139,8	7,7	598,2	33,0
Vertente Sul	42,9	492,8	21,2	104,8	4,5	597,6	25,7

2.7.2.4 Isotopia

Foram analisadas amostras isotópicas referentes às águas subterrâneas, coletadas em poços tubulares, poços escavados, poços de pequeno diâmetro (ponteiras), captações de fontes, e referentes às águas superficiais coletadas em rios, mangues, e por fim, águas de chuva. Também foram agregados os valores isotópicos de 46 amostras coletadas de águas subterrâneas e superficiais, compilados de estudos de Barros (2005) que abordou a composição isotópica e química das águas da Baía da Babitonga.

As assinaturas isotópicas das amostras coletadas nas águas subterrâneas de Joinville constituem, em sua ampla maioria, assinaturas isotópicas similares às de chuvas, evidenciando a recarga pluvial. Os gráficos evidenciam este fato à medida que os pontos se alinham segundo as retas meteóricas, local e global. Algumas amostras apresentam um comportamento isotópico que sugere uma breve tendência de que a recarga dos aquíferos tenha ocorrido nos períodos de inverno (com sinais isotópicos mais enriquecidos), quando na região há um maior excesso hídrico em função de grandes volumes de chuva. Este fato pode ser visto no Gráfico 2.4 onde amostras de água subterrânea que se posicionam na parte de valores de ^{18}O e ^2H maiores (valores negativos menores), considerados mais enriquecidos.

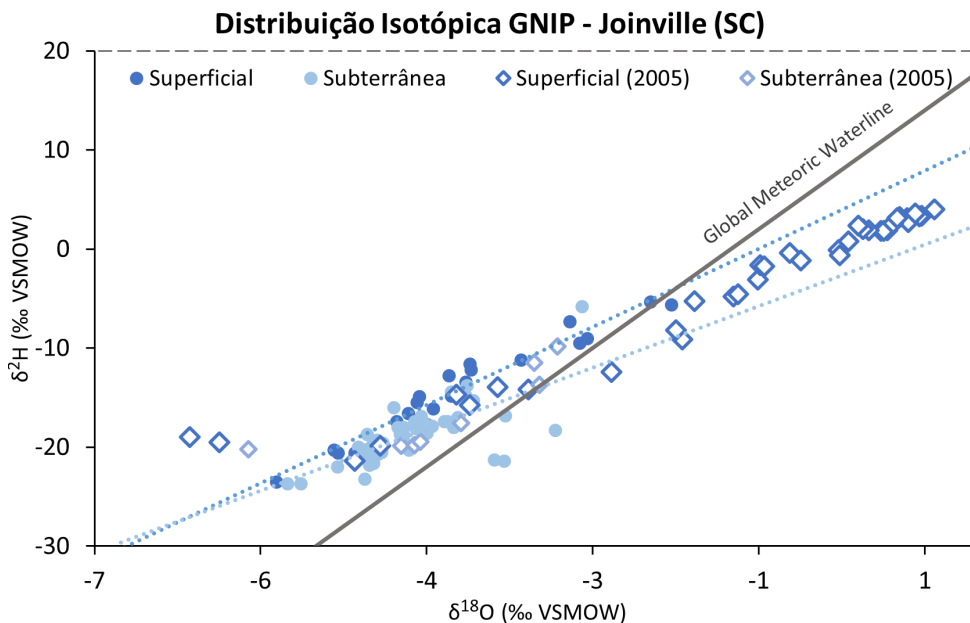


Gráfico 2.4 Plot de correlação entre $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ de amostras de águas superficiais e subterrâneas GNIP – Joinville e dos dados bibliográficos (Barros, 2005).

As águas subterrâneas apresentam faixas de variação isotópica em torno da média dos valores encontrados para as águas superficiais, fato considerado normal. As recargas de água subterrânea sempre se processam a partir de diferentes chuvas e os tempos de residência são maiores que os das águas superficiais. Apesar da recarga essencialmente pluvial, constata-se um grupo de águas subterrâneas cujas assinaturas isotópicas condizem com padrões de evaporação, mostrando dinâmicas de recarga distintas, são mais salinizadas onde as recargas recebem aportes de zonas de captura de águas superficiais salinizadas. Esta propensão é correlacionável com as tendências das amostras coletadas e analisadas no trabalho de Barros (2005), composto basicamente por águas da Baía da Babitonga.

As assinaturas isotópicas evidenciam a existência de gradientes muito claros de leste a oeste do município, as concentrações isotópicas empobrecem nessa direção, fato que está relacionado a topografia; diferenças nos padrões de chuva entre a parte mais plana costeira e as porções de serra e influência das recargas oriundas da Baía da Babitonga.

2.7.2.5 Favorabilidade Hídrica Subterrânea

O mapa de Favorabilidade Hídrica Subterrânea foi produzido a partir de lógica booleana soma simples, sem ponderar cada parâmetro, porque todos têm a mesma importância na avaliação do potencial aquífero na área de estudo. Os parâmetros escolhidos foram: litologia, condutividade hidráulica, densidade de lineamentos, recarga e declividade do terreno. Aos fatores escolhidos foram atribuídas notas, entre 0 e 100, às suas respectivas classes. A distribuição de notas, ou pesos, foi feita baseada em regras de decisão previamente definidas pelos especialistas envolvidos no projeto e consultadas na bibliografia abordando áreas semelhantes e com a mesma temática, principalmente baseando-se no trabalho de Freitas (1998). Assim, a equação para a cálculo da favorabilidade, adotada para este projeto, é expressa da seguinte forma:

$$IF = \frac{D + K + L + R + T}{5}$$

onde: D = Densidade de lineamentos estruturais; K = Condutividade hidráulica estimada; L = Litologia; R = Recarga total anual; T = Declividade do terreno.

O produto é uma imagem *raster* com dimensões de pixel iguais a 30 m x 30 m e que contém os índices de favorabilidade hídrica subterrânea resultantes entre o mínimo 10 e o máximo 76 (Figura 2.18). No município predominam índices de favorabilidade baixos e medianos, o que é condizente com o arcabouço hidrogeológico de Joinville. No entanto, existem algumas áreas de pouca extensão com potencial maior, que se destacam das demais. Essas são áreas onde os fatores convergem para uma alta chance de ocorrência de água subterrânea, sendo denominadas áreas alvo. Os alvos são locais onde devem ser executados os estudos de maior detalhe para locação e projeto dos poços que, por ventura, venham a ser perfurados. Os estudos de detalhe consistem em mapeamento em pequena escala desses locais, análise de fotografias aéreas e levantamentos geofísicos terrestres.

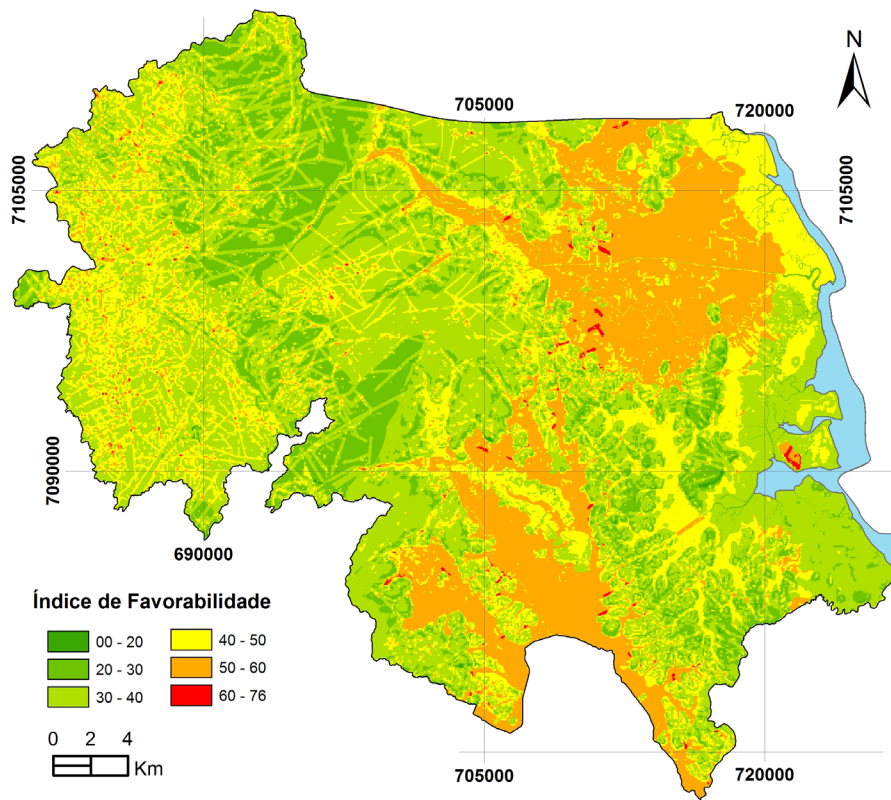


Figura 2.18 Mapa dos índices de favorabilidade hídrica subterrânea.



3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão dos levantamentos e estudos executados no âmbito do Projeto Mapa Geológico e Hidrogeológico de Joinville coloca o município num seletivo grupo dos raríssimos municípios que detém informações detalhadas de seu meio físico. Os estudos realizados possibilitaram a geração de novos dados nos âmbitos técnico e científico e a proposição de estratégias de gestão territorial e dos recursos hídricos subterrâneos.

A complexidade dos componentes geológicos e geomorfológicos, em conjunto com as intervenções antrópicas, vem contribuindo intensamente para o surgimento de problemas que relacionam o ser humano ao território que o circunda. O mapeamento geológico teve como objetivo conhecer o embasamento litoestrutural do município, classificando os tipos de rocha, suas características litoestruturais e recursos minerais, de modo a estabelecer critérios de comportamento geológico, hidrogeológico e geomorfológico. O conhecimento geológico obtido neste mapeamento realizado, sobretudo na escala 1:10.000, quando aplicado ao planejamento urbano, pode ser considerado como um dos fatores preventivos aos dos riscos de origem geológica (como movimentos de gravitacionais de massa) que seriamente afetam as pessoas e instituições. Os mapas geológicos produzidos favorecerão os trabalhos relacionados à Geologia Urbana e à Geologia Ambiental que visam aplicar os conhecimentos geológicos para a solução de problemas ambientais decorrentes da interação entre o homem e o meio físico. A identificação de prováveis recursos minerais existentes no território também deve ser levada em conta na hora de expandir a cidade. A expansão de manchas urbanas pode gerar conflito com a extração de insumos minerais, por avançar sobre potenciais depósitos e criar impedimentos para o uso futuro desses recursos fundamentais para a sociedade. Dentre as áreas de restrição à expansão urbana devem ser consideradas aquelas potencialmente produtoras de bens minerais para a construção civil. Os planos diretores municipais devem apresentar alternativas locais para os vetores de crescimento urbano para que não ocorram conflitos pela superposição de uso do solo com as reservas minerais. Os poderes municipais devem, além de garantir as futuras demandas da sociedade por insumos minerais, vislumbrar a importância socioeconômica do setor na geração de empregos e no retorno em impostos, oriundo da produção extrativa mineral.

O conhecimento hidrogeológico obtido com os produtos apresentados trouxe várias informações acerca das disponibilidades hídricas subterrâneas, qualidade da água, vulnerabilidade de aquífero, entre outros. Essa riqueza de dados e informações forneceram subsídios com a robustez necessária para orientar as ações de propostas na esfera da gestão do uso e abastecimento público a partir das águas subterrâneas existentes no município. Observou-se que há no município uma estreita relação entre a atividade antrópica e os recursos hídricos subterrâneos, dada a vasta quantidade de poços tubulares, poços ponteira, cacimbas e fontes captadas. Aspectos da vulnerabilidade desses aquíferos devem ser considerados frente às demandas do crescimento urbano e populacional. Da mesma forma o monitoramento da qualidade da água subterrânea deve assumir papel de grande relevância, tendo em vista sua ampla disponibilidade e uso. O cadastramento de pontos de captação de água subterrânea permitiu traçar um panorama atual de como os recursos hídricos estão sendo explorados e utilizados em Joinville. As informações obtidas aprimoraram o conhecimento hidrogeológico do município e possibilitaram reunir novos dados técnicos e científicos, em um completo banco de dados em formato geodatabase. O manuseio correto desse banco de dados vai permitir a proposição de estratégias de controle e de gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município, sobretudo se forem considerados na hora de expandir a cidade. A sugestão de dois projetos construtivos básicos para poços tubulares, adequados aos aquíferos que ocorrem no município, vão servir de base para a elaboração de orçamentos e fiscalização na

hora e se contratar serviços de perfuração de poços, seja pelo poder público, seja pela iniciativa privada. Algumas dificuldades foram observadas, como a não disponibilidade de poços para realização dos testes de aquífero, ou a impossibilidade de cadastro e/ou coleta de água em alguns poços, bem como a desatualização ou indisponibilidade de alguns dados oficiais, de fundamental relevância para a montagem do banco de dados apresentado. Essas questões podem ser solucionadas a partir da implementação de um cadastrado permanente de poços pelo poder público municipal. Por outro lado, o conhecimento técnico-científico acerca dos sistemas aquíferos foi atualizado nesses estudos com a utilização de várias técnicas de avaliação multidisciplinares com vistas à obtenção de uma visão integrada de sua dinâmica e interações com o meio físico em geral.

Os estudos sugerem que futuramente o município crie um plano de amostragem abrangente e estabelea, baseado nos resultados encontrados, uma rede de monitoramento qualitativo. Também são recomendados estudos hidrogeológicos localizados e em escala de maior detalhe, sobretudo nas áreas urbanizadas e de passivo ambiental, como também nas áreas de alto risco potencial de contaminação das águas subterrâneas. Os mapas de vulnerabilidade dos aquíferos devem ser considerados no planejamento e desenvolvimento territorial, servindo de bases concretas para avaliar novas propostas de desenvolvimento da cidade e estabelecer prioridades no controle da contaminação e no monitoramento da qualidade da água subterrânea.

4. RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

Marcos Alexandre de Freitas

Geólogo DSc
CREA RS 068952
RN 2218579863

Carlos Moacyr da Fontoura Iglesias

Geólogo MSc
CREA RS 038451
RN 2201128022

5. REFERÊNCIAS

ALLER, L.; LEHR, J. H.; PETTY, R., **DRASTIC: a standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. Ada, Oklahoma: U. S. Environmental Protection Agency, 1985.

BARROS, V. G. **Study and Monitoring of Biogeochemical Processes of Babitonga Bay Catchment - Brazil, Using Chemical and Isotopes Approaches**. Tese de Doutorado. Università Ca'foscari Di Venezia, CA'FOSCARI, 2005.

CHARLES, E. G.; BEHROOZI, C.; SCHOOLEY, J.; HOFFMAN, J. L. **A method for evaluating ground-water-recharge areas in New Jersey**. New Jersey Geological Survey Report, New Jersey, n. 32, 1993.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; FEITOSA, F. A. C.; FREITAS, M. A. de; PEIXINHO, F. C. **Metodologia para elaboração de mapas hidrogeológicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 27., ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS. **Resumos Expandidos** [...] Bonito, MS: ABAS, p. 1-4, 2012.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, R. de C. da; PAULA, T. L. F. de; **Manual de cartografia hidrogeológica** – Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. 119p.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, 1993.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A.; GOMES, D; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**. Washington: The World Bank, 2002.

KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N. A. de. **Analyses and evaluation of pumping test data**. [s.l.]: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1970.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. **Hydrogeological maps a guide and a standard legend**. Hannover: International Association of Hydrogeologists, 1995. (International Contributions to Hydrogeology, v. 17).



Foto: Marcos Freitas

Esta Nota Explicativa apresenta uma síntese dos produtos entregues relativos ao mapeamento geológico e hidrogeológico de Joinville, contratado pela SAMA-UGA (contrato nº 075/2019) e executado pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Esse levantamento foi conduzido segundo o objetivo principal que é dotar o município de Joinville de mapeamento geológico de detalhe na escala 1:25.000 (área total do município), 1:10.000 para a área urbanizada e de mapeamento hidrogeológico na escala 1:50.000 em todo o território municipal.

Os estudos foram desenvolvidos no intuito de avançar na caracterização e entendimento do arcabouço geológico-estrutural e suas ocorrências minerais. Também se buscou a compreensão dos aquíferos existentes, características das obras de captação, uso e qualidade das águas subterrâneas, vulnerabilidade intrínseca dos aquíferos e favorabilidade hídrica subterrânea no município.

Sua execução contou com as seguintes etapas: plano de trabalho (produto P1); nota técnica (produto P2); inventário e cadastramento de poços (produto P3); mapa hidrogeoquímico (produto P4); mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos (produto P5); mapa geológico, estrutural e de recursos minerais (produto P6), mapa hidrogeológico e de favorabilidade hídrica subterrânea (produto P7).

As atividades desenvolvidas ao longo do projeto propiciaram o acesso a uma quantidade expressiva de informações inéditas, que vêm a contribuir não apenas com o presente estudo, mas com o conhecimento técnico e científico disponível no município.

Contrato SEI N° 1621270-SAP.GABE/SAP.USU/SAP.USU.ADI

Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Superintendência Regional de Porto Alegre
Rua Banco da Província, 105 – Santa Tereza
Porto Alegre – RS – CEP: 90840-030
Tel.: (51) 3406-7300