



GABRIEL SCHWARZER

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA
AVALIAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO
ARROIO PESQUEIRO, VIAMÃO (RS)**

Porto Alegre, 2023

GABRIEL SCHWARZER

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA
AVALIAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO
ARROIO PESQUEIRO, VIAMÃO (RS)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Orientador: Prof. Dr. Clovis Gonzatti

Supervisor: Geól. Leandro Petry

Porto Alegre, 2023

CIP - Catalogação na Publicação

Schwarzer, Gabriel
GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO
PARA AVALIAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO PESQUERIO, VIAMÃO (RS) /
Gabriel Schwarzer. -- 2023.
125 f.
Orientadora: Maria Luiza Correa da Camara Rosa.

Coorientadores: Clovis Gonzatti, Leandro Petry.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2023.

1. Estratigrafia Ambiental. 2. Geoprocessamento. 3.
Geotecnia. 4. Geologia Ambiental. 5. Hidrogeologia. I.
Correa da Camara Rosa, Maria Luiza, orient. II.
Gonzatti, Clovis, coorient. III. Petry, Leandro,
coorient. IV. Título.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências
Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
Curso de Graduação em Geologia

A Comissão Organizadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO PARA AVALIAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PESQUEIRO, VIAMÃO (RS)**”, elaborado por **GABRIEL SCHWARZER**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Organizadora:

Prof. Dr. Clódís de Oliveira Andrades Filho

MSc. Guilherme Borsa

Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre, 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Geociências e a todas as pessoas que lutam pela oferta universal de educação pública e de qualidade. A todas aquelas que exercem e ou defendem a ciência em um país que resiste ao progresso e ao cientificismo. A todas aquelas que zelam por um desenvolvimento ambiental, social, cultural e economicamente sustentável, inclusivo e justo para todos os, povos, crenças, gêneros, etnias e minorias.

Agradeço aos moradores do Beco do Pesqueiro e de todos os Becos que fazem parte da Microbacia do Arroio Pesqueiro por terem colaborado com dados e orientações durante os trabalhos de campo. Um obrigado ao pessoal do Via Zen, em especial à Juliana, pela recepção, disposição e interesse em ajudar na pesquisa. Ao Roger por indicar pontos pro mapeamento e por dar um apoio com a bateria do Celta. Ao pessoal do Pacto – Fazenda Senhor Jesus pela recepção, almoço e atenção. À Denise pela água pra conseguir fazer uns ensaios e pela ceva pra compensar o esforço. À Dete e ao Jango pela água. Ao Alemão e a Pretinha pela escolta. À Gaia e à Cigana pela companhia. Ao Biel e à Cacá pela experiência de ser bombeiro por um dia. À Ana pela hospitalidade, pela contribuição com habilidades sociais indispensáveis pra um trabalho acadêmico, pelas risadas e jantas.

Agradeço ao grupo de pesquisa Estratigrafia Ambiental pela parceria, troca de dados e por pensar e aplicar a estratigrafia por ângulos não convencionais. Em especial à Luísa, por me dar uns nortes, por auxiliar na apresentação do congresso e por apoiar vários gigabytes de arquivos que ajudaram a fundamentar e concluir esse trabalho. Mais em especial ainda à Malu, por ter me dado a oportunidade de conhecer o Arroio Pesqueiro, por mostrar a fazer ciência com sentido, por me colocar em situações que o questionamento me faz querer encontrar resposta(s), se existirem. Pela vivência que me ensina fora da academia também. Agradeço ao professor Clovis pelas orientações na aplicação da metodologia e aquisição dos dados.

Tenho que agradecer aos amigos e amigas da vida, por me aguentarem várias vezes reclamando da UFRGS, da geologia, de estresse, de bad, de ansiedade e ainda assim me convidarem pra tomar uma ceva gelada. Valeu pelos rolê que dão um gás na vida de novo, sem eles ela é mais sem graça.

Agradeço à Magma pela estrutura, ao Leandro, pela vivência profissional e pelos ensinamentos que eu pude aplicar no trabalho e ao Luan pelas dicas de sobrevivência durante a escrita do TCC.

Agradeço a minha família, em especial minha mãe Célia, por suar e se abdicar de tanto na vida pra conseguir ter tempo e atenção pra me educar, me sustentar, me dar estrutura e condições pra eu ser quem eu sou hoje e tomar as decisões que eu tomei que me colocam onde eu tô hoje. Agradeço ao Tiago, Carla, Ervino, Dioclécio e Isabel pelo suporte e pelas orientações quando acontecem coisas que eu não sei pra onde ir. Agradeço à Lavínia por ter me ensinado como é enxergar o mundo pela primeira vez de novo e ao Boro pela parceria.

“Eu aprendi que nunca somos pequenos demais para fazer a diferença.”

Greta Thunberg

RESUMO

As alterações no meio físico da zona rural do município de Viamão, RS, crescem em taxas cada vez maiores nos últimos anos, consequência do processo de urbanização da Região Metropolitana de Porto Alegre. Nesse contexto, o objetivo deste estudo consistiu em realizar o levantamento de variáveis do meio físico para entender a dinâmica do terreno frente à hipótese de instalação de um aterro sanitário na Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro, geologicamente posicionada no contato entre a Suíte Granítica Dom Feliciano e o Sistema Laguna-Barreira I. Considerando que outros trabalhos já trataram do assunto, o projeto propôs aprofundar as investigações sob a perspectiva geotécnica, em escala local. A partir da obtenção de dados diretos e indiretos, foram produzidos mapas com informações auxiliares, as quais constituíram a base para processar o produto final, que indica classes de adequabilidade para empreendimentos dessa natureza. A análise dos atributos selecionados seguiu fundamentos do mapeamento geotécnico proposto em trabalhos anteriores, contando com adequações. A delimitação das unidades de relevo em conjunto com as unidades geológicas constituiu a base para determinar áreas-chave que foram descritas e amostradas. Variáveis referentes ao substrato rochoso, materiais inconsolidados, sistema hídrico, clima, relevo e seus processos foram obtidas com geoprocessamento, sensoriamento remoto, trabalhos e ensaios de campo. Correlacionando as informações geomorfológicas com as geológicas, pedológicas, hidrogeológicas e climáticas, o mapa geotécnico foi elaborado. Esse produto demarca as unidades morfoestratigráficas em conjunto com a aptidão para instalação de aterros sanitários, quase que absolutamente classificada como severa na Microbacia. A análise dos resultados permite concluir como elevado o potencial de impacto ambiental de uma hipotética contaminação.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto. Estratigrafia Ambiental. Sistema Laguna-Barreira I. Suíte Granítica Dom Feliciano. Análise Multivariada.

ABSTRACT

Changes in the physical landscape of the rural area of the municipality of Viamão have been occurring at an increasing rate in recent years, as a result of the urbanization in the Metropolitan Region of Porto Alegre. In this context, this study aims to carry out a survey of the variables of the physical environment to better understand the dynamics of the terrain, in view of the possible contamination of a sanitary landfill in the Hydrographic Microbasin of Arroio Pesqueiro. Considering that other works have already addressed this issue, this project seeks to take the investigations further from a geotechnical perspective on a local scale. Through direct and indirect data, auxiliary maps were produced for the construction of a final product, indicating the suitability classes for the construction of sanitary landfills. The analysis followed the fundamentals of geotechnical mapping, with the necessary adaptations. The geomorphological and geological units served as a basis for determining the key areas that were described and sampled. Variables referring to the rocky substrate, unconsolidated materials, water system, climate, relief and its processes were collected through geoprocessing, remote sensing and field work. Correlating the geomorphological, geological, pedological, hydrological and climatic information, the geotechnical map was elaborated. This result outlines the morphostratigraphic units along with the suitability classification for the construction of sanitary landfills, mostly classified as severe in the study area. The results indicate the high potential of environmental impact of a hypothetical contamination.

Key-words: Remote Sensing. Environmental Stratigraphy. Lagoon-Barrier System I. Dom Feliciano Suite. Multivariate Analysis

LISTA DE MAPAS

- Mapa 1. Mapa de localização da área de estudo. A Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro foi delimitada utilizando o MDE SRTM reamostrado para pixels com resolução espacial de 12 metros. Por meio de processamentos, no software ArcGIS correlacionaram-se os altos e baixos topográficos para traçar a Bacia, Sub-bacia e Microbacia automaticamente usando o fator 3500..... 15
- Mapa 2. Mapa Geológico da Microbacia do Arroio Pesqueiro. Modificado de Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, 1.750.000, CPRM (2005). 22
- Mapa 3. Mapa de adequabilidade para a construção de aterro sanitário no município de Viamão, RS seguindo a metodologia estabelecida pela CPRM. Evidência de que a alternativa locacional 3 está alocada em uma área pouco adequada. Retirado de Collischonn et. al. (2022). 24
- Mapa 4. Grau de aptidão para a instalação de um aterro sanitário no município de Viamão, RS. A classificação de aptidão resultante indica uma classe muito baixa nas dimensões da Fazenda Montes Verdes. Retirado de Possanti (2019). 25
- Mapa 5. Mapa Geomorfológico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro, elaborado a partir de modificações nos intervalos e nomenclaturas da classificação de IPT(1981). 55
- Mapa 6. Mapa de Pontos indicando as áreas-chave investigadas em campo. A simbologia indica os domínios geológico e geomorfológico no qual pertencem. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo..... 56
- Mapa 7. Classificação do Mapa do Potencial de Erodibilidade da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. Modificado de Embrapa Solos, escala 1:250.000 gerado a partir do Mapa de Erosividade das Chuvas do Brasil (Embrapa Solos), do Mapa de Erodibilidade do Brasil e do MDT de 30 m de resolução espacial (SRTM/NASA), 2020. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo..... 70
- Mapa 8. Mapa de Declividade Angular indicando provável direção de fluxo do lençol freático na Suíte Granítica Dom Feliciano na Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. Foi elaborado a partir do geoprocessamento do MDT de 2,5 metros de resolução espacial disponibilizado pelo IEDE. As setas não são vetores e, portanto, não indicam velocidade de fluxo. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo. 72
- Mapa 9. Mapa Potenciométrico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro no Sistema Laguna-Barreira I. Elaborado pela compilação de dados do Mapa Potenciométrico do Aquífero Coxilha das Lombas (COLLISCHONN et. al. 2022), geoprocessado com MDT de 2,5 metros de resolução espacial disponibilizado pelo IEDE. As setas não são vetores e, portanto, não indicam velocidade de fluxo. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo. 74
- Mapa 10. Classificação do Mapa de Declividade da Microbacia do Arroio Pesqueiro. Elaborado a partir do geoprocessamento do MDT de 2,5 metros de resolução espacial disponibilizado pelo IEDE. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo. 85
- Mapa 11. Mapa de Classificação da Distância do Interflúvio da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro em relação aos locais investigados. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo..... 89
- Mapa 12. Mapa hidrográfico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. Retrato da dimensão do Arroio Pesqueiro e seus afluentes, da localização de corpos hídricos naturais e artificiais. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo..... 91
- Mapa 13. Mapa de Aptidão para Instalação de Aterro Sanitário da Microbacia Hidrográfica do

Arroio Pesqueiro. As classes favorável e restritiva não foram diagnosticadas. A classe severa é predominante e foi subdividida em quatro graus de intensidade. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização. 96

Mapa 14. Mapa Geotécnico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. A integração das unidades geológicas e geomorfológicas define as Unidades Morfoestratigráficas, acompanhadas de descrição e de pontos representativos. O Mapa de Aptidão para Instalação de Aterros Sanitários auxilia na interpretação do grau de impacto ambiental diante do cenário hipotético de contaminação. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos locais investigados..... 107

Mapa 15. Mapa de influência do projeto de aterro sanitário na Área de Preservação Ambiental do Banhado Grande. Os coeficientes de permeabilidade e as direções de fluxo subterrâneo indicam que a APA seria contaminada por um hipotético vazamento de resíduos. As setas não são vetores e, portanto, não indicam velocidade. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo..... 109

Mapa 16. Mapa de Aptidão para Instalação de Aterro Sanitário sobre Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande. 110

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1. Testemunho de sondagem de poço tubular em aquífero fraturado evidenciando composição granítica.....	57
Fotografia 2. Exemplo de afloramento rochoso no ponto DFRMES_2, situado na Suíte Granítica Dom Feliciano. O perfil pedológico possui cerca de 60 cm.	58
Fotografia 3. Famílias de fraturas evidenciadas no ponto DFRE_3.	60
Fotografia 4. Exemplos de variações de perfil homogêneos. A) Ponto DFRMES_30; B) Ponto DFRE_45.....	61
Fotografia 5. Exemplos de variações de perfil progressiva. A) SLBPA_6 e B) SLBRC_9. O desnível entre o Arroio Pesqueiro e o topo do perfil em A) possui cerca de 2 m.	62
Fotografia 6. Amostras contendo argila expansiva (A) e não expansiva (B).	64
Fotografia 7. Amostra de solo hidromórfico da Laguna I (SLBPA_7) em condição insaturada.	65
Fotografia 8. Amostra de solo com alta porcentagem de inertes	66
Fotografia 9. Campos de matacão com mais de 10 unidades de diâmetro superior a 1 m. A) Ponto DFE_4; B) Ponto SLBPA_18.....	68
Fotografia 10. Representação do escoamento superficial concentrado (A) e laminar alto (B).	75
Fotografia 11. Retrato da influência da atividade agrossilvipastoril na formação de feições erosivas em talude (A) e área de pastagem com deformação (linhas horizontais) e erosão linear (transversal à deformação) (B).	76
Fotografia 12. Exemplos de captação hídrica subterrânea. A) Instalações hídricas em residência; B) Poço tubular; C) Poço artesiano.....	80
Fotografia 13. Exemplos de feições erosivas situados na Suíte Granítica Dom Feliciano (A e B).	82
Fotografia 14. Evidências de movimentos de massa. A) Rastejos de solo responsável pelo deslocamento da vegetação. B) Rastejos de solo que expõem o substrato rochoso. C) Dissecação do relevo estabelecendo condições para queda de rochas.	83
Fotografia 15. Escorregamento circular identificado em DFRE_4 densamente reflorestado. A) Evidência da variação altimétrica; B) Zona superior do talude constatando superfície circular.	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1. Modelo pedológico representativo da Suíte Granítica Dom Feliciano dos relevos de morros (A), encostas (B), morros com encostas suavizadas (C) e colinoso (D).	64
Ilustração 2. Modelo pedológico representativo da Laguna I, coincidente com a planície aluvial. Apresentação de solo não hidromórfico (A) e hidromórfico (B).	65
Ilustração 3. Modelo pedológico representativo da Barreira I para os relevos de morros (A), encostas (B), morros com encostas suavizadas (C) e colinoso (D).	67
Ilustração 4. Modelo simplificado da relação entre curvatura de perfil vertical e curvatura tangencial da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro.	86
Ilustração 5. Heterogeneidades geomorfológicas em virtude do controle geológico. A) Forma de relevo colinosa no Sistema Laguna-Barreira I; B) Morros com topos suavizados na Suíte Granítica Dom Feliciano.	87
Ilustração 6. Configuração geomorfológica da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro com vista da Suíte Granítica Dom Feliciano em direção a Barreira I.	87
Ilustração 7. Configuração geomorfológica da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro com vista da Barreira I em direção a Suíte Granítica Dom Feliciano.	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Relação entre atributos e classes de aptidão da carta para aterro sanitário, ilustrando o enquadramento dos valores das variáveis nas classes. Modificado de Zuquette (1993).	28
Quadro 2. Relação entre os intervalos de declividade e elevação que determinam as Unidades de Relevô. Adaptada para a área de estudo a partir de IPT (1981).	33
Quadro 3. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do substrato rochoso. Adaptada para a área de estudo a partir de Zuquette (1993).	37
Quadro 4. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do material inconsolidado. Os retângulos em vermelho destacam as variáveis não abordadas. Modificado de Zuquette (1993).	42
Quadro 5 Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos das águas. Modificado de Zuquette (1993).	47
Quadro 6. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos dos processos. Modificado de Zuquette (1993).	49
Quadro 7. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do relevô. Modificado de Zuquette (1993).	51
Quadro 8. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do clima. O retângulo em vermelho destaca a variável não abordada. Modificado de Zuquette (1993). .	52
Quadro 9. Listagem dos pontos de campo pertencentes a Suíte Granítica Dom Feliciano sem profundidade do substrato rochoso diagnosticada.	58
Quadro 10. Listagem dos pontos de campo pertencentes a Suíte Granítica Dom Feliciano sem densidade de descontinuidades do substrato rochoso diagnosticada.	59
Quadro 11. Listagem dos pontos com amostras pedológicas.	61
Quadro 12. Listagem de pontos contendo variação de perfil progressiva.	62
Quadro 13. Listagem de pontos pertencentes a Barreira I com profundidade do nível da água abaixo da base poluidora definida.	69
Quadro 14. Listagem de pontos pertencentes a Suíte Granítica Dom Feliciano com profundidade do nível da água abaixo da base poluidora definida.	71
Quadro 15. Apresentação dos pontos e suas respectivas direções de fluxo subterrâneo situados na Suíte Granítica Dom Feliciano.	73
Quadro 16. Listagem de pontos com escoamento superficial não enquadrado na classe restritiva.	75
Quadro 17. Locais investigados com área de recarga situados na Suíte Granítica Dom Feliciano.	79
Quadro 18. Listagem dos pontos situados na Suíte Granítica Dom Feliciano e os respectivos resultados erosivos.	81
Quadro 19. Listagem dos pontos situados no Sistema Laguna-Barreira I e os respectivos resultados erosivos.	82
Quadro 20. Listagem de pontos sem influência de zonas alagadas alocados na Suíte Granítica Dom Feliciano.	90
Quadro 21. Listagem de pontos sem influência de zonas alagadas situados na Barreira I. .	90

Quadro 22. Pontos de campo enquadrados na classe moderada.	95
Quadro 23. Pontos de campo enquadrados na classe severa (baixa).....	95
Quadro 24. Pontos de campo enquadrados na classe severa (média).....	95
Quadro 25. Pontos de campo enquadrados na classe severa (alta).....	95
Quadro 26. Pontos de campo enquadrados na classe severa (muito alta).....	95

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Cálculo de densidade de descontinuidades.....	36
Equação 2. Relação matemática utilizada para cálculo do coeficiente de permeabilidade. .	45
Equação 3. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano.....	77
Equação 4. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros com encostas suavizadas pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano..	77
Equação 5. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de encostas pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano.....	77
Equação 6. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo colinoso pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano.....	77
Equação 7. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros pertencente a Barreira I.....	78
Equação 8. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros com encostas suavizadas pertencente a Barreira I.....	78
Equação 9. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de encostas pertencente a Barreira I.....	78
Equação 10. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo colinoso pertencente a Barreira I.....	78
Equação 11. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo hidromórfico pertencente à Laguna I.....	78
Equação 12. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo não hidromórfico pertencente à Laguna I.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Evapotranspiração Potencial Anual (mm) do estado do Rio Grande do Sul. O círculo em vermelho indica a posição da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. .. 92

Figura 2. Mapa de Precipitação Pluviométrica Anual (mm) do estado do Rio Grande do Sul. O círculo em vermelho indica a posição da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro 93

LISTA DE ABREVIATURAS

- bm: Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha
- CPRM: Serviço Geológico do Brasil
- CTC: Capacidade de troca catiônica
- DFRC"n": Ponto de número "n" situado nos domínios da Suíte Granítica Dom Feliciano e pertencente a Unidade de Relevo Colinoso
- DFRE"n": Ponto de número "n" situado nos domínios da Suíte Granítica Dom Feliciano e pertencente a Unidade de Relevo de Encostas
- DFRM"n": Ponto de número "n" situado nos domínios da Suíte Granítica Dom Feliciano e pertencente a Unidade de Relevo de Morros.
- DFRMES"n": Ponto de número "n" situado nos domínios da Suíte Granítica Dom Feliciano e pertencente a Unidade de Relevo de Morros com Encostas Suavizadas
- DRH: Departamento de Recursos Hídricos
- ec2: Aquífero Embasamento Cristalino II
- EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IEDE: Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais -RS
- INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
- MDE: Modelo digital de elevação
- MDS: Modelo digital de superfície
- MDT: Modelo digital do terreno
- NASA: National Aeronautics and Space Administration (EUA)
- SEMA: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura
- SGDF: Suíte Granítica Dom Feliciano
- SLBI: Sistema Laguna-Barreira I
- SLBPA"n": Ponto de número "n" situado nos domínios do Sistema Laguna-Barreira I e pertencente a Unidade de Relevo de Morros
- SLBRC"n": Ponto de número "n" situado nos domínios do Sistema Laguna-Barreira I e pertencente a Unidade de Relevo Colinoso
- SLBRE"n": Ponto de número "n" situado nos domínios do Sistema Laguna-Barreira I e pertencente a Unidade de Relevo de Encostas
- SLBRM"n": Ponto de número "n" situado nos domínios do Sistema Laguna-Barreira I e pertencente a Unidade de Relevo de Morro
- SLBRMES"n": Ponto de número "n" situado nos domínios do Sistema Laguna-Barreira I e pertencente a Unidade de Relevo de Morros com Encostas Suavizadas
- SRTM: Shuttle Radar Topography Mission
- TR: Tempo de retorno
- UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

- g: gramas
- h: horas
- ha: hectares
- km: quilômetros
- m: metros
- mm: milímetros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	16
1.2	Justificativa	17
2	ESTADO DA ARTE	19
2.1	Caracterização do problema	19
2.2	Meio Físico	20
2.3	Análises de Viabilidade	23
2.4	Fundamentos Teóricos do Mapeamento Geotécnico	25
2.5	Procedimentos Práticos do Mapeamento Geotécnico	27
3	MÉTODOS	31
3.1	Substrato Rochoso	35
3.1.1.	Tipo Litológico	35
3.1.2.	Profundidade	36
3.1.3.	Densidade de Descontinuidades	36
3.2	Material Inconsolidado	37
3.2.1.	Textura	37
3.2.2.	Variação de Perfil	38
3.2.3.	Mineralogia	38
3.2.4.	Presença de Matacões	39
3.2.5.	pH, CTC e salinidade	39
3.2.6.	Camadas Compressíveis	40
3.2.7.	Colapsibilidade/Expansibilidade	40
3.2.8.	Potencial de Erodibilidade	41
3.2.9.	Fator de Retardamento	41
3.3	Águas	42
3.3.1.	Profundidade do nível da água abaixo da base poluidora	42
3.3.2.	Direção de Fluxo Subterrâneo	43
3.3.3.	Escoamento Superficial	44
3.3.4.	Infiltração	44
3.3.5.	Área de Recarga	46
3.3.6.	Distância de Poços e Fontes Naturais	46
3.3.7.	Drenabilidade	46
3.4	Processos	47
3.4.1.	Erosão	47
3.4.2.	Movimentos de Massa	48
3.4.3.	Declividade	48
3.5	Relevo	49
3.5.1.	Relevo	49
3.5.2.	Distância do Interflúvio	50
3.5.3.	Zona Alagada	50
3.5.4.	Zona Sujeita à Inundação	50
3.6	Clima	51
3.6.1.	Evapotranspiração	51
3.6.2.	Direção dos Ventos	52
3.6.3.	Pluviosidade	52
4	RESULTADOS	53

4.1. Geomorfologia	53
4.2. Pontos de Campo	54
4.3. Substrato Rochoso	57
4.3.1. Tipo Litológico	57
4.3.2. Profundidade	58
4.3.3. Densidade de Descontinuidades	59
4.4. Material Inconsolidado	60
4.4.1. Textura	60
4.4.2. Variação de Perfil	61
4.4.3. Mineralogia	63
4.4.4. Presença de Matacões	67
4.4.6. Camadas Compressíveis	68
4.4.7. Colapsibilidade/Expansibilidade	68
4.4.8. Potencial de Erodibilidade	68
4.5. Águas	69
4.5.1. Profundidade do nível da água abaixo da base poluidora	69
4.5.2. Direção de Fluxo Subterrâneo	71
4.5.3. Escoamento Superficial	73
4.5.4. Infiltração	76
4.5.5. Área de Recarga	79
4.5.6. Distância de Poços e Fontes Naturais	79
4.5.7. Drenabilidade	80
4.6. Processos	81
4.6.1. Erosão	81
4.6.2. Movimentos de Massa	82
4.6.3. Declividade	84
4.7. Relevo	86
4.7.1. Relevo	86
4.7.2. Distância do Interflúvio	88
4.7.3. Zona Alagada	90
4.7.4. Zona Sujeita à Inundação	90
4.8. Clima	92
4.8.1. Evapotranspiração	92
4.8.2. Pluviosidade	93
4.9. Classificação	93
5 DISCUSSÕES	97
5.1. Método	97
5.2. Unidades Morfoestratigráficas: caracterização do meio físico	98
5.2.1. Unidades Morfoestratigráficas da Suíte Granítica Dom Feliciano	99
5.2.2. Unidade Morfoestratigráfica da Laguna I	101
5.2.3. Unidades Morfoestratigráficas da Barreira I	102
5.2.4. Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro	103
5.3. Classificação	105
6 CONCLUSÃO	111
7 REFERÊNCIAS	113

1 INTRODUÇÃO

A análise do uso e ocupação do solo no município de Viamão, Rio Grande do Sul, tem se tornado mais complexa nos últimos anos. Segundo Schwarzer et al. (2022), o fato é decorrente do processo crescente de expansão dos assentamentos urbanos (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2010), consequência das demandas socioeconômicas da Região Metropolitana de Porto Alegre. Tais atividades devem ser planejadas considerando a conservação da integridade ambiental (Lei Municipal nº 4178/2013, art 1º, item III), pressuposto seguido pelo Plano Diretor de Viamão. Os fundamentos geológicos possuem competência para contribuir com a análise e compreensão das condicionantes que devem ser abordadas para investigar o espaço geográfico ao planificar novos empreendimentos.

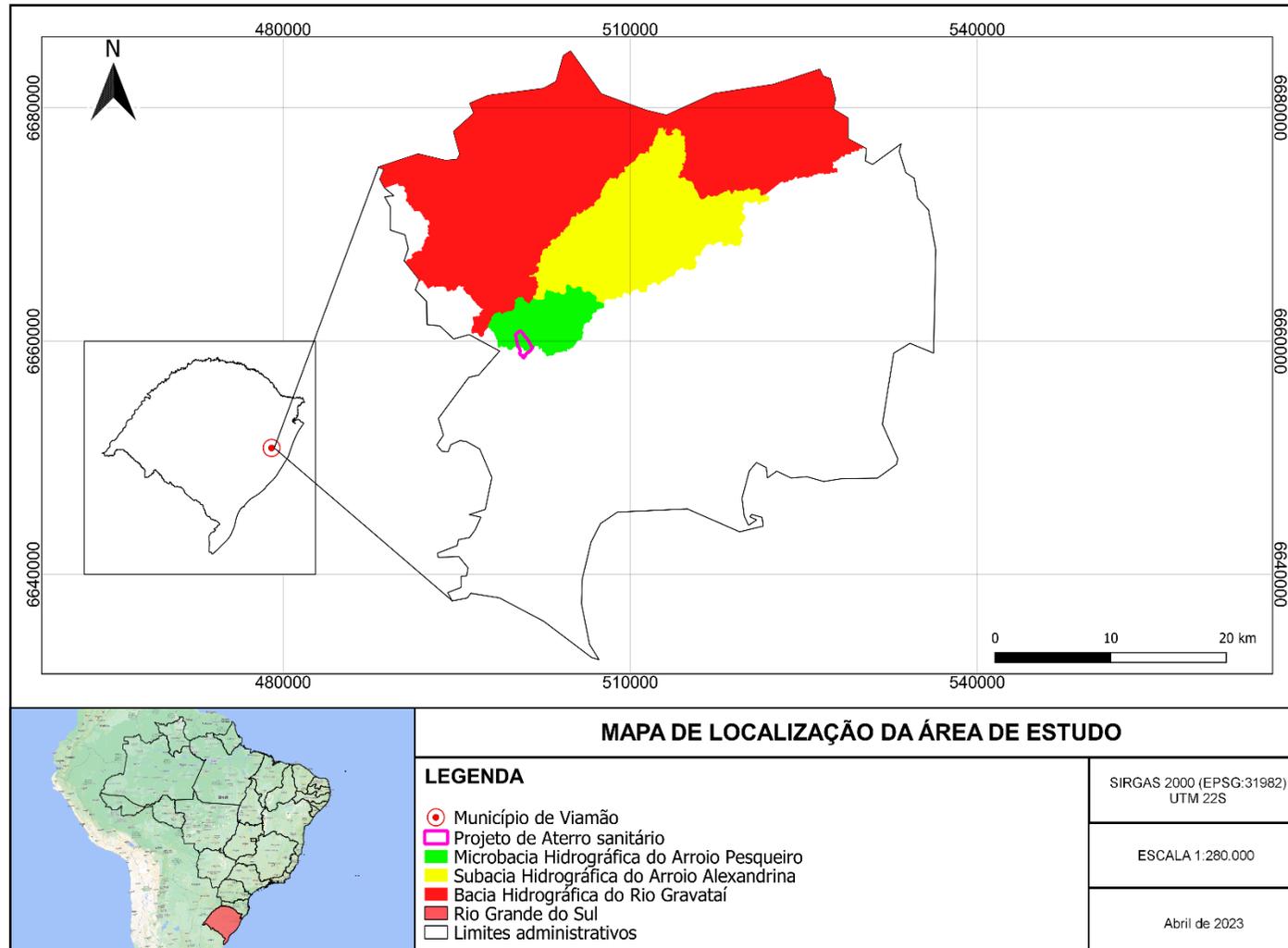
No ano de 2018, um projeto que propõe a implementação de um aterro sanitário foi compartilhado em domínio público. Situado na Fazenda Montes Verdes, na localidade Cantagalo, faz parte do bairro Passo da Areia, em Viamão. Visto que o objetivo do empreendimento é prestar serviços para o destino de resíduos sólidos de até vinte e oito municípios (CÂMARA MUNICIPAL DE VIAMÃO, 2021) e que as alternativas locais circundam oito nascentes, comunidades indígenas e quilombolas, áreas de conservação e sistemas aquíferos utilizados para o abastecimento domiciliar (SCHWARZER & ROSA 2021), a sociedade viamonense se mobilizou por meio da organização “Movimento Não ao Aterro, Não ao Lixão” (<https://www.facebook.com/naoaolixao/>) em prol da preservação socioambiental questionando o potencial risco de contaminação. Motivado diante da polêmica e consequente demanda técnico-científica, Schwarzer et al. (2022) identificaram que as alternativas locais se assentam em interflúvios. A partir de uma análise hidrogeomorfológica por Sensoriamento Remoto, constatou-se que as sub-bacias do entorno são compostas por unidades de relevo em processo de dissecação intensificado, produzindo densas redes de drenagem que podem carrear possíveis contaminantes para corpos de água mais distantes caso houver rompimento da estrutura. Pela mesma razão, Collischonn et al. (2022) investigaram a viabilidade da construção do empreendimento seguindo pressupostos estabelecidos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Dessa forma, ao integrá-los em *softwares*, constataram

que todas as alternativas locacionais estão inseridas em regiões pouco adequadas. Ambos os trabalhos foram sucessores de uma ação de extensão desenvolvida pela UFRGS acerca dos recursos naturais e do uso do solo no município (ROSA et al. 2021). Além destes, Possanti (2019) indicou a inadequabilidade da área para tal propósito apontando o risco de contaminação devido às características geológicas da região. Diante desse contexto, esse trabalho procura intensificar a investigação do meio físico que, segundo as metodologias adotadas, são relevantes para a análise de adequabilidade da construção de um aterro sanitário sob o ponto de vista geotécnico.

Sabendo que dentre as três alternativas locacionais propostas, a terceira foi escolhida (Termo de Referência para EIA-RIMA, nº16/2018), este projeto investiga a dinâmica de uma área de influência direta frente ao hipotético cenário. Considerando a compatibilidade de escalas para aplicação das metodologias, a área de estudo foi delimitada por uma bacia hidrográfica de terceira ordem. A Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro está inserida na Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Alexandrina que, por sua vez, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí. Conforme o *Mapa 1* ilustra, se localiza na porção oeste da cidade de Viamão, no leste do Estado do Rio Grande do Sul. A região fica há aproximadamente 20 km do limite municipal com o bairro Restinga, de Porto Alegre.

Considerando estudos precursores, a pesquisa fundamentou-se na hipótese de que uma possível contaminação de um aterro sanitário nos interflúvios da Microbacia do Arroio Pesqueiro acarretaria elevado impacto ambiental negativo. Para ratificar ou retificar essa afirmação, dados foram adquiridos aplicando princípios de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento aplicados aos fundamentos geotécnicos, hidrográficos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos e estruturais. De forma indireta, foram processados com os softwares QGIS, ArcGIS e Google Earth Pro a partir do modelo digital do terreno de 2 metros de resolução espacial disponibilizado pelo Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais - RS (IEDE). A lógica de Saraiva (1995), que segue o método estabelecido por Zuquette (1993), foi utilizada com adaptações para selecionar, coletar e classificar as variáveis.

Mapa 1. Mapa de localização da área de estudo. A Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro foi delimitada utilizando o MDE SRTM reamostrado para pixels com resolução espacial de 12 metros. Por meio de processamentos, no software ArcGIS correlacionaram-se os altos e baixos topográficos para traçar a Bacia, Sub-bacia e Microbacia automaticamente usando o fator 3500.



1.1 Objetivos

Um dos propósitos do trabalho é contribuir com o problema social envolvendo a construção de um aterro sanitário na zona rural do Município de Viamão de forma imparcial. Ou seja, os métodos adotados não visam defender a edificação ou impedi-la. Eles proporcionam mais informações, embasando os argumentos dos agentes envolvidos.

O intuito é levantar variáveis que sejam capazes de evidenciar padrões quando correlacionadas e que sirvam de base para a elaboração de um modelo simplificado da configuração litopedológica, hidrogeológica, geomorfológica e climática. Procurou-se compreender a área de estudo a partir desse ângulo e obter uma perspectiva da adequabilidade da construção de um aterro sanitário considerando um cenário poluidor. Visto que estudos anteriores sugeriram que a região está propensa aos riscos do empreendimento e que a empresa que elabora o projeto expõe pontos positivos, a finalidade do trabalho é contribuir com fundamentos para a discussão.

Nesse sentido, para que a investigação adquirisse os parâmetros necessários, foi preciso analisar o substrato rochoso, os materiais inconsolidados, as águas, os processos de intemperismo, os relevos e o clima. Pressupondo que a área de estudo possuísse uma heterogeneidade significativa para os critérios selecionados, pretendeu-se identificar limites de homogeneidade entre eles para delimitar áreas com padrões semelhantes que possibilitassem elaborar um mapa geotécnico que indica a intensidade dos impactos ambientais por zoneamento na Microbacia do Arroio Pesqueiro.

Como objetivos específicos estão definir e integrar variáveis relacionadas às seguintes características:

Relacionado ao substrato rochoso, definir variáveis como tipo litológico, profundidade e densidade de discontinuidades.

Para o material inconsolidado foram definidas a textura, a presença de argilas expansivas e minerais inertes, a variação de perfil, a presença de matacões, a ocorrência de camadas compressíveis, a presença e espessura de camadas expansíveis e o potencial de erodibilidade.

Com relação ao sistema hídrico, foram determinadas a profundidade do nível da água abaixo da base poluidora, o tipo de escoamento superficial, a direção de fluxo subterrâneo, o coeficiente de permeabilidade, a presença de áreas de recarga, a distância de poços e fontes naturais, o grau de drenabilidade e as estimativas de direção de fluxo subterrâneo.

Acerca dos processos intempéricos, foram investigadas a ocorrência de erosão e movimentos de massa e a porcentagem de declividade.

Sobre o relevo foram identificadas as formas de relevo, distância em relação ao interflúvio, a presença de zonas alagadas e a ocorrência de zonas sujeitas a inundação.

As variáveis climáticas foram abordadas a partir das taxas de evapotranspiração e da intensidade pluviométrica.

1.2 Justificativa

O trabalho contribui para a análise da qualidade de vida viamonense, visto que os moradores utilizam a água subterrânea para abastecimento domiciliar porque não há rede de distribuição pública na região. Considerando que o meio físico também é ocupado e utilizado como subsistência para a população local a partir de práticas silvipastoris, o conteúdo da pesquisa pode servir de base para pesquisas socioeconômicas. As informações levantadas também permitem embasar investigações de demais empreendimentos e criam argumentos técnico-científicos para futuras discussões.

Conforme relatado por estudos anteriores, a região possui uma rede de drenagem que favorece a difusão de contaminantes à jusante. Pensando nisso, o estudo também possui um papel importante para a manutenção da cultura ameríndia, visto que comunidades indígenas e quilombolas estão assentadas nas proximidades. Sabendo que essas etnias se utilizam dos recursos naturais, em essência, como fonte de conhecimento, alimento e práticas religiosas, as questões abordadas oferecem informações que auxiliam na compreensão de como esses povos podem ser afetados diante de um cenário poluidor.

Segundo o Censo do IBGE de 2010, aproximadamente 4% da população de

Viamão possui ensino superior completo. Tendo em vista que a linguagem técnico-científica não é, portanto, acessível a maioria dos cidadãos, os dados interpretados serão posteriormente traduzidos para uma linguagem coloquial e serão compartilhados com os moradores. Logo, o estudo também possui um comprometimento com a acessibilidade da informação técnico-científica.

Tendo em mente o potencial de carreamento e a direção dos fluxos superficiais das drenagens da Microbacia do Arroio Pesqueiro (POSSANTI, 2019; ROSA et al., 2021; SCHWARZER et al., 2022), o objetivo do projeto contribui para as análises de conservação da fauna e flora da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande, localizada na porção norte de Viamão (Zoneamento Ambiental Econômico de Viamão – RS, 2016).

O conhecimento acerca do meio físico serve como uma ferramenta para o desenvolvimento sustentável das cidades, tema abordado no Plano Diretor Municipal. Dessa forma, o projeto oferece um arcabouço de dados que também podem ser utilizados pela Prefeitura Municipal de Viamão. É uma questão fundamental para o planejamento da cidade que contribui com diminuição de custos e com maior dimensão da viabilidade de novos empreendimentos.

Por fim, o trabalho colabora com o meio acadêmico. Conforme Rosa et al. (2021) observaram, a área de estudo se insere no contato entre o Escudo Sul Rio-Grandense e os depósitos sedimentares da Bacia de Pelotas. Nesse sentido, a coleta dos dados contribui para o detalhamento geológico do contato entre a Suíte Granítica Dom Feliciano e o Sistema Laguna-Barreira I, focos de pesquisas científicas.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Caracterização do problema

A demanda técnico-científica surgiu a partir do planejamento da Empresa Brasileira de Meio Ambiente S/A – EBMA para construir um aterro sanitário no interflúvio entre a Bacia do Gravataí e a Bacia do Guaíba, zona rural do município de Viamão, Rio Grande do Sul. Segundo a Fase 1 do EIA-RIMA que trata das alternativas locacionais (Termo de Referência para EIA-RIMA, nº16/2018), inicialmente dezoito locais foram investigados para receber o empreendimento. Devido aos critérios estabelecidos pela Portaria FEPAM 18/2018, pela dificuldade em adquirir os terrenos com os moradores e devido ao Plano Diretor de Viamão, apenas 3 áreas restaram para análise. Nesse sentido, as alternativas 1, 2 e 3 foram analisadas por uma metodologia de critérios eliminatórios e classificatórios. Dentre essas, a alternativa locacional 3 foi a escolhida já que, segundo o estudo, nenhum critério eliminatório foi capaz de descartá-la. Ainda, de acordo com o método classificatório, ela foi identificada como a mais adequada entre trinta e dois fatores investigados referentes ao meio físico, biótico, social e econômico. Diante desse contexto, a população viamonense se organizou a partir do “Movimento Não ao Aterro, Não ao Lixão” alegando que o conteúdo da análise e o local sugerido para o empreendimento são inadequados e colocam em risco o meio ambiente e a qualidade de vida dos moradores. Segundo a matéria do Brasil de Fato (2022), argumentam que a implementação ameaça as zonas de proteção ambiental do município, as nascentes de água, a produção de alimentos orgânicos, as terras indígenas e o lençol freático. A partir de então, uma série de estudos vêm sendo realizados na região, desde a publicação do parecer técnico de trafegabilidade (PANITZ, 2019), de análises multicritério da aptidão (POSSANTI, 2019; COLLISCHONN et al., 2022), do relatório geológico com enfoque nos recursos naturais e uso do solo (ROSA et al., 2021), até a uma investigação hidrogeomorfológica (SCHWARZER et al., 2022).

Acerca do processo, em 20 de junho de 2022, o Ministério Público de Viamão emitiu promoção de arquivamento do inquérito civil N°02440.000.030/2020, que trata da instalação do aterro sanitário. Segundo a Comissão do Movimento “Movimento Não ao Aterro, Não ao Lixão” este teve como motivação a constatação do indeferimento, pela FEPAM, ao pedido de novos prazos para o atendimento das exigências técnicas

feitas no ofício FEPAM nº39/2021, conforme consta na Informação Técnica nº125/2022. Porém, na base de dados de licenciamento da FEPAM, o último documento que consta no processo de licenciamento (nº091258-0567/22-3) tem data de entrada em 19 de agosto de 2022, tendo como assunto “Atendimento ao Ministério Público e Poder Judiciário” e está com “Aguarda Análise” como situação.

2.2 Meio Físico

Com o intuito de caracterizar a geologia de Viamão com foco no contexto do debate, Rosa et al. (2021) abordam estudos já realizados que embasam sua investigação com técnicas de geoprocessamento frente às três alternativas locais. Relatam, portanto, o contexto geológico afirmando que o terreno está situado no contato entre o Escudo Uruguaio Sul Rio-Grandense e a Bacia de Pelotas, caracterizada pela Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

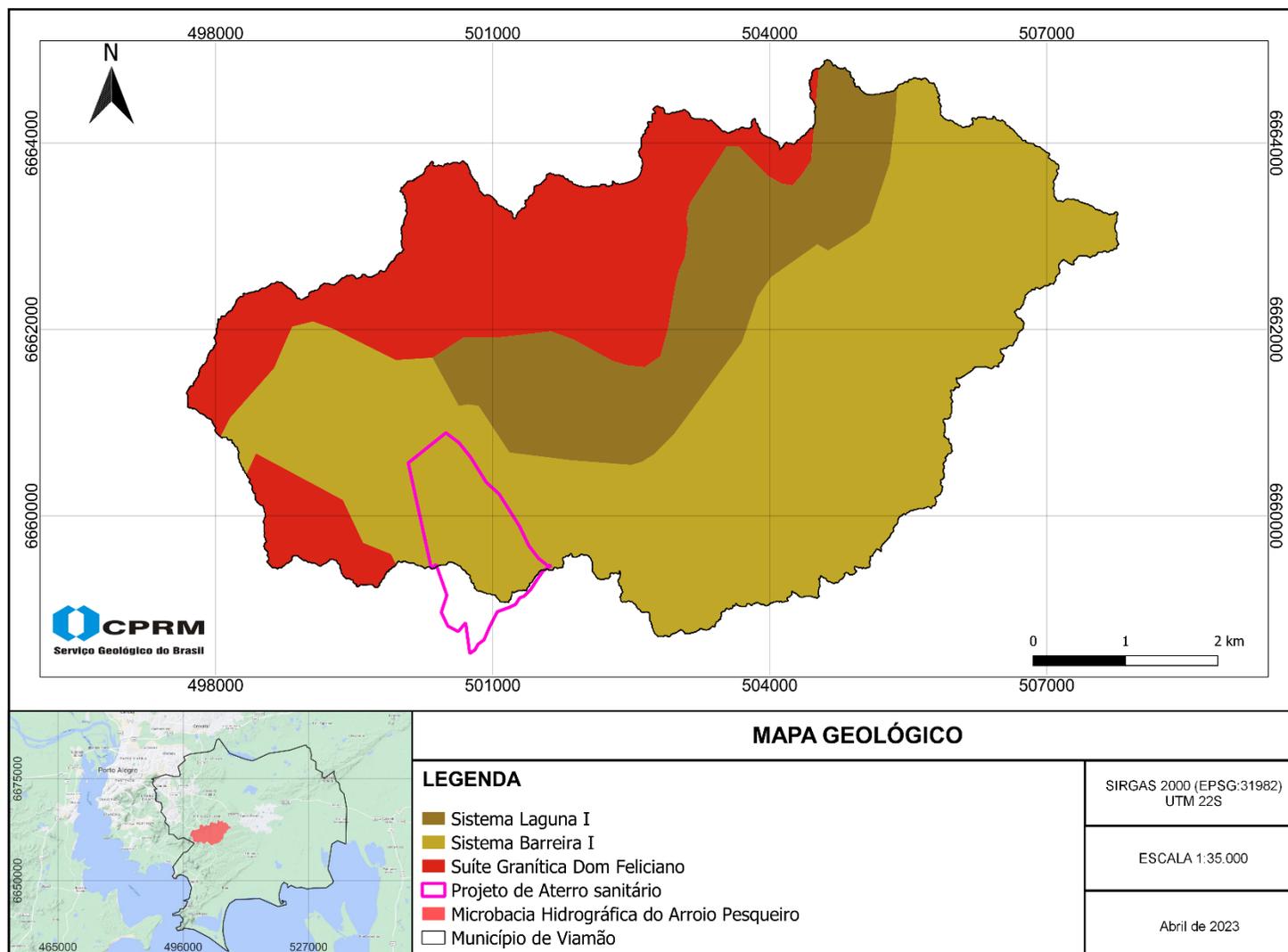
A partir do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), Rosa et al. (2021) concluíram que a Suíte Granítica Dom Feliciano (SGDF) compõe as litologias do Escudo. É constituída por sienogranitos que, de acordo com Phillip & Campos (2004), subdividem-se pelas unidades Viamão e Canta Galo. Essas litologias representam as porções mais elevadas do terreno (MOURA et. al. 2013). Do ponto de vista sedimentar, Rosa et al. (2021) identificaram que, lateralmente e sobrejacente às rochas do Escudo, há a presença de depósitos sedimentares do Sistema Costeiro. Pertencente ao Sistema Laguna-Barreira I (SLBI), uma das unidades situadas na região é a Barreira I. Denominada como Coxilha das Lombas, é composta por sedimentos de origem eólica e geomorfologicamente identificada como colinosa com interflúvios médios (Moura et al. 2013). A outra é a Laguna I, composta por argilas e turfas. Altimetricamente é mais baixa e representa as várzeas da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí. A Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro se insere no contato entre a Suíte Granítica Dom Feliciano e o Sistema Laguna-Barreira I (*Mapa 2*).

Em relação aos aspectos estruturais, Rosa et al. (2021) propõem que devido ao contato entre a Suíte Granítica Dom Feliciano e a unidade Barreira I, existe a possibilidade de ocorrência dos processos neotectônicos devido aos registros cinemáticos do Sistema de Falha Coxilha das Lombas, no qual cita a proposta estrutural de Delaney (1965) e Fonseca (2006).

Ao abordar informações referentes aos recursos naturais de superfície Rosa et al. (2021) expõem que, segundo o DRH/SEMA, a alternativa locacional 3 está inserida nas influências da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí e que a Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Alexandrina faz parte do seu sistema. É possível identificar que, pela localização do Arroio Pesqueiro, a Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro se configura em terceira ordem (Zoneamento Ambiental Econômico de Viamão – RS, 2016). Rosa et al. (2021) complementam que os canais hídricos da Sub-bacia do Arroio Alexandrina desembocam na planície flúvio-lacustre, regiões rebaixadas que contém áreas de preservação ambiental como o Banhado Grande e o Banhado dos Pachecos. Pôde inferir a partir de um MDS que as alternativas locais se assentam nos divisores de água, onde há a divisão de fluxos hídricos entre a Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí e a Bacia Hidrográfica do Lago ou Rio Guaíba.

A análise do sistema hídrico subterrâneo abordada por Rosa et al. (2021) identifica, por meio do Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005), que a Sub-bacia do Arroio Alexandrina está inserida nos domínios do Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II (ec2) e do Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha (bm). Ao dissertar quanto as características desses reservatórios, evidenciaram que ec2 está vinculado a Suíte Granítica Dom Feliciano no qual a porosidade se dá pelas fraturas. Já bm compõe a unidade Coxilha das Lombas e possui uma porosidade intergranular que lhe confere uma vulnerabilidade alta em relação ao ec2, de acordo com o Método GOD (FOSTER & HIRATA 1998, FOSTER & HIRATA 1994). Por essa razão, o Coxilha das Lombas é considerado um sítio geológico a ser preservado por diversos acadêmicos. A acumulação de sedimentos sobre a Suíte Granítica Dom Feliciano permitiu concluir que, acima dos aquíferos fraturados da região, existem reservatórios com porosidade intergranular, gerando fluxos subterrâneos controlados basicamente pela variação na elevação e declividade (RUBBO et. al. 2002). Diante disso, a necessidade de compreensão da hidrodinâmica nas camadas acima do aquífero fraturado é evidenciada, visto que os potenciais contaminantes podem difundir-se nessas zonas. Inferiram que os sistemas aquíferos são alimentados por áreas de recarga que se localizam em regiões coincidentes aos interflúvios. Logo, o fluxo subterrâneo tende a acompanhar a morfologia do terreno e ser influenciado pela gravidade.

Mapa 2. Mapa Geológico da Microbacia do Arroio Pesqueiro. Modificado de Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, 1:750.000, CPRM (2005).



Rosa et al. (2021) constatam que, diante da implementação de um aterro sanitário na área considerada, existe a possibilidade de vazamentos devido a processos neotectônicos e contaminação dos recursos hídricos e nascentes do Rio Gravataí. Ainda, conclui-se que pode haver poluição dos aquíferos superficiais e confirma que o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II e o Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha serão afetados.

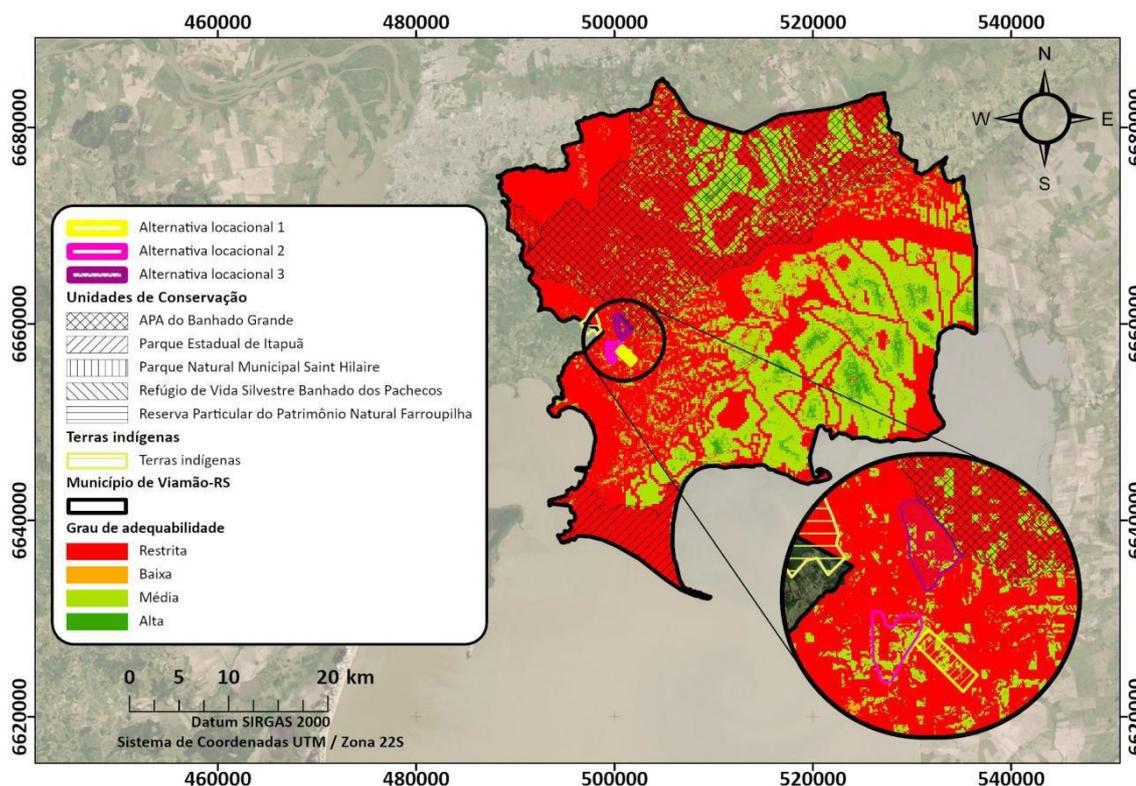
Schwarzer et al. (2022) discorrem sobre as unidades de relevo e as drenagens da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Alexandrina inferindo que, a partir do geoprocessamento de um mapa hidrogeomorfológico, os processos intempéricos da região se encontram em estágio avançado, conferindo alto grau de dissecação do relevo. Consequentemente, a área comporta uma alta densidade de drenagem que, de acordo com a identificação da direção dos fluxos superficiais, foi possível concluir o elevado potencial de carreamento de contaminantes para corpos da água mais distantes caso houver comprometimento da estrutura do aterro sanitário.

2.3 Análises de Viabilidade

Por meio da metodologia aplicada pela CPRM que investiga a adequabilidade de áreas para a instalação de aterros sanitários, Collischonn et al. (2022) analisaram parâmetros relativos à topografia, distância de rodovias, estradas, núcleos urbanos e recursos hídricos para compreender a viabilidade do empreendimento no município de Viamão, RS. A partir de ferramentas do *software* ArcGIS, processaram mapas de adequabilidade dividindo o município em quatro classes: restrita, baixa, média e alta. Dessa forma, pode-se constatar que 64% do município se insere na classe restrita, 31% no nível médio, 2,2% na categoria baixa e 2% são de grau alto. Além disso, aponta-se que a alternativa locacional selecionada está próxima a Territórios Indígenas e a Unidades de Conservação. Conforme ilustra o

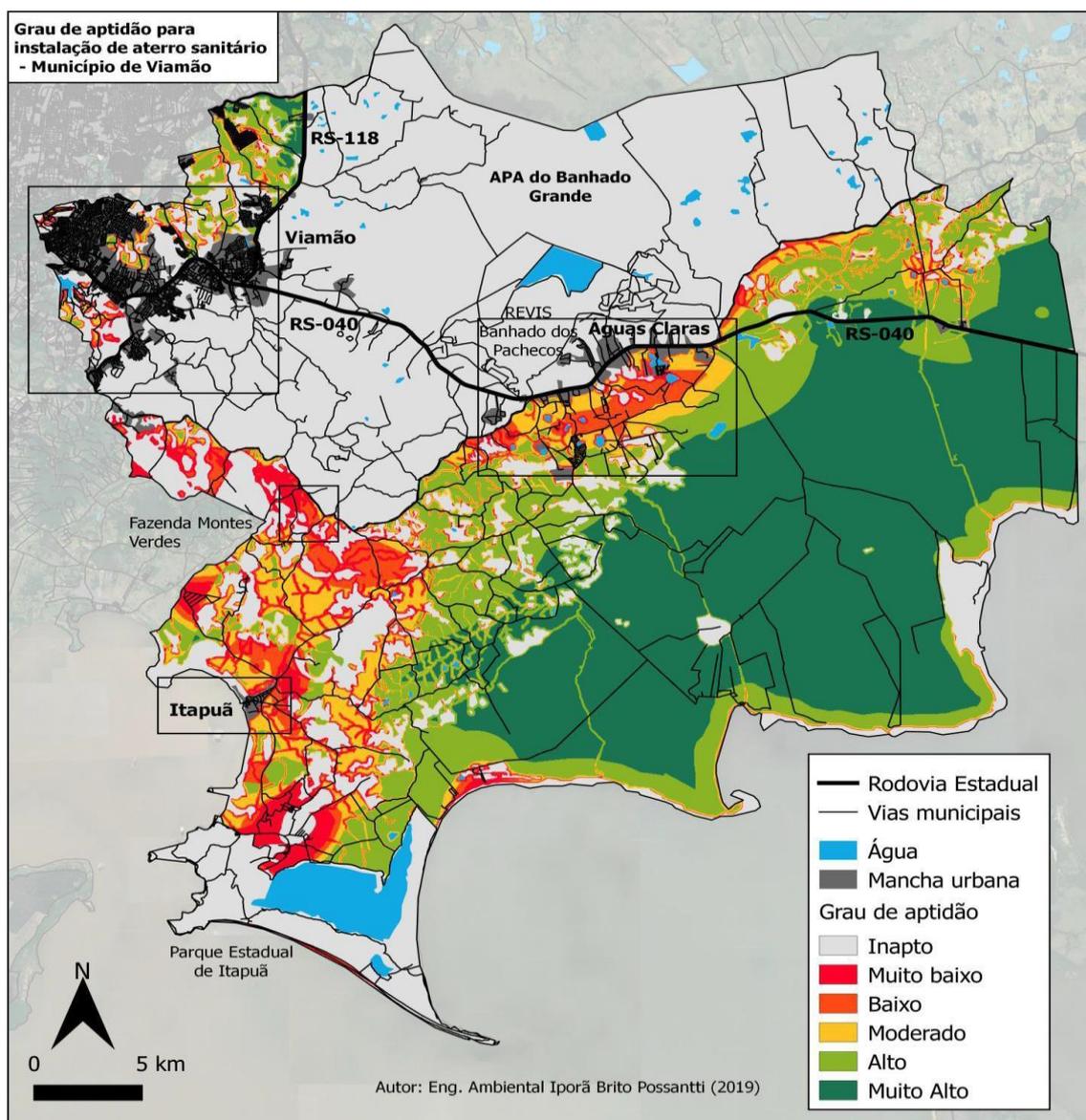
Mapa 3, ela se insere em regiões pouco adequadas. Apontam que dependendo da metodologia empregada e da resolução dos dados espaciais, é possível constatar mudanças significativas nos resultados.

Mapa 3. Mapa de adequabilidade para a construção de aterro sanitário no município de Viamão, RS seguindo a metodologia estabelecida pela CPRM. Evidência de que a alternativa locacional 3 está alocada em uma área pouco adequada. Retirado de Collischonn et. al. (2022).



Possanti (2019) avaliou classes de aptidão para o empreendimento em Viamão a partir de outro método. Utilizando a técnica adotada em Possanti e Silveira (2019) aliada ao geoprocessamento, sobrepôs indicadores de aptidão simulando o grau de adequabilidade para a instalação de um aterro sanitário. Levando em conta a proximidade de Unidades de Conservação, de Terras Indígenas, de áreas prioritárias para conservação, de cobertura de solo sensível (urbana, florestal, banhado e água), de cursos d'água, de rodovias asfaltadas, de densidade populacional superior a um habitante por hectare, de poços e litologia aflorante. Concluiu que a aptidão para a instalação de um aterro sanitário na Fazenda Montes Verdes, local pretendido para o empreendimento, foi classificado como muito baixo. O Mapa 4 ilustra o mapa confeccionado a partir do modelo de otimização espacial.

Mapa 4. Grau de aptidão para a instalação de um aterro sanitário no município de Viamão, RS. A classificação de aptidão resultante indica uma classe muito baixa nas dimensões da Fazenda Montes Verdes. Retirado de Possanti (2019).



2.4 Fundamentos Teóricos do Mapeamento Geotécnico

O princípio básico para investigar os atributos do meio físico será realizado por meio do mapeamento geotécnico. Ao propor um guia dos fundamentos com enfoque no uso e ocupação de solo, Zuquette (1993) propõe a seleção de variáveis necessárias para avaliar a dinâmica do solo frente a diversos tipos de

empreendimentos. Entre eles, a construção de um aterro sanitário. Relacionando os conhecimentos da geologia, do relevo e seus processos envolvidos, da hidrogeologia, da pedologia, do relevo, do clima e das condições socioeconômicas, infere que a confecção de mapas geotécnicos possibilita a solução e prevenção de impactos ambientais. Esse tipo de investigação contribui para o planejamento sustentável e economicamente viável das cidades. Tendo em vista que as variáveis abordadas transformam o terreno em uma escala de tempo relativamente pequena, trata-se de um mapa que requer constantes atualizações. Um dos principais pressupostos da confecção desse tipo de mapa é comunicar aos leitores as informações com uma linguagem não técnica, que seja compreendida a todo público.

O mapeamento geotécnico é composto por dados qualitativos e quantitativos, de modo que as informações devem ser compatíveis com a escala de trabalho. No contexto desse estudo, o procedimento sequencial básico foi utilizado, no qual define que a investigação é realizada ao nível de unidades de terreno. Elas são definidas por uma forma de relevo com características semelhantes em que os valores dos atributos do meio físico compreendem um limite considerado homogêneo. Nesse sentido, a amostragem e coleta de dados deve ser realizada em áreas-chave, onde há as maiores heterogeneidades identificadas. Na dimensão do trabalho, elas ocorrem nas diferentes unidades do relevo. Com dados pontuais é possível interpolar e extrapolar para os limites da microbacia, obtendo a delimitação das unidades geológico-geotécnicas. Cada um desses domínios contém um arcabouço de informações que, quando interpretadas, permitem inferir como uma unidade geológico-geotécnica é impactada frente a possível contaminação de um aterro sanitário.

A variedade dos parâmetros selecionados leva em conta uma hierarquia de importância entre eles. Os atributos fundamentais são aqueles que devem ser considerados em qualquer hipótese, já que interferem diretamente no estudo. Os circunstanciais possuem menor importância por não serem tão relevantes para a interpretação final. Existem, também, aqueles não inferidos devido a impossibilidade de serem adquiridos. A classificação é dependente do caso e interpretação técnica.

O valor do dado é enquadrado em uma classe com grandezas diferentes: favorável, moderada, severa e restritiva. O *Quadro 1* ilustra os atributos e os intervalos de valores que correspondem a cada classificação do meio físico, clima, relevo e seus

processos.

A adequabilidade do empreendimento na microbacia é obtida a partir da porcentagem das classes dos atributos. A unidade é favorável se a totalidade dos atributos é da classe favorável, com até dois atributos secundários na classe moderada. Implica em possíveis impactos ambientais negativos de baixa magnitude.

É moderada se 80% ou mais dos atributos se encaixam nas grandezas moderado e favorável. Pressupõe impactos ambientais negativos com maiores riscos de contaminação em comparação a classe favorável e maior custo para recuperação ambiental.

Será severa se no máximo 15% dos atributos se enquadram nas classes moderada e favorável e no máximo 15% na classe restritiva. Esse contexto está associado a possibilidades concretas de impactos ambientais negativos. Em relação a classe moderada exige ainda mais recurso financeiro.

Será restritiva se no máximo 20% dos atributos são alocados nas classes severa, moderada e favorável. O planejamento do empreendimento nessas situações deve ser detalhista porque o potencial impacto ambiental é muito alto. Consequentemente, requer elevado investimento e uso de recursos tecnológicos.

2.5 Procedimentos Práticos do Mapeamento Geotécnico

Saraiva (1995) realizou um mapeamento geotécnico com base nas formas de relevo e traçou planos de execução para aplicar o método de Zuquette (1993) na Folha de Socorro. A localização geográfica, os aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, biológicos e hidrogeológicos foram julgados como essenciais sustentar a investigação. Concluindo que a densidade de dados disponíveis era baixa, adotou a metodologia sequencial básica. Utilizou técnicas de fotointerpretação e investigações em campo para confeccionar documentos gráficos que representam o meio físico. Com eles, foi possível definir as unidades geológico-geotécnicas e aplicar a tabela de adequabilidade para os mais diferentes usos e ocupações de solo. Entre eles, o impacto ambiental de um aterro sanitário (*Quadro 1*).

Seguindo uma ordem hierárquica, procurou levantar dados geomorfológicos para então entender a litologia, a pedologia, hidrogeologia e conseguir definir as

unidades geológico-geotécnicas.

A geomorfologia foi investigada em duas etapas. Correlacionou acervos bibliográficos com análises fotointerpretativas para confeccionar um mapa geomorfológico preliminar. Posteriormente, realizou um trabalho em campo para a verificar as informações levantadas e aplicar ajustes quando necessário.

A primeira fase de campo consistiu em descrever perfis de alteração para preencher dados primários como os do *Quadro 1*.

Integrando os mapas de declividade, formas de relevo, geologia, estrutural e hidrografia com os dados pedológicos obtidos em campo, gerou um mapa pedológico preliminar. Posteriormente, realizou outra etapa de campo com o intuito de coletar amostras de materiais inconsolidados e executou diversos ensaios de laboratório para coletar dados físico-químicos. A partir disso, delimitou as unidades de solos que, somadas as unidades geomorfológicas, possibilitaram demarcar as unidades geológico geotécnicas.

Para os trabalhos de campo, é fundamental investigar perfis de solo com detalhamento dos horizontes. As litologias devem ser descritas para possibilitar o entendimento das características do relevo e da pedogênese. O grau de alteração e a espessura dos horizontes são informações relevantes que auxiliam na interpretação das demais variáveis pedológicas.

Ao adquirir os atributos necessários para a classificação de adequabilidade, delimitou as unidades geológico geotécnicas. Posteriormente, enquadrando os valores nas respectivas classes, calculou as porcentagens dos resultados e obteve informações que possibilitaram interpretar os impactos ambientais para os usos e ocupações de solo consideradas.

Quadro 1. Relação entre atributos e classes de aptidão da carta para aterro sanitário, ilustrando o enquadramento dos valores das variáveis nas classes. Modificado de Zuquette (1993).

Componentes	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Substrato rochoso	Tipo litológico			Arenito	Calcário
	Profundidade	> 15	5 – 15	< 5	< 3
	Descontinuidades (Densidade/Jv)	Poucos	Média	Muito fraturado	Muito fraturado e com aberturas
Materiais inconsolidados	Textura	Média	Média	Arenoso	Muito arenoso
	Variação de perfil	Progressiva	Progressiva	Homogêneo	Homogêneo
	Mineralogia	Presença min. tipo 2:1	Presença min. tipo 1:1	Razoável % minerais inertes	Minerais inertes (alta %)
	Presença de matações	Raros e pequenos	Poucos e pequenos	Muitos	Muitos e grandes
	pH	> 4	> 4	> 5	< 4
	Salinidade (mmho/cm)	< 16	< 16	> 16	Muito salina
	CTC (meg/100g)	> 15	5-15	< 5	< 2
	Camadas compressíveis	Não ocorrem	Não ocorrem	Ocorrem em superfície	Ocorre em substrato não substitutivo
	Colapsibilidade/Expansibilidade	Não ocorre	Camada superficial (1 m)	Camada Superficial (2 m)	Camada espessa (4 m)
	Erodibilidade (potencial)	Baixa	Baixa	Alta	Muito alta
	Fator de retardamento	Alto	Médio	Baixo	Como traçador
	Águas	Prof. NA abaixo da base poluidora (m)	> 10	> 5	<4
Direção de fluxo subterrâneo		1	1	2 ou 3	Diversos

	Escoamento superficial	Laminar	Laminar (baixo)	Laminar (alto)	Concentrado
	Infiltração (coef. de permeabilidade)	10 ⁻⁴ (Próximo)	10 ⁻³ -10 ⁻⁴	> 10 ⁻³	Muito alta
	Área de recarga	Não	Não	Não	Ocorre
	Distância de poços e fontes naturais (m)	> 500			< 300
	Drenabilidade	Boa	Boa	Má	Má
Processos	Erosão	Não	Não	Muito intensa	Ocorre intensa
	Movimentos de massa	Não	Não	Há potencial	Ocorre
	Declividade (%)	2-5	> 5	> 15	> 20
Relevo	Landform	Econsta suave		Encosta	Encosta
			Zona de acúmulo de água		
	Divisor de águas	Distante (200 m)	Próximo (100 m)	Muito Próximo	Coincidente
	Zona alagada	Não	Não	Não	Ocorre
Zona sujeita a inundação	Não	Não	TR alto > 20 anos	Ocorre TR < 20 anos	
Clima	Evapotranspiração	Alta	Média	Baixa	Baixa
	Direção dos ventos				Para o centro do vedado
	Pluviosidade				Chuva durante longos períodos

3 MÉTODOS

A demanda técnico-científica abrange o meio antrópico e apresenta duas visões antagônicas envolvendo o comportamento do meio físico diante de um empreendimento. Enquanto uma alerta sobre os riscos ao meio ambiente, a outra expõe os benefícios que o aterro sanitário proporcionaria para a região. Utilizar as geociências para prover dados que contribuam para a discussão requer a utilização de métodos com a menor subjetividade possível, garantindo imparcialidade e maior precisão das informações.

Alguns cientistas defendem a existência de uma verdade absoluta e muitos deles afirmam que, mesmo existindo, pode ser impossível alcançá-la devido à limitação da compreensão humana e dos métodos científicos. Entretanto, determinados problemas científicos não requerem uma alta acurácia para serem solucionados porque os dados obtidos, mesmo que imprecisos, representam bem a realidade e atendem os objetivos propostos. Considerando que uma informação é limitada pelas características dos dados que a originam, o mesmo assunto pode ser visto por diversos ângulos. A contaminação de um aterro sanitário pode ser investigada sob o olhar da hidrogeologia, da físico-química, da bioquímica e sob outros distintos campos científicos. Sendo assim, a visão em um ângulo pode ser complementar à de outro ou até mesmo provocar mudança de perspectiva, possibilitando a leitura de informações antes desconhecidas. Ao interpretar a tese é necessário, portanto, analisar os objetivos que impulsionaram o levantamento de seus dados porque são eles que irão indicar os motivos da escolha do método científico e, conseqüentemente, o conteúdo que é apresentado. Os parágrafos seguintes elucidarão como os dados desse trabalho foram levantados e discutirão suas resoluções, acurácias e precisões, evidenciando as vantagens e vulnerabilidades das técnicas adotadas.

A assimilação de obras que expõem os fundamentos de métodos já realizados em contextos semelhantes foi uma ferramenta útil para orientar os caminhos e poder contribuir com o problema científico. Rosa et al. (2021) contribuíram com o levantamento e a organização de conteúdos relevantes acerca da geologia e hidrogeologia do Município de Viamão com destaque às implicações ambientais da edificação do aterro sanitário. Este trabalho impulsionou outras duas obras, motivadas pela busca de mais informações: Collischonn et al. (2022) e Schwarzer et al. (2022). Ambos utilizam dados derivados de MDT e aprofundam os estudos em relação à

viabilidade da edificação. Possantti (2019), Fase 1 – EIA-RIMA (2020) e Panitz (2019) também contribuem para compreender a reação do meio antrópico, biótico e físico diante da construção. Considerando os trabalhos envolvendo o mesmo tema, a assimilação desses materiais deu embasamento para a escolha das técnicas adotadas e o ângulo no qual se procurou observar o problema científico. Formularam a hipótese a ser investigada e promovem a revisão bibliográfica como uma ferramenta básica para o estudo. As incógnitas envolvendo a reação do meio físico diante da contaminação de um aterro sanitário na Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro direcionaram a visão da pesquisa para enxergar o que a estratigrafia, a geotecnia, a hidrogeologia, geologia ambiental e sensoriamento remoto podem contribuir quando integradas.

A estratégia que forneceu novos dados foi parcialmente efetuada por meio dos fundamentos do mapeamento geotécnico. As variáveis selecionadas por Zuquette (1993) e as técnicas de aplicação determinadas por Saraiva (1995) foram executadas a partir de dois tipos de análises. O sensoriamento remoto e o geoprocessamento foram responsáveis pela aquisição de dados indiretos. Já a realização de trabalhos e ensaios de campo possibilitaram a obtenção direta.

Os *softwares* ArcGIS 10.5.1 e QGIS 3.22.4 foram utilizados para a manipulação dos dados matriciais e vetoriais com o intuito de elaborar mapas que sintetizassem as informações adquiridas indiretamente a partir do MDT disponibilizado pelo IEDE (<https://iede.rs.gov.br/>) com 2,5 metros de resolução espacial. O primeiro passo consistiu na delimitação da área de estudo. Utilizando ferramentas que corrigiram as imperfeições do MDT e que processaram a elevação do terreno, foi possível obter as direções de fluxo e de fluxos acumulados, necessárias para determinar os vetores que representam os segmentos mais baixos do terreno e a rede de drenagem. As porções mais altas também foram delimitadas automaticamente e evidenciam os interflúvios da microbacia e coincidem com os limites da área de estudo. Na sequência, um mapa de declividade em porcentagem e outro hipsométrico foram elaborados e reclassificados de acordo a classificação adotada por Saraiva (1995), a de IPT (1981). Entretanto, foram necessários ajustes devido a incompatibilidade das formas de relevo com os intervalos estabelecidos pelo método. Dessa forma, três intervalos foram fixados para classificar a declividade: menor que 10%, entre 10 e 20% e maiores que 20%. Seguindo a mesma lógica, a elevação foi classificada em áreas menores de 50, entre

50 e 65 m, entre 65 e 100 m, e acima de 100 m. Os critérios utilizados visaram representar as formas de relevo verificadas em trabalho de campo. Correlacionando elevação e declividade, diferentes combinações possibilitaram diagnosticar as unidades de relevo. O *Quadro 2* sintetiza a metodologia de IPT (1981) modificada de acordo com as adaptações locais. Cabe salientar que devido à escala do trabalho e da resolução espacial do MDT, alguns pixels não se enquadraram em nenhum grupo e, portanto, tiveram que ser adaptados para os valores das classes mais próximas. Logo, foram necessários ajustes secundários para compatibilizar a resolução dessa metodologia com a escala do trabalho, tornando verossímil a leitura dos aspectos geomorfológicos. O nome das unidades de relevo também foi adequado a forma de relevo identificada em campo, quando necessário. A unidade Relevo de Encostas, por exemplo, possui uma correspondência maior com a geomorfologia local em relação a Relevo de Morrotes, conforme IPT (1981) adota.

Quadro 2. Relação entre os intervalos de declividade e elevação que determinam as Unidades de Relevo. Adaptada para a área de estudo a partir de IPT (1981).

Unidade de Relevo	Declividade (%)	Elevação (m)
Relevo Colinoso	0 – 20	65 a 100
Relevo de Morros com Encostas Suavizadas	0 – 20.	> 100
Relevo de Encostas	> 20	65 a 100
Relevo de Morros	> 20	> 100
Planícies Aluviais	< 10	< 50

Consultando o mapa hidrogeomorfológico e a área de estudo no *software* Google Earth Pro 7.3.4.8642, as variáveis secundárias segundo IPT (1981) puderam ser descritas. A densidade de drenagem, expressão de colinas em área, topos, forma dos topos, perfil das vertentes, padrão de drenagem, vales, planícies aluvionares, existência de drenagem fechada e de ravinamento das vertentes complementam a caracterização de cada unidade de relevo evidenciando semelhanças e diferenças entre elas. Schwarzer et al. (2022) identificaram graus de homogeneidade entre duas ou mais unidades que, no entretanto, foram baseadas em parâmetros secundários, impedindo o agrupamento dessas áreas. As variáveis primárias estabeleceram

heterogeneidade geomorfológica significativa do terreno e são definidoras das unidades de relevo. Representam áreas em que os atributos do meio físico estão em uma faixa de valores considerados homogêneos e serviram como uma das bases para delimitar as áreas-chave.

Geologicamente, a área de estudo se insere no contato entre a Suíte Granítica Dom Feliciano e o Sistema Laguna-Barreira I (Mapa 2), geomorfológicamente delimitado pelo Arroio Pesqueiro. Considerando que os valores dos atributos selecionados são diretamente influenciados pela litologia, o outro critério para delimitar os locais a serem amostrados foi a divisão por domínios geológicos. Logo, levou-se em conta que o relevo colinoso em um granito é geotecnicaamente distinto daquele formado em um depósito sedimentar.

A seleção das variáveis do meio físico foram as listadas pela tabela de atributos e relação entre classes de aptidão para carta de aterro sanitário (ZUQUETTE, 1993). O método estabelece seis componentes para serem investigados. Cada um deles possui uma lista com diferentes atributos. Para cada um, há intervalos de valores que correspondem a quatro classes de adequabilidade: favorável, moderada, severa e restritiva. Por exemplo, o primeiro componente da tabela é o substrato rochoso. Existem três atributos relacionados a ele: tipo litológico, profundidade e densidade de descontinuidades. Considerando a avaliação do segundo, se os valores obtidos para a profundidade forem maiores que 15 metros, o resultado se encaixa na classe favorável (*Quadro 2*). Caso estejam entre 5 e 15 metros, é moderada. Severa se forem menores que 5 metros e restritiva caso sejam menores que 3 metros. Se, hipoteticamente, a profundidade das rochas nas áreas de Encostas com Morros Suavizados do domínio Dom Feliciano forem maiores que 15 metros, esse atributo é considerado favorável para a adequabilidade da construção de um aterro sanitário dentro dessa unidade. Caso houver uma contaminação, essa variável possui pouca influência em impactos ambientais negativos.

Alguns dados diretos foram considerados constantes para toda a área da unidade geologicamente e geomorfológicamente homogênea. Ou seja, se hipoteticamente o resultado do coeficiente de permeabilidade realizado na Suíte Granítica Dom Feliciano pertencente ao Relevo de Morros for X, o valor dessa variável será X para as demais áreas correspondentes. Entretanto, a heterogeneidade em

algumas variáveis também foi possível de ser constatada em campo. Dados indiretos ou aqueles baseados em dados diretos interpolados a partir de ferramentas de geoprocessamento e posteriormente ilustrados em mapas indicam maior heterogeneidade em um mesmo domínio geológico e geomorfológico porque envolvem dados matriciais.

Levando em conta a totalidade dos componentes, foram levantados 25 atributos para cada unidade. Uma média aritmética das classes de cada atributo foi efetuada em cada ponto de campo. A classe favorável foi atribuída quando a totalidade dos atributos é da classe favorável, com até dois atributos secundários na classe moderada. A classe moderada foi concedida quando 80% ou mais dos atributos se encaixaram nos níveis moderado e favorável. A unidade foi considerada como severa quando no máximo 15% dos atributos se enquadram nas classes moderada e favorável e no máximo 15% na classe restritiva. Por fim, as unidades que possuíram no máximo 20% dos atributos alocados nas classes severa, moderada e favorável foram enquadradas na classe restritiva. As informações foram processadas e interpoladas pelo método *neighborhood* com o *software* QGIS para elaboração de um mapa das classes de aptidão para instalação de aterro sanitário. A determinação dos valores é estipulada a partir do dado da amostra mais próxima que varia de 0 a 1 quando a classe é favorável, 1,1 a 2 para moderada, 2,1 a 3 para severa e 3,1 a 4 para restritiva. Em situações onde duas classes são simultaneamente atribuídas, o valor intermediário foi considerado.

3.1. Substrato Rochoso

A forma de obtenção dos atributos necessitou organização e adaptações diante dos contextos do terreno. Conforme já mencionado, um dos componentes a ser investigado é o substrato rochoso. O *Quadro 3* ilustra os atributos levantados e a classe de adequabilidade para os intervalos de valores considerados.

3.1.1. Tipo Litológico

O tipo litológico foi obtido a partir da descrição petrográfica de testemunhos de sondagem adquirida para perfuração de poço tubular e disponibilizada por morador

local. Procurou-se identificar minerais diagnósticos, texturas e estruturas das rochas. Tendo em vista que Zuquette (1993) não considera uma variação litológica significativa, a técnica foi eficaz. O termo “granito” foi alocado nas classes favorável e moderada para aproximar o método da realidade local.

3.1.2. Profundidade

A profundidade foi averiguada em uma malha de pontos irregular a partir de sondagens a trado e pela medida em afloramentos, principalmente em taludes. Tendo em vista que a perfuração ocorreu apenas nos primeiros 3 m, os dados não foram obtidos nos locais onde o substrato rochoso não foi interceptado, indicando profundidade superior ao comprimento do trado. Levando em conta que a classe restritiva é aplicada quando menor que 3 m, foi aplicar a técnica somente nesse caso ou quando a rocha aflora. Os intervalos correspondentes as classes de aptidão foram adequados a uma linguagem mais precisa.

3.1.3. Densidade de Descontinuidades

A densidade de descontinuidades pôde ser investigada apenas em pedreiras abandonadas de granitos, locais em que a rocha é aflorante. Foram determinadas a partir do índice volumétrico (J_v). Representa somatório de juntas por volume em uma família de fraturas. É calculado pela *Equação 1*, em que X é o espaçamento entre as fraturas em metros. Quando duas ou mais famílias foram encontradas, a mais frequente foi equacionada. Uma média aritmética foi realizada nos casos em que o espaçamento variou significativamente. Parâmetros como abertura, persistência, rugosidade, condição das paredes, a presença e o tipo de material do preenchimento das descontinuidades serviram como critério para sua caracterização. Para a classificação da tabela de atributos, o termo “pouco” foi empregado para o intervalo de valores entre 0 e 8. A expressão “média” foi atribuída entre 8,1 e 16 e a “muito” entre 16,1 e 25.

Equação 1. Cálculo de densidade de descontinuidades.

$$J_v = \sum 1/X \quad (1)$$

Adequando um dado qualitativo a um quantitativo, eliminou-se a subjetividade da tabela de atributos e elevou-se a precisão e acurácia.

Quadro 3. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do substrato rochoso. Adaptada para a área de estudo a partir de Zuquette (1993).

Componente	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Substrato Rochoso	Tipo Litológico	Granito	Granito	Arenito	Calcário
	Profundidade (m)	> 15	6 a 15	4 a 5	0 a 3
	Descontinuidade J_v	0 a 8	8,1 a 16	16,1 a 25 sem aberturas	16,1 a 25 com aberturas

3.2. Material Inconsolidado

O solo é considerado um componente que, segundo Zuquette (1993), possui 11 atributos. O *Quadro 4* evidencia o elevado grau de detalhamento pedológico da investigação.

3.2.1. Textura

A textura é a porcentagem relativa entre partículas do tamanho silte, argila, areia e conglomerado. Foi estimada por meio da descrição visual tátil que, de forma empírica, determinou a predominância do tamanho dos sedimentos. As amostras coletadas passaram por diversos procedimentos. Inicialmente, um pilão foi utilizado para destorroar as partículas agregadas até torná-las homogêneas a partir de movimentos circulares. Em seguida, adicionou-se água para observar a plasticidade manualmente. Quando deformado facilmente, a quantidade de argilominerais é significativa. No caso da formação de fraturas, o volume de espaços vazios é elevado, evidenciando a presença de partículas tamanho areia ou maiores. Colocando mais água na amostra, foi observado a infiltração do solo. Quando o fluido foi facilmente absorvido pelo material, concluiu-se maior grau de permeabilidade. Além disso, 100 g amostras foram adicionadas em um recipiente contendo água para observar a

dinâmica deposicional. Partículas de tamanho silte e argila não sedimentam com facilidade. Portanto, nos casos em que a água permaneceu turva por um intervalo de 24 h, considerou-se uma quantidade significativa de sedimentos finos. As variadas formas de estipular a granulometria do solo não são tão acuradas quanto a utilização de peneiras com diâmetros específicos, porém a totalidade delas confere uma boa precisão e resolução diante dos objetivos da pesquisa.

3.2.2. *Variação de Perfil*

A variação de perfil foi identificada de duas formas. Nos locais em que o perfil era aflorante, observou-se os contatos e espessuras dos horizontes pedológicos. Quando não evidente, a sondagem a trado possibilitou determinar a heterogeneidade e suas profundidades. Nos locais em que se constatou dois ou mais horizontes atribuiu-se uma variação de perfil progressiva. Quando uma espessa camada foi encontrada, considerou-se homogêneo. A resolução, acurácia e precisão desse método foi elevada nos pontos com perfis aflorantes. As sondagens foram limitadas pelo tamanho do trado e, conseqüentemente, não possuem uma acurácia significativa. Entretanto, levando em conta que os possíveis contaminantes percolam inicialmente nos primeiros metros do substrato, a técnica tem boa precisão e resolução e atende os propósitos do trabalho.

3.2.3. *Mineralogia*

As propriedades físico-químicas estão diretamente relacionadas ao arranjo espacial dos elementos que compõem os minerais. A rede cristalina é uma forma de representar a geometria das ligações atômicas. A maior parte dos argilominerais são classificados como filossilicatos. Sua estrutura é composta por lamelas tetraédricas e octaédricas (JACKSON, 1965). A caulinita é o mineral do tipo 1:1 mais comum no contexto pedológico da área de estudo. Possui uma folha de tetraedros de silício sobreposta a uma folha de octaedros de alumínio. Por isso, não se expande quando está em meio aquoso. De forma contrária, a vermiculita e principalmente a montmorilonita são dois típicos minerais que aumentam de volume quando entram em contato com a água. São compostos por uma folha de octaedros de alumínio intercalada por duas de tetraedros de sílica. A incorporação de moléculas de água na

rede cristalina promove a expansão.

Tendo isso em mente, uma amostra representativa de cada unidade geológica e geomorfologicamente homogênea com cerca de 100 gramas de cada solo foram submetidas a um experimento. Adicionou-se um volume de água necessário para saturar o material inconsolidado em um recipiente. Em seguida, foi deixado em repouso com o intuito de promover a evaporação. A constatação de minerais do tipo 2:1 ocorreu nas amostras que apresentaram gretas de contração em estado seco. A classe “minerais 1:1” foi atribuída às amostras que não continham essas feições.

Os “minerais inertes” (*Quadro 4*) são considerados aqueles que em contato com a água não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas. No contexto do estudo, são estáveis nas condições de pressão e temperatura da superfície. Logo, as amostras com predominância de quartzo foram a base para classificar esse critério.

3.2.4. Presença de Matacões

A análise da presença de matacões foi executada por meio de observações em campo. Quando encontrada uma quantidade igual ou superior a dez corpos em uma área de até 4.000 m², atribuiu-se o termo “muito”, utilizado pelo *Quadro 4*. As áreas que contiveram entre três e nove matacões foram definidas como “pouco” e as com menos de três “raros”. Já a expressão “pequeno” foi designado para diâmetros iguais ou inferiores a um metro. Acima desse tamanho o termo utilizado foi “grandes”. Levando em conta que a classificação atribuiu valores numéricos às expressões, evitou-se subjetividade.

3.2.5. pH, CTC e salinidade

Os atributos pH, salinidade e capacidade de troca catiônica (CTC) requerem dados e cálculos físico-químicos, sendo necessário realizar um ensaio de fertilidade do solo em laboratório. Seriam determinadas as concentrações dos íons de fósforo, potássio, sódio, cálcio, alumínio, magnésio, hidrogênio e alumínio somados, zinco, ferro, manganês, cobre, boro e enxofre. Variáveis como pH, soma de bases trocáveis, fósforo remanescente, concentração de matéria orgânica, índice de saturação de sódio, saturação por bases, capacidade de troca catiônica efetiva (CTC efetiva),

capacidade de troca catiônica a pH 7 (CTC total) e saturação por alumínio também são adquiridas por essa técnica. Entretanto, esses parâmetros foram descartados devido a inviabilidade financeira. Se tratando de informações físico-químicas, não acarretam elevado prejuízo devido a escala do trabalho.

3.2.6. Camadas Compressíveis

As camadas compressíveis são constituídas por solos moles. Devido às propriedades desse tipo de material, não possuem resistência satisfatória ou suficiente para suportar as tensões ocasionadas pelas fundações de determinadas edificações. Estão relacionadas aos processos de subsidência por adensamento, lento movimento de afundamento devido à deformação do substrato. Nos locais de amostragem, a identificação nos primeiros m de profundidade foi possível de determinar com sondagens a trado. A granulometria e plasticidade do material inconsolidado foram investigadas por meio da descrição visual tátil já descrita. Diante dos objetivos do projeto, trata-se de uma técnica com baixa resolução e acurácia pois a profundidade é limitada. Entretanto, como não foi possível realizar ensaios de Sondagem a Percussão (SPT) por inviabilidade financeira, ao menos as camadas superficiais puderam ser descritas.

3.2.7. Colapsibilidade/Expansibilidade

Camadas colapsíveis também estão relacionadas ao movimento do terreno. Entretanto, ocorrem de forma brusca e são constituídas por solos colapsíveis. São reconhecidos por terem uma estrutura muito porosa, baixos teores de umidade, contatos granulares e pontuais que se unem por cimentação precária. Configuram uma situação de perigo quando são submetidos a tensões superiores ao seu peso em conjunto com o aumento do teor de umidade. Esses fatores são capazes de quebrar a estrutura das ligações que mantêm as partículas estáveis, ocasionando deslocamento. A descrição visual tátil e os produtos das sondagens a trado permitiram a identificação desse tipo de solo em poucos m de profundidade. Para essa variável, a técnica possui baixa acurácia tendo em vista a limitação da informação.

3.2.8. Potencial de Erodibilidade

Os dados do potencial de erodibilidade foram coletados na plataforma Pronasolos, desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Um mapeamento de susceptibilidade a erosão hídrica foi realizado em 2020 em todo o território nacional. Foi utilizado o modelo digital do terreno disponibilizado pela SRTM/NASA com resolução espacial de 30 metros. O projeto evidencia os locais onde há maior remobilização de sedimentos, considerando os aspectos geomorfológicos, topográficos, pedológicos e climáticos.

Foi processado um mapa do recorte da microbacia compilando essas informações. O grau de susceptibilidade foi representado em cinco classes: “muito baixa”, “baixa”, “média”, “alta” e “muito alta”. Adaptando às classes da metodologia de Zuquette (1993), os pixels classificados como “muito baixa” e “baixa” foram enquadrados na classe favorável. O termo “média” foi atribuído a classe moderada, “alta” em severa” e “muito alta” em restritiva. Considerando a escala do mapeamento, a técnica não possui boa resolução e, conseqüentemente, baixa acurácia. Entretanto, detém alta precisão devido à extensão geomorfológica da área de estudo. A utilização do modelo digital do terreno com 2,5 metros de resolução espacial proporcionaria um mapa com informações mais confiáveis. Entretanto, mesmo que regionais, os dados adquiridos são importantes por contribuírem com dados da tabela de atributos.

3.2.9. Fator de Retardamento

O fator de retardamento do solo envolve as condições favoráveis para a permanência dos valores naturais do pH. Está diretamente relacionada ao deslocamento de determinado elemento ou composto no meio microscópico. Evidencia a diferença entre as velocidades de avanço do soluto e de avanço da frente da solução percolante.

Por depender de variáveis físico-químicas e ensaios de laboratório, esse atributo não foi investigado por inviabilidade financeira. De acordo com Saraiva (1995), ainda que atributos não sejam aplicados, a tabela de atributos de Zuquette (1993) oferece uma informação confiável.

Quadro 4. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do material inconsolidado. Os retângulos em vermelho destacam as variáveis não abordadas. Modificado de Zuquette (1993).

Componente	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Materiais Inconsolidados	Textura	Média	Média	Arenoso	Muito Arenoso
	Variação de Perfil	Progressiva	Progressiva	Homogêneo	Homogêneo
	Mineralogia	Presença de Min. Tipo 2:1	Minerais tipo 1:1	Razoável % minerais inertes	Minerais inertes (alta %)
	Presença de Matacões	< 3 com diâmetro < 1	Entre 3 e 9 com diâmetro < 1	> 10 com diâmetro < 1	> 10 com diâmetro > 1
	pH	> 4	> 4	> 5	< 4
	Salinidade (dS/m)	< 16	< 16	> 16	Muito Salina
	Capacidade de Troca Catiônica (cmol _c /dm ³)	> 15	5 – 15	< 5	< 2
	Camadas Compressíveis	Não Ocorrem	Não Ocorrem	Ocorrem em Superfície	Ocorrem em substrato não substitutivo
	Colapsibilidade/Expansibilidade	Não Ocorre	Camada Superficial (1m)	Camada Superficial (2m)	Camada Espessa (4m)
	Erodibilidade (Potencial)	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Fator de Retardamento	Alto	Médio	Baixo	Como Traçador	

3.3. Águas

A componente água contém 7 atributos do meio físico. O Quadro 5 os apresenta e correlaciona com os intervalos de cada classe de adequabilidade.

3.3.1. Profundidade do nível da água abaixo da base poluidora

Não foram encontrados poços suficientes cadastrados nos sistemas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) inseridos na área de estudo, dificultando a compilação de dados locais já obtidos. O uso irregular da água subterrânea é uma realidade na região metropolitana de Porto Alegre e, por isso, a busca por dados de poços não

cadastrados foi realizada. Quando possível, uma fita métrica foi utilizada para a medida colocando-a em contato com a superfície aquosa. Também foi utilizada em sondagens a trado, realizadas para inferir a profundidade do lençol freático nos solos dos três domínios geológicos. No momento em que fluxos de água adentraram a perfuração preenchendo toda a superfície basal do revestimento, a medida foi realizada. Uma adaptação linguística dos intervalos foi realizada para facilitar a leitura do quadro. Cabe salientar que a maioria dos poços perfurados na Suíte Granítica Dom Feliciano são improdutivos ou com baixíssima volumetria de água.

3.3.2. Direção de Fluxo Subterrâneo

A direção do fluxo subterrâneo depende das cargas hidráulicas. Refletem o nível de energia e são influenciadas pela elevação do nível da água e pela pressão. O agrupamento de cargas de um mesmo intervalo de valores é representado por linhas equipotenciais, em que as linhas de fluxo são perpendiculares. A água subterrânea se desloca do maior para o menor nível energético. Para determiná-lo, é necessário calcular o nível piezométrico, equacionado pela subtração da cota em relação ao nível do mar com o nível da água.

Mapas potenciométricos foram processados indicando a direção de fluxo subterrâneo para cada ponto em ambos aquíferos (freático no domínio da Suíte Granítica Dom Feliciano e bm no Sistema Laguna-Barreira I).

Segundo Rubbo et. al. (2002), a hidrodinâmica do lençol freático na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí é controlada basicamente pela variação na elevação e, principalmente, na declividade). O mapa potenciométrico freático da Suíte Granítica Dom Feliciano foi processado com base na declividade angular.

Collischonn et al. (2022) elaboraram um mapa potenciométrico do Aquífero Coxilha das Lombas, onde a área de estudo também se insere. Nesse sentido, seus dados foram compilados para o diagnóstico do fluxo subterrâneo no aquífero poroso.

Uma adaptação linguística dos intervalos foi realizada para facilitar a leitura do quadro. Considerando que o fluxo subterrâneo será detalhado próximo ao aterro sanitário em diferentes profundidades em dois reservatórios distintos, o conjunto de técnicas proporciona a informação necessária.

3.3.3. Escoamento Superficial

O grau energético que a água percola sobre a superfície do terreno pode ser analisado pela classificação do tipo de escoamento superficial. A gravidade, as taxas pluviométricas e a infiltração do solo influenciam na vazão e na velocidade, parâmetros necessários para determinar o escoamento superficial de forma quantitativa. As feições do relevo registram a dinâmica hídrica, sendo reflexo dessa equação.

O escoamento superficial determina o grau do transporte de sedimentos, evidenciando feições do relevo com variações altimétricas em padrões geométricos definidos pela direção e sentido de movimento. Se for elevado, maior a dissecação do relevo. Caso seja menos energético, a geomorfologia será menos retrabalhada. O deslocamento mais intenso tende a se concentrar, formando sulcos que podem evoluir para ravinas e voçorocas. Aqueles com menor energia tendem a ser dispersos formando lâminas de escoamento. A constatação dessas feições nas proximidades dos pontos de amostragem possibilitou o enquadramento das classes. Esse método envolve uma boa resolução porque se enquadra com a proposta da tabela de atributos e possui uma boa precisão e acurácia na diferenciação entre fluxos laminares e concentrados. Entretanto, para diferenciar o grau das dinâmicas dispersas, a precisão e acurácia diminuem devido à análise subjetiva envolvendo a remobilização de sedimentos.

3.3.4. Infiltração

A infiltração é dada pelo coeficiente de permeabilidade. Para efetuar os cálculos, foram realizados 12 ensaios de permeabilidade em solos de acordo com ABGE (1996). Em cada unidade geológica e geomorfologicamente homogênea um teste de infiltração foi realizado, com exceção à planície aluvial, pertencente à Laguna I onde dois foram efetuados. Dentre as metodologias e equipamentos possíveis, sondagens a trado foram escavadas para aplicar ensaios por rebaixamento a nível variável acima do lençol freático. Utilizando uma enxada, a cobertura vegetal foi removida. Em seguida, uma abertura foi feita com uma cavadeira, delimitando o diâmetro da sondagem. Em solos com alta porosidade, um cano de PVC de 1,5 metros diâmetro foi introduzido como revestimento para impedir o colapso das paredes do furo e concentrar a infiltração na seção basal. A perfuração em profundidades maiores foi realizada por um trado até 1 m em solos arenosos e 1,5 m em argilosos. O material

extraído foi amostrado para análise de outras variáveis. Até 5 recipientes contendo 20 litros de água cada foram levados a campo, necessários para a saturação do solo e execução do ensaio. O líquido utilizado estava isento de partículas em suspensão. Quando a sondagem foi finalizada, o furo foi preenchido por água até que o nível rebaixasse durante 10 minutos. Esse ponto foi considerado o ideal para o início dos ensaios. O intervalo entre o final do revestimento, quando presente, e o fundo do furo correspondeu ao trecho de ensaio. No caso de solos argilosos, toda a profundidade da sondagem foi considerada. Nesses casos, o intuito foi diminuir o tempo aumentando a superfície de infiltração. Uma tabela contendo campos de preenchimento foi empregada para o controle. Informações como profundidades, diâmetros, cota, variação de tempo, tempo acumulado, variação do nível da água e volume acumulado foram registradas. Para iniciar o ensaio, o furo foi novamente preenchido com água até a boca, instante considerado como tempo zero. Em seguida, o rebaixamento do nível da água foi medido utilizando uma fita métrica a intervalos inicialmente curtos e mais duradouros conforme o avanço do ensaio. Por exemplo, a primeira medida ocorreu em 15 minutos, a segunda em 30, a terceira em 1 hora. A definição dos intervalos de tempo dependeu do tipo de solo ensaiado. Quando a quantidade de medidas foi considerada suficiente para obter um dado estatístico confiável, o ensaio se deu como encerrado. A *Equação 2* foi utilizada para o cálculo do coeficiente de permeabilidade.

Equação 2. Relação matemática utilizada para cálculo do coeficiente de permeabilidade.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

Onde:

K = coeficiente de permeabilidade

Δh = diferença entre o nível da água inicial e o final

Δt = variação de tempo

d_1 = diâmetro entre as paredes da perfuração

h_0 = distância entre o nível da água inicial até o fundo da perfuração

d = diâmetro do fundo da perfuração

L = distância entre o fundo do revestimento e o fundo da perfuração

O valor do coeficiente de permeabilidade está sujeito a erros devido a problemas técnico. Entretanto, procurou-se executá-los minuciosamente. Uma adaptação linguística foi realizada nos intervalos de valores para adequá-los a realidade local.

3.3.5. Área de Recarga

As áreas de recarga refletem a interação entre a dinâmica das águas subterrâneas com as de superfície. São locais que possibilitam a percolação e exfiltração das águas, abastecendo o lençol freático e as nascentes. Considerando a tendência de direção das linhas de fluxo, determinadas pelo nível piezométrico, a interpretação do mapa piezométrico possibilitou identificar áreas com geometrias circulares e elipsoidais que representam as áreas de recarga.

Cabe salientar que o *software* Google Earth Pro foi manuseado para auxiliar a identificar corpos artificiais que não representam os alvos de interesse.

3.3.6. Distância de Poços e Fontes Naturais

A localização dos poços em relação aos pontos de campo foi efetuada com base nos poços cadastrados nos sistemas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e naqueles encontrados em campo. A distância em relação as residências também foram consideradas visto que não há rede hídrica na região e todas possuem captações subterrâneas. Considerando que a tabela de atributos analisa a distância em um raio de até 500 metros, foi utilizado o *software* Google Earth Pro para mapear corpos d'água com possibilidade de serem diagnosticados como afloramentos do lençol freático que posteriormente foram diagnosticados em campo. Uma adaptação dos valores foi realizada para englobar as distâncias entre 301 a 500 m, excluídas pelo método de Zuquette (1993).

3.3.7. Drenabilidade

A drenabilidade pode ser entendida como a facilidade de retirar o excesso de água do solo. Em outras palavras, corresponde a susceptibilidade a dessaturação hídrica. A variável depende da porosidade e da permeabilidade, consequências da estrutura cristalina dos minerais que compõem o material. Dessa forma, a inferência

granulométrica obtida pela descrição visual tátil descrita anteriormente permite estimar a facilidade de percolação dos líquidos. O termo “má”, presente no quadro de atributos, foi enquadrado nos solos com predominância de grãos de tamanho argila. Já, a expressão “boa” foi atribuída aos solos compostos majoritariamente por granulometrias iguais ou maiores que as do tamanho areia.

Quadro 5 Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos das águas. Modificado de Zuquette (1993).

Componente	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Águas	Prof. do N.A. abaixo da base poluidora (m)	> 10	6 a 9	3 a 5	0 a 2
	Direção de Fluxo Subterrâneo	1	1	2 ou 3	Diversos
	Escoamento Superficial	Laminar	Laminar (baixo)	Laminar (alto)	Concentrado
	Infiltração (coef. de permeabilidade) (cm/s)	$< 10^{-4}$	10^{-3} a 10^{-4}	$> 10^{-3}$	$> 10^{-2}$
	Área de Recarga	Não	Não	Não	Ocorre
	Distância de Poços e Fontes Naturais (m)	> 301			< 300
	Drenabilidade	Boa	Boa	Má	Má

3.4. Processos

Os processos do relevo são diretamente influenciados pela classificação dos atributos do substrato rochoso, materiais inconsolidados, águas, relevos, clima e pelos processos antrópicos. O *Quadro 6* mostra os 3 atributos e os intervalos de valores possíveis.

3.4.1. Erosão

Assim como o escoamento superficial foi diagnosticado com base nas feições do relevo, a erosão foi investigada a partir dos aspectos geomorfológicos. Os critérios utilizados na classificação em campo envolveram os registros de remobilização do

solo acompanhados ou não pela supressão vegetal, acúmulos de sedimentos em áreas topograficamente rebaixadas e a presença de taludes, sulcos, ravinas e voçorocas. A declividade e elevação contribuíram para o enquadramento de classes, assim como os resultados dos atributos potencial de erodibilidade, camadas compressíveis, colapsibilidade e escoamento superficial.

De acordo com o *Quadro 6*, tanto a classe favorável quanto a moderada possuem mesmo enquadramento. Por isso, o termo “potencial ocorrência” foi atribuído a classe moderada. Dessa forma, foi possível investigar a erosão de forma mais compatível com a realidade observada em campo. Com o mesmo propósito, “muito intensa”, expressão referida a classe severa foi substituído por “ocorre”.

3.4.2. Movimentos de Massa

Os movimentos de massa são deslocamentos litopedológicos em superfícies inclinadas provocados pela ação da gravidade. Quando a componente paralela das tensões é superior à perpendicular, a instabilidade aumenta e o movimento ocorre em direção às porções mais baixas do terreno. Dependendo da composição do substrato e da geomorfologia, podem ser classificados em quatro grupos. Durante os trabalhos de campo, verificou-se a inclinação da vegetação e de elementos antrópicos com o intuito de constatar a presença de rastejos do solo. Os taludes e escarpas também foram observados para determinar as formas de escorregamentos planares, circulares ou em cunhas. A presença significativa de blocos e matacões associados a feições de desgaste do terreno foram utilizadas como critério para detectar a queda de rochas. Os fluxos de detritos e de lama foram identificados pela presença de solos do tipo tálus e colúvio em baixos topográficos associados a feições erosivas nas porções elevadas. A supressão vegetal foi um fator importante para auxiliar a identificar locais sujeitos a ocorrência desses fenômenos. O *software* Google Earth Pro foi utilizado para identificar essas feições em imagens de satélite, aumentando a confiabilidade dos resultados.

3.4.3. Declividade

A declividade é fundamental para o processo de delimitação das unidades de relevo, descrito anteriormente. Um mapa foi processado em porcentagem a partir de dados indiretos com auxílio de *softwares*. Identifica o grau de diferença entre os

comprimentos verticais e horizontais do terreno e possibilita enquadrar os valores aos intervalos das classes de aptidão. O mecanismo de aquisição da variável possui boa acurácia e precisão, já que o modelo digital do terreno utilizado possui resolução espacial de 2,5 metros, compatível com a escala do trabalho. Uma adaptação linguística dos intervalos foi feita para melhorar a compreensão do quadro de atributos.

Quadro 6. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos dos processos. Modificado de Zuquette (1993).

Componente	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Processos	Erosão	Não	Potencial ocorrência	Ocorre	Ocorre Intensa
	Movimentos de Massa	Não	Não	Há Potencial	Ocorre
	Declividade (%)	2 a 5	6 a 15	16 a 20	> 21

3.5. Relevô

O componente relevo conta com 4 atributos do meio físico, apresentados pelo *Quadro 7*. Seus dados foram adquiridos com base no geoprocessamento e foram ilustrados a partir de figuras e mapas.

3.5.1. Relevô

As formas de relevo são importantes tanto para a delimitação das áreas a serem amostradas quanto para a própria aplicação no quadro de atributos. Conforme descrito anteriormente, um MDT disponibilizado pelo IEDE foi utilizado para obter as formas de relevo conforme uma modificação da classificação de IPT (1981). Em campo, foi utilizado um veículo aéreo não tripulado para fotografar locais que apresentam contatos entre as unidades de relevo e verificar a confiabilidade dos dados indiretos. As imagens foram editadas com o *software* Corel Draw 2020 v.22.0.0.412 para evidenciar os limites de cada domínio. Uma modificação na

metodologia de Zuquette (1993) foi realizada para adequar o intervalo de valores a denominação da unidade de relevo.

3.5.2. Distância do Interflúvio

São altos topográficos que delimitam as bacias hidrográficas. Considerando que a área de estudo é uma microbacia hidrográfica, os limites dela representam a localização do próprio interflúvio. A distância das unidades foi mensurada com o *software* QGIS e ilustrada por meio de um mapa. Uma adaptação no intervalo de valores foi feita para eliminar a subjetividade de uma informação qualitativa transformando-a em um dado quantitativo. A classe restritiva se refere a pontos de campo situados em uma distância inferior a 10 m. Da mesma forma, a classe severa se refere a locais distantes entre 11 a 50 m, a moderada entre 51 a 100 m e favorável maiores que 101 m.

3.5.3. Zona Alagada

Uma zona alagada pode ser definida pela acumulação das águas da chuva em áreas menos elevadas que não possui relação direta com o lençol freático. Sua gênese também está relacionada a processos antrópicos. A determinação da concentração de água no terreno teve auxílio do processamento do Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI). O mapa gerado ressalta as feições de água existentes na área. Cabe salientar que o *software* Google Earth Pro foi manuseado para identificar os corpos artificiais que não representam os corpos de interesse. Um mapa hidrográfico indicando a localização de cursos e corpos hídricos foi o produto resultante. Em campo, a confiabilidade da informação foi verificada por meio de registros fotográficos.

3.5.4. Zona Sujeita à Inundação

Diferentemente das zonas alagadas, as de inundações têm relação direta com o lençol freático. Ocorrem quando há exfiltração hídrica subterrânea. Levando em conta que o Arroio Pesqueiro é o curso hídrico de menor ordem na microbacia, a delimitação da planície aluvial a partir do processamento do mapa geomorfológico evidenciou os locais submetidos ao afloramento do lençol freático. Logo, as zonas sujeitas a inundação ocorrem no domínio no Sistema Laguna-Barreira I, na Planície

Aluvial. Devido a indisponibilidade do histórico de vazões e inundações do Arroio Pesqueiro, não foi possível equacionar o tempo de retorno (TR). Dados referentes a bacias hidrográficas maiores levam em conta cursos d'água de ordem menores e, portanto, não são representativos para a escala da pesquisa. Logo, a ocorrência foi classificada como severa e restritiva simultaneamente.

Quadro 7. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do relevo. Modificado de Zuquette (1993).

Componentes	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Relevo	Relevo	Colinoso	Morro com encostas suavizadas	Encostas	Morros
					Planície Aluvial
	Distância do Interflúvio (m)	> 101	51 a 100	11 a 50	< 10
	Zona Alagada	Não	Não	Não	Ocorre
	Zona Sujeita a Inundação (anos)	Não	Não	TR > 20	TR < 20

3.6. Clima

A pesquisa envolvendo o componente clima contou com o acervo de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Atlas Climático do Rio Grande do Sul (CEMETRS, 2011). O valor obtido foi considerado como uma constante para toda a área de estudo e foi classificado de acordo com as considerações do *Quadro 8*.

3.6.1. Evapotranspiração

O valor da evapotranspiração foi atribuído de acordo com o mapa de evapotranspiração potencial do Atlas Climático do Rio Grande do Sul (CEMETRS, 2011). Ele registra uma variação anual de 700 a 1000 mm. Dessa forma, quatro intervalos de mesmo valor entre esses extremos foram adaptados visando eliminar a subjetividade do dado qualitativo e para classificar as unidades (*Quadro 8*). A classe favorável foi atribuída ao valor superior a 925 mm. Moderada entre 924 e 850 mm, severa entre 849 e 775 mm e restritiva inferior a 774 mm.

3.6.2. Direção dos Ventos

A única classe que apresenta valores é a restritiva. A direção dos ventos só pode ser classificada se for para o centro do vedado (*Quadro 8*). Como o aterro não foi construído e não foi possível ter acesso a um projeto que indique a localização exata do aterro dentro da poligonal delimitada, esse atributo foi descartado.

3.6.3 Pluviosidade

A pluviosidade foi classificada de acordo com o mapa de precipitação pluviométrica do Atlas Climático do Rio Grande do Sul (CEMETRS, 2011). A variação anual no estado é de 1100 a 2000 mm. Esses dois números foram utilizados como extremos para delimitar quatro intervalos de mesmo valor para adaptar a classificação e eliminar a subjetividade do dado qualitativo (*Quadro 8*). A classe favorável foi atribuída ao valor menor que 1325 mm. Moderada entre 1326 e 1549 mm, severa entre 1550 e 1774 mm e restritiva superior a 1775 mm.

Quadro 8. Relação entre intervalo de valores e classes de aptidão dos atributos do clima. O retângulo em vermelho destaca a variável não abordada. Modificado de Zuquette (1993).

Componentes	Atributos	Classes			
		Favorável	Moderada	Severa	Restritiva
Clima	Evapotranspiração (mm)	> 925	924 a 850	849 a 775	< 774
	Direção dos Ventos				Para o centro vedado
	Pluviosidade (mm)	<1325	1326 a 1549	1550 a 1774	> 1775

4 RESULTADOS

4.1. Geomorfologia

O Mapa Geomorfológico (*Mapa 5*) foi elaborado a partir de modificações nos intervalos e nomenclaturas da classificação do relevo de IPT (1981), adotada no mapeamento de Saraiva (1995). Inicialmente, o método foi aplicado respeitando todos os princípios. Contudo, durante a averiguação do relevo em campo, foi possível concluir que não há plena compatibilidade com a configuração geomorfológica da área. Próximo ao curso do Arroio Pesqueiro, identificou-se um terreno com as menores elevações e declividades praticamente nulas condizente com os domínios da Laguna I, do Sistema Laguna-Barreira I (SLBI) (CPRM, 2005). O relevo planície aluvial sequeiro foi delimitado pelo *software*, pois IPT (1981) o define com declividade inferior a $< 5\%$ e elevação menor que 10 m, valores inexistentes na microbacia. As demais unidades também tiveram o seu intervalo de valores alterados para tornar a classificação mais verossímil. Outra unidade descrita em IPT (1981) é o relevo de morrotes, classificada como um dos domínios geomorfológicos na área. No entanto, em campo verificou-se que não se enquadram num contexto de aumento relativo das elevações e declividades em relação ao terreno adjacente. Representam, por outro lado, o aumento da declividade do relevo de morro com encostas suavizadas ou a diminuição da elevação do relevo de morros. Logo, a nomenclatura foi modificada, adotando o termo relevo de encostas.

O *Mapa 5* evidencia que a Barreira I, do SLBI, contém os relevos de morro, morro com encosta suavizada, encosta e colinoso. O relevo de morros coincide com as porções mais elevadas das colinas, forma de relevo predominante desse domínio. A altitude elevada em relação à Laguna I, associada a baixas declividades, são as características predominantes dos depósitos eólicos, representados pelo relevo de morro com encostas suavizadas. O relevo de encostas caracteriza as baixas elevações e altas declividades, originada pela dissecação do relevo devido ao agente fluvial. A transição entre a Barreira I e a Laguna I é delimitada por uma extensa área com elevações e declividades baixas, porém superiores à planície aluvial. Essa área de acúmulo hídrico e sedimentar proveniente do embasamento granítico e do depósito eólico possui as menores declividades e elevações da microbacia.

A geomorfologia da Suíte Granítica Dom Feliciano (SGDF) é marcada por um relevo altimetricamente maior que o do Sistema Laguna-Barreira I. O relevo de morros

se concentra mais próximo ao interflúvio. Em direção ao Arroio Pesqueiro, a diminuição da elevação é marcada pelo relevo de morro com encostas suavizadas. Em algumas zonas, há áreas com declive acentuado, porém distantes dos limites da microbacia. Coincidem com o relevo de encosta e estão intrinsecamente relacionadas à atividade antrópica, visto que existem inúmeras pedreiras abandonadas ao longo desse domínio. O relevo colinoso não representa necessariamente o contato da SGDF com a Laguna I. Também estão relacionados à dissecação do relevo de morro com encostas suavizadas.

As delimitações das unidades de relevo indicaram as primeiras heterogeneidades da Microbacia do Arroio Pesqueiro e, juntamente com os domínios geológicos, foram critérios estabelecidos para determinar as áreas-chave.

4.2. Pontos de Campo

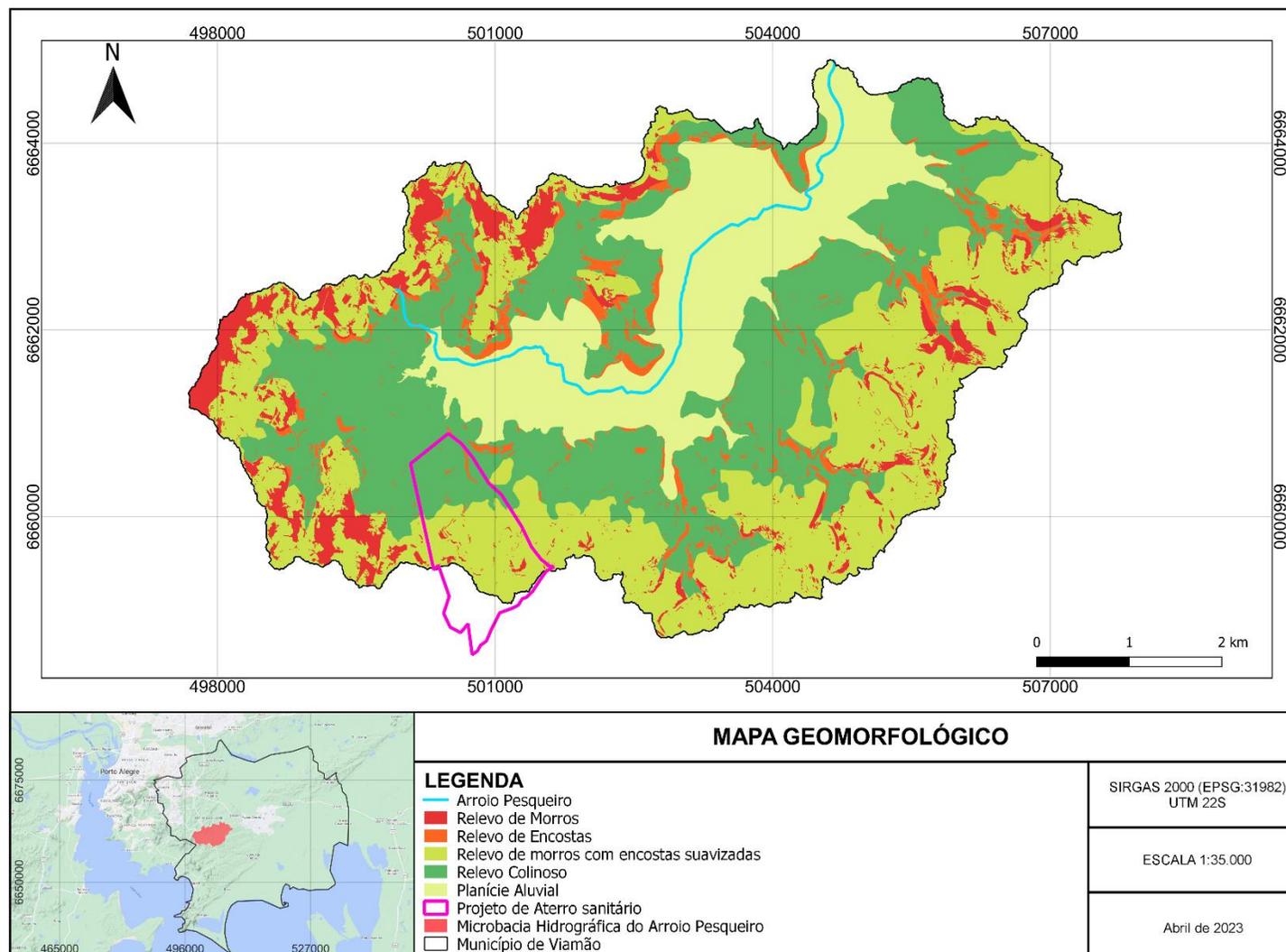
A investigação em campo fundamentou-se em coletar dados diretos em diferentes domínios geológicos (*Mapa 2*) e geomorfológicos (*Mapa 5*) com o intuito avaliar as heterogeneidades do terreno. Parte dos atributos do meio físico (Zuquette, 1993) foi coletada em 52 locais diferentes distribuídos de forma irregular (*Mapa 6*). Devido às dificuldades de acesso em determinados locais, os setores W, E e N-NE possuem uma densidade de pontos baixa em relação aos demais.

A nomenclatura adotada para representá-los envolve o domínio geológico e geomorfológico seguido da sequência numérica dos locais visitados. Por exemplo, o ponto DFRC_31 (*Mapa 6*) está inserido na Suíte Granítica Dom Feliciano, no Relevo Colinoso e foi o trigésimo primeiro lugar investigado. O SLBPA_18 foi o décimo oitavo e está na Planície Aluvial do Sistema Laguna-Barreira I.

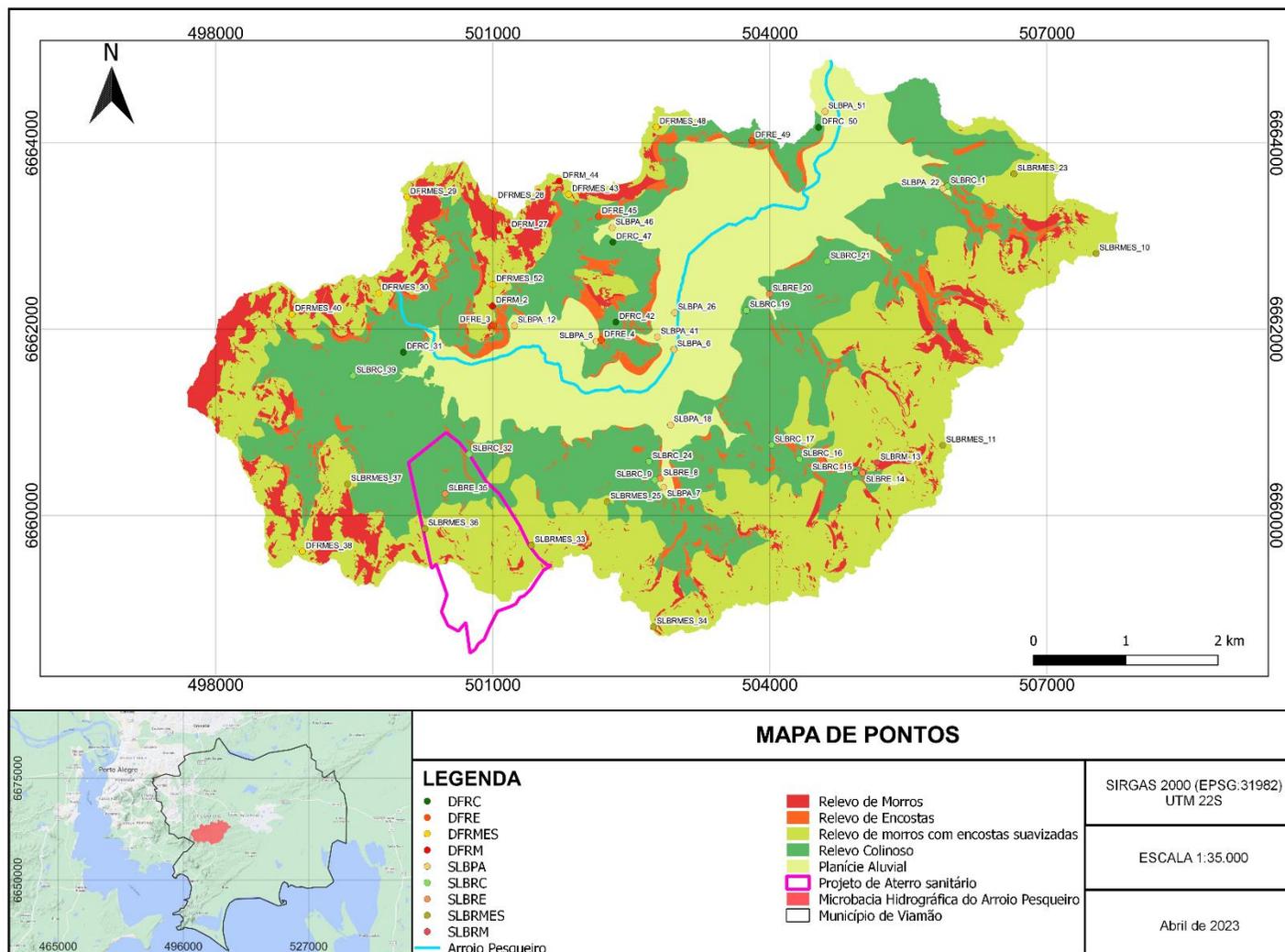
Dos 19 pontos na Suíte Granítica Dom Feliciano (DF), 4 se situam no Relevo Colinoso (RC), 4 no Relevo de Encostas (RE), 8 no Relevo de Morro com Encostas Suavizadas (RMES) e 3 no Relevo de Morros (RM).

O Sistema Laguna-Barreira I (SLB) contém 33 pontos, sendo 10 deles situados na Laguna I e correspondentes, portanto, à Planície Aluvial (PA). Os outros 23 pertencem à Barreira I, sendo o Relevo Colinoso (RC) representando 10 deles, o Relevo de Encosta (RE) 4, o Relevo de Morro com Encosta Suavizada (RMES) 8 e o Relevo de Morros (RM) foi avaliado em 1 ponto.

Mapa 5. Mapa Geomorfológico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro, elaborado a partir de modificações nos intervalos e nomenclaturas da classificação de IPT(1981).



Mapa 6. Mapa de Pontos indicando as áreas-chave investigadas em campo. A simbologia indica os domínios geológico e geomorfológico no qual pertencem. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo.



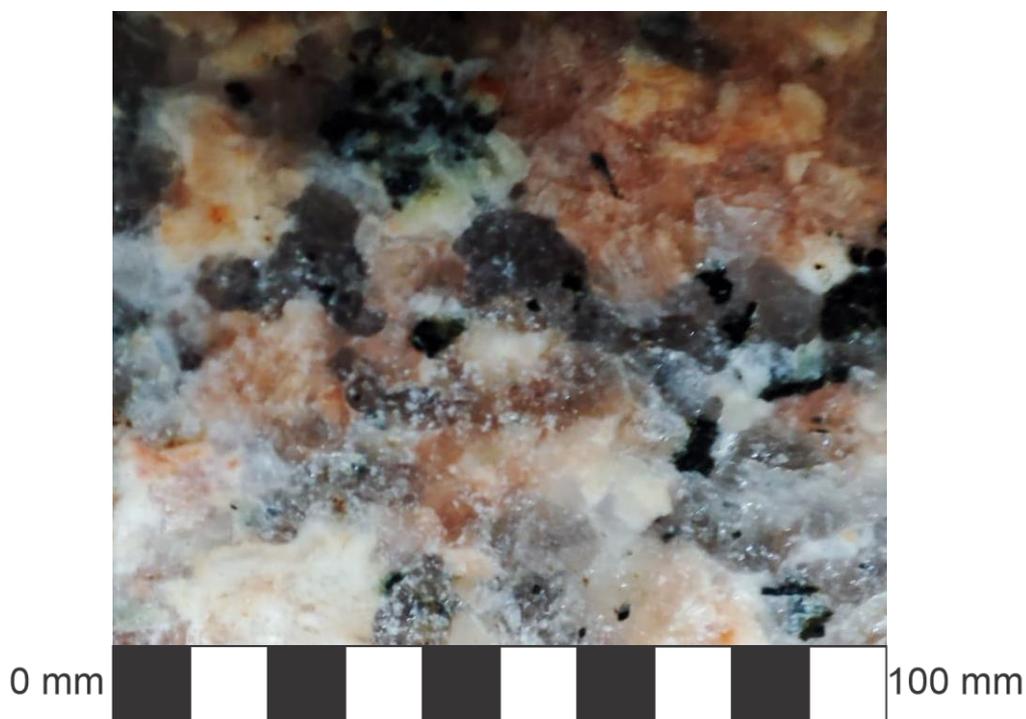
4.3. Substrato Rochoso

4.3.1. Tipo Litológico

De acordo com descrição petrográfica macroscópica de testemunhos de sondagem, o domínio da SGDF é composto por um granitoide (*Fotografia 1*) rosado disposto em corpos alongados na direção NE. Possui textura equigranular média a grossa majoritariamente composta por quartzo intersticial e k-feldspato com máficos subordinados. Considerando as adaptações feitas na classificação de Zuquette (1993), todos os pontos alocados nessa unidade geológica tiveram o tipo litológico enquadrado nas classes favorável e moderada (granito).

Os pontos de campo pertencentes aos domínios dos depósitos quaternários, representados pelos Sistemas Lagunar e Barreira I, possuem composição predominantemente formada por sedimentos arenosos (*Ilustração 1*, *Ilustração 2* e *Ilustração 3*). O seu tipo litológico foi interpretado como um arenito em processos diagenéticos precoces e, dentre as opções de Zuquette (1993), foram enquadrados na classe severa (arenito).

Fotografia 1. Testemunho de sondagem de poço tubular em aquífero fraturado evidenciando composição granítica.



4.3.2. Profundidade

Todos os pontos de campo situados nos domínios do SLBI foram enquadrados na classe restritiva (0 a 3 m), visto que ao conceber esses materiais inconsolidados como litologias em processos diagenéticos precoces, considerou-se que a superfície é composta por afloramentos rochosos.

Tendo em vista que a obtenção de dados em profundidade foi limitada ao comprimento de 1,5 m do trado manual, essa variável não pode ser diagnosticada em alguns pontos de campo pertencentes a SGDF (*Quadro 9*). Pelo mesmo motivo, os demais pontos foram enquadrados na classe restritiva (0 a 3 m), uma vez que apresentam afloramentos rochosos (*Fotografia 2*) ou foram interceptados pela sondagem.

Quadro 9. Listagem dos pontos de campo pertencentes a Suíte Granítica Dom Feliciano sem profundidade do substrato rochoso diagnosticada.

Pontos sem profundidade definida						
DFRM_44	DFRE_45	DFRMES_30	DFRMES_40	DFMES_43	DFRC_42	DFRC_47

Fotografia 2. Exemplo de afloramento rochoso no ponto DFRMES_2, situado na Suíte Granítica Dom Feliciano. O perfil pedológico possui cerca de 60 cm.



4.3.3. Densidade de Descontinuidades

Nenhum tipo de estratificação foi identificado durante as investigações no SLBI, feições possíveis de serem encontradas nesse contexto geológico. Todos os pontos de campo situados nesse domínio foram classificados com pouca densidade de descontinuidades e, portanto, na classe favorável.

Considerando que a maioria dos afloramentos rochosos na SGDF possuem dimensões de poucos metros, a densidade de descontinuidade não pôde ser diagnosticada em todos os locais. O (Quadro 10) lista os pontos sem os dados dessa variável.

A variável em litologias graníticas foi bem definida em uma pedreira abandonada, ponto DFRE_3. Foi utilizado como parâmetro relativo para determinação nos demais afloramentos. No local, foram identificadas quatro famílias de fraturas (Fotografia 3), sendo uma delas de orientação sub-horizontal e direção NW-SE, duas sub-verticais com direções WNW-ESE e NNW-SSE, além de uma oblíqua de direção SE-NW. O enfoque do levantamento foi dado a esta última devido a maior frequência. Sete fraturas tiveram seus espaçamentos mensurados em metros: 0,07; 0,06; 0,08; 0,10; 0,52; 0,55 e 0,07 em um segmento de 8 m. Possuem persistência menor que 1 m e entre 1 e 3 m com apenas 1 terminação visível. A rugosidade é ondulada e requerem mais de 1 martelada para fraturarem. A alteração é moderada e descolorida situada em aberturas menores que 0,1 mm. Aplicando a somatória do inverso dos espaçamentos (Equação 1) o valor obtido foi 10,2. Logo, o ponto DFRE_3 foi classificado como moderado. (8,1 a 16). Os demais foram enquadrados na classe favorável (0 a 8), visto que qualitativamente possuem menor frequência de fraturas.

Quadro 10. Listagem dos pontos de campo pertencentes a Suíte Granítica Dom Feliciano sem densidade de descontinuidades do substrato rochoso diagnosticada.

Pontos sem densidade de descontinuidades definida						
DFRM_44	DFRE_45	DFRMES_30	DFRMES_40	DFMES_43	DFRC_42	DFRC_47
DFRM_27	DFRE_49	DFRMES_52	DFRMES_38	DFRMES_29	DFRMES_43	DFRC_42
DFRC_47	DFRC_31					

Fotografia 3. Famílias de fraturas evidenciadas no ponto DFRE_3.



4.4. Material Inconsolidado

4.4.1. Textura

Foram coletadas amostras pedológicas (*Quadro 11*) em pelo menos um local de cada domínio geológico-geomorfológico para avaliar a predominância do tamanho dos grãos observando os processos de decantação em água com base na hidrodinâmica das partículas em um período de 24 h.

Praticamente todos os locais investigados tiveram a textura classificada como restritiva (muito arenosa) visto que, conforme a *Ilustração 1*, *Ilustração 2* e *Ilustração 3* indicam, os sedimentos de tamanho areia são predominantes em toda a microbacia. Somente os pontos SLBPA_5, SLBPA_6, SLBPA_7 e SLBPA_26 foram enquadrados na classe severa (arenosa) devido à significativa quantidade de argilas, sendo coincidentes com áreas imediatamente adjacentes ao Arroio Pesqueiro ou em zonas alagadas em decorrência da interceptação do lençol freático.

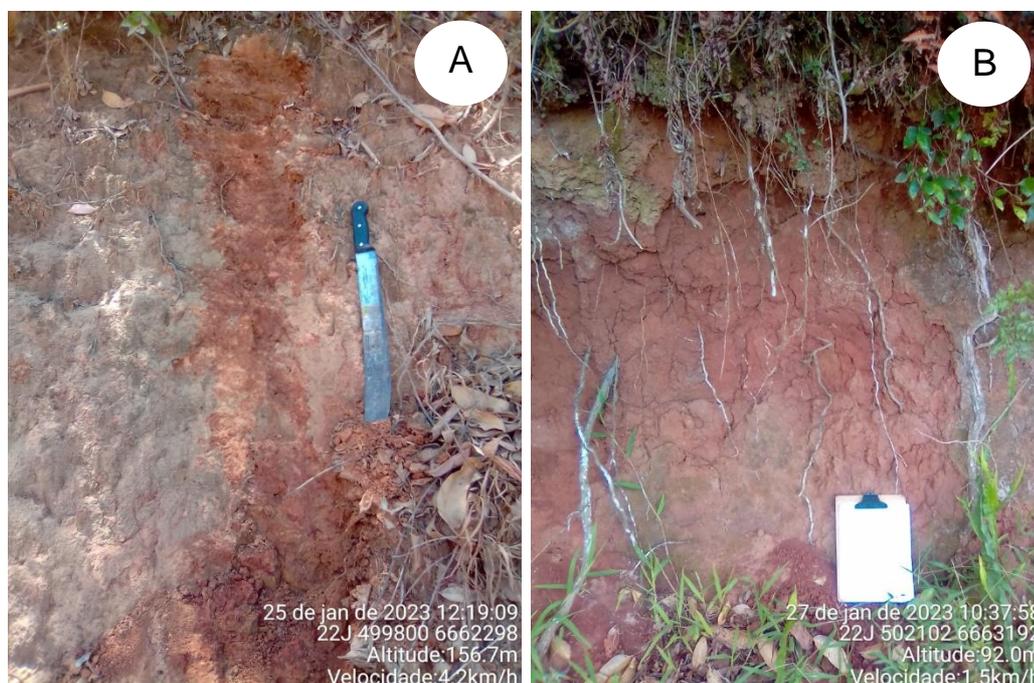
Quadro 11. Listagem dos pontos com amostras pedológicas.

Pontos com amostras pedológicas						
DFRM_27	DFRE_3	DFRMES_52	DFRC_42	SLBPA_7	SLBPA_12	SLBRC_24
SLBRMES_25	SLBRE_8	SLBRM_13				

4.4.2. Variação de Perfil

Todos os locais investigados na SGDF possuem variação de perfil homogênea. Ou seja, somente um horizonte de solo foi identificado (*Fotografia 4*). Logo, severa e restritiva (homogêneo) foram as classificações.

Fotografia 4. Exemplos de variações de perfil homogêneos. A) Ponto DFRMES_30; B) Ponto DFRE_45



No SLBI, apenas 9 pontos foram identificados com variação de solo progressiva, sendo 5 deles pertencentes à planície aluvial, 3 no relevo de morros com encostas suavizadas e 1 no relevo colinoso (*Quadro 12*). Esses locais foram classificados como favorável e moderada (progressiva).

Fotografia 5. Exemplos de variações de perfil progressiva. A) SLBPA_6 e B) SLBRC_9. O desnível entre o Arroio Pesqueiro e o topo do perfil em A) possui cerca de 2 m.



Os locais da planície aluvial com variação de perfil progressiva evidenciaram que a superfície é formada por uma camada arenosa com elevada concentração de argila e matéria orgânica (Fotografia 5; A). A base é composta por um horizonte de solo arenoso.

Tanto no relevo colinoso quanto nos morros com encostas suavizadas o topo é formado por um horizonte de solo A com elevada concentração de matéria orgânica, seguido de um horizonte de solo B (Fotografia 5; B).

Quadro 12. Listagem de pontos contendo variação de perfil progressiva.

Pontos com variação de perfil progressiva						
SLBPA_26	SLBPA_6	SLBPA_7	SLBPA_12	SLBPA_41	SLBRMES_37	SLBRMES_10
SLBRMES_11	SLBRC_9					

4.4.3. Mineralogia

O relevo de morros da SGDF é composto por material inconsolidado de coloração amarelo acastanhado, plasticidade e cerosidade muito baixa, infiltração muito alta que caracterizam sedimentos com tamanho predominantemente de areia fina a média, moderada areia muito grossa e não contém argila.

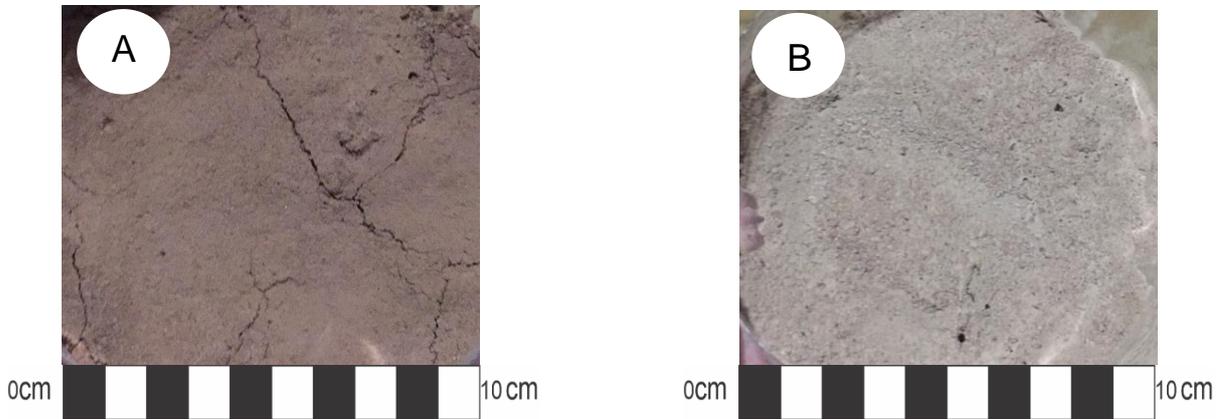
O solo do relevo de encostas possui coloração marrom avermelhado, plasticidade média, cerosidade baixa a média, infiltração alta e sedimentos de tamanhos variados em proporções semelhantes, de areia fina a média até areia grossa e argila.

A coloração do solo no relevo de morros com encostas suavizadas é marrom amarelada, sua plasticidade é média a baixa, a cerosidade é muito baixa e a infiltração muito alta. A granulometria é majoritariamente composta por areia fina a média com baixa quantidade de areia grossa e argila.

Os materiais inconsolidados do relevo colinoso possuem plasticidade média a alta, cerosidade baixa a média, infiltração muito alta e coloração marrom amarelada. Os sedimentos são compostos majoritariamente por areia fina a média, moderadamente por argila e não contém areia grossa.

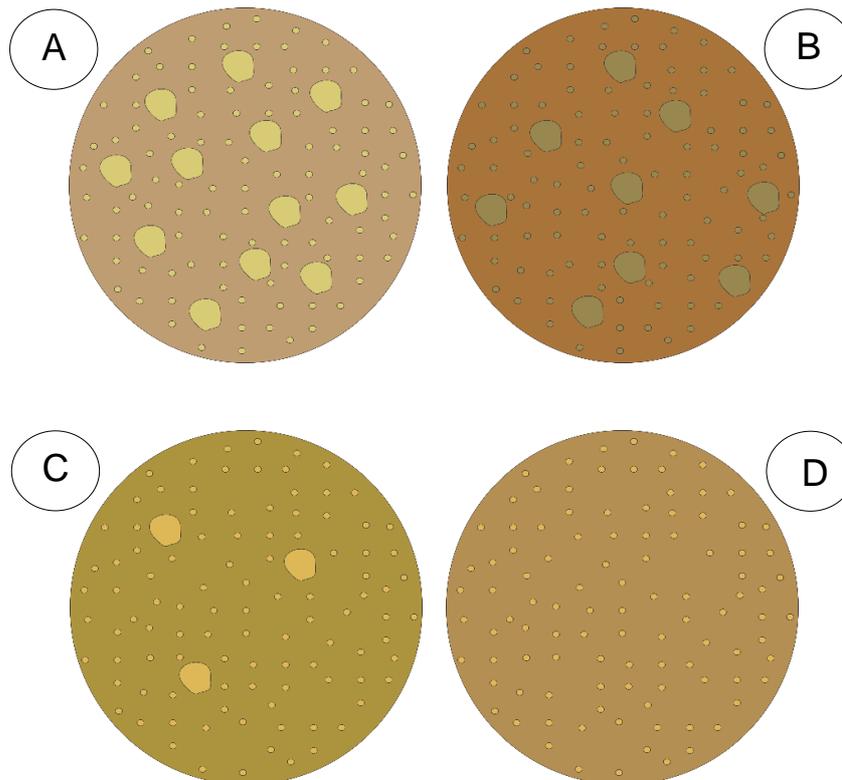
A mineralogia de todos os pontos contidos na SGDF foi enquadrada na classe restritiva (alta % de inertes), já que possuem elevada concentração de quartzo. Contudo, os locais investigados no relevo de encostas foram concomitantemente enquadrados nas classes favorável (tipo 2:1) e moderada (tipo 1:1) visto que, conforme a descrição acima e a *Fotografia 6; A*, argilas expansivas e não expansivas foram diagnosticadas. Devido à elevada quantidade de argila identificada no relevo colinoso, porém não expansiva (*Fotografia 6; B*), a classificação moderada (tipo 1:1) também foi atribuída aos pontos dessa unidade.

Fotografia 6. Amostras contendo argila expansiva (A) e não expansiva (B).



Um modelo retratando a heterogeneidade pedológica da SGDF com base na geomorfologia é apresentado na *Ilustração 1*. Os círculos maiores representam areia grossa, os menores areia fina a média e a argila é simbolizada pela coloração de fundo.

Ilustração 1. Modelo pedológico representativo da Suíte Granítica Dom Feliciano dos relevos de morros (A), encostas (B), morros com encostas suavizadas (C) e colinoso (D).



Na Laguna I, foi possível identificar dois solos distintos. Um deles possui coloração cinza escuro, contém plasticidade muito alta, cerosidade e infiltração moderada e sua granulometria é composta por elevada quantidade de areia muito fina e argilas expansíveis (*Fotografia 7*). Foi encontrado em locais imediatamente adjacentes ao Arroio Pesqueiro, caso dos pontos SLBPA_6 e SLBPA_26, ou próximo a zonas alagadas em decorrência da afloração do lençol freático, situação de SLBPA_5 e SLBPA_7. A principal característica que o diferencia do outro é o hidromorfismo. Foram classificados como restritivo (alta % de inertes), devido ao elevado volume de quartzo e favorável (tipo 2:1).

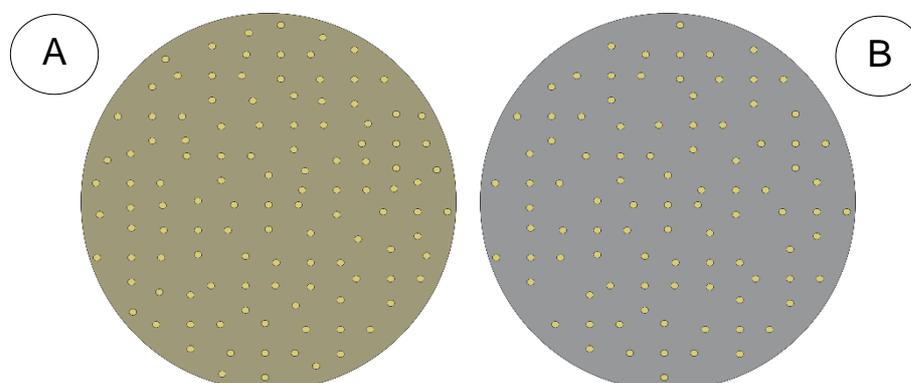
O outro solo, não hidromórfico, possui coloração cinza escuro amarelado, plasticidade média, cerosidade baixa, infiltração média e mineralogia composta por areia fina a média e argilas não expansíveis. Foram enquadrados concomitantemente nas classes moderada (tipo 1:1) e restritiva (alta % de inertes).

Com base nos mesmos princípios simbólicos adotados no modelo anterior, a *Ilustração 2* retrata a heterogeneidade pedológica da Laguna I.

Fotografia 7. Amostra de solo hidromórfico insaturado da Laguna I (SLBPA_7).



Ilustração 2. Modelo pedológico representativo da Laguna I, coincidente com a planície aluvial. Apresentação de solo não hidromórfico (A) e hidromórfico (B).



De modo geral, os solos na Barreira I são majoritariamente compostos por areia fina, não possuem areia grossa e variação na quantidade de argila (*Fotografia 8*). O ponto investigado no relevo de morros apresenta coloração cinza claro amarelado, infiltração muito alta, baixíssima plasticidade, não apresenta cerosidade e não contém argila.

O relevo de morros com encostas suavizadas é composto por material inconsolidado de coloração marrom escuro amarelado, plasticidade e cerosidade muito baixa ou inexistente, infiltração muito alta e ausência de argila.

A coloração do solo presente no relevo de encostas é marrom claro amarelado, sua plasticidade é média a baixa, a cerosidade é baixa, infiltração muito alta e quantidade insignificante de argila.

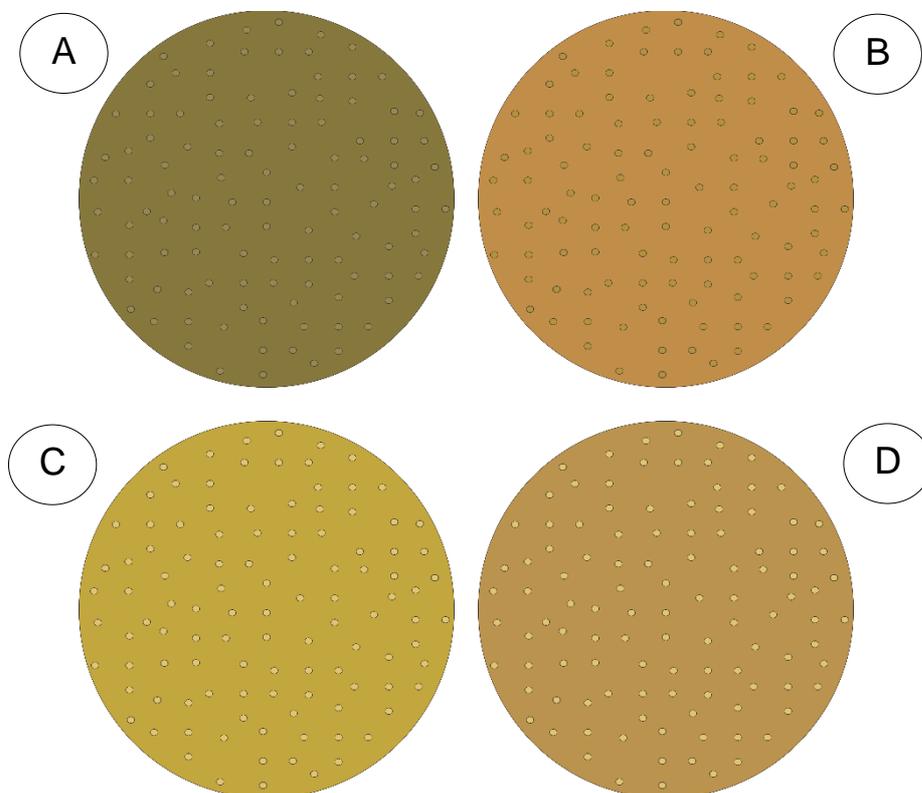
Por fim, a pedologia do relevo colinoso se caracteriza por baixa a média plasticidade, cerosidade muito baixa, infiltração muito alta, coloração marrom escuro amarelado e possui quantidade irrelevante de argila.

Fotografia 8. Amostra de solo com alta porcentagem de inertes



Dessa forma, considerando a composição predominantemente quartzosa, a classificação da mineralogia na Barreira I foi classificada como restritiva (alta % de inertes). A heterogeneidade pedológica da Barreira I considerando os mesmos pressupostos das ilustrações anteriores (*Ilustração 1* e *Ilustração 2*) é representada pela *Ilustração 3*.

Ilustração 3. Modelo pedológico representativo da Barreira I para os relevos de morros (A), encostas (B), morros com encostas suavizadas (C) e colinoso (D).



4.4.4. Presença de Matacões

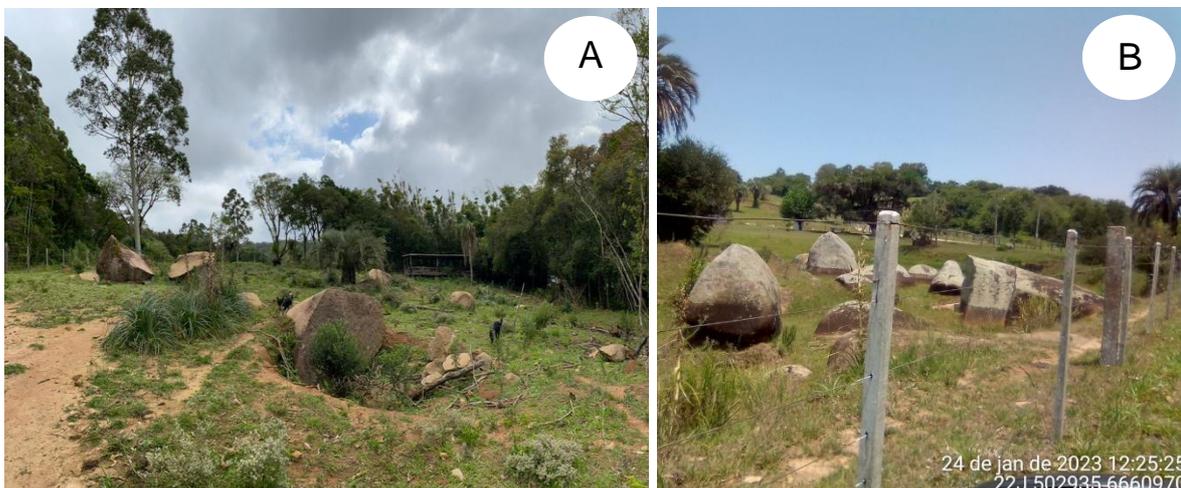
A presença de matacões no SLBI foi predominantemente enquadrada na classe favorável (< 3 com diâmetro < 1 m). Somente em 3 pontos situados na planície aluvial foram classificados como restritivos (> 10 com diâmetro > 1 m): SLBPA_18 (*Fotografia 9; A*), SLBPA_51 e SLBPA_46. O primeiro se localiza próximo a Barreira I e os outros dois próximos ao domínio da SGDF (*Mapa 6*).

Na SGDF, somente 4 pontos foram classificados como favorável (< 3 com diâmetro < 1 m). Um deles pertence ao relevo colinoso (DFRC_47), outro ao relevo de encostas (DFRE_45) e os demais no relevo de morros com encostas suavizadas (DFRMES_40 e DFRMES_30).

Apenas o ponto DFRC_31 teve sua classe enquadrada como moderada (entre 3 e 9 com diâmetro < 1m).

Os demais locais investigados na SGDF foram classificados como restritivo (> 10 com diâmetro > 1 m) (*Fotografia 9; B*).

Fotografia 9. Campos de matacão com mais de 10 unidades de diâmetro superior a 1 m. A) Ponto DFE_4; B) Ponto SLBPA_18



4.4.6. Camadas Compressíveis

A totalidade dos locais investigados na SGDF foi enquadrada na classe favorável e moderada (não ocorre).

No SLBI praticamente todos os pontos foram classificados como favorável (não ocorre). A exceção ocorreu onde houve constatação de solo hidromórfico, caso de SLBPA_5, SLBPA_6, SLBPA_7 e SLBPA_26, classificados como severa (ocorre em superfície).

Cabe ressaltar que a investigação da variável se limitou ao comprimento do trado mecânico.

4.4.7. Colapsibilidade/Expansibilidade

Nenhuma camada com propensão à colapsibilidade foi identificada, tanto na SGDF quanto no SLBI. A limitação do comprimento do trado mecânico impôs dificuldades na análise dessa variável também.

4.4.8. Potencial de Erodibilidade

O geoprocessamento da compilação de dados em escala 1:250.000 disponibilizados pela Embrapa Solos resultou no *Mapa 7*. É possível observar que a classe severa se concentra e destaca a SGDF. Ela também é associada com zonas restritivas. A rede de drenagem é evidenciada pelas classes moderada e favorável.

No SLBI a classe severa ocorre somente no contato da Barreira I com a Laguna I. A rede de drenagem é destacada pela classe restritiva e o restante do domínio é praticamente preenchido pelas classes favorável e moderada.

4.5. Águas

4.5.1. Profundidade do nível da água abaixo da base poluidora

O lençol freático na Laguna I é raso em toda planície aluvial e, inclusive aflora em locais onde há presença de solo hidromórfico. Logo, os pontos de campo foram classificados como restritivos (0 a 2 m).

A definição da variável ao longo da Barreira I foi definida a partir dos dados de poços disponibilizados por moradores. Por essa razão, boa parte dos pontos de campo não tiveram a profundidade do nível da água abaixo da base poluidora diagnosticado, caso do ponto situado no relevo de morros.

Nos relevos de encostas, somente 1 local foi classificado como favorável (> 10 m). Somente 2 pontos de campo foram enquadrados como favorável (> 10m) no relevo de morros com encostas suavizadas.

Três pontos puderam ser investigados no relevo colinoso. Um deles (SLBRC_21) foi classificado como favorável (> 10 m) e os outros dois como restritivo (0 a 2 m).

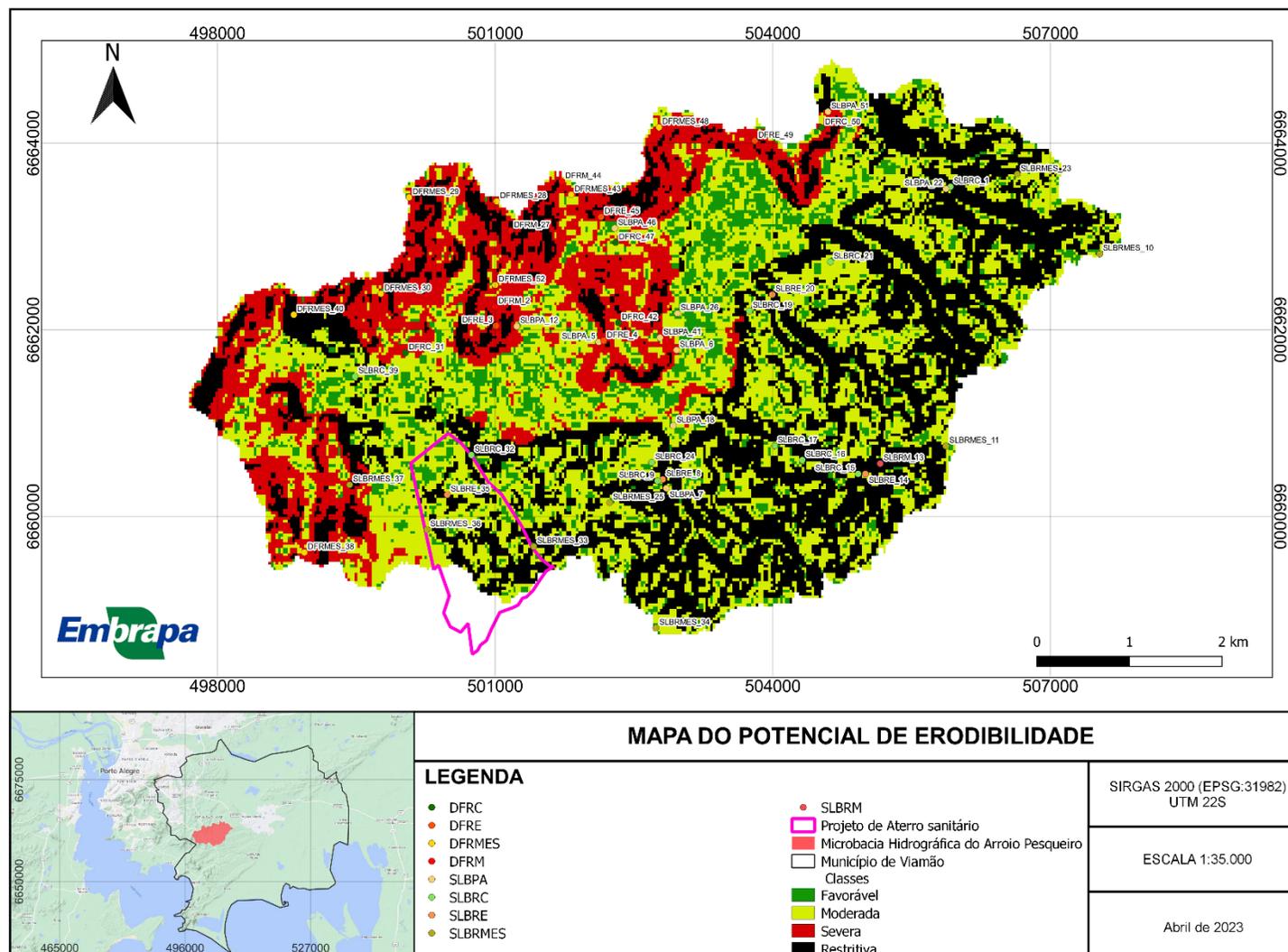
O Quadro 13 ilustra os pontos com profundidade do nível da água abaixo da base poluidora definida para os pontos de campo situados na Barreira I.

Quadro 13. Listagem de pontos pertencentes a Barreira I com profundidade do nível da água abaixo da base poluidora definida.

Pontos da Barreira I com profundidade do NA diagnosticada					
SLBRC_21	SLBRC_1	SLBRC_17	SLRMES_34	SLRMES_11	SLBRE_20

Na SGDF o atributo foi definido com base em dados de sondagens a trado e considerando que presença de afloramentos litológicos implica localização do nível da água inferior a 2 m de profundidade. Também houve dificuldade determinar a variável em todos os locais investigados.

Mapa 7. Classificação do Mapa do Potencial de Erodibilidade da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. Modificado de Embrapa Solos, escala 1:250.000 gerado a partir do Mapa de Erosividade das Chuvas do Brasil (Embrapa Solos), do Mapa de Erodibilidade do Brasil e do MDT de 30 m de resolução espacial (SRTM/NASA), 2020. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo.



No relevo de morros, 2 dos 3 pontos de campo foram classificados na classe restritiva (0 a 2 m).

Dois locais situados no relevo de morro com encostas suavizadas não foram possíveis de serem classificados. 1 ponto (DFRMES_30) foi enquadrado na classe favorável (> 10m) e 5 na restritiva (0 a 2m).

O relevo de encostas possui classificação em 3 dos 4 pontos. Todos foram enquadrados na classe restritiva (0 a 2 m).

No relevo colinoso, foi identificado um ponto (DFRC_31) condizente com a classe favorável (> 10 m) e outro (DFRC_50) na restritiva (0 a 2 m). Dois pontos não foram classificados.

O *Quadro 14* ilustra os pontos com profundidade do nível da água abaixo da base poluidora definida para os pontos de campo situados na SGDF.

Quadro 14. Listagem de pontos pertencentes a Suíte Granítica Dom Feliciano com profundidade do nível da água abaixo da base poluidora definida.

Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com profundidade do NA diagnosticada					
DFRC_31	DFRC_50	DFRM_2	DFRM_27	DFRE_49	DFRE_4
DFRE_3	DFRMES_28	DFRMES_29	DFRMES_38	DFRMES_52	DFRMES_48
DFRMES_30					

4.5.2. Direção de Fluxo Subterrâneo

A direção de fluxo subterrâneo do lençol freático da SGDF foi determinada com base no processamento de um mapa de declividade angular, visto que é a variável com grande influência e a que proveu melhor resolução das informações diante das limitações. O *Mapa 8* evidencia que 9 locais investigados possuem 1 direção de fluxo subterrâneo (classes favorável e moderada), 4 pontos têm 2 direções (classe severa) e 6 deles possuem 3 direções (classe severa). O *Quadro 15* apresenta os pontos e os respectivos resultados.

Quadro 15. Apresentação dos pontos e suas respectivas direções de fluxo subterrâneo situados na Suíte Granítica Dom Feliciano.

Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com 1 direção de fluxo subterrâneo					
DFRMES_40	DFRMES_30	DFRM_27	DFRMES_52	DFRM_44	DFRMES_43
DFRC_47	DFRC_42	DFRC_50			
Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com 2 direções de fluxo subterrâneo					
DFRC_31	DFRMES_29	DFRMES_28	DFRE_49		
Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com 3 direções de fluxo subterrâneo					
DFRMES_38	DFRM_2	DFRE_3	DFRE_45	DFRE_4	DFMES_48

A direção de fluxo subterrâneo do SLBI foi determinada com base na compilação de dados do Mapa Potenciométrico do Aquífero Coxilha das Lombas (COLLISCHONN et. al. 2022). O *Mapa 9* evidencia que a maioria dos pontos de campo, com exceção de 4 pontos do relevo de morro com encostas suavizadas, possuem 1 direção de fluxo subterrâneo (classes favorável e moderada).

Somente um local investigado (SLBRMES_10) possui 2 direções de fluxo subterrâneo (classe severa).

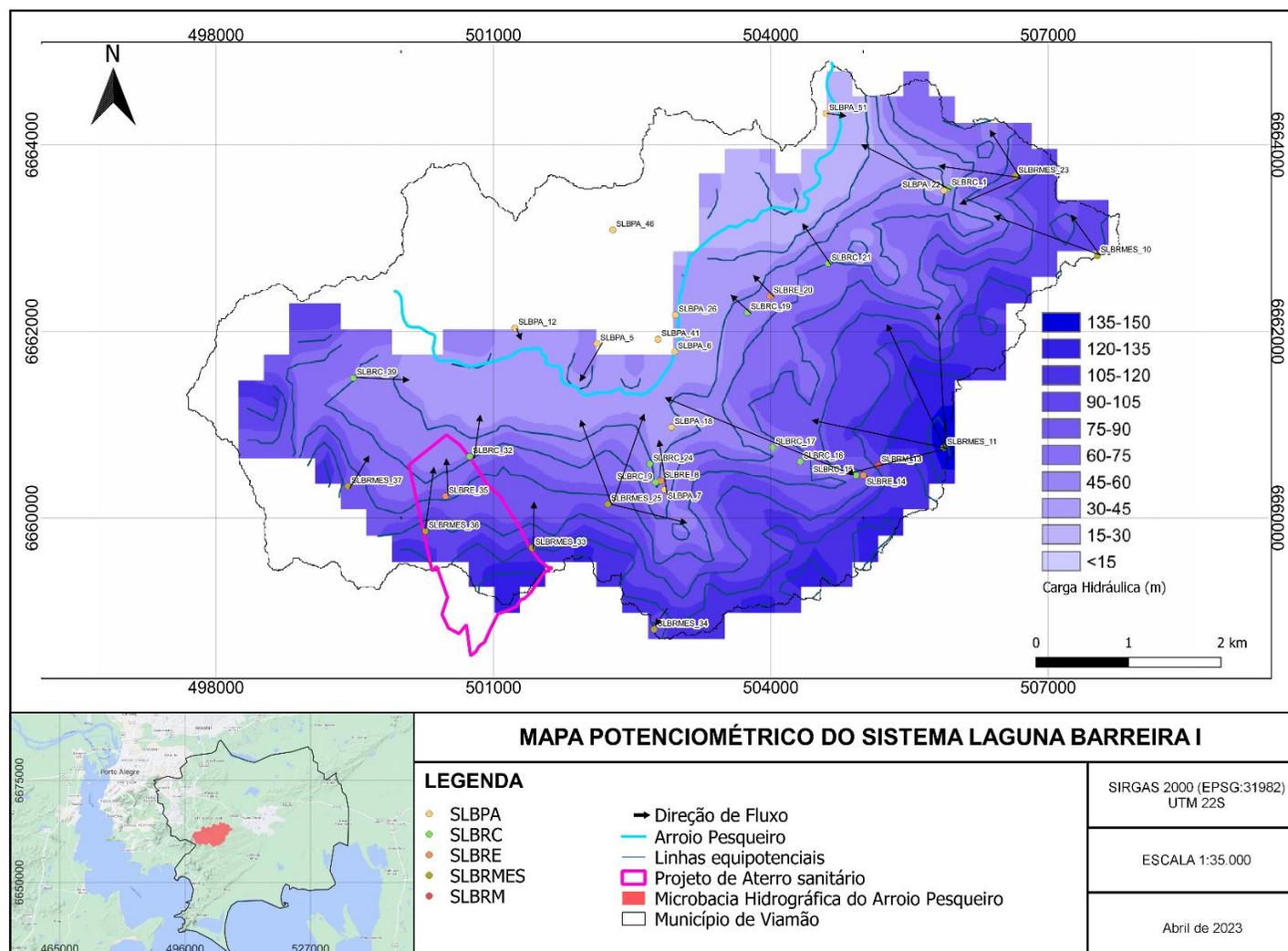
SLBRMES_25 e SLBRMES_23 possuem 3 direções de fluxo subterrâneo e, portanto, foram enquadrados na classe severa.

O ponto SLBRMES_41 possui 4 direções de fluxo subterrâneo, sendo classificado como restritivo (diversos).

4.5.3. Escoamento Superficial

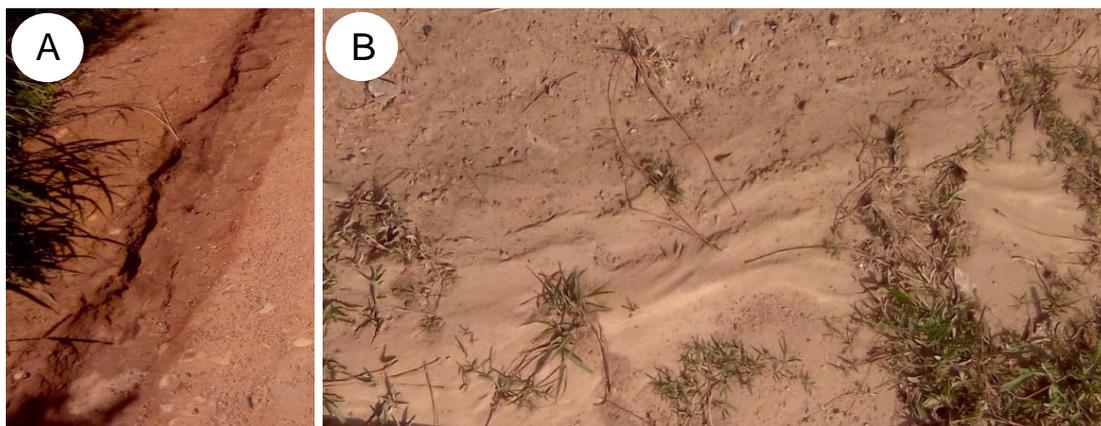
O escoamento superficial na SGDF é predominantemente concentrado (classe restritiva), com exceção de 4 pontos de campo situados em declividades menos acentuadas. Um deles (DFRMES_40) situa-se no relevo de morros com encostas suavizadas e foi classificado como severo (laminar alto).

Mapa 9. Mapa Potenciométrico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro no Sistema Laguna-Barreira I. Elaborado pela compilação de dados do Mapa Potenciométrico do Aquífero Coxilha das Lombas (COLLISCHONN et. al. 2022), geoprocessado com MDT de 2,5 metros de resolução espacial disponibilizado pelo IEDE. As setas não são vetores e, portanto, não indicam velocidade de fluxo. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo.



Os demais situam-se no relevo colinoso, sendo DFRC_47 o único que possui escoamento superficial laminar e, portanto, classificado como favorável. DFRC_42 e DFRC_31 foram enquadrados na classe severa (laminar alto). A Fotografia 10 ilustra a diferença nas feições de relevo.

Fotografia 10. Representação do escoamento superficial concentrado (A) e laminar alto (B).



Na Barreira I, o predomínio do escoamento superficial também é concentrado (classe restritiva). Os locais investigados no relevo de morros, morros com encostas suavizadas e de encostas se encaixam nesse contexto.

No entanto, existem zonas laminares e laminares altas (classe severa). Caso de 4 pontos de campo situados no relevo colinoso.

A maior heterogeneidade reside na Laguna I, visto que a planície aluvial apresenta 4 locais com escoamento superficial concentrado, 1 com laminar alto e 5 pontos laminares.

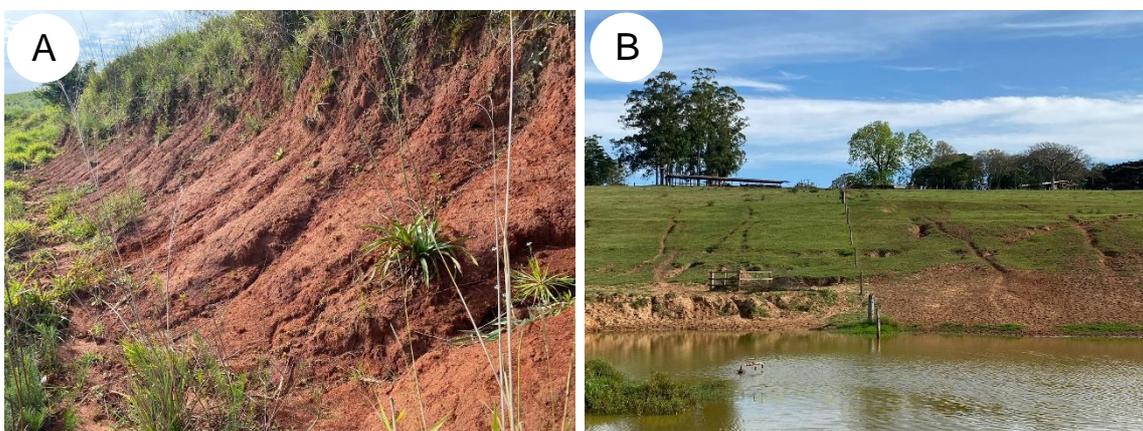
O Quadro 16 ilustra os pontos que não foram classificados na classe restritiva.

Quadro 16. Listagem de pontos com escoamento superficial não enquadrado na classe restritiva.

Pontos com escoamento superficial laminar alto (classe severa)						
DFRMES_40	DFRC_42	DFRC_31	SLBRC_21	SLBRC_19	SLBRC_24	SLBRC_32
SLBPA_26						
Pontos com escoamento superficial laminar (classe favorável)						
SLBPA_12	SLBPA_6	SLBPA_5	SLBPA_22	SLBPA_7		

Importante salientar que essa variável é diretamente influenciada pela ação antrópica. A *Fotografia 11* retrata dois locais em que o relevo é afetado pela atividade agrossilvipastoril, responsável por favorecer o desenvolvimento de sulcos e até voçorocas no terreno. Logo, sujeitam as áreas para a classe restritiva.

Fotografia 11. Retrato da influência da atividade agrossilvipastoril na formação de feições erosivas em talude (A) e área de pastagem com deformação (linhas horizontais) e erosão linear (transversal à deformação) (B).



4.5.4. Infiltração

A realização dos ensaios de permeabilidade foi realizada nos mesmos pontos em que amostras pedológicas foram coletadas (*Quadro 11*). Tanto nas unidades geomorfológicas da SGDF quanto na Barreira I, os valores do coeficiente de permeabilidade foram enquadrados na classe restritiva ($> 10^{-2}$ cm/s), com exceção do ponto situado no DFRE, considerado como uma anomalia por pertencer a classe severa ($> 10^{-3}$ cm/s). O memorial de cálculos a seguir apresenta a aplicação da *Equação 2* para o relevo de morros (*Equação 3*), de morros com encostas suavizadas (*Equação 4*), de encostas (*Equação 5*) e colinoso (*Equação 6*), localizados na SGDF. A *Equação 7*, *Equação 8*, *Equação 9* e *Equação 10* expõem os resultados do coeficiente de permeabilidade para os relevos de morros, morros com encostas suavizadas, encostas e colinoso situados na Barreira I, respectivamente. A *Equação 11* expõe os cálculos de infiltração para o solo hidromórfico da Laguna I e a *Equação 12* para o solo não hidromórfico.

Relembrando que:

K = coeficiente de permeabilidade

Δh = diferença entre o nível da água inicial e o final

Δt = variação de tempo

d_1 = diâmetro entre as paredes da perfuração

h_0 = distância entre o nível da água inicial até o fundo da perfuração

d = diâmetro do fundo da perfuração

L = distância entre o fundo do revestimento e o fundo da perfuração

Equação 3. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 48 / 900 \times 15^2 / 8 \times 50 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 7,7 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 4. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros com encostas suavizadas pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 88 / 3600 \times 15^2 / 8 \times 60 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 1,7 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 5. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de encostas pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 41 / 3600 \times 15^2 / 8 \times 80 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 9,97 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 6. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo colinoso pertencente a Suíte Granítica Dom Feliciano.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 99 / 5940 \times 15^2 / 8 \times 100 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 1,1 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 7. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros pertencente a Barreira I.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 100 / 660 \times 15^2 / 8 \times 70 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 1,5 \times 10^{-1} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 8. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de morros com encostas suavizadas pertencente a Barreira I.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 60 / 2280 \times 15^2 / 8 \times 60 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 3,1 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 9. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo de encostas pertencente a Barreira I.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 100 / 2280 \times 15^2 / 8 \times 50 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 6,2 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 10. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade no relevo colinoso pertencente a Barreira I.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 98 / 3600 \times 15^2 / 8 \times 100 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 1,9 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 11. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo hidromórfico pertencente à Laguna I.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 5 / 3600 \times 15^2 / 8 \times 100 \sqrt{15} \times 0,01 \quad (2)$$

$$K = 1,08 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \quad (3)$$

Equação 12. Desenvolvimento matemático para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solo não hidromórfico pertencente à Laguna I.

$$K = \Delta h / \Delta t \times d_1^2 / 8 \times h_0 \sqrt{d} \times L \quad (1)$$

$$K = 40 / 1800 \times 15^2 / 8 \times 57 \times 37 \quad (2)$$

$$K = 1,81 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \quad (3)$$

4.5.5. Área de Recarga

As áreas de recarga foram definidas com base na interpretação do Mapa Potenciométrico do SLBI e da Declividade Angular indicando provável direção de fluxo do lençol freático (*Mapa 8 e Mapa 9*). Os pontos de campo associados a área de recarga foram classificados como restritivos (ocorre). Caso contrário, foram enquadradas como favorável, moderada e severa (não ocorre) simultaneamente.

Na SGDF, há 10 locais investigados sem área de recarga. O *Quadro 17* apresenta os pontos com áreas de recarga inseridos nesse domínio geológico. Note que o relevo colinoso não é listado.

Quadro 17. Locais investigados com área de recarga situados na Suíte Granítica Dom Feliciano.

Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com área de recarga					
DFRE_45	DRE_49	DFRE_4	DFRE_3	DFRM_2	DFRMES_48
DFRMES_38	DFRMES_29	DFRMES_28			

No SLBI somente o ponto SLBRMES_11 foi classificado como restritivo (ocorre). Cabe salientar que o mapa potenciométrico do SLBI (*Mapa 9*) é mais preciso que o do lençol freático da SGDF (*Mapa 8*), visto que esse último foi processado considerando apenas a declividade angular.

4.5.6. Distância de Poços e Fontes Naturais

Considerando que a Microbacia do Arroio Pesqueiro é densamente povoada e que não há fornecimento de água para consumo humano por empresas de abastecimento hídrico e sanitário, todos os pontos de campo foram enquadrados na classe restritiva (< 300 m). A totalidade dos locais investigados situa-se próximo a residências que possuem algum tipo de captação d'água subterrânea, conforme ilustra a *Fotografia 12*.

Fotografia 12. Exemplos de captação hídrica subterrânea. A) Instalações hídricas em residência; B) Poço tubular; C) Poço escavado.



4.5.7. Drenabilidade

Os pontos de campo situados na SGDF e no SLBI foram enquadrados nas classes favorável e moderada (boa) simultaneamente. Considerando que o contexto geológico impõe porosidade e permeabilidade significativas aos materiais inconsolidados, a partir das análises visuais táteis foi observado que a água possui infiltração muito alta. Os ensaios envolvendo a saturação do solo e posterior evaporação com o intuito de averiguar a presença de argilas expansivas demonstrou que a água possui facilidade para migrar para o exterior do sistema pedológico, da mesma forma que é conduzida internamente.

4.6. Processos

4.6.1. Erosão

Na SGDF não foram identificadas zonas totalmente isentas de processos erosivos. Logo, a classe favorável (não ocorre) foi descartada nesse domínio. A classe moderada (potencial ocorrência) foi atribuída a 6 pontos de campo. Já a classe severa, que preconiza a ocorrência, foi definida em 9 locais investigados. Os registros de erosão intensa (classe restritiva) foram reconhecidos em 4 pontos. O *Quadro 18* os lista associados ao seu respectivo enquadramento nas classes. A *Fotografia 13* ilustra exemplos de feições erosivas reconhecidas.

Quadro 18. Listagem dos pontos situados na Suíte Granítica Dom Feliciano e os respectivos resultados erosivos.

Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com potencial ocorrência erosiva					
DFRM_2	DFRM_44	DFRC_47	DFRC_42	DFRC_50	DFRMES_52
Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com ocorrência erosiva					
DFRE_49	DFRE_45	DFRC_31	DFRMES_29	DFRMES_38	DFRMES_48
DFRMES_40	DFRMES_43	DFRMES_30			
Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano com ocorrência erosiva intensa					
DFRM_27	DFRE_4	DFRE_3	DFRMES_28		

Durante a investigação de campo no SLBI constatou-se que 5 locais não apresentam feições de relevo indicativas de processos erosivos. Foram classificados como favorável (não ocorre). Em 6 deles não havia indícios diretos da existência, porém a configuração topográfica do terreno é propícia à remobilização sedimentar. Nesses casos, a classe moderada (potencial ocorrência) foi atribuída. A identificação de desníveis no relevo associado ao deslocamento de componentes dos meios físico e biótico foi constatada em 16 locais que, portanto, foram enquadrados na classe severa (ocorre). O reconhecimento dessa configuração de forma intensificada foi verificado em 6 pontos, sendo a classe restritiva atribuída (ocorre intensa). O *Quadro*

19 lista os pontos situados nos Depósitos Quaternários e suas respectivas classes.

Fotografia 13. Exemplos de feições erosivas situados na Suíte Granítica Dom Feliciano (A e B).



Quadro 19. Listagem dos pontos situados no Sistema Laguna-Barreira I e os respectivos resultados erosivos

Pontos do Sistema Laguna-Barreira I sem ocorrência erosiva					
SLBPA_18	SLBPA_12	SLBPA_5	SLBPA_7	SLBPA_51	
Pontos do Sistema Laguna-Barreira I com potencial ocorrência erosiva					
SLBRE_35	SLBRE_8	SLBRC_24	SLBRC_32	SLBRC_21	SLBRC_17
Pontos do Sistema Laguna-Barreira I com ocorrência erosiva intensa					
SLBRMES_11	SLBRMES_10	SLBRMES_37	SLBRC_19	SLBRC_39	SLBRC_15
SLBRC_16	SLBRC_1	SLBPA_41	SLBRMES_25	SLBRMES_33	SLBRMES_36
SLBRMES_23	SLBRMES_34	SLBRE_14	SLBRM_13		
Pontos do Sistema Laguna-Barreira I sem ocorrência erosiva					
SLBPA_6	SLBPA_22	SLPA_26	SLBPA_46	SLBRE_20	SLBRC_9

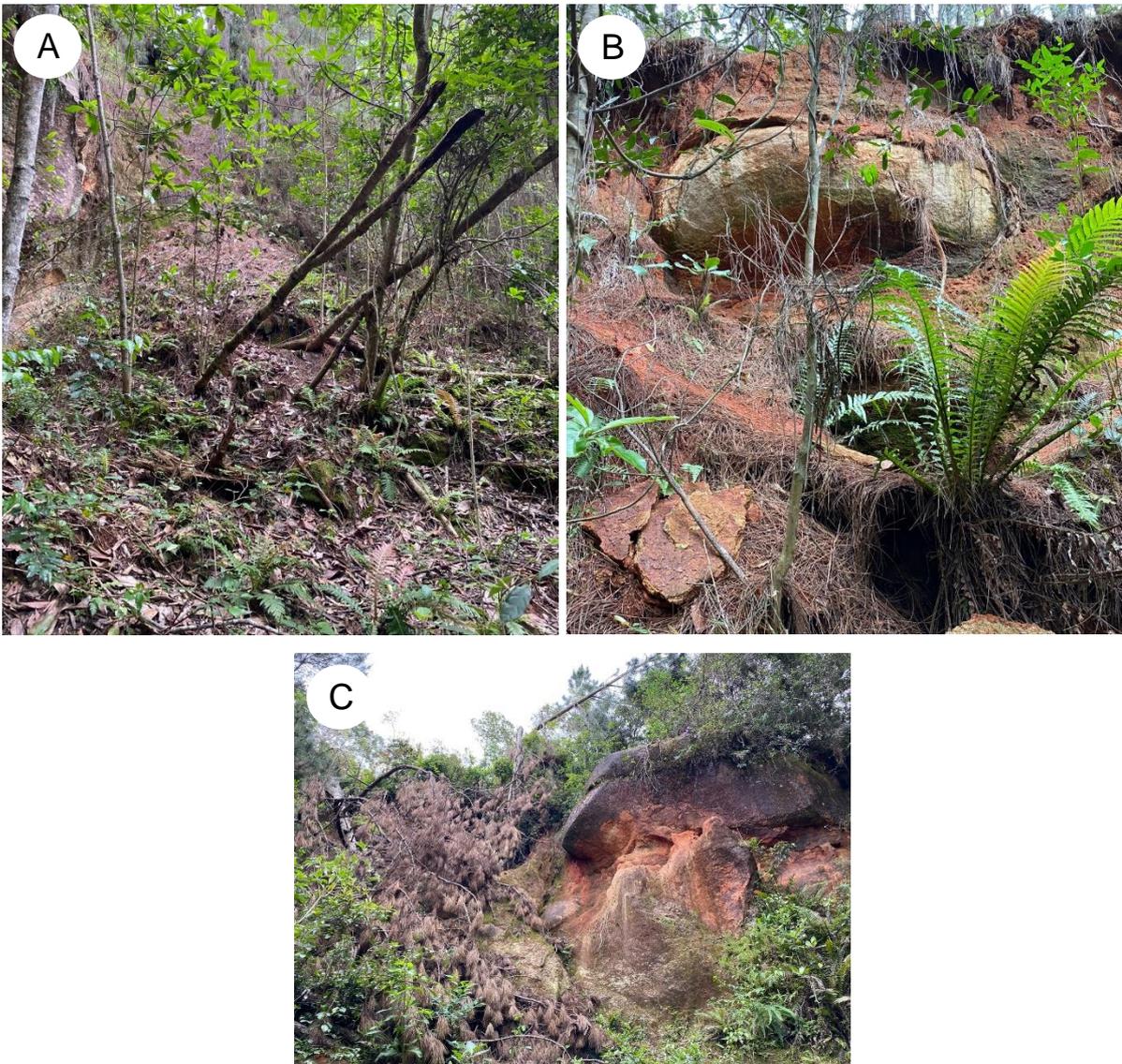
4.6.2. Movimentos de Massa

Os movimentos de massa ocorrem em 2 locais investigados (DFRE_4 e DFRE_3) na SGDF e correspondem, portanto, a classe restritiva. Foram identificados 3 pontos de campo (DFRE_49, DFRM_27 e DFRMES_28) que não apresentam registros de transporte de massa. Contudo, devido a configuração topográfica local,

estão propensos ao deslocamento e foram classificados como severa (há potencial). Os demais locais foram concomitantemente enquadrados nas classes favorável e moderada (não ocorre).

No DFRE_3 identificaram-se registros de um movimento descendente, lento, sem geometria e superfície de ruptura definida que afeta o horizonte pedológico superficial. Foi diagnosticado como rastejo de solo (*Fotografia 14; A; B*). A mobilização de material inconsolidado expõe o substrato rochoso e cria condições para encadear outro movimento de massa: a queda de rochas (*Fotografia 14; C*).

Fotografia 14. Evidências de movimentos de massa. A) Rastejos de solo responsável pelo deslocamento da vegetação. B) Rastejos de solo que expõem o substrato rochoso. C) Dissecação do relevo estabelecendo condições para queda de rochas.



Um movimento de massa do tipo escorregamento circular foi constatado no ponto DFRE_4. Se localiza próximo a edificações que, possivelmente, auxiliaram na perda de resistência do solo diante da força excessiva exercida sobre ele. Conforme a *Fotografia 15* ilustra, o evento não é recente na escala de tempo cotidiana devido ao reflorestamento, que inclusive dificultou os registros. Foi responsável pela remobilização de um espesso horizonte de solo originando um talude subvertical com cerca de 10 m de comprimento e 5 m de altura. Atualmente, a densidade vegetal impõe maior estabilidade ao material inconsolidado.

Fotografia 15. Escorregamento circular identificado em DFRE_4 densamente reflorestado. A) Evidência da variação altimétrica; B) Zona superior do talude constatando superfície circular.



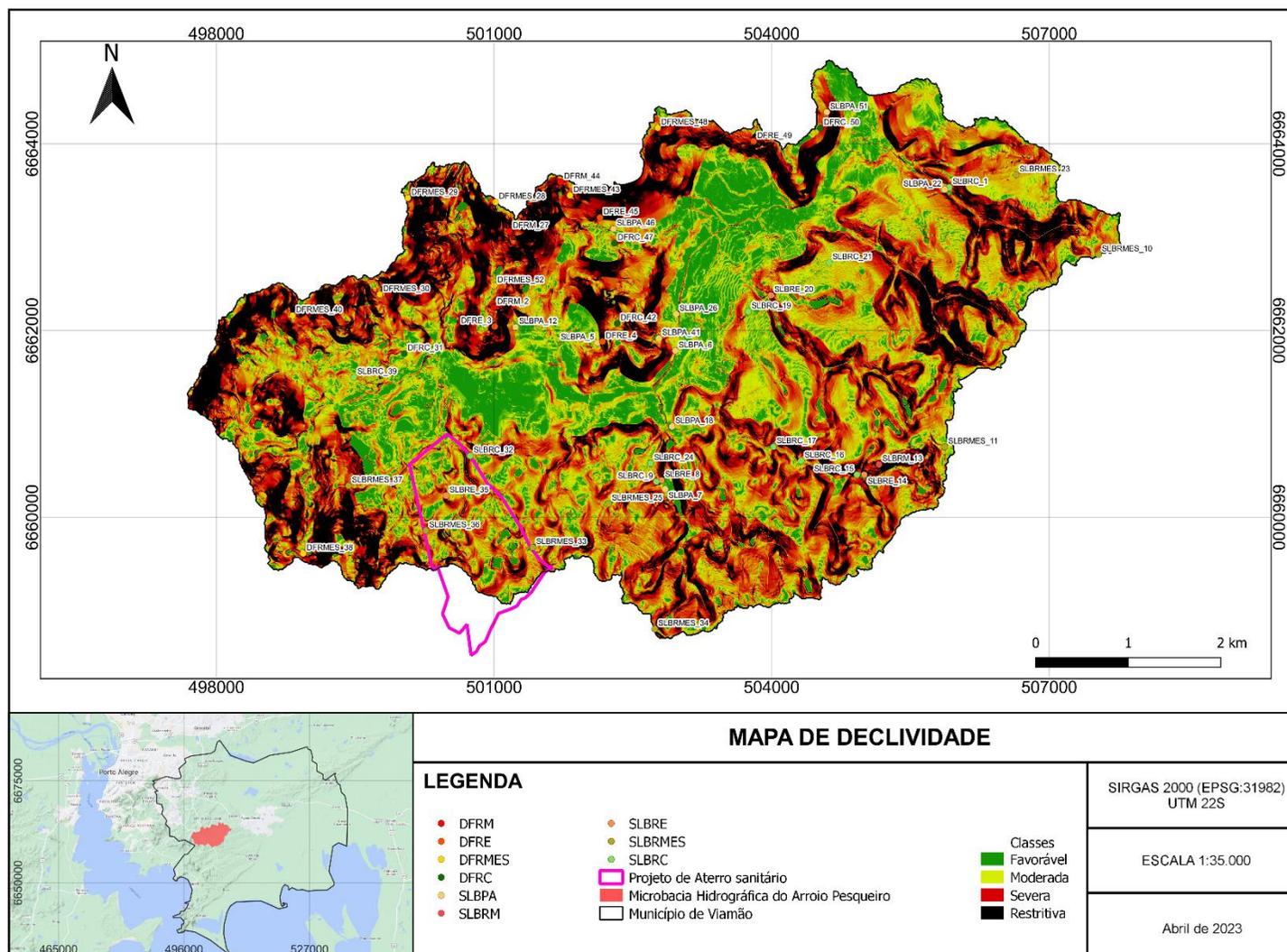
4.6.3. Declividade

O *Mapa 10* ilustra o resultado do geoprocessamento de dados indiretos para obtenção das declividades da microbacia. Com base na adequação das classes de Zuquette (1993) é possível identificar que a Laguna I é majoritariamente composta pelas classes favorável e moderada, condizente com as características geomorfológicas da planície aluvial. As classes restritiva e severa ressaltam a rede de drenagem.

A SGDF imprime um padrão distinto do SLBI, evidenciando a predominância das classes restritiva e severa na geomorfologia do embasamento que, no entanto, também possui classes favorável e moderada mais concentrada no relevo colinoso.

As classes severa e restritiva destacam os afluentes do Arroio Pesqueiro no SLBI. Valores condizentes com moderada e favorável integram áreas adjacentes revelando menor declive.

Mapa 10. Classificação do Mapa de Declividade da Microbacia do Arroio Pesqueiro. Elaborado a partir do geoprocessamento do MDT de 2,5 metros de resolução espacial disponibilizado pelo IEDE. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo.



4.7. Relevo

4.7.1. Relevo

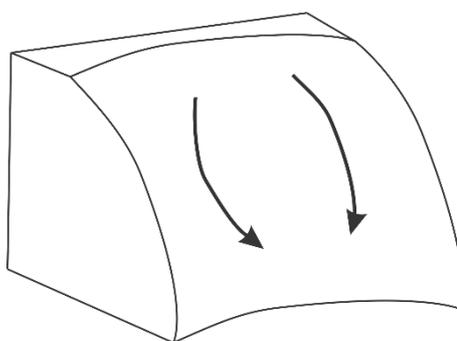
Considerando as adaptações nas classes do atributo relevo, tanto no domínio da SGDF quanto na Barreira I, o relevo colinoso foi classificado como favorável, o relevo de morro com encostas suavizadas como moderada, o relevo de encostas como severa e o relevo de morros como restritiva. A planície aluvial, representante do Sistema Laguna I foi enquadrada na classe restritiva.

O *Mapa 5* evidencia que o relevo de morros predomina na SGDF. Ao todo, ocorre em uma área de 278 hectares (ha). Já o relevo de morros com encostas suavizadas tem maior representatividade no SLBI e ocupa 1325 ha. O relevo de encostas cobre uma superfície de 153 ha de forma proporcional nos dois domínios geológicos. Da mesma forma, o relevo colinoso cobre uma extensão semelhante tanto na Barreira I quanto sobre o embasamento, totalizando 1324 ha. A planície aluvial delimita os 578 ha da Laguna I na Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro.

As maiores elevações se concentram na SGDF e alcançam até 218 m, local onde se situa DFRM_27 (*Mapa 6*). O domínio do embasamento também se caracteriza por declividades mais acentuadas em relação à Barreira I (*Mapa 10*), chegando a cerca de 30° (*Mapa 8*). A planície aluvial da Laguna I possui a topografia mais branda da microbacia, beirando os 30 m e declividades médias de 2°.

A partir de análise qualitativa verificou-se que, de forma geral, a área apresenta perfil com curvatura convexa, tangencial côncava associado a um fluxo divergente em aceleração (*Ilustração 4*).

Ilustração 4. Modelo simplificado da relação entre curvatura de perfil vertical e curvatura tangencial da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro.



Adaptado de Grohmann (2008).

A *Ilustração 5*, *Ilustração 6* e *Ilustração 7* evidenciam a influência dos aspectos genéticos sobre a geomorfologia. A SGDF, corpo magmático intrusivo formado durante o Proterozoico configura, hoje, formas de relevo distintas dos Depósitos Quaternários, originados por agentes eólicos, lagunares e fluviais.

Ilustração 5. Heterogeneidades geomorfológicas em virtude do controle geológico. A) Forma de relevo colinosa no Sistema Laguna-Barreira I; B) Morros com topos suavizados na Suíte Granítica Dom Feliciano.



Ilustração 6. Configuração geomorfológica da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro com vista da Suíte Granítica Dom Feliciano em sentido à Barreira I.



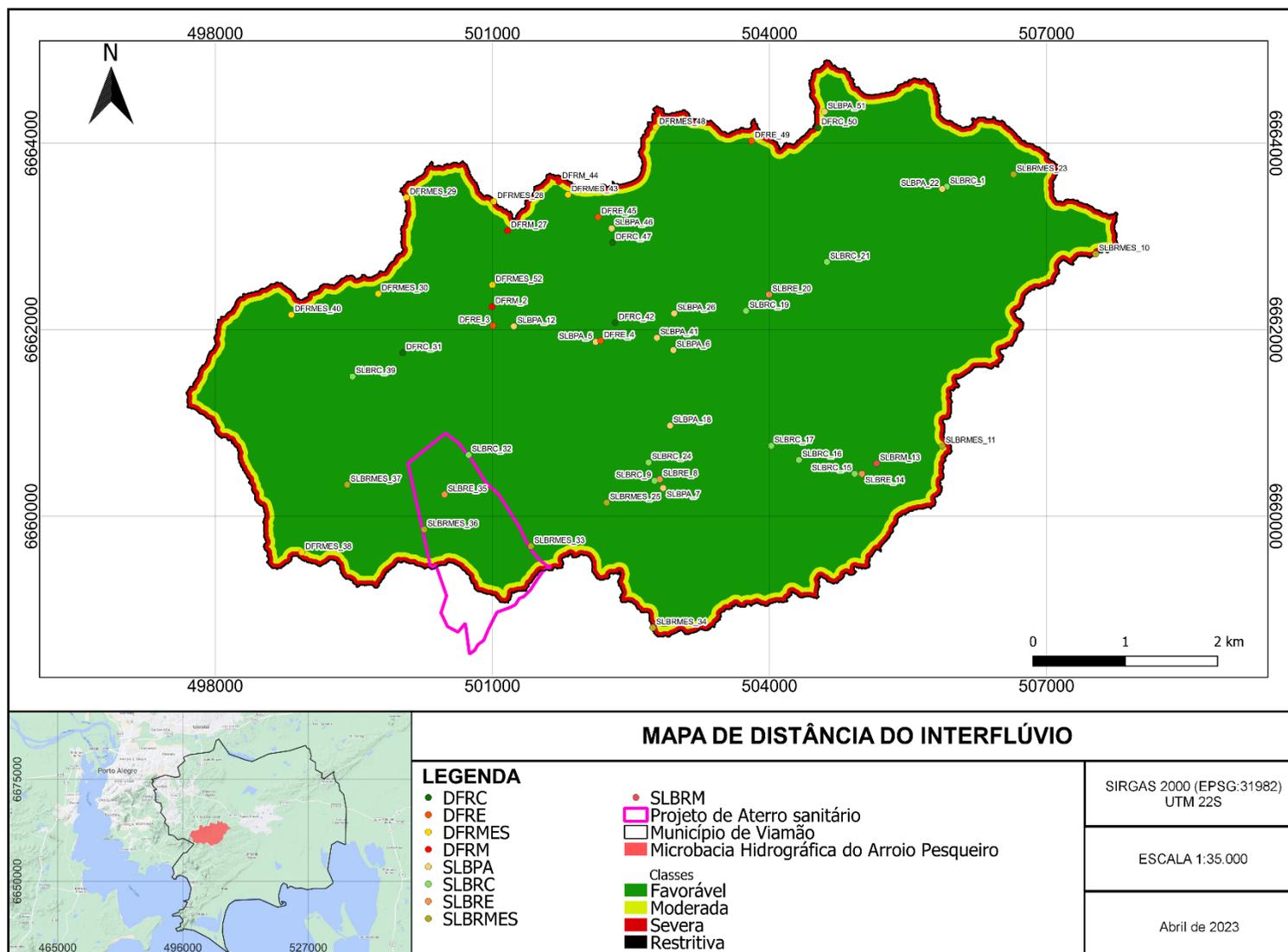
Ilustração 7. Configuração geomorfológica da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro com vista da Barreira I em sentido à Suíte Granítica Dom Feliciano.



4.7.2. Distância do Interflúvio

O *Mapa 11* define as áreas que cada classe ocupa considerando as adaptações realizadas na tabela de atributos de Zuquette (1993). Foi elaborado a partir de diferentes raios em relação aos limites da microbacia. Os pontos de campo SLBRMES_10 e SLBRMES_34 se localizam em uma distância inferior a 10 m e, portanto, foram enquadrados como restritiva. DFRMES_28 e DFRMES_29 se situam entre 11 a 50 m em relação ao divisor de águas e conseqüentemente são severos. Os locais representativos de SLBRMES_11, DFRMES_48, DFRMES_38, DFRM_44 e DFRC_50 se posicionam entre 51 a 100 m. Logo, pertencem a classe moderada. Os demais pontos de campo foram classificados como favorável, visto que estão a uma distância superior a 101 m.

Mapa 11. Mapa de Classificação da Distância do Interflúvio da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro em relação aos locais investigados. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo.



4.7.3. Zona Alagada

O *Mapa 12* apresenta a hidrografia da microbacia indicando a localização do Arroio Pesqueiro, dos seus afluentes e de corpos hídricos tanto artificiais quanto naturais para evidenciar a sua relação com os locais investigados.

Nesse sentido, é possível verificar que dentre os pontos de campo investigados na SGDF, somente 5 deles não sofrem influência de zonas alagadas. O *Quadro 20* os apresenta e é possível notar que nenhum do relevo de encostas é listado.

Quadro 20. Listagem de pontos sem influência de zonas alagadas alocados na Suíte Granítica Dom Feliciano.

Pontos da Suíte Granítica Dom Feliciano sem influência de zonas alagadas				
DFRC_42	DFRM_27	DFRM_2	DFRMES_29	DFRMES_48

Todos os pontos de campos situados na Laguna I apresentam influência de zonas alagadas.

Na Barreira I, somente 2 locais não são influenciados por zonas alagadas (*Quadro 21*).

Quadro 21. Listagem de pontos sem influência de zonas alagadas situados na Barreira I.

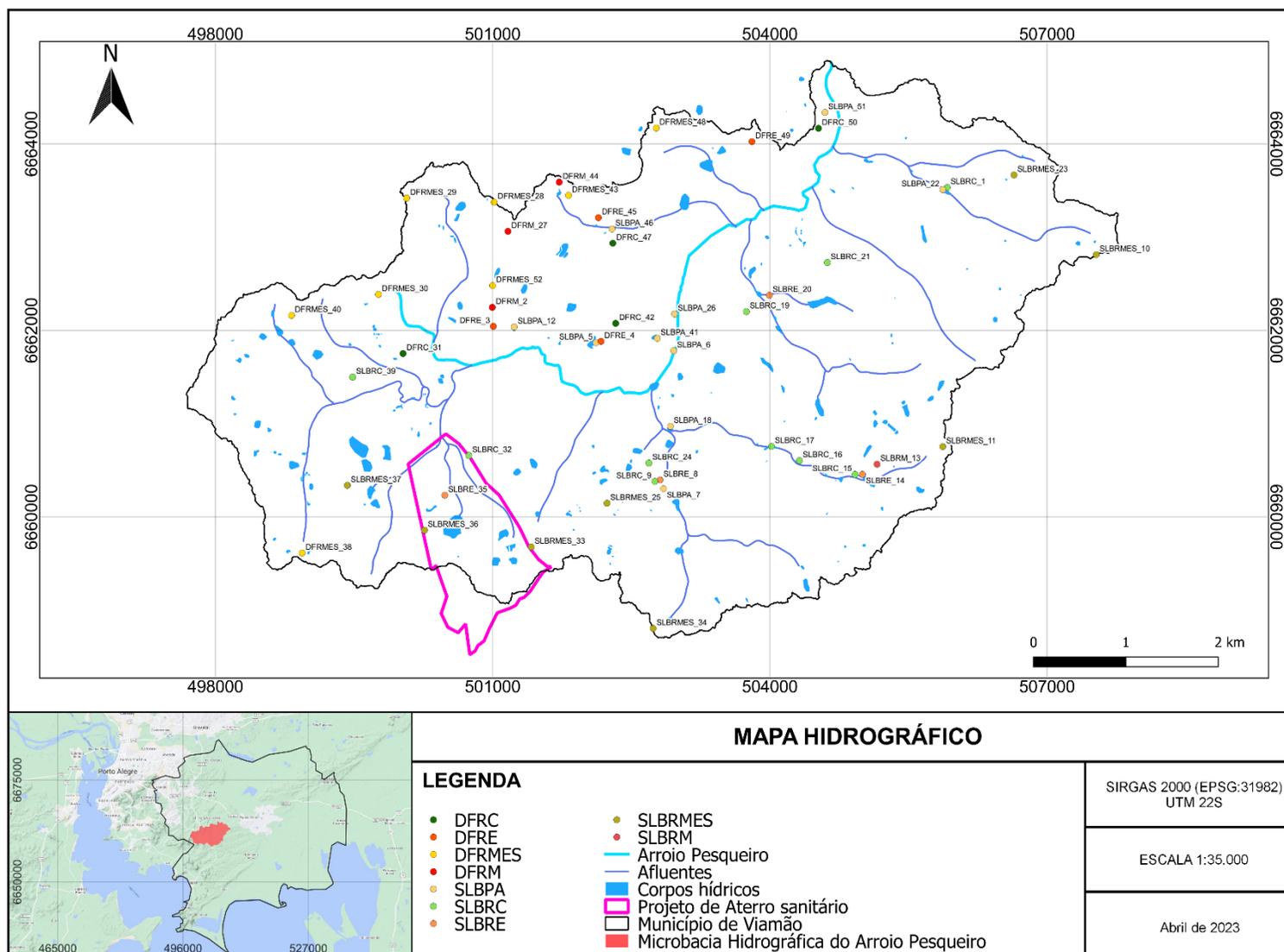
Pontos da Barreira I sem influência de zonas alagadas	
SLBRE_8	SLBRC_21

4.7.4. Zona Sujeita à Inundação

Os únicos pontos de campo que possuem zonas sujeitas à inundação estão localizados nos domínios internos da Laguna I. Logo, todos os locais investigados na planície aluvial foram classificados como severa ($TR > 20$ anos) e restritiva ($TR < 20$ anos), visto que não foi possível determinar o tempo de retorno.

Os demais locais não apresentaram características que induzissem a probabilidade de ocorrência de inundações. Logo, foram enquadrados nas classes favorável e moderada (não ocorre).

Mapa 12. Mapa hidrográfico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. Retrato da dimensão do Arroio Pesqueiro e seus afluentes, da localização de corpos hídricos naturais e artificiais. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo.



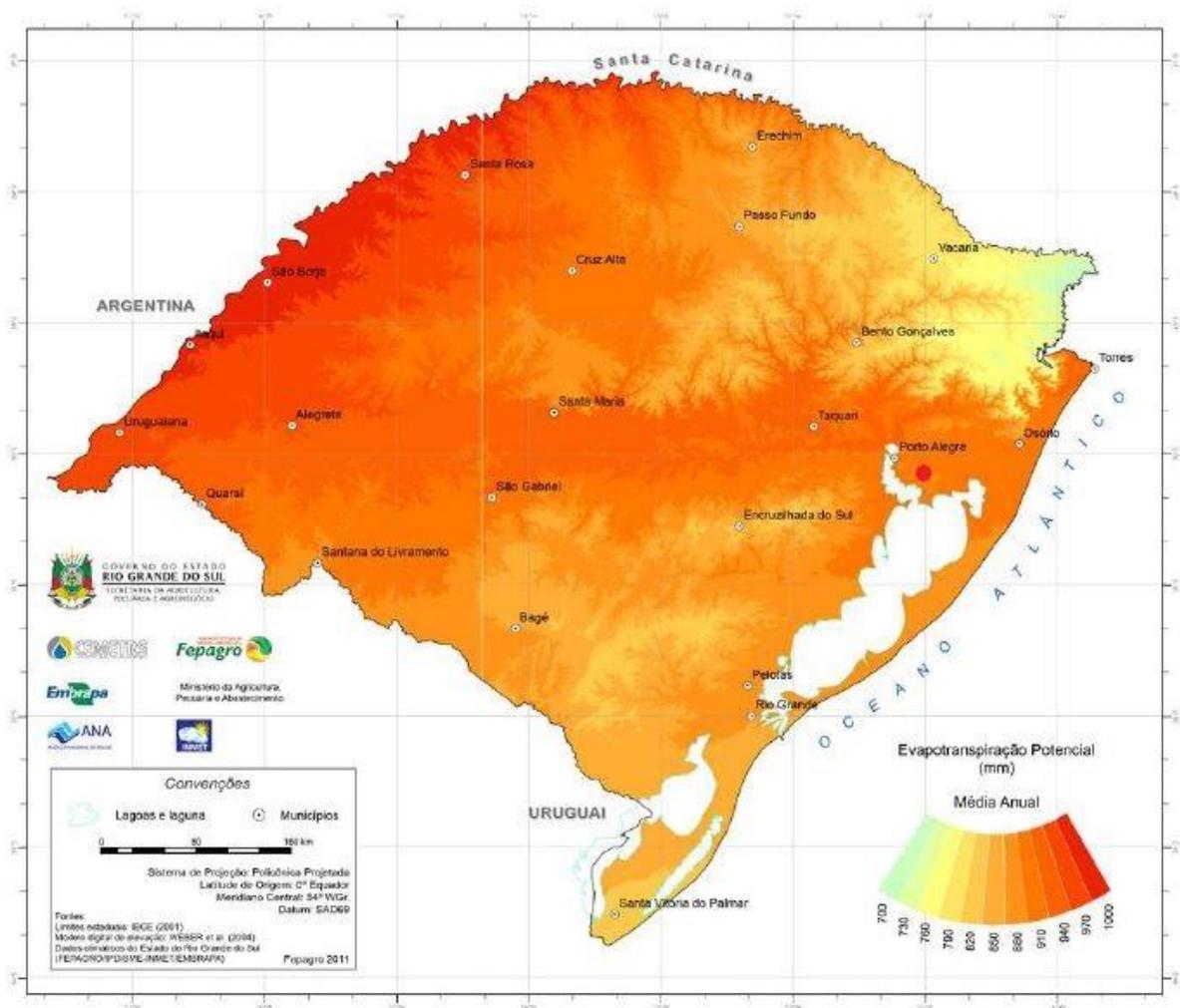
4.8. Clima

Considerando que as variáveis climáticas podem ser consideradas homogêneas na microbacia, os resultados foram aplicados em todos os pontos de campo.

4.8.1. Evapotranspiração

O dado atribuído à evapotranspiração da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro foi obtido com base nas informações contidas na *Figura 1* e classificado de acordo com as adequações realizadas na tabela de atributos (ZUQUETTE, 1993). Nesse sentido, constata-se que os valores são superiores a 925 mm e, portanto, a variável foi classificada como favorável.

Figura 1. Mapa de Evapotranspiração Potencial Anual (mm) do estado do Rio Grande do Sul. O círculo em vermelho indica a posição da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro.

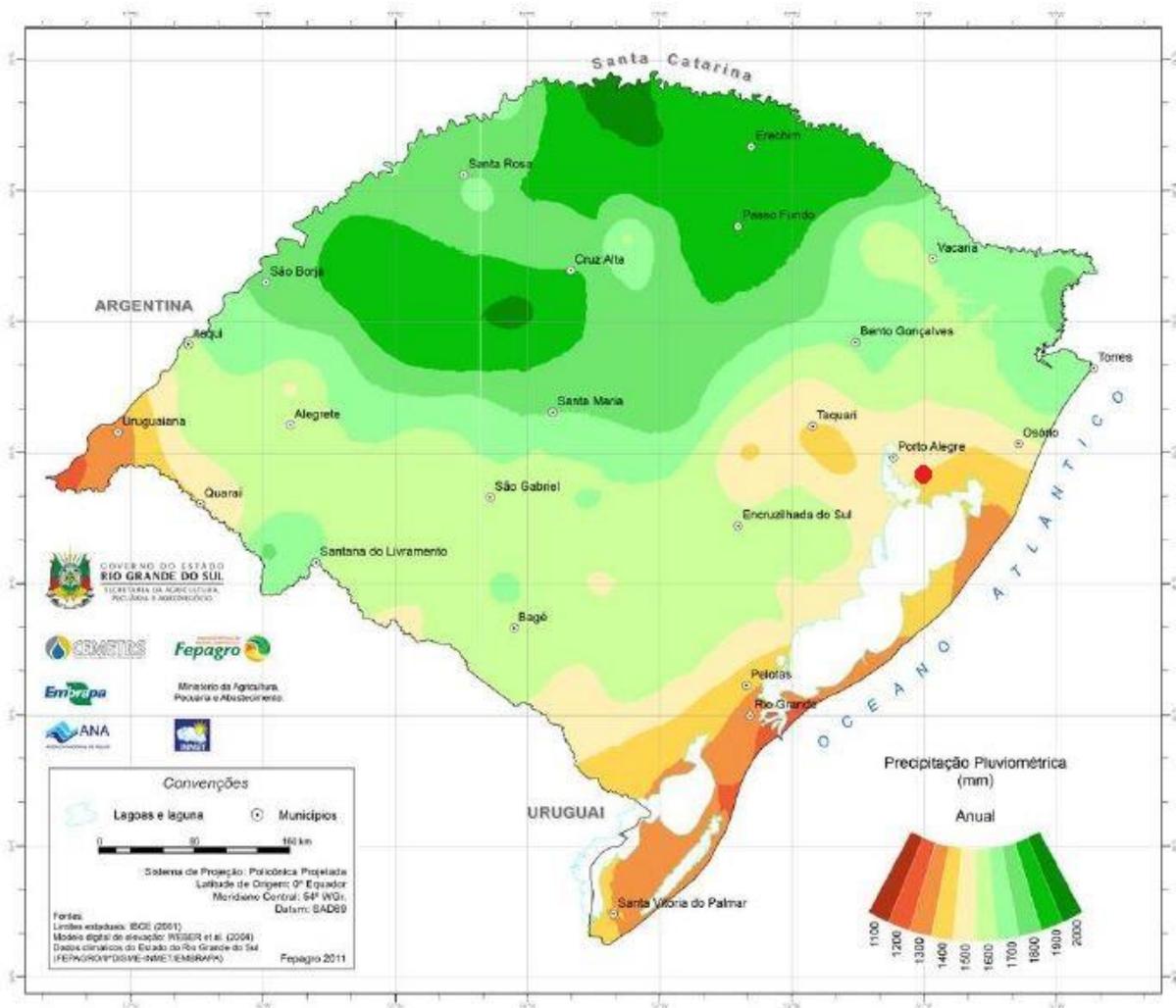


Fonte: Atlas Climático Rio Grande do Sul (Fepagro, 2011)

4.8.2 Pluviosidade

Da mesma forma, o dado pluviométrico da área de estudo foi diagnosticado com base nas informações do Atlas Climático Rio Grande do Sul. A *Figura 2* ilustra que na região da microbacia os dados se situam entre 1550 a 1774 mm e se enquadram na classe severa.

Figura 2. Mapa de Precipitação Pluviométrica Anual (mm) do estado do Rio Grande do Sul. O círculo em vermelho indica a posição da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro



Fonte: Atlas Climático Rio Grande do Sul (Fepagro, 2011)

4.9. Classificação

Após a aquisição dos parâmetros referentes ao substrato rochoso, materiais inconsolidados, água, clima, relevo e seus processos para 52 pontos de campo,

efetuou-se uma média aritmética dos dados em cada atributo e uma classe resultante foi concedida aos locais investigados. A interpolação dessas informações pelo método “neighborhood” possibilitou a elaboração do *Mapa 13* que considerou intervalos de 0 a 1 (classe favorável); 1,1 a 2 (classe moderada); 2,1 a 3 (classe severa) e 3,1 a 4 (classe restritiva. O produto final dos resultados representa um mapa com a distribuição da classificação obtida (*Mapa 13*).

O *Mapa 13* constata a inexistência tanto da classe favorável quanto da restritiva pela classificação obtida com base nos parâmetros considerados. Há predominância da classe severa e duas zonas pertencentes à classe moderada. Levando em conta a relativa homogeneidade e a fim de evidenciar as variações físicas da área, a classe severa foi subdividida em 4 subunidades com seguintes intervalos: Valores entre 2,001 a 2,300 delimitaram a classe severa (baixa), de 2,301 a 2,500 severa (média), 2,501 a 2,700 severa (alta) e superiores a 2,701 severa (muito alta).

Apenas 3 pontos de campo foram enquadrados na classe moderada com valores transicionais à classe severa. O resultado das médias aritméticas foi superior a 1,9, indicando que, genericamente, toda a Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro está inserida na classe severa.

É possível observar que a classe severa (muito alta) foi diagnosticada somente na SGDF e que severa (alta) é limitada a uma área pequena na SLBI em comparação a sua demarcação no domínio do embasamento.

Cabe ressaltar que a distância do empreendimento (1), a presença de Áreas de Preservação Ambiental (2) e taxas de transmissividade (3) não foram consideradas para confecção do produto final. A desconsideração dessas variáveis deveu-se: (1) à intenção de avaliar a área como um todo, para além da alternativa locacional do empreendimento que motivou a realização do estudo; (2) à existência da Área de Preservação Ambiental (APA) do Banhado Grande, contida na maior parte da microbacia, tornando a área de abrangência automaticamente restritiva; (3) e por dificuldades relacionadas à obtenção dos dados.

As listagens de pontos do *Quadro 22*, *Quadro 23*, *Quadro 24*, *Quadro 25*, *Quadro 26* apresentam os locais investigados enquadrados nas classes moderada, severa (baixa), severa (média), severa (alta) e severa (muito alta), respectivamente.

Quadro 22. Pontos de campo enquadrados na classe moderada.

Pontos de campo da Classe Moderada		
DFRC_47	DFRC_42	SLBRC_21

Quadro 23. Pontos de campo enquadrados na classe severa (baixa).

Pontos de campo da Classe Severa (baixa)					
DFRMES_30	DFRMES_40	DFRC_31	SLBPA_6	SLBPA_7	SLBPA_12
SLBPA_22	SLBPA_26	SLBRC_15	SLBRC_17	SLBRC_19	SLBRC_24
SLBRC_32	SLBRC_39	SLBRMES_25	SLBRMES_36	SLBRMES_37	SLBRE_8

Quadro 24. Pontos de campo enquadrados na classe severa (média).

Pontos de campo da Classe Severa (média)					
DFRE_45	DFRMES_38	DFRMES_43	DFRMES_52	DFRC_50	SLPA_5
SLBPA_18	SLBPA_41	SLBPA_51	SLBRC_1	SLBRC_9	SLBRC_16
SLBRMES_10	SLBRMES_11	SLBRMES_23	SLBRMES_33	SLBRMES_34	SLBRE_14
SLBRE_35					

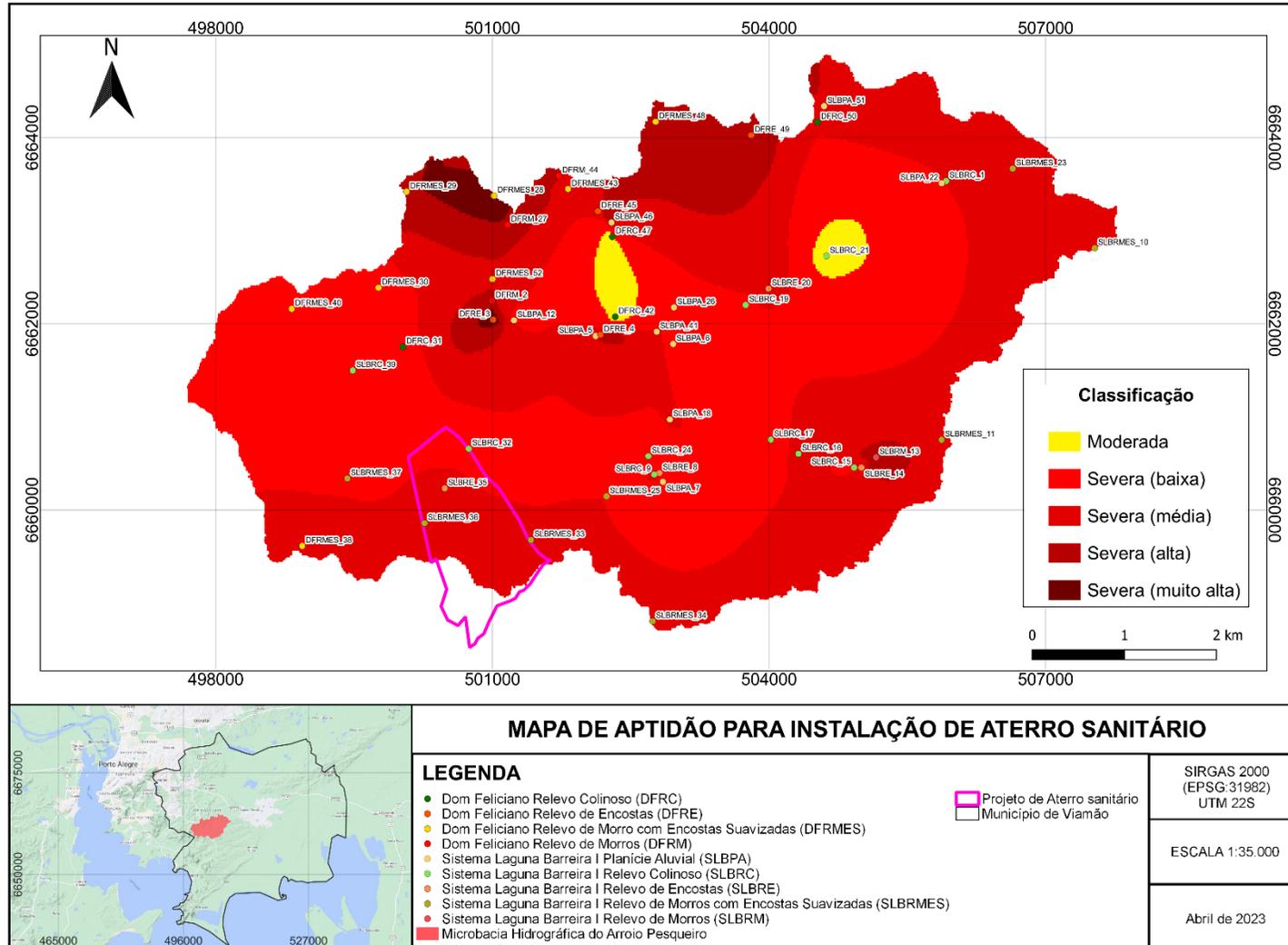
Quadro 25. Pontos de campo enquadrados na classe severa (alta).

Pontos de campo da Classe Severa (alta)					
DFRM_2	DFRM_27	DFRM_44	DFRE_49	DFRMES_29	DFRMES_48
SLBPA_46	SLBRE_20	SLBRM_13			

Quadro 26. Pontos de campo enquadrados na classe severa (muito alta).

Pontos de campo da Classe Severa (muito alta)		
DFRE_3	DFRE_4	DFRMES_28

Mapa 13. Mapa de Aptidão para Instalação de Aterro Sanitário da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. As classes favorável e restritiva não foram diagnosticadas. A classe severa é predominante e foi subdividida em quatro graus de intensidade. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização.



5 DISCUSSÕES

As discussões estão divididas por temas, iniciando pela avaliação do método utilizado, seguindo para a análise integrada acerca das unidades morfoestratigráficas que compõem o meio físico da área de estudo e finalizando com o resultado da classificação.

5.1. Método

Adaptações nos intervalos das classes de aptidão foram necessárias ao aplicar os fundamentos de Zuquette (1993) para processar um mapa geotécnico indicando o grau do potencial impacto ambiental da hipotética contaminação de um aterro sanitário na área de estudo. Para algumas variáveis foi preciso incluir valores às classes para representar a realidade da microbacia, devido a indefinição de intervalos. Caso do tipo litológico, relevo, erosão e pluviosidade. Constatou-se subjetividade em alguns termos, substituídos por dados quantitativos. Situação da evapotranspiração, presença de matacões, divisor de águas (distância do interflúvio), infiltração e descontinuidades. Em outro contexto, a classificação exclui informações ao avaliar a distância de poços e fontes naturais. A classe restritiva é atribuída a valores maiores que 500 m e favorável quando menor que 300 m. Ou seja, os pontos situados entre 301 e 499 m não são computados. As nomenclaturas das classes de declividade, profundidade do substrato rochoso, profundidade do nível da água abaixo da base poluidora, direção de fluxo subterrâneo e zona sujeita a inundação foram ajustadas para uma linguagem mais palpável. Direção dos ventos, pH, salinidade, capacidade de troca catiônica e fator de retardamento não foram diagnosticados. No entanto, o conteúdo dos atributos coletados permitiu obter informações satisfatórias para compreender os componentes do meio físico.

As estratégias para obtenção de dados seguindo a lógica de Saraiva (1995) foi parcialmente incompatível com a escala das informações do trabalho. Dessa forma, a pesquisa se apropriou de diferentes técnicas para atender suas necessidades. Com o intuito de agregar acurácia e precisão, foram realizadas análise petrográfica macroscópica, levantamento estrutural de fraturas, análise visual tátil de solos, ensaios de permeabilidade por sondagens e aquisição de dados indiretos com um MDT de resolução espacial de 2,5 metros e imagens com um veículo aéreo não

tripulado. O geoprocessamento foi uma etapa fundamental do projeto, permitindo o tratamento e correlação dos dados diretos e indiretos.

A classificação das unidades de relevo adequou o método de IPT (1981) para a realidade geomorfológica da área. Tanto os intervalos de elevação e declividade como a nomenclatura foram modificados. A aplicação dos intervalos diagnosticou a presença de relevo de morrotes que, no entanto, não foi constatado em campo. A unidade foi renomeada para relevo de encostas. Os aspectos geomorfológicos em campo indicaram que a nomenclatura deveria ser distinta para cada domínio geológico, uma vez que a Barreira I é composta por formas de relevo colinosas com diferentes elevações e declividades, diferentemente da SGDF.

As áreas-chave foram definidas com base no limite de homogeneidade máximo entre os atributos do meio físico. Constatando heterogeneidade considerável entre as variáveis geotécnicas (Zuquette, 1993) nos diferentes domínios geológicos, as unidades geológico geotécnicas foram renomeadas para Unidades Morfoestratigráficas com o intuito de adequar a nomenclatura à resolução das informações obtidas. Dessa forma, os pontos de campo indicam o domínio geológico e geomorfológico no qual pertencem.

Tendo em vista que o geoprocessamento foi um dos fundamentos da pesquisa, a classificação dos pontos de campo quanto à aptidão para instalação de aterros sanitários foi quantificada a partir de uma média aritmética considerando valores entre 0 e 4. Representam os cenários possíveis entre as classes favorável e restritiva, respectivamente. Nesse sentido, os extremos representam casos idealizados em que o valor nulo indica ausência de impactos ambientais negativos e o maior uma catástrofe para o meio físico.

5.2. Unidades Morfoestratigráficas: caracterização do meio físico

A aquisição dos dados forneceu subsídios para caracterizar o meio físico das Unidades Morfoestratigráficas e sua variação vertical e lateral na Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. O *Mapa 14* ilustra a visualização espacial simplificada do mapeamento geotécnico.

5.2.1. Unidades Morfoestratigráficas da Suíte Granítica Dom Feliciano

Assim como as demais pertencentes a SGDF, a Unidade Morfoestratigráfica DFRM (Relevo de Morros) é composta por litologia granítica. Os horizontes pedológicos tendem a não ultrapassar 3 m, possibilitando o afloramento de um substrato rochoso com baixa densidade de descontinuidades que, por vezes, foi encontrado em campos de matacões com mais de 10 unidades de diâmetros superiores a 1 m. Os perfis de solo investigados possuem tendência de variação de perfil homogênea e exibem textura arenosa e composta predominantemente por areia fina a média, volume considerável de areia grossa e alta porcentagem de minerais inertes. Dados de sondagens sugerem a inexistência de camadas compressíveis e de potenciais de colapsibilidade. O material inconsolidado apresenta altas taxas de infiltração, é bem drenado e possui um lençol freático com profundidade que tende a não ultrapassar 2 m, o que é inferido pela observação em pontos de campo e pela presença de água no contato do solo com o substrato rochoso. Com base em informações limitadas, os fluxos variam entre 1 e 3 direções pressupondo existência de áreas de recarga localizadas. Ocorre em áreas com declividade superior a 20% e, conseqüentemente, possui alto potencial de erodibilidade, se caracteriza por escoamento superficial concentrado, registros erosivos e potenciais zonas com movimentos de massa. Contém poucas áreas alagadas e não possui zonas sujeitas a inundações.

Não foi possível obter informações precisas quanto às variáveis litológicas pertencentes a Unidade Morfoestratigráfica DFRMES (Relevo de Morro com Encosta Suavizada). A partir dos dados coletados, infere-se que haja baixa densidade de descontinuidades em um substrato rochoso localizado próximo a 3 m de profundidade. Apresenta campos de matacões com características distintas: corpos que variam entre 2 a 12 unidades e tamanhos centimétricos a métricos. A variação dos perfis investigados é homogênea e evidencia pedologia muito arenosa com alta porcentagem de minerais inertes sem características colapsíveis ou camadas compressíveis. É composta predominantemente por areia fina a média e subordinadamente por areia grossa. O lençol freático pode se localizar há menos de 2 m de profundidade, está associado a áreas de recarga que provêm fluxos predominantemente difusos, com 2 a 3 direções. A água se infiltra e é drenada com

muita facilidade no solo. No relevo de morros com encostas suavizadas a declividade é superior a 15%, o potencial de erodibilidade varia de alto a muito alto e o escoamento superficial tende a ser concentrado promovendo erosão e pequenas áreas com potenciais movimentos de massa. Não apresenta zonas sujeitas a inundação, porém pode conter muitas zonas alagadas.

A Unidade Morfoestratigráfica DFRE (Relevo de Encostas) possui gênese associada aos processos geológicos e geomorfológicos, mas também devido à intervenção antrópica. Houve extração de materiais agregados no passado constatado pela presença de antigas pedreiras, responsáveis pela formação de encostas com declividades superiores a 20%. Por essa razão, o potencial de erodibilidade torna-se alto a muito alto, provocando escoamento superficial concentrado, altas taxas de erosão e movimentos de massa. O material inconsolidado é mal selecionado, composto predominantemente por areia fina a média e parcialmente por areia grossa e argilas expansivas e não expansivas. Perfis evidenciaram horizontes de solo bem drenados e apresentam alta porcentagem de minerais inertes sem camadas compressíveis ou colapsibilidade. A exposição litológica em pedreiras evidencia que na maioria dos locais a profundidade do substrato rochoso é nula. Pode ocorrer em conjunto com campo de matacões contendo 1 a 13 unidades com diâmetros centimétricos a métricos. A densidade de descontinuidades pode chegar até 10,2. Contudo, genericamente o maciço rochoso tende a conter até 2 famílias de fraturas irregulares com aberturas milimétricas e dimensões centimétricas. Constatou-se que essa unidade se caracteriza pela presença de áreas de recargas e fluxos subterrâneos difusos, com 2 a 3 direções. Considerando que o mapa de declividade angular indica provável direção de fluxo do lençol freático, a informação não é tão precisa. Sua profundidade não ultrapassa 2 m na maioria dos casos. Constatou-se anomalia no resultado do ensaio de permeabilidade considerando o modelo de meio físico proposto para a microbacia. Devido à alta declividade e má seleção do solo, a tendência seria diagnosticar uma permeabilidade superior ao relevo colinoso. Contudo, o valor só não foi inferior à infiltração dos locais da planície aluvial. Infere-se que o ensaio foi realizado muito próximo ao embasamento ou interceptou uma raiz vegetal.

Houve dificuldade em obter dados referente ao substrato rochoso na Unidade Morfoestratigráfica DFRC (Relevo Colinoso). Com base nas informações adquiridas, possui baixa densidade de descontinuidades e há evidências da presença de

horizontes de solos mais espessos, apesar da existência de áreas com profundidade inferior a 3 m. A variação do perfil é homogênea, o solo é bem drenado, contém textura muito arenosa e é composto majoritariamente por areia fina a média. Possui quantidade significativa de argila não expansiva, alta porcentagem de minerais inertes e não apresenta colapsibilidade ou camadas compressíveis. O relevo colinoso apresenta campo de matações com características distintas que possuem no máximo 10 unidades e dimensões de até 1,3 m. A porcentagem da declividade é 10 em média, tornando o potencial de erodibilidade moderado. Nesse sentido, existem áreas isentas de erosão e outras com potencial que, no entanto, não impõem riscos de movimentos de massa. Conseqüentemente o escoamento superficial tende a ser laminar, porém é concentrado quando há intervenção antrópica. O lençol freático tem espessura que varia de 2 a 10 m nos locais investigados. Se associa à fluxo subterrâneo predominantemente unidirecional, à ausência de áreas de recarga e permeabilidade elevada. Está isento de zonas sujeitas à inundação e pode conter locais alagados.

5.2.2. Unidade Morfoestratigráfica da Laguna I

Na Laguna I, pertencente ao Sistema Laguna-Barreira I, a heterogeneidade dos atributos do meio físico propõe a existência de dois ambientes distintos compondo a Unidade Morfoestratigráfica SLBPA. De acordo com sua espacialidade geomorfológica (*Mapa 5*) e a hidrográfica (*Mapa 12*) há domínios adjacentes aos afluentes e outros próximos ao Arroio Pesqueiro, implicando em diferenças na energia do sistema e conseqüente variação deposicional.

Dentre as homogeneidades da planície aluvial, há os atributos do substrato rochoso. Apresentam tipo litológico arenítico, poucas discontinuidades e profundidade inferior a 3 m. Apresentam profundidade do lençol freático inferior a 2 m associado a um material inconsolidado com infiltração moderada e isento de características colapsíveis. Possuem apenas uma direção de fluxo subterrâneo e, portanto, não ocorrem áreas de recarga. Representam locais com predomínio de zonas alagadas e sujeitas à inundação. A declividade pode chegar até 10%, indicando proximidades de cursos hídricos e conseqüente erosão que, no entanto, não é associada a movimentos de massa.

As áreas a montante apresentam textura pedológica muito arenosa composta por areia fina a média com presença significativa de argila não expansiva. Os perfis

de solo são predominantemente homogêneos, bem drenados e sem camadas compressíveis identificadas. O potencial de erodibilidade varia de baixo a alto e o escoamento superficial tende a ser concentrado. Podem conter campos de matacões com mais de 10 unidades de diâmetros superiores a 1 m. Logo, sofrem influência do embasamento devido a sua profundidade irregular e/ou paleomovimentos de massa.

Porções a jusante e outras distais da SGDF contém solo hidromórfico. É caracterizado por uma textura arenosa, composta por areia fina a média em proporções semelhantes a argilas expansivas. Os perfis de solo tendem a ser progressivos pela alternância de horizontes arenosos na base e camadas argilosas compressíveis em superfície. O potencial de erodibilidade tende a ser baixo a médio, o escoamento superficial é laminado. Diferentemente das áreas a montante, não apresentam campos de matacões, mas sim banhados. Alguns dados foram obtidos com a partir de fontes orais e, portanto, são pouco precisos.

5.2.3. Unidades Morfoestratigráficas da Barreira I

A Barreira I, pertencente ao Sistema Laguna-Barreira I, apresenta maior grau de homogeneidade entre suas Unidades Morfoestratigráficas. São compostas por uma litologia arenítica com profundidades inferiores a 3 m e baixa densidade de descontinuidades. Apresentam solos com textura muito arenosa, compostos por sedimentos com alta porcentagem de minerais inertes, bem drenados e com taxas de infiltração muito elevadas. Não foram identificadas camadas compressíveis, colapsibilidade e campos de matacões

A Unidade Morfoestratigráfica SLBRC (Relevo Colinoso) possui declividades que variam entre 5 a 20% associadas a um potencial de erodibilidade que varia de médio a muito alto, o que provoca variação nas taxas de erosão do relevo colinoso. As áreas dos maiores declives erodem mais e formam feições de escoamento superficial concentrado. Em oposição, as topografias mais planas que contém escoamento superficial laminar sofrem menor dissecação do relevo. Não apresentam movimentos de massa e áreas sujeitas à inundação. Os perfis de solo tendem a ser homogêneos. Possuem apenas uma direção de fluxo subterrâneo e, conseqüentemente, ausência de áreas de recarga. Contudo, contém muitas zonas alagadas devido à densa rede hídrica e intervenções antrópicas.

SLBRE (Relevo de Encostas) define uma Unidade Morfoestratigráfica

caracterizando o relevo de encostas. As declividades são superiores a 20% associadas a predominância de potenciais de erodibilidade muito alto, responsáveis pela formação de escoamentos superficiais concentrados e tendência erosiva e algumas zonas com potenciais para movimentos de massa. Há somente 1 direção de fluxo subterrâneo. Não apresenta áreas de recarga e zonas sujeitas à inundação, porém podem apresentar zonas alagadas.

Dentre os perfis pedológicos investigados na Unidade Morfoestratigráfica SLBRMES (Relevo de Morro com Encosta Suavizada), uma quantidade significativa possui variação progressiva. No entanto, predomina a homogeneidade. A declividade no relevo de morros com encostas suavizadas alcança até 20%, porém a maioria dos locais investigados não é superior a 10%. Nesse sentido, constataram-se que os escoamentos superficiais concentrados e as altas taxas erosivas são decorrentes das intervenções antrópicas. O potencial de erodibilidade é predominantemente médio, explicando a ausência de movimentos de massa. Há ocorrência de áreas de recarga que originam fluxos subterrâneos difusos, com até 4 direções. Não apresenta zona sujeita à inundação, porém as zonas alagadas são frequentes devido à densa rede de drenagem e antropização.

A caracterização da Unidade Morfoestratigráfica SLBRM (Relevo de Morro) é baseada em apenas um ponto de campo devido à dificuldade de acesso aos demais locais. Contudo, é possível afirmar que devido a declividade superior a 20% e o potencial de erodibilidade muito alto, o escoamento superficial tende a ser concentrado e há potencial para movimentos de massa devido as altas taxas erosivas. A direção de fluxo subterrâneo no relevo de morros é unidirecional com ausência de áreas de recarga. Ocorrem zonas alagadas devido à intervenção antrópica.

5.2.4. Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro

O regime climático da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro é caracterizado por uma evapotranspiração superior a 925 mm/ano e pluviosidade que varia entre 1550 e 1774 mm/ano. Está inserida em dois domínios geológicos distintos entre si: a Suíte Granítica Dom Feliciano e o Sistema Laguna-Barreira I.

Geneticamente associada a um batólito granítico, a SGDF apresenta os relevos mais elevados e acidentados da área. Sua geomorfologia é caracterizada pela concentração de relevos de morros e encostas, explicando a maior susceptibilidade à

erosão em relação aos terrenos vizinhos. Além desse geossistema por si só condicionar maiores taxas erosivas, a antropização também contribui para o aumento da ocorrência e potenciais movimentos de massa. A exploração de materiais agregados durante anos moldou o terreno e expôs taludes verticais estruturados por maciços dinamitados, conseqüentemente mais fraturados que sua configuração original. A dissecação do relevo impulsiona o desenvolvimento de campos de matações com inúmeros corpos de dimensões métricas tanto nas regiões altas quanto nas rebaixadas. A análise do lençol freático substituiu a investigação do aquífero fraturado, impossibilitada devido às limitações técnicas. Foi possível observar que, de forma geral, sua profundidade é relativamente rasa e possui fluxo difuso e de alta permeabilidade. Os horizontes de solo tendem a ser mais rasos e homogêneos nas regiões mais altas, visto que a configuração geomorfológica proporciona erosão nessas áreas. Logo, não há acúmulo sedimentar e os perfis pedológicos tendem a ser mais progressivos nas topografias rebaixadas. O solo residual é responsável pela formação de partículas do tamanho areia grossa, areia fina a média e argilas (*Ilustração 1*). A primeira delas se concentra em áreas com maior elevação e declividade, visto que não foram identificadas no relevo colinoso e tem maior representatividade no relevo de morros, de encostas e morros com encostas suavizadas, respectivamente. De forma oposta, as argilas se acumulam em áreas menos elevadas, como no relevo colinoso e relevo de encosta (mal selecionado). Areias fina a média representam a maior parte da granulometria dos solos e, além de serem residuais, provém do recobrimento eólico da Barreira I sobre a SGDF.

As menores elevações e declividades ocorrem na planície aluvial do Sistema Laguna-Barreira I. Em escala local, representa o depósito sedimentar tanto da SGDF quanto da Barreira I, acumulando partículas argilosas e areia fina a média (*Ilustração 2*). Constitui zona sujeita à inundação, composta por solos constantemente saturados (hidromorfismo) próximo ao Arroio Pesqueiro e em alguns locais identificados como banhados, caracterizando má drenabilidade. É onde há convergência das direções de fluxo subterrâneo das demais unidades geológicas e as menores taxas de infiltração. Com exceção da posição dos cursos hídricos, corresponde às menores taxas de erosão, ao menor potencial de erodibilidade e a maior tendência à formação de escoamento superficial laminar.

Diferentemente da composição pedológica da SGDF, na Barreira I não foram identificadas partículas do tamanho areia grossa (*Ilustração 3*). A área é composta por

areias fina a média e por quantidades ínfimas de argila, encontradas somente nos relevos colinoso e morros com encostas suavizadas. Logo, pode-se concluir que o embasamento possui profundidade irregular e influencia na composição pedológica dos depósitos eólicos, visto que a origem dessas partículas provém de um solo residual possivelmente retrabalhado e recoberto. As maiores taxas erosivas e potenciais de erodibilidade tendem a ocorrer nos relevos de morro e encostas, explicando a ausência de argilas nessas unidades. A variação de perfil tende a ser homogênea, com exceção a algumas zonas pertencentes ao relevo de morros com encostas suavizadas, indicando maior elevação do embasamento nessas regiões. A ocorrência dos relevos de morros e de encostas está associado à rede de drenagens, evidenciando maior declividade, taxas de erosão e potenciais de erodibilidade.

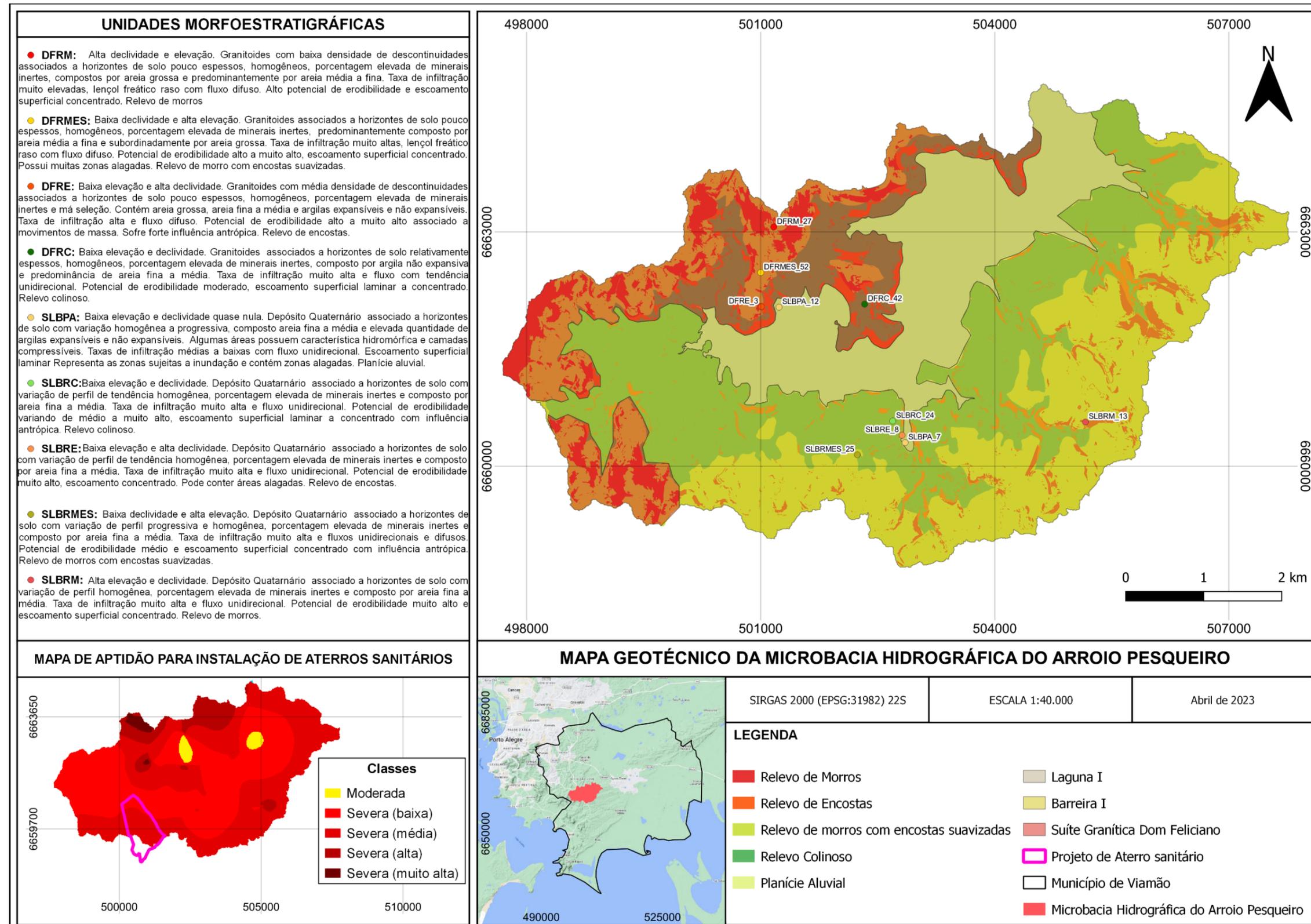
Ainda que passível de enquadramento dentro de um intervalo de homogeneidade, foi possível observar a variabilidade dos atributos do meio físico ao longo da mesma geologia e geomorfologia, demonstrando-se a importância da consideração da estratigrafia na análise.

5.3. Classificação

A definição das classes de aptidão para instalação de aterro sanitário na Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro não levou em consideração todo o conjunto de Diretrizes para o Licenciamento Ambiental de Aterros Sanitários no Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2019). Este documento avalia a sensibilidade ambiental para implantação de unidades de destinação final de resíduos no Rio Grande do Sul. Dentre os critérios avaliados estão a espessura e textura de solo, presença e profundidade do lençol freático, susceptibilidade à erosão hídrica, tipo de relevo, declividade natural do terreno, aptidão agrícola e presença de unidades de conservação como: terras indígenas, áreas de uso sustentável e áreas de preservação permanente. O produto final resultou em 5 classes, definidas como: imprópria, alta, média, baixa e muito baixa. Segundo o estudo, não é permitido instalar empreendimentos dessa natureza em Áreas de Proteção Ambiental (APA). De acordo com o *Mapa 15*, mais da metade da área de estudo se insere nos domínios da Área de Preservação Ambiental do Banhado Grande. Logo, esse perímetro já é considerado restritivo. É possível observar que o projeto de instalação do aterro sanitário situa-se imediatamente no seu limite. Nesse sentido, o presente trabalho foi elaborado para avaliar as características físicas, independente deste quesito legal, relacionado à

existência da APA. Partindo deste ponto, a área é praticamente toda classificada como severa (*Mapa 16*) e a relação da topografia, potenciometria e infiltração, indicam que a partir da locação do empreendimento a área da APA seria potencialmente atingida em caso de contaminação (*Mapa 15*).

Mapa 14. Mapa Geotécnico da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro. A integração das unidades geológicas e geomorfológicas define as Unidades Morfoestratigráficas, acompanhadas de descrição e de pontos representativos. O Mapa de Aptidão para Instalação de Aterros Sanitários auxilia na interpretação do grau de impacto ambiental diante do cenário hipotético de contaminação. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos locais investigados.

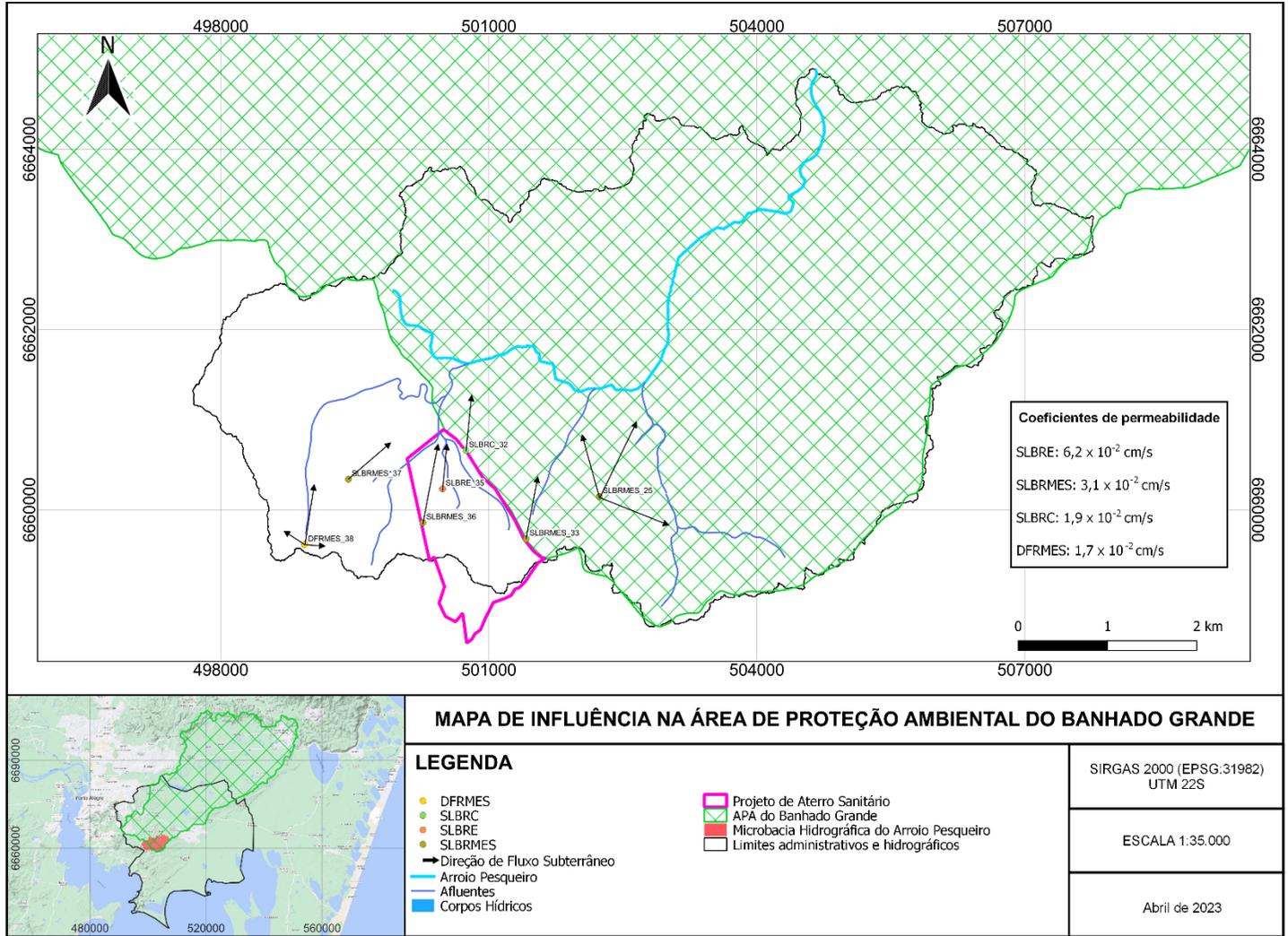


A proximidade com o projeto de aterro sanitário também não foi levada em conta, já que a intenção era avaliar a microbacia como um todo e, após, analisar a posição da alternativa locacional do empreendimento no contexto das classes resultantes. Uma vez que a hipotética contaminação ocorresse, as áreas adjacentes serão as primeiras atingidas. Dessa forma, a distância compõe uma variável importante a ser considerada no caso de continuidade do processo de licenciamento. As informações dos coeficientes de permeabilidade e direção de fluxo auxiliam a diagnosticar a quantidade de fluido que pode ser transmitido pela espessura saturada, ou seja, a transmissividade. Dados referentes à distância em função do tempo e velocidade também poderiam ser adquiridos e usados como base para a interpretação do cenário poluidor. Ainda que não tenham sido obtidos dados diretos, os resultados até aqui indicam que as áreas adjacentes ao empreendimento, inseridas na APA do Banhado Grande, seriam potencialmente atingidas. Estas áreas foram classificadas como severas no presente trabalho e como restritivas por FEPAM (2019), devido à presença da APA.

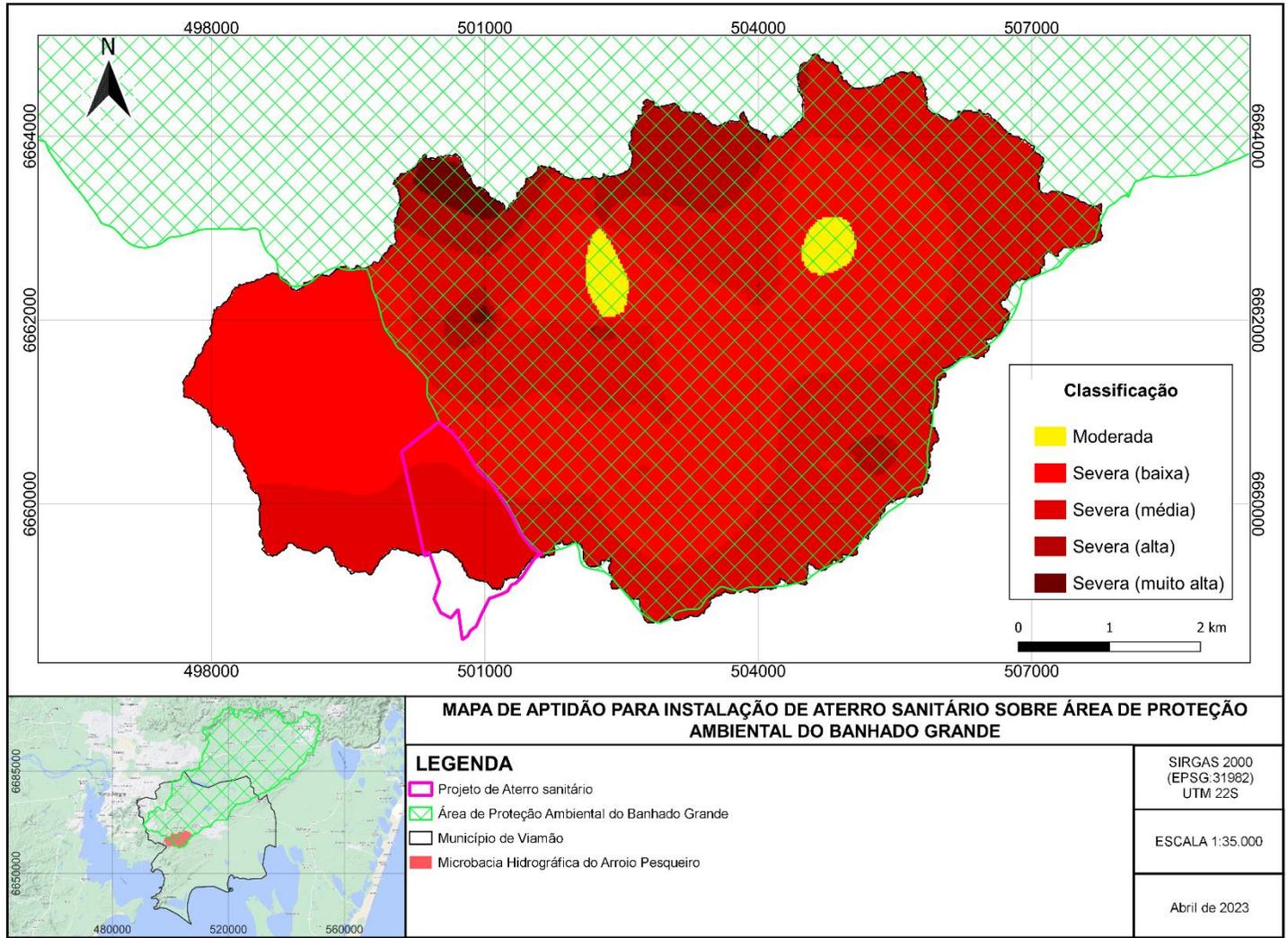
Considerando as dificuldades de acesso, os setores W, E e N-NE possuem densidade baixa de pontos, impondo incertezas nas classes nessas zonas. Contudo, levando em conta o comportamento resultante na SGDF, provavelmente o setor W teria mais zonas com classes severas alta ou muito alta. No SLBI, a tendência seria diagnosticar áreas nas classes severa alta na porção N-NE devido a configuração geomorfológica semelhante da zona S-SE.

As classes severas alta e muito alta se concentraram nos domínios da SGDF em relação ao SLBI. Contudo, considerando que o Aquífero Coxilha das Lombas (Barreira I) é poroso e possui uma vulnerabilidade alta, esperava-se que essas áreas apresentariam índices mais reprovativos. Nesse sentido, uma média ponderada deveria ter sido aplicada ao invés de uma média aritmética, considerado pesos as classes para os diferentes atributos. Por exemplo, os dados dos coeficientes de permeabilidade são mais relevantes para análise em comparação aos de escoamento superficial. Dessa forma, o método se aproximaria mais da realidade e seria possível interpretar o cenário da possível contaminação de forma mais verossímil.

Mapa 15. Mapa de influência do projeto de aterro sanitário na Área de Preservação Ambiental do Banhado Grande. Os coeficientes de permeabilidade e as direções de fluxo subterrâneo indicam que a APA seria contaminada por um hipotético vazamento de resíduos. As setas não são vetores e, portanto, não indicam velocidade. A ferramenta “zoom” auxilia na visualização dos pontos de campo.



Mapa 16. Mapa de Aptidão para Instalação de Aterro Sanitário sobre Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande.



6 CONCLUSÃO

Diante da crescente taxa de urbanização, o mapeamento geotécnico fornece subsídios para compreender os impactos ambientais e auxilia no planejamento sustentável das cidades. A correlação de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrogeológicos e climáticos permite obter informações necessárias aos processos de licenciamento ambiental e complementa os projetos de engenharia e caracterização do meio biótico.

O projeto de aterro sanitário na zona rural do Município de Viamão dividiu a sociedade. De forma imparcial, as geociências foram aplicadas para contribuir com um problema social fornecendo um panorama dos potenciais impactos ambientais frente a um cenário hipotético de contaminação. Nesse sentido, constata-se a importância do método científico para a tomada de decisões nos setores público e privados.

Os principais fundamentos do estudo se baseiam em dois trabalhos: Zuquette (1993) e Saraiva (1995). Ao aplicá-los nos diferentes contextos da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro, foi necessário realizar uma série de ajustes para eliminar parcialmente subjetividades, adequar os intervalos das classes e representar a realidade do meio físico. Avaliando os resultados obtidos, conclui-se que novas modificações ainda poderiam ser implementadas para aumentar a credibilidade das informações, como: adoção de pesos para hierarquização dos atributos, quantificação dos intervalos de classes, inibir a aplicação do mesmo valor para duas ou mais classes e aumentar a heterogeneidade dos dados. A padronização na obtenção dos dados também serve como ferramenta para garantir que a imparcialidade guie futuros projetos dessa natureza. Diferentemente das obras citadas, o geoprocessamento foi uma importante ferramenta para a compreensão de inúmeros atributos. Diferentes *softwares* e procedimentos proporcionam o tratamento e correlações entre dados diretos e indiretos. São, portanto, indispensáveis ao mapeamento geotécnico. Apesar das ressalvas, os princípios e lógicas de caracterização do meio físico proporcionaram um entendimento detalhado e satisfatório diante das técnicas adotadas e suas limitações. Cabe salientar que, com maior investimento financeiro, sondagens e ferramentas geofísicas poderiam ter sido empregadas para fornecer maior detalhamento em profundidade, aumentando a precisão e acurácia dos dados.

Com o desenvolvimento das etapas de aquisição de dados, encontraram-se

padrões entre determinadas variáveis. O meio físico foi compartimentado em zonas com litologia, elevação e declividade homogêneas, denominadas Unidades Morfoestratigráficas. Os pontos de campo evidenciaram existência de heterogeneidade lateral em relação aos demais atributos. Logo, além de proporcionar maior precisão e acurácia de dados, a adoção de técnicas mais robustas possibilita identificar padrões em escalas em maior detalhe.

A classificação das Unidades Morfoestratigráficas quanto à aptidão para instalação de aterro sanitário na Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro com base nos métodos aplicados resultou em duas pequenas áreas na classe moderada e predominância da classe severa. Com o intuito de evidenciar variações nesse próprio intervalo de valores, foi reclassificada para quatro sub-classes: severa (baixa), severa (média), severa (alta) e severa (muito alta). Identificou-se predominância de severa (baixa), seguida de severa (média), severa (alta) e severa (muito alta). Ou seja, o estudo prevê que havendo contaminação do aterro sanitário, o impacto ambiental na microbacia acarreta em danos difíceis de serem revertidos, sendo necessário alto investimento financeiro.

Considerando que: há uma densidade populacional significativa na microbacia, que não há rede de abastecimento hídrico, que os moradores captam a água subterrânea para consumo humano e que os impactos ambientais negativos são significativos diante de um cenário contaminante, a instalação do empreendimento implica em elevado risco de saúde pública.

O estudo foi realizado sem considerar as Diretrizes para o Licenciamento Ambiental de Aterros Sanitários no Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2019). Independentemente das questões legais, constatou-se que a área de estudo possui um comportamento relativamente homogêneo em escala regional: severa. Considerando que a Área de Preservação Ambiental do Banhado Grande abrange somente uma porção da Microbacia Hidrográfica do Arroio Pesqueiro, sugere-se que a APA seja ampliada para sua totalidade visto que, além disso, comprovou-se que havendo contaminação oriunda de empreendimentos como o do aterro sanitário, ela seria diretamente atingida.

7 REFERÊNCIAS

A EXPERTISE do Serviço Geológico do Brasil na seleção de áreas para instalação de aterros sanitários. **TV CPRM.** 2021 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VKluK6lb7y8>. Acesso em: 05 mar. 2022

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Ensaio de Permeabilidade em Solos:** orientações para a sua execução no campo. 4.ed. São Paulo. 2013

COLLISCHONN L.; ROSA, M.L.C.C; SCHWARZER, G. Adequabilidade à locação de aterros sanitários: uma análise aplicada ao município de Viamão, Rio Grande do Sul. **11º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Geologia Ambiental.** Belo Horizonte, MG. no prelo. 2022.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul.** Programa de Geologia do Brasil. Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Mapas Geológicos Estaduais em Sistema de Informações Geográficas – SIG. Escala 1:750.000. 2008.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2005. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul.** Escala 1:750.000. Convênio SOPS-SEMA-DRH/RS-CPRM N° 029/98. DVD Rom. 2008.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **SIAGAS. Sistema de Informações de Água Subterrânea – Portal SIAGAS.** 2020. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em 06 mar. 2022

DELANEY, P. **Fisiografia e geologia da subsuperfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** Publicação Especial. Escola de Geologia, UFRGS. Porto Alegre, n.6, 195p. 1965.

DISCOVER your power with ArcGIS. **ESRI.** 2022. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Acesso em: 01 mar. 2022.

EBMA. Empresa Brasileira de Meio Ambiente. 2020. Alternativas Locacionais para a 1ª FASE. Termo de Referência para EIA-RIMA, nº 16/2018.

Facebook. VIAMÃO RS. Não ao Lixão – Passo da Areia, Itapuã/Canta Galo. Viamão, 2022. Facebook: @naoaolixao. Disponível em: <https://www.facebook.com/naoaolixao/>. Acesso em: 09 mar. 2022.

FEPAGRO. Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. CEMETRS. Centro Estadual de Meteorologia. **Atlas Climático Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. Brasil. 2011.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Departamento de Qualidade Ambiental – DQA. Divisão de Planejamento – DIPLAN. **Mapa e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros sanitário no Estado do Rio Grande do Sul**. Avaliação regional de áreas para destinação de resíduos sólidos urbanos. Nota Técnica. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2019.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Secretaria Estadual do Meio Ambiente/SEMA. Portaria N° 18/2018. **Dispõe sobre critérios e diretrizes gerais, bem como define os estudos ambientais e os procedimentos básicos a serem seguidos no âmbito do licenciamento ambiental de aterros sanitários**. Protocolo: 2018000066214. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2018. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/LEGISLACAO/ARQ/PORTARIA018-2018.PDF> . Acesso em: 07 mar. 2022.

FERREIRA, M. Ameaça de instalação de “lixão” em Viamão (RS) motiva protesto no domingo (9). **Brasil de Fato Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 07 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2022/01/07/retomada-da-ameaca-de-instalacao-de-lixao-em-viamao-motiva-protesto-no-domingo-9> . Acesso em 07 mar. 2022.

FONSECA, V.P. **Estudos morfotectônicos aplicados à Planície Costeira do Rio Grande do Sul e adjacências**. Porto Alegre. 307p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006.

FOSTER, S. & HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. Boletim n.10, 87p. São Paulo: Instituto Geológico. 1993.

FOSTER, S. & HIRATA, R. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81p. 1998.

GROHMANN, C.H. **Introdução à Análise Digital de Terreno com GRASS-GIS**. Instituto de Geociências –USP, São Paulo, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/viamao/pesquisa/23/22469>. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Acesso em: 01 mar. 2022

IEDE – Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais. **Geoportal RS - Plataforma de compartilhamento de dados geoespaciais, serviços e aplicações do Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://iede.rs.gov.br/>. Acesso em 07 mar. 2022.

INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL. Normais Climatológicas (1961/1990). Brasília - DF, 1992. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 07 mar. 2022.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2v. (IPT, Monografias).1981.

MOURA, N.V.S. & HASENACK, H.; SILVA, L.L. **Mapa geomorfológico dos municípios de Porto Alegre, Viamão e Alvorada** - RS. Porto Alegre: UFRGS - IB - Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-10-4. 2013.

MOVIMENTO contrário à instalação de aterro sanitário em Viamão apresenta possíveis impactos ambientais do empreendimento. **Câmara Municipal de Viamão**, 2021. Disponível em: <https://camaraviamao.rs.gov.br/movimento-contrario-a-instalacao-de-aterro-sanitario-em-viamao-apresenta-possiveis-impactos-ambientais-do-empreendimento/>. Acesso em: 05 mar. 2022

PANITZ, M. A. **Parecer técnico extrajudicial sobre o impacto do transporte de lixo urbano na trafegabilidade das estradas de acesso ao aterro sanitário a ser construído em Viamão/RS**. ART N° 10253662 – Anotação de Responsabilidade Técnica. CREA/RS n° 5058-D. Porto Alegre. 2019

PHILLIP, R.P.; CAMPOS, R.S. 2004. **Geologia Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisses**. Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas. Pesquisas em Geociências, v.31, n.2. 2004.

POSSANTTI, I.B. **Nota Técnica:** Mapa de aptidão locacional para a instalação de aterro sanitário no município de Viamão, RS. 2019. Disponível em: https://padrejosimo.com.br/site/wp-content/uploads/2019/10/03_NotaTecnica_AptidaoViamao.pdf Acesso em: 04 mar. 2022.

POSSANTTI, I. B.; SILVEIRA, V. M. M. **Otimização espacial participativa na avaliação de alternativas locais para instalação de aterros**

sanitários: um novo paradigma no planejamento ambiental. 9ª Reunião de Estudos Ambientais, 2019, Gramado. Anais - 9ª Reunião de Estudos Ambientais. Gramado: Editora GFM, 2019.

ROSA, M.L.C.C.; GENRO, L.V.; SCHWARZER, G.; TRINDADE S.; COLLISCHONN L.; ROCHA M.X.; SOUZA T.P.; REGINATTO P.A.R. **A Geologia de Viamão (RS): Recursos Naturais e o Uso do Solo.** Relatório Técnico-Científico 01". Ação de Extensão UFRGS nº 44256. 2021

RUBBO, M.; MARQUEZAN R.G.; CAICEDO, N.L.; LEÃO, M.I. Diagnóstico qualitativo do aquífero freático da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí-RS. **XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.** São Paulo, SP. Brasil. 2002.

SARAIVA, R. M. **Mapeamento geotécnico da folha de socorro com base na análise das formas de relevo (Landforms).** Dissertação (mestrado em geotecnia) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo. 1995.

SCHWARZER, G. e ROSA, M.L.C.C.; COLLISCHONN L. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento geotécnico em escala local: o aterro em Viamão, RS. **XXXIII – SIC.** Salão de Iniciação Científica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2021.

SCHWARZER G.; ROSA, M.L.C.C; Análise Hidrogeomorfológica por meio do geoprocessamento: uma aplicação no município de Viamão (RS). **4º Simpósio de Jovens Profissionais. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Geologia Ambiental.** Belo Horizonte, MG. No prelo. 2022.

SEMA, Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Bacias Hidrográficas. **Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente – DRH/SEMA.** 2022. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas> . Acesso em: 07 mar. 2022.

TAXA de Urbanização. **Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul - Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão,** 2010. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/grau-de-urbanizacao> Acesso em 07 mar. 2022.

UNISINOS; VIAMÃO, P. M. **Zoneamento Ambiental Econômico de Viamão – RS.** Convênio nº 262/2014. Viamão, Rio Grande do Sul. 2016.

VIAMÃO. Câmara Municipal de Viamão. **Lei Municipal Nº 4154/2013.** Institui o plano diretor, define princípio, políticas, estratégias e instrumentos para o desenvolvimento municipal e para o cumprimento da função social da propriedade no município de Viamão e dá outras providências. Prefeito Municipal Valdir Bonatto. Secretário de Administração Elton Luís Dutra Ferreira. Viamão, RS. 2013. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-viamao-rs#:~:text=disciplinada%20nesta%20Lei.-,Art.,privados%20que%20atuam%20no%20Munic%C3%ADpio.> Acesso em: 04/03/2022

VIAMÃO. Câmara Municipal de Viamão. **Lei Municipal Nº 4178/2013 Art. 1º, Item III.** Dispõe sobre as diretrizes para implementação do uso e ocupação do solo no município de Viamão. Prefeito Municipal Valdir Bonatto. Secretário de Administração Elton Luís Dutra Ferreira. Viamão, RS. 2013. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/rs/v/viamao/lei-ordinaria/2013/417/4178/lei-ordinaria-n-4178-2013-dispoe-sobre-as-diretrizes-para-implementacao-do-uso-e-ocupacao-do-solo-do-municipio-de-viamao.> Acesso em: 04 mar. 2022

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico:** Fundamentos e guias para elaboração. São Carlos, 2v. Tese (livre docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1993.