



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS



**Trabalho de fim de curso para a obtenção do grau de licenciatura em
Engenharia de Minas**

**CRIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS GEOESPACIAIS PARA
GESTÃO DA PROSPECÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS NA ACTIVIDADE MINEIRA.**

ESTUDO DE CASO: MINA DO CATOCA

Nome: Ana Paula Campos António

Nº 124821

Luanda, 2025

UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS

**Trabalho de fim de curso para a obtenção do grau de licenciatura em
Engenharia de Minas**

**CRIAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS GEOESPACIAIS PARA
GESTÃO DA PROSPECÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÂNEOS NA ACTIVIDADE MINEIRA.**

ESTUDO DE CASO: MINA DO CATOCA

Ana Paula Campos António

Nº 124821

Orientador: MSc. Emmanuel Saturnino de Sousa e Oliveira

Coorientadores: MSc. Joel Mendonça Tavares

Engº Hermano Manuel Balão

Luanda, 2025

DEDICATÓRIA

A Deus, que me proporcionou a maior virtude humana que é a sabedoria. Foi do seu fôlego que originou a vida, o conhecimento e a sabedoria, graças a isso foi possível a realização deste singelo trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, nosso Senhor, pelo dom da vida, saúde e sabedoria concedida.

Aos familiares, em especial aos meus pais, Augusto António e Suzana Campos, e aos meus irmãos, Delfina António, Edmar António e Cláudia António, pelo amor, apoio financeiro e por acreditarem sempre em mim. Às minhas companheiras de estrada, Márcia Bernardo, que me acompanha desde o ensino secundário até à faculdade, e Bruna Teixeira, por tornarem a caminhada mais leve, os caminhos mais alegres e os dias mais memoráveis.

Ao Sr. Professor Emmanuel Saturnino, meu orientador, pela confiança depositada, paciência, pelos conselhos e pelo incentivo constante. Agradeço pelas oportunidades de crescimento pessoal, profissional e intelectual, e por me ajudar a compreender melhor o mundo da pesquisa.

Aos meus co-orientadores, Mestre Joel Tavares e Engenheiro Hermano Balão, pela atenção dedicada em cada etapa deste trabalho, pela disponibilidade em partilhar os vossos conhecimentos técnicos e pela paciência demonstrada ao esclarecer dúvidas. O vosso apoio foi essencial não apenas para o desenvolvimento científico deste estudo, mas também para o meu amadurecimento académico e profissional.

Ao Chefe do Departamento de Minas, Nlandu Kinkela, pela dedicação e pelo suporte.

A todos os professores do Departamento de Minas, pelo conhecimento partilhado ao longo da formação.

Ao Centro de Teledetecção e Gestão de Recursos Naturais (CTGRN), pela oportunidade de crescimento e pelo acolhimento profissional.

Ao meu ciclo de oração “Mulheres de Yahweh”, aos grupos Coral Central Mateus, Eterno e La Criminal Family, pela força espiritual e pela amizade.

Aos meus amigos e colegas, pelo companheirismo, incentivo e partilha de conhecimento que tornaram esta jornada inesquecível.

A todos o meu muito obrigada!

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.2.1 - Estimativa do balanço hídrico no mundo.....	9
Tabela 1.2.2 - Cadeia de valor da Indústria de Águas Subterrâneas.....	12
Tabela 1.2.3 - Classificação hidrogeológica dos sedimentos e rochas	16
Tabela 1.3.1 - Classificação dos métodos geofísicos.....	22
Tabela 1.10.1 - Princípio da obtenção de imagem por sensoriamento remoto	38
Tabela 1.11.1- Apresentação de uma síntese das etapas e saída do DSR numa visão geral.....	42
Tabela 2.1.1 - Metodologia do trabalho com implementação do DSR.....	43
Tabela 2.1.2 - Equipamentos utilizados para recolha e inserção de dados em ambiente computacional.	44
Tabela 3.2.1 - Processo actual de gestão de prospecção de recursos hídricos subterrâneos	53
Tabela 3.2.2 - Processo futuro de gestão de recursos hídricos subterrâneos	55
Tabela 3.2.3 – Tipo e formato dos dados da BDG.....	59
Tabela 3.2.4 - Exemplo de consultas de dados para BDG.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1 - Mina de CATOCA	5
Figura 1.1.2 - Mina de Diamante (CATOCA)	6
Figura 1.1.3 - Mina de Cobre (Mavoio).....	6
Figura 1.2.1 – Ciclo hidrológico.	8
Figura 1.2.2 - Modelo conceitual das zonas não saturada e saturada no subsolo.	14
Figura 1.2.3 - Aquífero livre e confinado	15
Figura 1.2.4 - Classificação hidrogeológica dos sedimentos e rochas	16
Figura 1.2.5 - Tipos de porosidades conforme diferentes materiais numa seção geológica	17
Figura 1.2.6 - Zona de recarga e descarga de águas subterrâneas.....	19
Figura 1.4.1 - Principais bacias hidrográficas de Angola	25
Figura 1.6.1 - Componentes de um SIG.....	30
Figura 1.7.1 - Ilustração dos dados espaciais.....	34
Figura 1.8.1 - Diferentes graus de abstração na notação de classe.	36
Figura 1.9.1 - Elementos do BPMN.....	37
Figura 2.1.1 - Etapas de execução do projecto.....	46
Figura 3.1.1 - Localização geográfica da área de estudo.	47
Figura 3.1.2 - Vias de acesso ao Município de Saurimo.....	48
Figura 3.1.3 - Vias de acesso a mina de Catoca.....	49
Figura 3.1.4 - Hidrografia de Catoca	51
Figura 3.2.1 - Processo actual de gestão de prospecção de recursos hídricos subterrâneos em BPMN.....	54
Figura 3.2.2 - Processo futuro de gestão de recursos hídricos subterrâneos em BPM.....	56
Figura 3.2.3 – Ilustração da Base de dados Geoespaciais.....	57
Figura 3.2.4 – Modelação dos dados em UML.....	58
Figura 3.2.5 - Consulta da Base de Dados Geoespaciais no QGIS.....	60
Figura 3.2.6 - Consulta da Base de Dados Geoespaciais no postgres.....	60
Figura 3.2.7 - Consulta na BDG usando filtro	61
Figura 3.2.8 - Litologia	62
Figura 3.2.9 - Precipitação	63
Figura 3.2.10 - Uso e ocupação de solo	64

Figura 3.2.11 - Tipo de solo.....	65
Figura 3.2.12 - Densidade de drenagem	66
Figura 3.2.13 - Manchas de água na cava.....	67
Figura 3.2.14 - Altimetria	68
Figura 3.2.15 - Declividade	69
Figura 3.2.16 - Criação da BDG no PostgreSQL/PostGIS	77
Figura 3.2.17 - Selecção das extensões de aceitabilidade dos dados	77
Figura 3.2.18 - Dados para conexão	78
Figura 3.2.19 – Conexão do PostgreSQL com o QGIS.	78
Figura 3.2.20 - Importação de dados.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

BD - Base de Dados

BDG - Base de Dados Geoespaciais

BPMN - *Business Process Modelling Notation* (Notação de Modelagem de Processos de Negócios)

DS - *Design Science* (Ciência do Design)

DSR - *Design Science Research* (Pesquisa Científica do Design)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENDIAMA - Empresa Nacional de Diamantes de Angola

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração

INE - Instituto Nacional de Estatística

INIDE - Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento da Educação

INRH - Instituto Nacional de Recursos Hídricos

MDE / DEM - *Digital Elevation Model* / Modelo Digital de Elevação

MINEA - Ministério de Energia e Água

PI - Plano de Informação

SGBD - Sistema de Gestão de Base de Dados

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SMC - Sociedade Mineira de Catoca

Sph - *Shapfile* (camada)

SQL - *Structured Query Language* (Linguagem de Consulta Estruturada)

TIFF - *Tagged Image File Format* (Formato de arquivo de imagem etiquetada)

UML - *Unified Modeling Language* (Linguagem de Modelação Unificada)

USGS – *United States Geological Survey* (Serviço Geológico dos Estados Unidos)

RESUMO

A prospecção e gestão dos recursos hídricos subterrâneos constituem um dos grandes desafios enfrentados na actividade mineira, sobretudo em regiões onde a exploração intensiva pode comprometer a disponibilidade e a qualidade da água. Esse desafio torna-se ainda mais relevante considerando que o processo de prospecção influencia directamente o estudo de viabilidade técnico-económica de um projecto mineiro. Nesse contexto, a interacção entre a Engenharia de Minas e as águas subterrâneas assume um papel crucial, uma vez que a presença de aquíferos pode afectar significativamente a estabilidade das escavações e a viabilidade económica das operações. Por isso, é essencial que os engenheiros de minas compreendam a hidrogeologia, de modo a planear e executar métodos de desaguamento e controlo de infiltrações de forma eficaz (ABAS, 2022). Com base nessa necessidade, este trabalho tem como objectivo criar uma Base de Dados Geoespaciais que auxilie na gestão da prospecção dos recursos hídricos subterrâneos na mina de CATOCA. Para isso, foram recolhidos e tratados dados geológicos, de teledetecção e de localização de furos de água, organizados num ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o que possibilitou a criação de mapas temáticos e a integração de informações diversas. A Base de Dados Geoespaciais desenvolvida permite uma melhor visualização, armazenamento e consulta dos dados, contribuindo para a tomada de decisão, redução de riscos ambientais e melhor aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos. Além disso, reforça a importância da gestão adequada das águas subterrâneas para prevenir a contaminação dos aquíferos pelas actividades de mineração, garantindo a preservação dos recursos hídricos essenciais às comunidades locais e aos ecossistemas (McWorter & Sunada, 1977).

Palavras-chave: Recursos Hídricos Subterrâneos; Base de Dados Geoespaciais; Mina de CATOCA.

ABSTRACT

The prospecting and management of groundwater resources constitute one of the major challenges faced in mining activity, especially in regions where intensive exploration can compromise the availability and quality of water. This challenge becomes even more relevant considering that the prospecting process directly influences the technical-economic feasibility study of a mining project. In this context, the interaction between Mining Engineering and groundwater assumes a crucial role, since the presence of aquifers can significantly affect the stability of excavations and the economic viability of operations. Therefore, it is essential that mining engineers understand groundwater hydrology in order to plan and execute dewatering and seepage control methods effectively (ABAS, 2022). Based on this need, this work aims to create a Geospatial Database to assist in the management of groundwater resource prospecting at the CATOCA mine. To this end, geological, remote sensing, and borehole location data were collected and processed, organized in a Geographic Information System (GIS) environment, enabling the creation of thematic maps and the integration of diverse information. The developed Geospatial Database allows for better visualization, storage, and querying of data, contributing to decision-making, reduction of environmental risks, and better use of groundwater resources. Furthermore, it reinforces the importance of proper groundwater management to prevent aquifer contamination by mining activities, ensuring the preservation of water resources essential to local communities and ecosystems (McWorter & Sunada, 1977).

Keywords: Groundwater Resources, Geospatial Database, CATOCA Mine.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	IV
ÍNDICE DE TABELAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS	VIII
RESUMO	IX
ABSTRACT	X
INTRODUÇÃO	1
Problema	2
Causa.....	2
Consequências.....	2
Justificativa	2
Objectivo Geral	2
Objectivos Específicos.....	2
Solução.....	3
Hipótese	3
Metodologia de investigação	3
Delimitação do estudo.....	3
Estrutura do trabalho.....	4
CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
1.1 Engenharia de Minas.....	5
1.1.1 Métodos de Extração.....	6
1.2 Recursos Hídricos	7
1.2.1 Ciclo Hidrológico.....	8
1.2.2 Águas Subterrâneas. Origem e comportamento	9
1.2.3 Águas Subterrâneas Vs Águas Superficiais	10
1.2.4 Gestão de Águas Subterrâneas	11
1.2.4.1 Macroprocessos de Gestão de Águas Subterrâneas	11
1.2.5 Distribuição vertical das Águas Subterrâneas	13
1.2.6 Aquíferos.....	14

1.2.6.1	Classificação dos aquíferos quanto a sua localização em profundidade	14
1.2.6.2	Classificação hidrogeológica dos sedimentos e rochas	15
1.2.6.3	Parâmetros Hidrogeológicos	17
1.2.7	Zonas de Recarga e Descarga de Águas Subterrâneas	18
1.3	Geociências e as Águas Subterrâneas	20
1.4	Hidrografia e Hidrogeologia de Angola.....	24
1.4.1	Água Subterrânea em Angola	26
1.4.1.1	Água Subterrânea na Província da Lunda-Sul	26
1.4.1.2	Legislação das Águas em Angola	27
1.5	Geoinformática, Hidroinformática e Geoprocessamento	28
1.6	Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	29
1.7	Base de Dados Geoespaciais (BDG).....	32
1.7.1	Dados Vs Informação.....	33
1.8	UML - Linguagem de Modelação Unificada (<i>Unified Modeling Language</i>)	35
1.9	BPMN - Notação de Modelagem de Processos de Negócios (<i>Business Process Model and Notation</i>)	37
1.10	Teledetecção.....	38
1.10.1	Obtenção e Resolução de Imagens.....	39
1.10.2	Teledetecção e Águas Subterrâneas	40
1.11	Metodologia e Métodos de Investigação Científica.....	40
CAPÍTULO II - METODOLOGIA		43
2.1	Método <i>Design Science Research</i> (DSR).....	43
2.1.1	Etapas de Implementação com DSR	43
CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS		47
3.1	Caracterização da Área de Estudo: Mina de Catoca – Saurimo, Lunda Sul	47
3.1.1	Localização geográfica.....	47
3.1.2.1	Clima e Solo.....	49
3.1.2.3	Geologia.....	50
3.1.2.4	Hidrografia	51
3.2	Apresentação dos Resultados. Teste da Base de Dados Geoespaciais.....	52
3.2.1	Recolha, Organização e Armazenamento, Processamento de Dados.....	52

3.2.2	Modelação dos processos do macroprocesso de prospecção de recursos hídricos subterrâneas	53
3.2.2.1	Modelação de Prospecção de Águas Subterrâneas: Processo actual (AS-IS)	53
3.2.2.2	Modelação de Prospecção de Águas Subterrâneas: Processo futuro (TO-BE)	55
3.2.3	Criação da Base de Dados Geoespaciais	57
3.2.3.1	Base de Dados Geoespaciais	57
3.2.4	Teste do Artefacto	59
3.2.4.1	Mapas Temáticos	62
3.2.5	Benefícios para o CATOCA	70
	CONCLUSÃO	71
	RECOMENDAÇÃO	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	ANEXOS	77

INTRODUÇÃO

A mineração é uma das actividades económicas mais importantes para diversos países, especialmente em Angola, onde os recursos minerais representam uma grande parte do crescimento económico. No entanto, a actividade mineira também traz grandes desafios ambientais e sociais, principalmente quando se trata da gestão da água, um recurso fundamental para a vida, para as comunidades e para os próprios processos mineiros. No âmbito da engenharia de minas, as águas subterrâneas têm um papel essencial. Ela é utilizada em várias fases da operação mineira, seja no controlo de poeiras, na perfuração das rochas, na lavagem do minério ou em outras actividades. Além disso, a presença dessa água influencia directamente a segurança e o desempenho das operações, já que pode afectar a estabilidade das frentes de trabalho e dos taludes, e até interromper temporariamente as actividades. Por isso, a compreensão e o controlo da água subterrânea são também responsabilidades do engenheiro de minas. Quando não há uma prospecção adequada, as perfurações podem atingir aquíferos desconhecidos, provocando inundações inesperadas na mina e gerando custos adicionais com o bombeamento e a drenagem dessas águas. Situações como essa mostram o quanto é importante conhecer, planear e gerir correctamente os recursos hídricos subterrâneos dentro do contexto mineiro. Contudo, a gestão da água subterrânea ainda enfrenta grandes desafios, especialmente devido à falta de integração dos dados provenientes das diferentes áreas envolvidas, como geologia, geofísica, topografia e engenharia de minas. A hidrogeologia é uma ciência multidisciplinar, e a água subterrânea não deve ser vista apenas como um recurso hidrogeológico, mas também geológico e mineiro, sendo uma verdadeira matéria-prima que precisa ser conhecida e administrada com precisão.

É neste contexto que surge a proposta deste trabalho, a criação de uma Base de Dados Geoespaciais destinada à gestão da prospecção dos recursos hídricos subterrâneos na actividade mineira. A ideia central é organizar os dados existentes de forma estruturada, integrada e acessível, utilizando tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Uma Base de Dados Geoespaciais não permite apenas armazenar dados gráficos, mas também associá-los à sua localização geográfica. Assim, passa a ser possível visualizar, num mapa digital, onde estão os furos de água, como se distribuem os aquíferos, entre outros parâmetros. Dessa forma, esta base de dados pretende facilitar o trabalho do engenheiro de minas, permitindo uma gestão mais eficiente, segura e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, reforçando a ligação entre a mineração e a preservação ambiental.

Problema

Dificuldade na gestão da prospecção de recursos hídricos subterrâneos na actividade mineira.

Causa

Falta de integração dos dados envolvidos

Consequências

- Perfurações inadvertidas de aquíferos durante o processo de exploração mineira;
- Inundação da Cava;
- Custos elevados com a dessecação da cava.

Justificativa

Eu escolhi este tema porque, durante as visitas a Mina de CATOCA, constatámos que, durante a actividade mineira, foram feitas perfurações que atingiram aquíferos da área mineira que não estavam previstos, podendo causar alguma inundação na mina e com isso, provocar um orçamento inesperado para o desaguento ou drenagem das águas. Com a integração prévia dos dados do solo e subsolo, e com o estudo efectuado antes das perfurações, acreditamos que as perfurações serão feitas conscientemente, permitindo um melhor aproveitamento das águas subterrâneas.

Objectivo Geral

Criar uma Base de Dados Geoespaciais hidrogeológica para melhorar a gestão da prospecção dos recursos hídricos subterrâneos na mina de CATOCA.

Objectivos Específicos

- Caracterizar a área de estudo;
- Modelar o processo de prospecção regional para gestão dos recursos hídricos subterrâneos da Mina;
- Criar uma base de Dados Geoespaciais em ambiente SIG;
- Integrar os dados recolhidos;
- Testar a Base de Dados Geoespaciais.

Solução

Criação de uma Base de Dados Geoespaciais que integra dados do solo e subsolo. Esta integração permitirá análises mais precisas, permitindo um melhor aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos e a redução dos custos decorrentes de inundação e desaguamento na área de estudo.

Hipótese

A dificuldade na gestão da prospecção de recursos hídricos subterrâneos na actividade mineira resulta, em grande parte, da ausência de uma Base de Dados integrada e georreferenciada. Assim, se os dados do solo e subsolo forem organizados e integrados num Sistema de Informação Geográfica (SIG), será possível melhorar a caracterização da área e propor estratégias mais eficazes para a gestão sustentável da água subterrânea na Mina de CATOCA.

Metodologia de investigação

A elaboração deste trabalho, teve como base a metodologia *DS*, com aplicação do método *DSR*. Também foi feito um estudo de gabinete, assim como, a organização e integração de dados geoespaciais relacionados com os recursos hídricos subterrâneos da Mina de CATOCA, com recurso a ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como PostgreSQL e QGIS, visando a criação de uma Base de Dados Geoespaciais capaz de apoiar a gestão e análise do solo e subsolo no sector geológico-mineiro.

Delimitação do estudo

Este trabalho está relacionado apenas aos recursos hídricos subterrâneos da área da mina de CATOCA e não aos recursos superficiais, assim como o desenvolvimento de uma Base de Dados Geoespaciais, e não ao desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica no seu todo. Embora a indústria de águas subterrâneas envolva diversos macroprocessos de prospecção, como regional, reconhecimento, perfuração e pesquisa, o presente projecto centra-se apenas no macroprocesso de prospecção regional, com foco na integração dos dados.

Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em três capítulos principais, tais como:

- **O capítulo I** - aborda a fundamentação teórica, nele são explicados os conceitos sobre as águas subterrâneas e os princípios da Base de Dados Geoespaciais.
- **O capítulo II** - descreve a metodologia utilizada, que vai desde os materiais utilizados até às etapas de execução do trabalho.
- **O capítulo III** - descreve a apresentação dos resultados, mostrando a caracterização da área de estudo, a estrutura da Base de Dados Geoespaciais, os mapas gerados, assim como o principal resultado alcançado para o apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos na fase de prospecção.

CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Engenharia de Minas

A Engenharia de Minas é o ramo da engenharia que se dedica ao aproveitamento dos recursos minerais, especialmente através da exploração de minas (Wikipedia, s.d.), e cuida da descoberta (prospecção), da extração dos minérios (exploração) e da separação de matérias-primas minerais úteis daquelas sem aproveitamento (beneficiamento) (UNIC, s.d.).

Figura 1.1.1 - Mina de CATOCA



Fonte: Adaptada pela autora

O engenheiro de minas está envolvido em todas as etapas do processo mineiro, desde a prospecção e avaliação de jazidas até o beneficiamento e comercialização dos minerais extraídos. Além disso, este profissional actua na recuperação de áreas degradadas pela mineração, garantindo que as actividades sejam realizadas com responsabilidade ambiental (FacUnicamp, 2025).

1.1.1 Métodos de Extração

A extração de minérios pode ser realizada de diferentes formas, dependendo da localização do depósito mineral, da profundidade em que se encontra e das condições geológicas da área. Esses métodos de extração estão, de forma geral, divididos em dois tipos principais:

- **Mina a céu aberto:** extrai minerais que se encontram perto da superfície, através de grandes escavações como cavas, sem necessidade de túneis.

Figura 1.1.2 - Mina de Diamante (CATOCA)



Fonte: Wikipedia, s.d.

- **Mina subterrânea:** é utilizada quando os depósitos de minério se encontram a grande profundidade, exigindo a construção de galerias e túneis subterrâneos.

Figura 1.1.3 - Mina de Cobre (Mavoio)



Fonte: Voz de Angola, 2025.

1.2 Recursos Hídricos

Para Carvalho (2023), recursos hídricos são todas as formas de água disponíveis na Terra para uso humano e ecológico. Estes incluem água doce de rios, lagos, reservatórios, e águas subterrâneas armazenadas em aquíferos, bem como a água salgada dos oceanos e mares. Segundo Júnior (2004), parcela renovável de água doce da Terra é de cerca de 40.000 km³ anuais, correspondendo à diferença entre as precipitações atmosféricas e a evaporação de água sobre a superfície dos continentes. Nem todo esse volume, entretanto, pode ser aproveitado pelo homem. Quase dois terços retornam rapidamente aos cursos de água e aos oceanos, após as grandes chuvas. O restante é absorvido pelo solo, permeando as suas camadas superficiais e armazenando-se nos aquíferos subterrâneos, os quais, por sua vez, serão as principais fontes de alimentação dos cursos de água durante as estiagens. A parcela relativamente estável de suprimento de água é, portanto, de pouco menos de 14.000 km³ anuais. Essa parcela de água doce acessível à humanidade no estágio tecnológico atual e a custos compatíveis com seus diversos usos é o que se denomina “recursos hídricos”. Os recursos hídricos podem ser divididos em superficiais e subterrâneos. Os recursos superficiais compreendem as águas existentes na superfície terrestre, como rios, lagoas e oceanos; e os recursos subterrâneos compreendem as águas que percolam lentamente pelo substrato rochoso, podendo muitas vezes ficar armazenadas constituindo os aquíferos.

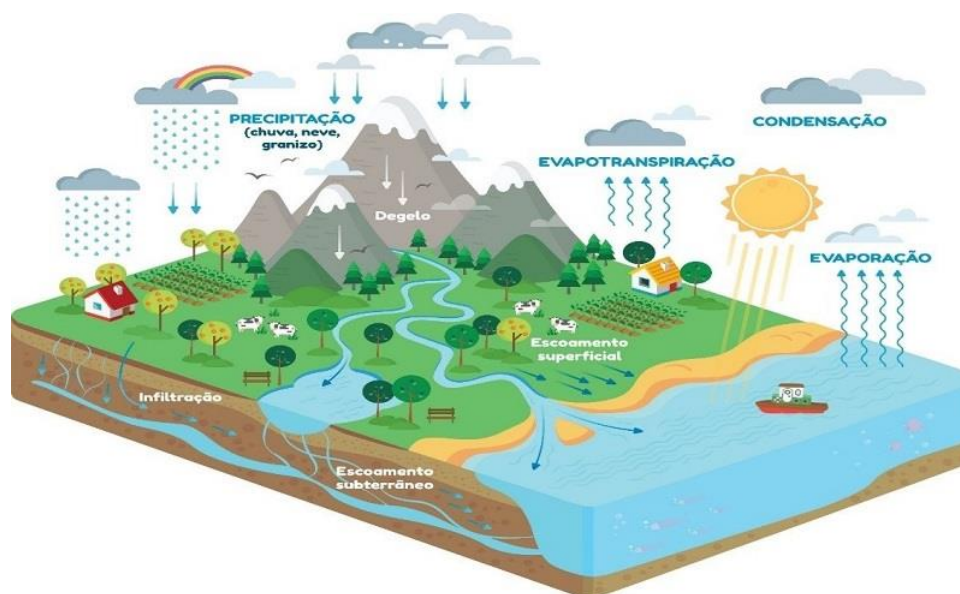
➤ Importância dos Recursos Hídricos na Engenharia de Minas

Os recursos hídricos desempenham um papel essencial na engenharia de minas, uma vez que a mineração depende directamente da água para diversas actividades operacionais. A utilização eficiente e a gestão adequada da água são fundamentais para minimizar impactos ambientais e garantir a sustentabilidade do sector (Domingues, Boson, & Alípaz, 2006). Na mineração, a água é usada em processos como perfuração, resfriamento de equipamentos, controlo de poeira e beneficiamento de minérios (FacUnicamps, 2025). A captação e o uso racional desse recurso impactam directamente a eficiência operacional e os custos de produção, tornando a gestão hídrica um factor estratégico para as minas (McWorter & Sunada, 1977).

1.2.1 Ciclo Hidrológico

No estudo da água, tanto na forma superficial como na subterrânea, deve-se destacar, em primeiro lugar, o ciclo realizado pelas moléculas de água, conhecido como ciclo hidrológico. Esse ciclo relaciona-se com o destino da água resultante da chuva e da neve precipitadas sobre os continentes (Chiossi, 2013).

Figura 1.2.1 – Ciclo hidrológico.



Fonte: EPAL - Grupos de Águas de Portugal, s.d.

Dá-se o nome de ciclo hidrológico ao processo através do qual as moléculas de água evaporadas das superfícies líquidas, como rios, lagos e mares, e das camadas mais externas dos terrenos voltam na forma de vapor para a atmosfera, a fim de, por meio da condensação, serem novamente precipitadas sobre os oceanos e os continentes sob a forma de chuva ou neve. A água precipitada, que fica sujeita a três variantes- escoamento, infiltração e evaporação total provoca novamente o retorno dessas moléculas de água para a atmosfera, em forma de vapor (Chiossi, 2013).

Tabela 1.2.1 - Estimativa do balanço hídrico no mundo.

Parâmetro	Área de Superfície (Km²) x 10⁶	Volume (Km³) x 10⁶	Volume (%)	Profundidade Equivalente (m)*	Tempo de Residência
Oceanos e Mares	361	1370	94	2500	~ 4000 anos
Lagos e Reservatórios	1,55	0,13	<0,01	0,25	~ 10 anos
Rios	<0,1	<0,01	<0,01	0,007	1 – 10 anos
Pântanos	<0,1	<0,01	<0,01	0,003	~ 2 semanas
Solo Húmido	130	0,07	<0,01	0,13	2 semanas – 1 ano
Água Subterrânea	130	60	4	120	2 semanas – 10000 anos
Calota Polares e Geleiras	17,8	30	2	60	10 – 100 anos
Água Atmosférica	504	0,01	<0,01	0,025	~ 10 dias
Água Biosférica	<0,10	<0,01	<0,01	0,001	~ 1 semana

Fonte: Adaptado de Freeze & Cherry (2017).

1.2.2 Águas Subterrâneas. Origem e comportamento

A água subterrânea é toda a água que circula abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas. Ela desempenha um papel essencial na manutenção da humidade do solo e no fluxo dos rios, lagos e pântanos, estando envolvida em uma fase do ciclo hidrológico ao constituir uma parcela da água precipitada (Borghetti, Borghetti, & Rosa Filho, 2004).

➤ Origem e Comportamento

Para Chiossi (2013, p.197), embora a água subterrânea seja proveniente, principalmente da infiltração da água precipitada pelas chuvas e do gelo da neve, caso em que sua origem é chamada de meteórica, deve-se lembrar que ela pode, ainda, originar-se de outras duas maneiras: (i) ser proveniente da parte aquosa dos magmas, caso em que é chamada de juvenil ou magmática; (ii) tratar-se de água que se depositou juntamente com os sedimentos de uma bacia, permanecendo aprisionada à rocha, sendo, pois, uma água fóssil; neste caso, é chamada de congénita. Chiossi (2013) ainda considera que, em consequência da infiltração, a água precipitada sobre a superfície da Terra penetra no subsolo e, pela acção da gravidade, sofre um movimento descendente até atingir uma zona onde os vazios, poros e fracturas encontram-se totalmente preenchidos de água. Essa zona é chamada de zona

saturada. A zona mais superficial, onde a maioria dos poros se encontra vazia ou preenchida de ar, é chamada de zona insaturada. Essas zonas são separadas por uma linha conhecida como nível freático.

Segundo Paniagua (2023), após a precipitação, parte das águas que atinge o solo infiltra-se e percola no interior do subsolo, em períodos de tempo extremamente variáveis, que dependem de muitos factores, tais como:

- **Porosidade do subsolo:** a presença de argila no solo diminui sua permeabilidade, não permitindo uma grande infiltração;
- **Cobertura vegetal:** um solo coberto por vegetação é mais permeável do que um solo desmatado;
- **Inclinação do terreno:** em declividade acentuada a água corre mais rapidamente, diminuindo a possibilidade de infiltração;
- **Tipo de chuva:** chuvas intensas saturam rapidamente o solo, ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.

1.2.3 Águas Subterrâneas Vs Águas Superficiais

A disponibilidade de recursos hídricos é fundamental para o desenvolvimento socioeconómico e ambiental. As águas subterrâneas e superficiais representam as duas principais fontes de abastecimento de água, cada uma com características, vantagens e desafios específicos (Foster & Chilton, 2002).

➤ Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas encontram-se abaixo da superfície terrestre, armazenadas em formações geológicas conhecidas como aquíferos. Elas são recarregadas pela infiltração da água da chuva e escoamento superficial. A principal vantagem desse recurso é sua qualidade, pois a filtração natural pelo solo reduz a presença de poluentes e microrganismos (Scanlon et al., 2006). Mesmo em regiões de estiagem prolongada, os aquíferos podem fornecer água de maneira contínua. No entanto, a exploração excessiva pode levar à esgotamento do lençol freático e subsidência do solo, comprometendo a disponibilidade do recurso a longo prazo (Custodio, 2010).

➤ **Águas Superficiais**

As águas superficiais incluem rios, lagos, represas e oceanos. Elas são mais fáceis de acessar e geralmente constituem a principal fonte de abastecimento humano e industrial. Contudo, esses recursos são mais suscetíveis à poluição, pois recebem diretamente os despejos urbanos, industriais e agrícolas (Poff, 2002). Além disso, as águas superficiais sofrem grande influência de eventos climáticos, como secas e enchentes, afetando sua disponibilidade e qualidade ao longo do tempo. A regulação desse recurso é essencial para evitar conflitos pelo uso da água e garantir a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos (Gleick, 1993).

1.2.4 Gestão de Águas Subterrâneas

Segundo Conicelli e Hirata (2016), dentre outros conceitos, a gestão trata de princípios como a equidade e eficiência na alocação dos recursos hídricos, nos seus serviços e na sua distribuição. Ela também prevê a administração da água com base em bacias hidrográficas, e a necessidade de abordagens de gestão integrada, elencando assim, a necessidade de equilibrar o uso da água entre as actividades socioeconómicas e o meio ambiente. Além disso, a gestão da água trata da formulação, estabelecimento e implementação de políticas de recursos hídricos, com base na legislação e nas instituições vigentes. Segundo o artigo 14.º da lei das águas (2002), a unidade principal sobre a qual assenta a gestão dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica.

1.2.4.1 Macroprocessos de Gestão de Águas Subterrâneas

Este processo é composto por diversas etapas interligadas, que incluem:

➤ **Concessão ou Outorga**

A concessão, também conhecida como outorga do direito de uso da água, é o acto administrativo por meio do qual o poder público autoriza o uso de recursos hídricos subterrâneos. Essa etapa é essencial para garantir que o uso seja compatível com a disponibilidade do aquífero e com os demais usos já existentes, evitando conflitos e a superexploração. A outorga é regulamentada por legislações específicas, como a Lei n.º 6/02-Antigo 5º. e 6º. (Lei das Águas - Angola).

➤ **Prospecção**

A prospecção compreende a investigação geológica e hidrogeológica do subsolo com o objectivo de localizar e caracterizar aquíferos, definir a quantidade e qualidade da água subterrânea disponível e avaliar a viabilidade técnica-económica da exploração.

➤ **Captação**

A captação refere-se à retirada da água subterrânea dos aquíferos por meio de poços tubulares ou escavações. Essa etapa exige um planeamento criterioso para evitar impactos negativos, como o rebaixamento excessivo do nível freático e a contaminação do aquífero.

➤ **Tratamento**

Em função da qualidade natural da água subterrânea ou de possíveis contaminações, pode ser necessário submetê-la a processos de tratamento físico-químico antes de seu uso final. O tratamento visa garantir que a água atenda aos padrões de potabilidade e segurança sanitária estabelecidos por normas técnicas, como no decreto presidencial n.º261/11 (CAP II, artigo 10.º).

➤ **Fornecimento**

Após o tratamento, a água pode ser distribuída directamente aos consumidores (em redes públicas, comunidades rurais ou empreendimentos privados) ou comercializada, especialmente em regiões com escassez de água superficial. A comercialização, quando existente, deve obedecer às regulamentações locais e incluir mecanismos de controlo e fiscalização para evitar abusos ou usos predatórios.

Tabela 1.2.2 - Cadeia de valor da Indústria de Águas Subterrâneas



Fonte: Adaptado de Angola minas, 2023.

1.2.4.1.1 Fases do Macroprocesso de Prospecção de Água Subterrânea

As fases do processo de prospecção hidrogeológica são etapas sequenciais e interdependentes que permitem localizar, avaliar e caracterizar aquíferos para uso sustentável da água subterrânea. Diversos autores e organismos internacionais descrevem metodologias semelhantes (Freeze & Cherry, 1979; Custodio & Llamas, 2001), sendo as principais:

- **Regional** - consiste na análise de dados existentes (mapas, imagens e relatórios) para identificar áreas com potencial hidrogeológico. Nesta etapa, define-se a zona de interesse para estudos mais detalhados.
- **Reconhecimento** - realiza-se o levantamento de campo com observações geológicas e medições preliminares. O objectivo é confirmar as áreas promissoras e compreender melhor as condições locais.
- **Perfuração** - envolve a execução de poços ou sondagens para acesso directo ao aquífero. Permite medir níveis de água, testar vazões e recolher amostras para análises laboratoriais.
- **Pesquisa (ou Exploração Detalhada)** - aprofunda o conhecimento sobre o aquífero com ensaios de bombeamento e monitoramento contínuo. Busca avaliar a recarga, qualidade e o estudo de viabilidade.

1.2.5 Distribuição vertical das Águas Subterrâneas

A distribuição vertical das águas subterrâneas é dividida principalmente em duas zonas: zona não saturada e zona saturada.

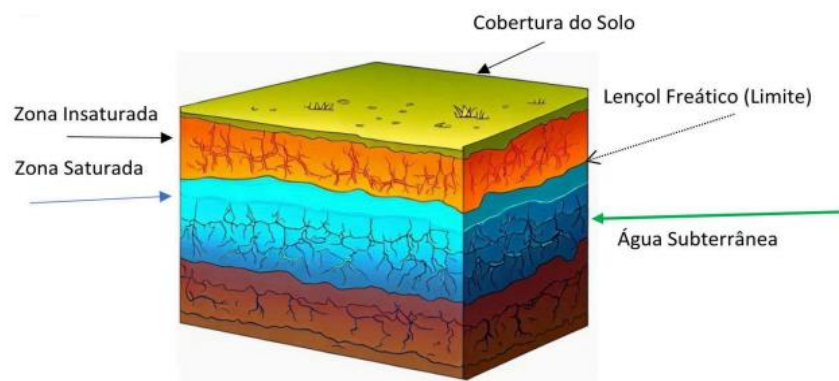
➤ Zona não saturada

Para Inverno *et al.* (1998), na zona não saturada, os vazios, isto é, os espaços entre grãos de cascalho, areia, silte, argila e rachaduras dentro das rochas, contêm ar e água. Embora uma quantidade considerável de água possa estar presente na zona não saturada, essa água não pode ser bombeada por poços porque é mantida muito firmemente por forças capilares. A parte superior da zona não saturada é a zona de água do solo. A zona do solo é cruzada por raízes, vazios deixados por raízes apodrecidas e túneis de animais e vermes, que aumentam a infiltração de precipitação na zona do solo. A água do solo é usada pelas plantas em funções vitais e transpiração, mas também pode evaporar directamente para a atmosfera.

➤ Zona saturada

Em contraste com a zona não saturada, os vazios na zona saturada estão completamente preenchidos com água. A água na zona saturada é chamada de água subterrânea. A superfície superior da zona saturada é chamada de lençol freático. Abaixo do lençol freático, a pressão da água é suficiente para permitir que a água entre nos poços, permitindo, assim, que a água subterrânea seja captada para uso. Um poço é construído através da inserção de um tubo num furo perfurado, com uma tela fixada geralmente na sua base, a fim de impedir que materiais sólidos entrem no tubo juntamente com a água bombeada (Inverno *et al.*, 1998).

Figura 1.2.2 - Modelo conceitual das zonas não saturada e saturada no subsolo.



Fonte: Paniagua, 2023

1.2.6 Aquíferos

Segundo Rodríguez e Escalante (2009), chama-se aquífero aquele estrato ou formação geológica que, ao permitir a circulação da água através dos seus poros ou fissuras, possibilita o seu aproveitamento em quantidades economicamente apreciáveis para atender as necessidades humanas.

1.2.6.1 Classificação dos aquíferos quanto a sua localização em profundidade

Segundo Rodríguez & Escalante (2009), dependendo da pressão da água contida nos aquíferos, podemos falar em:

- **Aquífero livre:** caracteriza-se por possuírem uma superfície livre de água em contacto directo com o ar, ou seja, encontram-se à pressão atmosférica. O nível da água nos poços perfurados nestes aquíferos coincide com o limite superior da zona saturada.

- **Aquífero confinado ou cativo:** é aquele em que a água está a uma pressão superior à pressão atmosférica. A água desses aquíferos preenche todos os poros da formação geológica. Para fins práticos de identificação em campo, quando um poço é perfurado, o nível da água sobe acima do tecto do aquífero.

Figura 1.2.3 - Aquífero livre e confinado



Fonte: Águas Subterrâneas

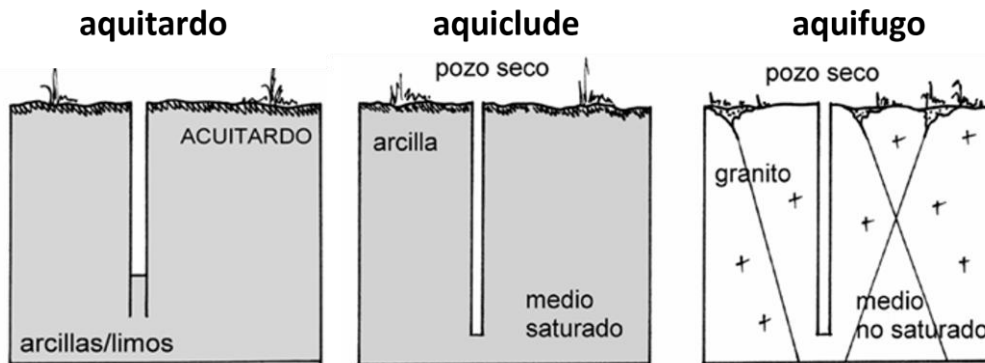
- **Aquífero semi-confinado:** a água encontra-se a uma pressão superior à pressão atmosférica, e o nível piezométrico situa-se acima do limite superior do aquífero. Ao contrário dos aquíferos livres, eles não têm contacto directo com a atmosfera, sendo geralmente delimitados por camadas de baixa permeabilidade, conhecidas como aquitardos ou aquicludes, que restringem a circulação da água.

1.2.6.2 Classificação hidrogeológica dos sedimentos e rochas

- **Aquitardo:** este termo refere-se as formações geológicas que, contendo quantidades apreciáveis de água, a transmitem muito lentamente, não sendo adequadas para a captação de água. Argilas siltosas ou arenosas podem servir como exemplo de aquitardo (Rodríguez & Escalante, 2009).
- **Aquiclude:** é definida como aquela formação geológica que contém água em seu interior, mesmo até a saturação, mas não a transmite e, portanto, não é aproveitável para captação. Um exemplo de aquiclude são algumas argilas (Rodríguez & Escalante, 2009).

- **Aquifugo:** refere-se as formações geológicas que não contêm água nem podem transmiti-la. O granito inalterado seria um exemplo de aquifugo (Rodríguez & Escalante, 2009).

Figura 1.2.4 - Classificação hidrogeológica dos sedimentos e rochas



Fonte: Adaptado de Rodríguez & Escalante, 2009.

Giampá & Gonçalves (2013) apresentam na tabela 1.2.2. uma classificação hidrogeológica dos sedimentos e rochas, com a condutividade hidráulica, porosidade específica e litológicas características respectivamente.

Tabela 1.2.3 - Classificação hidrogeológica dos sedimentos e rochas

Classes hidrogeológicas	Condutividade hidráulica (cm/s)	Porosidade específica (%)	Litologias características
Aquíferos	(1 – 10 – 4)	(5 – 27)	Areias, arenitos, rochas muito fracturadas/alteradas
Aquitardes	(10-3 – 10-5)	(3 – 5)	Siltes, areias argilosas, argilas arenosas, rochas pouco fracturadas/alteradas
Aquícludes	(10-6 – 10-9)	(2 – 3)	Argilas, folhelhos, rochas muito pouco fracturadas/alteradas
Aquífuges	(<10-9)	(<1)	Rochas compactas não fraturadas/alteradas

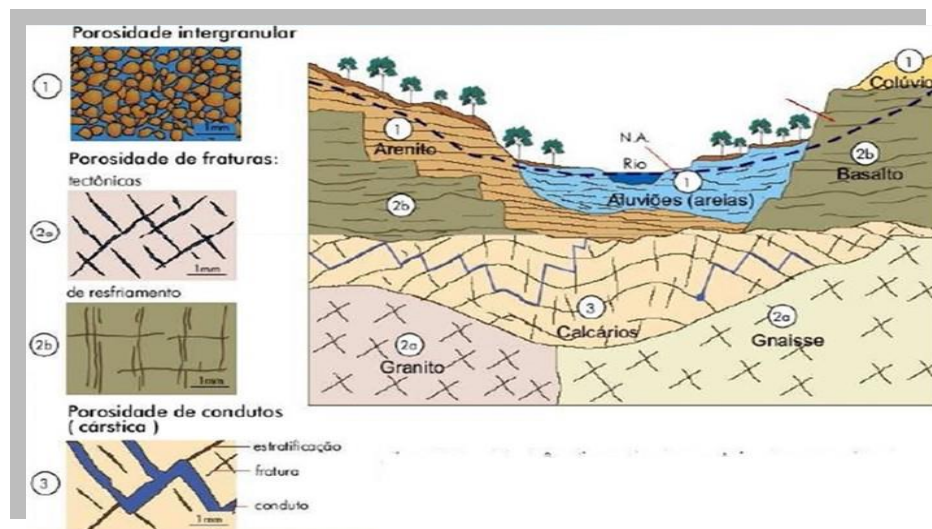
Fonte: Adaptado de Giampá & Gonçalves (2013).

1.2.6.3 Parâmetros Hidrogeológicos

Para Rodríguez & Escalante (2009), os parâmetros hidrogeológicos permitem conhecer e quantificar o movimento da água no interior do aquífero, de acordo com a equação geral do fluxo subterrâneo. Os mais úteis e utilizados são definidos a seguir, que são: porosidade, permeabilidade, transmissividade, coeficiente de armazenamento, bem como o conceito de vazão específica.

- **Porosidade:** é uma propriedade física definida pela relação entre o volume de poros e o volume total de um certo material. Existem dois tipos fundamentais de porosidade nos materiais terrestres: primária e secundária. A porosidade primária é gerada juntamente com o sedimento ou rocha, sendo caracterizada nas rochas sedimentares pelos espaços entre os clastos ou grãos (porosidade intergranular). A porosidade secundária, por sua vez, desenvolve após a formação das rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, por fraturamento ou falhamento durante a sua deformação (porosidade de fraturas) (Teixeira, 2000, p. 193).

Figura 1.2.5 - Tipos de porosidades conforme diferentes materiais numa seção geológica



Fonte: Adaptado de Teixeira, 2000.

- **Permeabilidade:** o principal factor que determina a disponibilidade de água subterrânea não é a quantidade de água que os materiais armazenam, mas a sua capacidade em permitir o fluxo de água através dos poros. Esta propriedade dos

materiais conduzirem água é chamada de permeabilidade, que depende do tamanho dos poros e da conexão entre eles (Teixeira, 2000, p. 193).

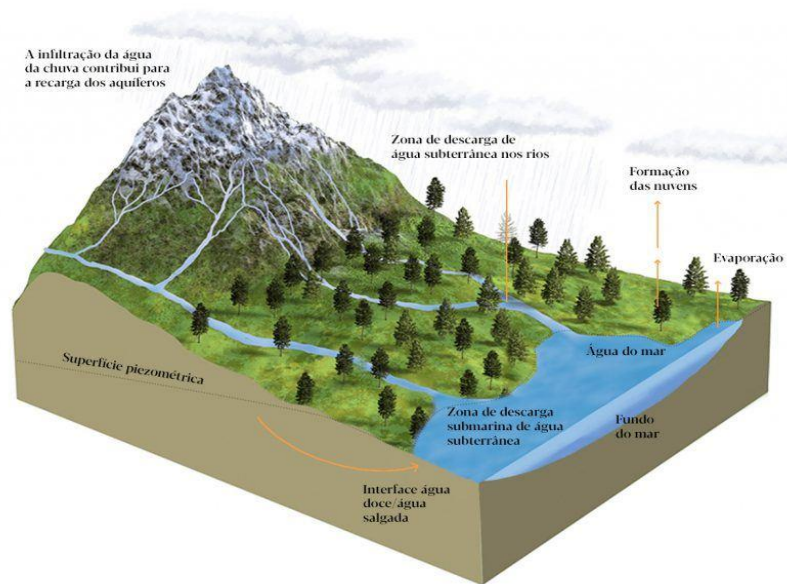
- **Transmissividade:** é o volume de água que passa por uma faixa de aquífero de largura unitária na unidade de tempo e sob a carga de um metro. É um parâmetro representativo da capacidade do aquífero em liberar água (Rodríguez & Escalante, 2009).
- **Coefficiente de Armazenamento:** é definido como o volume de água que pode ser liberado por um prisma vertical do aquífero com seção igual à unidade e altura igual à do aquífero saturado, caso haja diminuição da unidade no nível piezométrico ou da carga hidráulica (Rodríguez & Escalante, 2009).
- **Vazão Específica (Qe):** é definido como o quociente entre a vazão de água bombeada, expressa em litros por segundo, e a queda do nível piezométrico produzido no poço, expressa em metros (Rodríguez & Escalante, 2009).

Segundo McWhorter & Sunada (1977), outro parâmetro hidrogeológico importante é a condutividade hidráulica. Para os propósitos da presente discussão, a condutividade hidráulica é vagamente definida como uma medida da facilidade com que a água pode ser transmitida através de um material poroso. Um material que permite que a água flua facilmente através dele tem uma condutividade hidráulica maior (é mais permeável) do que um material que impede mais severamente o movimento da água.

1.2.7 Zonas de Recarga e Descarga de Águas Subterrâneas

Além da força gravitacional, o movimento da água subterrânea também é guiado pela diferença de pressão entre dois pontos, exercida pela coluna de água sobrejacente aos pontos e pelas rochas adjacentes. Esta diferença de pressão é chamada de potencial da água (potencial hidráulico) e promove o movimento da água subterrânea de pontos com alto potencial, como nas cristas do nível freático, para zonas de baixo potencial, como em fundos de vales. Esta pressão exercida pela coluna de água pode causar fluxos ascendentes da água subterrânea, contrariando a gravidade, como no caso de porções profundas abaixo de cristas, onde a água tende a subir para zonas de baixo potencial, junto a leitos de rios e lagos (Teixeira, 2000, p. 122).

Figura 1.2.6 - Zona de recarga e descarga de águas subterrâneas.



Fonte: Florestas, 2021.

Uma área de recarga pode ser definida como a porção da bacia de drenagem onde o fluxo saturado líquido das águas subterrâneas é direccionado para longe do nível freático, enquanto uma área de descarga pode ser definida como a porção da bacia de drenagem onde o fluxo da água subterrânea é direccionado em direcção ao nível freático. Em uma área de recarga, o nível freático geralmente fica a alguma profundidade, enquanto numa área de descarga está geralmente à superfície ou muito próximo dela (Teixeira, 2000, p. 122). Em suma, as terras altas são áreas de recarga e as terras baixas são áreas de descarga (Freeze & Cherry, 2017). O mesmo autor afirma ainda que, por meio de observações de campo, é possível mapear áreas de recarga e descarga. Existem cinco tipos básicos de indicadores: (i) topografia; (ii) padrões piezométricos; (iii) padrões hidroquímicos; (iv) isótopos ambientais; (v) características do solo e da superfície. Mas, o indicador mais simples destas áreas é a topografia do terreno, uma vez que as áreas de descarga são topograficamente baixas e as áreas de recarga são topograficamente altas.

1.3 Geociências e as Águas Subterrâneas

A geociência, também conhecida como Ciência da Terra, é um campo multidisciplinar que estuda a estrutura, composição, processos e história do planeta Terra. Ela abrange diversas disciplinas, como geologia, geofísica, geoquímica, geomorfologia, hidrogeologia e climatologia, com o objectivo de compreender os processos naturais que moldam a superfície terrestre e seu interior (Press & Siever, 2001). As geociências desempenham um papel fundamental na compreensão dos sistemas hidrogeológicos, permitindo o estudo da ocorrência, movimento e qualidade das águas subterrâneas. A interação entre a geologia, geofísica, hidrogeologia e as modernas tecnologias de geoinformação e hidroinformação possibilita uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos subterrâneos. Segundo Custodio e Llamas (1996), o estudo da hidrogeologia depende da compreensão da estrutura geológica e das propriedades dos materiais subterrâneos. No contexto das águas subterrâneas, a geociência fornece o conhecimento necessário para entender a formação, armazenamento e circulação da água nos aquíferos. Disciplinas como geologia e hidrogeologia são essenciais para a identificação de aquíferos, análise da permeabilidade das rochas e avaliação da qualidade da água subterrânea (Fetter, 2001).

1.3.1 Geologia, Geofísica e Hidrogeologia

1.3.1.1 Geologia

A geologia é a ciência que estuda a composição, estrutura, processos e evolução da Terra ao longo do tempo. Ela investiga os materiais que compõem o planeta, como minerais e rochas, além dos fenómenos naturais, como vulcanismo, erosão, formação de montanhas e o movimento das placas tectônicas. A geologia também desempenha um papel essencial na exploração de recursos naturais, incluindo minérios, petróleo, gás e águas subterrâneas, bem como na prevenção de desastres naturais e impactos ambientais (Press & Siever, 2001). A sequência de rochas sedimentares que se estende para cima a partir de rocha de embasamento metamórfica ou ígnea é a coluna estratigráfica. A coluna contém uma sequência amplamente variável de arenito, conglomerados, xistos, siltitos, dolomitos e evaporitos, entre outros. As rochas na coluna estratigráfica e o regolito sobrejacente são os hospedeiros da água subterrânea. A geologia fornece informações essenciais sobre os tipos de rochas, sua estrutura e história evolutiva, o que afecta directamente a formação e distribuição dos reservatórios de água subterrânea (Freeze & Cherry, 1979). As formações geológicas determinam a capacidade dos solos e rochas em armazenar e transmitir água, influenciando a

produtividade dos aquíferos. Rochas sedimentares, por exemplo, possuem maior porosidade e permeabilidade, favorecendo a infiltração da água.

1.3.1.2 Geofísica

Braga (2016) considera que a geofísica pode ser definida como uma ciência aplicada à geologia, que estuda suas estruturas e corpos delimitados pelos contrastes de algumas propriedades físicas com as do meio circundante, utilizando medidas tomadas na superfície da terra, no interior de furos de sondagens e em levantamentos aéreos. As análises dessas medidas podem revelar como as propriedades físicas do interior da terra variam vertical e lateralmente.

➤ Método Geofísico

A busca de informações sobre o subsolo constitui prioridade para muitas nações, face à escassez de recursos superficiais. Os trabalhos de investigação subterrânea esclarecem as condições geológicas da subsuperfície, identificando tipos de rochas e elementos estruturais (linhas de contacto, fracturas, falhas, dobras), sendo também importante na definição de jazidas minerais (Chiossi, 2013). A investigação geológica da subsuperfície pode ser realizada por dois métodos principais:

- a) Indirectos ou geofísicos: baseados na interpretação de medidas físicas;
- b) Directos ou mecânicos: execução de perfurações ou sondagens.

Neste trabalho, a abordagem incidirá sobre métodos indirectos, em que a determinação das camadas do subsolo é obtida indiretamente por medidas como resistividade eléctrica ou velocidade de ondas elásticas, permitindo conhecer profundidades e espessuras (SONDASOL, 2017). Chiossi (2013) alerta que “não é possível identificar rochas e formações litológicas com base apenas em propriedades físicas; juntam-se, aos dados geofísicos, informações geológicas”.

O procedimento para obtenção de dados geofísicos, segundo Chiossi (2013), envolve:

- 1) Exploração de petróleo: principalmente por meio dos métodos gravimétricos e sísmicos;
- 2) Prospecção de minérios: por meio dos métodos eléctricos, magnéticos e radioactivos;
- 3) Estudos para a prospecção de águas subterrâneas e investigações em projecto de engenharia civil: terceiro campo de aplicação, continuamente crescente, em que os métodos mais usados são os de resistividade (eléctrico) e o sísmico.

O procedimento para obtenção de dados geofísicos, segundo Chiossi (2013), envolve:

- a) Medir, na superfície, campos de força para detectar anomalias;
- b) Predizer a configuração dos materiais e estruturas subterrâneas;
- c) Interpretar as leituras geofísicas como prováveis estruturas geológicas.

Existe uma variedade de métodos geofísicos e para cada método há uma propriedade física a qual este é sensível e a área de aplicação mais apropriada para seu uso, como alustra a tabela 1.3.1.

Tabela 1.3.1 - Classificação dos métodos geofísicos.

Métodos	Campos de força	Propriedades físicas	Campos principais de aplicação
Gravimétricos	Campo gravitacional terrestre	Densidade	Pesquisa de petróleo
Magnéticos	Campo magnético terrestre	Suscetibilidade magnética	Mineração
Eléctricos	Campo eléctrico natural Campo eléctrico artificial	Condutividade eléctrica Resistividade eléctrica	Águas subterrâneas e Engenharia Civil
Sísmicos	Campo de vibração elástica	Velocidade de propagação de ondas elásticas	Petróleo e engenharia civil

Fonte: Adaptado de Chiossi (2013)

➤ **Métodos geofísicos aplicados na prospecção de água subterrânea**

A prospecção de águas subterrâneas por intermédio de métodos geofísicos é efectuada pelos que mais se adequam as propriedades das rochas reservatórios deste mineral. O interesse recai na localização de rochas aquíferas, isto é, ricas em poros ou fracturas que, ligados uns aos outros, permitem circulação fácil de água e, por tanto, sua extração, bem como recargas directas pela infiltração de águas da chuva, ou indirectas, a partir de rios lagos e similares. As melhores rochas aquíferas são as sedimentares. Nas rochas cristalinas, as condições aquíferas ficam restritas às zonas fracturadas ou muito alteradas” (Luiz & Silva, 1995). Neste trabalho de investigação científica, a abordagem será em torno do método eléctrico por ser o mais usado no estudo de ocorrência de águas subterrâneas.

➤ Método eléctrico

O método eléctrico, também conhecido como geoelectrico é o mais referenciado em diversas bibliografias quando o assunto é relacionado a pesquisa e captação de água subterrânea, devido a alta condutividade eléctrica que este recurso possui. Alguns métodos se utilizam de campos eléctricos naturais como fontes de energia, outros de campos eléctricos artificiais aplicados à terra. “Os métodos geoelectricos auxiliam na indicação de áreas favoráveis de aquíferos promissores visando a captação de águas subterrâneas” (Braga, 2007). A aplicação de métodos geoelectricos na investigação de aquíferos deve ser subdividida conforme a geologia da área:

- Rochas sedimentares – aquíferos granulares e cársticas (envolvendo aquíferos costeiros);
- Rochas cristalinas – aquíferos fracturados, ou sedimentares de elevada complexidade faciológica;

A presença de água, seja em poros de lentes de arenitos, seja em zonas fracturadas ou alteradas de rochas cristalinas, devido aos íons nela presente, aumenta consideravelmente a condutividade eléctrica desses materiais. Os métodos eléctricos (a electrorresistividade, especialmente) e electromagnéticos têm sido, por isso, usados na localização de aquíferos” (Luiz & Silva, 1995). Segundo o mesmo autor, é possível, uma vez que a presença de sais na água aumenta sua condutividade, mapear os limites entre água doce e água salobra.

1.3.1.3 Hidrogeologia

Tradicionalmente, a hidrogeologia é definida como a área das ciências geológicas, bem como da engenharia, que em seu sentido mais amplo lida com a água abaixo da superfície terrestre. Hidro é a palavra grega para água, e *geologia* é a ciência da Terra: *geo*, sendo um prefixo derivado da palavra grega *Gaia* (significando a terra, mas também Gaia—uma deusa primordial da Terra no mito grego) (Kresic, 2023). A hidrogeologia evoluiu da definição mais ampla do estudo da crosta terrestre no início do século XIX para a prática relativamente estreita de estudar os aspectos físicos da água abaixo da superfície terrestre durante a primeira metade do século XX. Isso foi seguido por um foco adicional na contaminação e remediação das águas subterrâneas a partir do final da década de 1980, continuando até a própria questão da sustentabilidade da vida na Terra que enfrentamos hoje. Sem águas subterrâneas, muitos córregos superficiais e corpos de água doce deixariam de

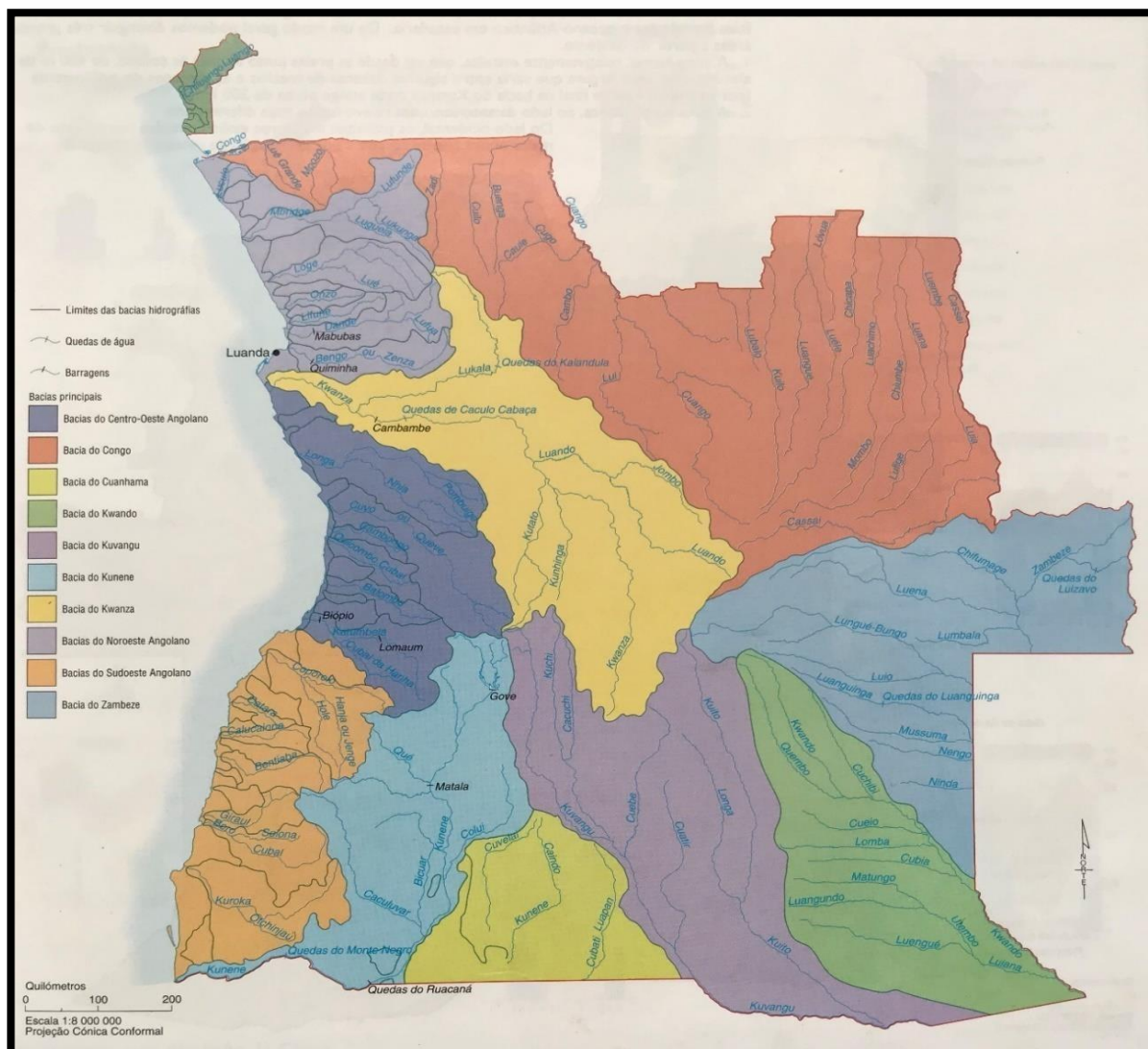
fluir ou existir, a agricultura e a produção de alimentos acabariam como as conhecemos, e o suprimento público e individual de água potável seria severamente restrito ou inexistente em muitas partes do mundo.

1.4 Hidrografia e Hidrogeologia de Angola

A rede hidrográfica de Angola é bastante densa predominando rios com escoamento impetuoso, muitas vezes apresentando quedas de água. Os rios distribuem-se por cinco sistemas de recepção de água: o Oceano Atlântico (os Rios Kwanza, Cunene, Chiloango, M'Bridge, Queve e outros), o Rio Congo (Cuango, Cuilo, Cassai com os seus afluentes da margem esquerda), o Rio Zambeze (Lungué-Bungo, Luanguinga e outros), a bacia de recepção do Kalahari (Kuito, Cubango e outros) e a bacia de recepção do Etosha (Cuvelai) (INRH, 2013).

Dados do INIDE (Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento da Educação), apontam que “as 47 bacias hidrográficas que cobrem a superfície do território angolano distribuem-se segundo a vertente Atlântica, com 41,1% da superfície total, cujos rios desaguam no Oceano Atlântico; a vertente do Zaire ou Congo, com uma área de afluência de 21,6%; a vertente do Etosha, com cerca de 3,8% da superfície total; a vertente do Cubango, que juntamente com a do Kuito alimenta a região do Kwando Kuvango e do Okavango internacional, apresenta 11,9% do total e a vertente Índica, com a bacia internacional do Zambeze, representando 18,6% da superfície total do território Angolano”. Para o Instituto, “tirando o Sudeste, a maior parte do território nacional é bem alimentada de água. A República de Angola é um dos países mais húmidos da África”.

Figura 1.4.1 - Principais bacias hidrográficas de Angola



Fonte: Adaptado de Tavares (2023)

O escoamento médio anual estimado para a totalidade do País é de 150 mm, o que corresponde a um volume médio anual de aproximadamente 188 hm³ (INRH, 2013). Para o Instituto, a Unidade Hidrográfica do Cassai apresenta os maiores valores de precipitação e de escoamento médios anuais, respectivamente 1450 mm e 306 mm. Refere ainda que as Unidades Hidrográficas do Alto Kwanza, Queve, Cuango, Cabinda e Alto Cunene apresentam igualmente valores bastante elevados de escoamento médio anual, variando entre 294 mm (no Alto Kwanza) e 224 mm (no Alto Cunene).

1.4.1 Água Subterrânea em Angola

A análise dos factores que condicionam a maior ou menor abundância das águas subterrâneas numa dada região possibilita a divisão de Angola em quatro grandes áreas ou quadrantes, em que determinados aspectos hidrogeológicos podem ser padronizados (INRH, 2013):

- **Quadrante NW** (correspondendo às Províncias do Zaire, Uíge, Malanje, Kwanza-Norte e Bengo) – os aquíferos encontram-se em rochas compactas fissuradas e/ ou karsificadas, portanto, com permeabilidade média a alta, dando aquíferos extensos com boa qualidade de água e caudais entre 5 a 10 l/s;
- **Quadrante NE** (Província das Lundas e Moxico) – os aquíferos são de circulação predominantemente intergranular, com permeabilidade muito alta, constituindo aquíferos extensos de caudal à volta dos 5 l/s. A qualidade da água é boa, mas por vezes com teor elevado de ferro podendo piorar com a profundidade;
- **Quadrante SW** (Província de Benguela, Huambo, Huíla e Namibe) – os aquíferos apresentam-se em rochas compactas fissuradas de permeabilidade média a baixa, formando aquíferos locais, de caudais entre 3 a 5 l/s, de qualidade boa em geral, mas má em algumas áreas do Sudoeste;
- **Quadrante SE** (Províncias do Cuando-Cubango e Cunene) – a circulação dos aquíferos é predominantemente intergranular, com permeabilidade muito alta, formando aquíferos extensos de caudais variáveis com a profundidade, tornando-se mais produtivos, mas com mais salinidade.

1.4.1.1 Água Subterrânea na Província da Lunda-Sul

A província da Lunda-Sul, situada no nordeste de Angola, possui um importante potencial hidrogeológico, com aquíferos que abastecem comunidades rurais e urbanas, além de sectores industriais e de mineração. A disponibilidade e qualidade da água subterrânea na região são influenciadas por factores como a geologia local, o regime climático e a ação antrópica. A hidrogeologia da Lunda-Sul é controlada principalmente por formações de embasamento cristalino pré-cambriano, compostas por rochas metamórficas e ígneas, intercaladas com depósitos sedimentares (Küpper, 2002).

1.4.1.2 Legislação das Águas em Angola

A gestão dos recursos hídricos em Angola encontra-se definida com base num conjunto de diplomas legislativos, destacando-se a Lei das Águas, de 21 de Junho de 2002. Esta lei estabelece as regras para o uso e a utilização da água, tendo em vista a gestão integrada, o desenvolvimento dos recursos hídricos e a sua protecção e conservação. Compete às instituições do Estado definir a política geral e assegurar o seu desenvolvimento. Dados obtidos no Instituto Nacional dos Recursos Hídricos mostram que a Lei das Águas estabelece, na alínea a) do artigo 3.º, que o «domínio público hídrico, a política geral da sua gestão e desenvolvimento, bem como as competências, são atribuídos às instituições do Estado com elas relacionadas». Cabe ao organismo de tutela a articulação com as instituições interessadas na gestão das águas, para a implementação das orientações gerais da política de gestão (INRH, 2013). De acordo com o INRH (2013), “o Ministério da Energia e Águas tem a sua estrutura orgânica definida no Decreto Presidencial n.º 77/10, de 24 de Maio, que aprova o respectivo Estatuto Orgânico. O MINEA é o Departamento Ministerial auxiliar do Presidente da República, que tem por objectivo propor, formular, conduzir, executar e controlar a política do Executivo nos domínios da energia, águas e saneamento. O Decreto Presidencial n.º 253/10, de 16 de Novembro, define o Estatuto Orgânico do Instituto Nacional dos Recursos Hídricos, organismo de fim específico encarregado do planeamento dos recursos hídricos à escala nacional, visando a execução da política nacional de recursos hídricos.

O Instituto refere ainda que a sua tutela é regida por três Diplomas:

- Estatuto orgânico do INRH;
- A Lei de Águas na alínea a) do artigo 3.º;
- artigo 1.º do Estatuto Orgânico do MINEA.

Destes três diplomas resulta a conclusão de que o MINEA é a entidade pública responsável pela tutela do INARH. De acordo ainda com o ante-projecto do Regulamento de Utilização Geral dos Recursos Hídricos que define o regime de utilização geral destes recursos, cabe ao INARH a elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos” (INRH, 2013). O INRH dispõe de um serviço desconcentrado, o Gabinete de Administração de Bacia Hidrográfica, responsável pela gestão da respectiva bacia hidrográfica que corresponde à unidade básica de gestão dos recursos hídricos.

1.5 Geoinformática, Hidroinformática e Geoprocessamento

➤ Geoinformática

A geoinformática é um campo interdisciplinar que combina ciência da computação, geociências e tecnologias da informação para coletar, armazenar, processar, analisar e visualizar dados espaciais. Essa área inclui o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto, cartografia digital e modelagem espacial para auxiliar na tomada de decisões em diversas aplicações, como gestão ambiental, planejamento urbano, recursos hídricos e mineração (Longley et al., 2015).

➤ Hidroinformática

A hidroinformática é uma subárea da geoinformática que se concentra no desenvolvimento e aplicação de tecnologias computacionais para modelar e gerenciar sistemas hídricos. Ela integra métodos de hidrologia, hidráulica, ciência da computação e inteligência artificial para resolver problemas relacionados ao uso da água, como previsão de enchentes, qualidade da água, gerenciamento de aquíferos e eficiência no abastecimento hídrico (Abbott & Minns, 1998).

Para o mesmo autor, a hidroinformática emprega modelos numéricos para simulação da dinâmica das águas subterrâneas, contribuindo para a tomada de decisões na gestão dos recursos hídricos subterrâneos (Abbott & Refsgaard, 1996). Modelos matemáticos como *MODFLOW* ajudam a prever impactos da exploração e avaliam diferentes cenários de gestão. Além disso, sensores remotos e técnicas de aprendizado de máquina têm sido utilizados para aprimorar a previsão e monitoramento das reservas subterrâneas.

➤ Geoprocessamento

A recolha de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre uma parte importante das actividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade do século passado, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento. Nesse contexto, o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas

matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados (Rosa, 2013).

1.6 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O avanço tecnológico que tem causado maior influência na pesquisa geográfica está relacionado ao desenvolvimento das geotecnologias, com especial destaque para os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e os avanços na área de Teledetecção (Fitz, 2008). O mesmo autor considera um sistema como sendo o conjunto integrado de elementos interdependentes, estruturado de tal forma que estes possam relacionar-se a execução de determinada função. Já a informação pode ser interpretada como o conjunto de registos e dados interpretados de significado lógico. Por fim, um sistema de informação pode ser entendido como um sistema utilizado para recolher, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados e informações a ele vinculados.

Para Cosme (2012), “pode-se definir SIG como um suporte e um conjunto de procedimentos para a recolha, o armazenamento, a pesquisa, a análise, a representação, a visualização e a disponibilização e publicação de dados geográficos. Estes dados podem ser representados por pontos, linhas, polígonos e volumes”. Um dos principais objectivos do SIG, está conexo ao suporte, à tomada de decisões e também ao gerenciamento de informações relacionadas ao uso do solo, recursos hídricos, ecossistemas aquáticos e terrestres, ou qualquer entidade distribuída espacialmente (Silva, 2007).

1.6.1 Componentes de um Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Ainda existe uma diversidade de ideias e muita controvérsia sobre os elementos principais da estruturação de um sistema de informação geográfica. Porém, Fitz (2008), considera que um SIG é constituído pelos seguintes componentes:

- *Hardware (HW)*, isto é, equipamentos físicos que dão suporte ao sistema. Por exemplo, computador, drone, gps, etc;
- *Software (SW)*, ou seja, conjunto de programas e aplicações que permite o tratamento dos dados. Por exemplo, QGIS, ArcGIS, Surfer, Postgres;
- *Base de Dados (Dataware - DW)*, a saber, os registos de informações resultantes de uma investigação. Por exemplo, coordenadas, imagens satélites;

- *Pessoas (Peopleware - PW)*, ou seja, profissionais ou usuários envolvidos;
- *Rede (Netware - NW)*, engloba as redes de comunicação utilizadas para compartilhamento de dados;
- *Procedimentos (Procedware - PDW)*, diz respeito a um conjunto de regras, métodos e normas que orientam o uso do sistema.

Figura 1.6.1 - Componentes de um SIG



Fonte: Fitz, 2008.

A grande variedade de informações do espaço geográfico, requer também programas específicos para a realização de operações mediante os objectivos a atingir, assim, o desenvolvimento de aplicações SIG, depende das reais necessidades dos usuários, deste modo, um SIG é um acoplamento de outros sistemas associados de forma a resolver um problema específico.

1.6.2 Funções e aplicações de um Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os SIGs desempenham várias funções. De acordo com McCormac (2007), podemos destacar as seguintes:

- **Aquisição dos dados:** a recolha de dados de campo para um SIG é realizada através do mapeamento topográfico. A informação obtida inclui a localização de casas, estradas, rios, lagos, linhas de transmissão, redes de esgotos e de água, marcos de propriedades, cotas, hidrantes, árvores, etc. Esses dados podem ser obtidos com levantamento convencional, receptores GPS ou Aerofotogrametria.
- **Pré-processamento:** envolve a manipulação de dados para convertê-los em formato utilizável pelo SIG, incluindo eliminação de elementos desnecessários, conversão para o mesmo sistema de coordenadas e para formatos compatíveis com o programa.

- **Gerenciamento dos dados:** governa a criação e o acesso à base de dados, fornecendo métodos de entrada, actualização, eliminação e recuperação. Os dados devem ser constantemente monitorados para verificar se estão obsoletos. As questões de segurança também fazem parte do gerenciamento.
- **Manipulação e análise dos dados:** é o foco principal dos usuários de um SIG. Contém operadores analíticos usados para gerar consultas sofisticadas, classificadas em: **consultas espaciais** - pesquisas dos componentes cartográficos (linhas, polígonos e pontos), como superposição, área de impacto, zona de influência e caminho mínimo; **consultas não espaciais:** pesquisas dos atributos dos dados, como dados censitários, climáticos e outros.
- **Geração de produto:** é o elemento final do SIG, onde o resultado das análises é apresentado. As saídas podem ser exibidas na tela ou impressas em relatórios estatísticos, mapas, gráficos e textos.

Actualmente os SIGs desempenham um papel importantíssimo em apoio e tomadas de decisões na implementação de projectos. Algumas destas acções segundo Fitz (2008) estão vinculadas ao planeamento, a gestão, ao monitoramento, ao manejo e a caracterização de espaços urbanos ou rurais. Outra aplicação bastante prática dos SIGs, mais especificamente vinculada ao geoprocessamento, diz respeito à realização de análises de cunho espacial por meio de mapas temáticos diversos, uma das técnicas trabalha a sobreposição, cada mapa contendo um tema específico, o qual constitui um PI (Plano de Informação), é sobreposto a outro de temática diferente, mas de igual dimensão, para a obtenção de um produto deles derivado, o mapa resultante é analisado com base nos anteriores e nos pressupostos metodológicos da ciência geográfica (Fitz, 2008).

1.6.3 Sistema de Informação Geográfica e Águas Subterrâneas

A aplicação da tecnologia SIG no geoprocessamento de dados relacionados à pesquisa de água subterrânea ganha, a cada dia, novos adeptos no meio dos especialistas, em grande parte motivados pela versatilidade, facilidade e benefícios que o sistema proporciona” (Feitosa et al., 2008). Para o mesmo autor, a popularização dos computadores e a disseminação no mercado de aplicativos de SIG a preços acessíveis ou mesmo gratuitos, o geoprocessamento consolida-se, a cada dia, como ferramenta de trabalho que encontra aplicação em quase todas as áreas de conhecimento.

Na pesquisa e exploração de águas subterrânea, o geoprocessamento, revelou ser uma ferramenta preponderante no auxílio a tomadas de decisões, permitindo processar grandes volumes de dados, confeccionar mapas, realizar o tratamento digital de imagens, determinar níveis de concentração de contaminantes, profundidade de poços, efectuar consultas espaciais e outros, a reduzindo significativamente o tempo e custos financeiros em elaboração de projectos.

1.7 Base de Dados Geoespaciais (BDG)

- **Base de Dados**

Para Pereira (1998), uma base de dados (BD) é, por definição, um conjunto organizado de dados, disponível a todos os utilizadores ou processamentos da organização que deles tenham necessidade. Os sistemas responsáveis pela organização, relacionamento, pesquisa e extração da informação contida na BD são Sistemas de Gestão de Base de Dados (SGBD)” (Cosme, 2012, p. 9). De acordo com Cosme (2012), o Sistema de Gerenciamento de Base de Dados (SGBD) é a estrutura central de armazenamento e processamento de informação alfanumérica.

- **Base de Dados Geoespaciais**

Uma Base de Dados Geoespaciais é um tipo específico de base de dados que armazena, manipula e gerencia dados gspaciais, como coordenadas geográficas, topologias e atributos geoespaciais. Conforme Longley et al. (2015), "bases de dados geoespaciais são essenciais para armazenar e analisar informações que possuem referência geográfica, permitindo a criação de mapas e análises geoespaciais complexas". Essas bases utilizam formatos específicos, como shapefiles, Base de Dados Geográficas (geodatabases) e estruturas de dados geoespaciais dentro de SGBDs como PostGIS e Oracle Spatial.

Segundo Rigaux, Scholl e Voisard (2002), "as Bases de Dados Geoespaciais permitem a modelagem e manipulação eficiente de dados espaciais, oferecendo suporte a diversas aplicações, como georreferenciamento, análise espacial e modelagem de terrenos". Essas bases diferenciam-se das bases de dados convencionais ao incorporarem funções espaciais específicas, como operações de buffer, interseção e consulta por proximidade.

1.7.1 Dados Vs Informação

Segundo Pereira (1998, p. 18), **dados** são apenas elementos ou valores discretos que, isoladamente, não têm qualquer valor, só se tornam em informação quando relacionados ou interpretados de alguma forma. Ou seja, a **informação** é o resultado de alguma forma de processamento sobre dados. Os dados podem ser vistos, simplesmente, como a matéria-prima necessária a esse processamento. Todos os dados podem ser armazenados numa estrutura de armazenamento. Estas estruturas organizadas são denominadas “base de dados” (Cosme, 2012, p. 9).

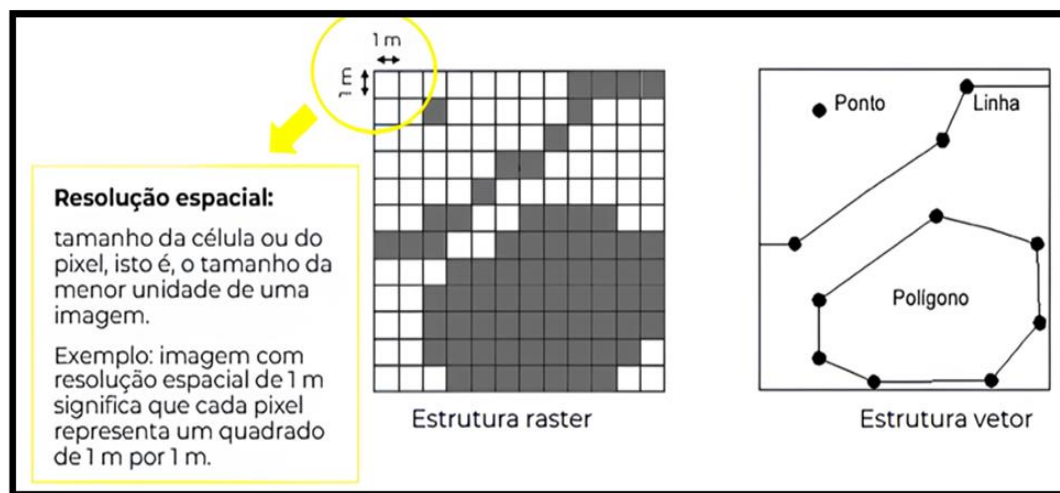
1.7.2 Importância das Bases de Dados Geoespaciais

As bases de dados geoespaciais são fundamentais para diversas aplicações, como planeamento urbano, gestão ambiental e exploração mineral. Segundo Goodchild (1992), "o uso de bases de dados geoespaciais melhora a eficiência na tomada de decisões ao permitir análises espaciais mais precisas e integradas". Na mineração, por exemplo, elas possibilitam a gestão eficiente de recursos hídricos subterrâneos e a otimização da exploração mineral. Peuquet e Marble (1990) afirmam que a importância das bases de dados geoespaciais está na sua capacidade de relacionar informações espaciais com dados convencionais, proporcionando uma visão mais completa e integrada para análise e tomada de decisões. Isso se reflete em sectores como transporte, saúde pública e segurança, onde a localização é um factor determinante. DeMers (2008) destaca que a crescente necessidade de integração e compartilhamento de dados espaciais entre organizações reforça a relevância das bases de dados geoespaciais para a infraestrutura de dados espaciais (IDE), promovendo a interoperabilidade e acessibilidade a dados geográficos de forma padronizada.

Geralmente, em um sistema de informação geográfica encontramos dois tipos de dados: os dados espaciais e os dados alfanuméricos. Os dados espaciais são considerados aqueles que podem ser representados espacialmente, ou seja, de forma gráfica. Estes constituem-se em imagens, mapas temáticos entre outros. A estrutura de tais tipos de dados podem ser vectorial ou matricial (Fitz, 2008). A estrutura vectorial é composta por três primitivas gráficas, como ponto, linha e polígono, e utiliza um sistema de coordenadas para a sua representação, os pontos são representados por apenas par de coordenadas, ao passo linhas e polígonos são representados por um conjunto de pares de coordenadas. Os dados espaciais também podem ser armazenados em uma estrutura matricial, ou em grade (estrutura raster), essa estrutura de dados é representada por uma matriz com n linhas e m colunas, M

(n, m), na qual cada célula, denominada de pixel (elementos de imagem, ou seja, a cada pixel está associada uma cor ou valor numérico), apresenta um valor z que pode indicar, por exemplo, uma cor ou tom de cinza a ele atribuído, produtos advindo de sensoriamento remoto, como imagens de satélite e fotografias aéreas digitais, além de mapas digitalizados, utilizam esta forma de armazenamento (Fitz, 2008). Para McCormac (2007), o dado vectorial é o mais satisfatório para representar feições com características discretas, como estradas e redes, e para itens como rios.

Figura 1.7.1 - Ilustração dos dados espaciais.



Fonte: AmbaGeo, s.d.

Os dados alfanuméricos são dados constituídos por caracteres (letras, números ou sinais gráficos) que podem ser armazenados em tabelas, as quais podem formar um banco de dados” (Fitz, 2008). De acordo com o autor, em um SIG, os dados dispostos nas tabelas devem possuir atributos que possam vinculá-los à estrutura espacial do sistema, identificados pelas suas coordenadas, e atributos específicos, com sua descrição qualitativa ou quantitativa, esses dados possuem, portanto, informações a respeito dos mapas a eles vinculados, via seu “endereço”.

1.8 UML - Linguagem de Modelação Unificada (*Unified Modeling Language*)

A linguagem de modelagem unificada é actualmente a linguagem padrão mais importante da indústria para especificar, visualizar, construir e documentar os factos de sistemas de software. Os modelos UML devem ser suficientemente compreensíveis para fins ilustrativos e explicativos para engenheiros de negócios e especialistas em organização (Lankhorst, sa).

A UML é uma combinação rica de 13 sublinguagens, cada uma com seu próprio escopo completo da UML e cada uma com seu próprio diagrama para modelar um aspecto específico de um sistema (de software):

- **Estrutura:** diagrama de pacotes, diagrama de classes, diagramas de objectos, diagramas de estrutura composta;
- **Comportamento:** diagramas de casos de uso, diagramas de estados, diagramas de sequência, diagramas de transformação, diagramas de comunicação, diagrama de actividades, diagramas de visão geral de interação;
- **Implementação:** diagramas de componentes, diagramas de implantação.

A modelação em UML desta investigação cingiu-se inteiramente ao diagrama de classes.

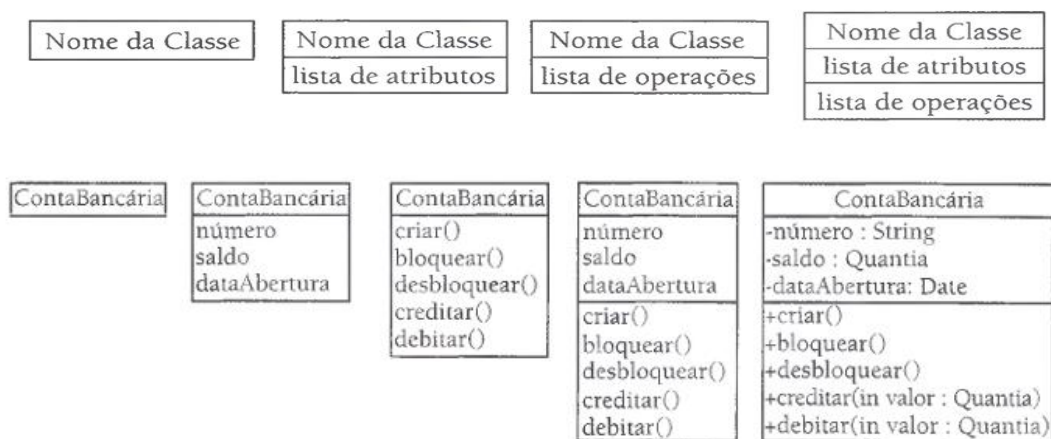
1.8.1 Diagrama de Classes

Uma **classe** é representada por uma “caixa” com, no máximo, três compartimentos exibidos. No primeiro compartimento (de cima para baixo) é exibido o nome da classe. Por convenção, esse nome é apresentado no singular e com as palavras componentes começando por maiúsculas. No segundo compartimento, são declarados os atributos, que correspondem às informações que um objecto armazena. Finalmente, no terceiro compartimento, são declaradas as operações, que correspondem às acções que um objecto sabe realizar. Estruturalmente, uma classe é composta de atributos e de operações. Os atributos correspondem à descrição dos dados armazenados pelos objectos de uma classe. A cada atributo de uma classe está associado um conjunto de valores que esse atributo pode assumir. As operações correspondem à descrição das acções que os objectos de uma classe sabem realizar.

Classe: Elemento abstrato que representa um conjunto de objectos. A classe contém a especificação do objecto; suas características: atributos (características) e métodos (ações / comportamentos).

- **Atributo:** define as características de uma classe ou objecto representado no sistema, como, nome, idade, altura, etc.
- **Visibilidade:** indica o nível de acesso que outros elementos do sistema terão sobre os atributos e métodos de uma classe. Tipos de visibilidade:
 - **Pública**, representada pelo símbolo (+), onde outras classes podem ter acesso ao atributo;
 - **Privada**, representada pelo símbolo (-), o atributo somente é acessado diretamente pela própria classe;
 - **Protegida**, representada pelo símbolo (#) ou **Pacote**, representada pelo símbolo (~), que é acessado pelo relacionamento da classe com a classe externa.

Figura 1.8.1 - Diferentes graus de abstração na notação de classe.



Fonte: Bezerra, 2007.

1.9 BPMN - Notação de Modelagem de Processos de Negócios (*Business Process Model and Notation*)

A Notação de Modelagem de Processos de Negócios (BPMN) foi desenvolvida pela Iniciativa de Gerenciamento de Processos de Negócios (BPPI), que desde então se fundiu com o grupo de gerenciamento de objectos. O principal objectivo da BPMN é fornecer uma notação uniforme para modelar processos de negócios em termos de actividades e seus relacionamentos (Lankhorst, sa).

1.9.1 Descrição das notações

- **Piscina (Pool):** Utilizados para organizar os processos de um diagrama, definindo o escopo de cada processo e possibilitando identificar os responsáveis pela execução de cada actividade do processo.
- **Raias (lane):** Subdivisão de uma piscina. Usada na separação de integrantes internos de um processo;
- **Evento:** Significa um acontecimento que influencia o fluxo do processo;
- **Tarefa ou Actividade:** Utilizadas as como artifício para traduzir as acções;
- **Gateway (Decisão):** São usados para controlar como o fluxo de uma sequência do processo irá convergir ou divergir.

Figura 1.9.1 - Elementos do BPMN

Fonte:

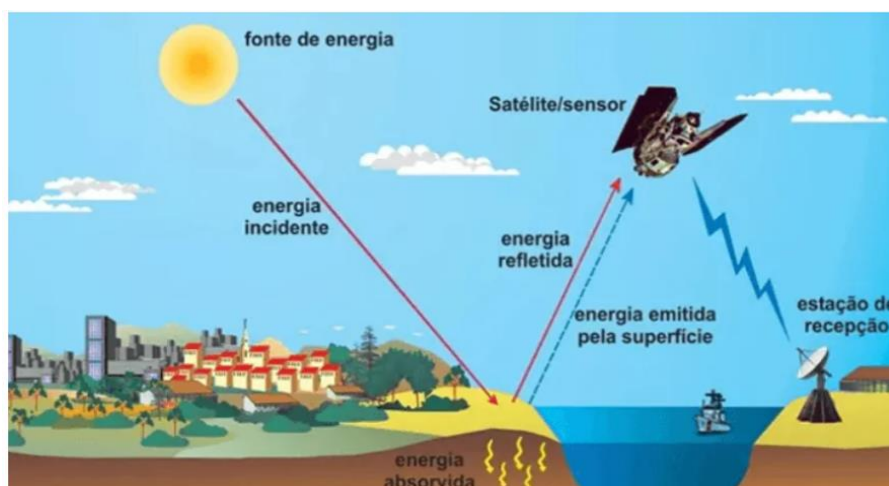


ResearchGate, s.d.

1.10 Teledetecção

Segundo Fitz (2008) teledetecção, detecção remota e sensoriamento remoto, são termos utilizados em certos países de língua portuguesa para conceituar a “técnica que utiliza sensores para a captação e registro à distância, sem o contacto directo, da energia reflectida ou absorvida pela superfície terrestre”. Ou seja, a teledetecção pode ser definida como sendo a obtenção de informações sobre um objecto ou sobre um fenómeno através da análise de dados recolhidos por um equipamento ou sensor, sem contacto directo com aquele objecto ou fenómeno” (Feitosa et al., 2008). O termo é utilizado para mencionar um objecto, feição ou área na superfície terrestre sobre o qual pretende-se obter algum tipo de informação e que é imageado pelo sensor a bordo de satélite.

Tabela 1.10.1 - Princípio da obtenção de imagem por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2011).

Uma necessidade básica da teledetecção é que se tenha uma fonte de energia que ilumine ou que forneça energia electromagnética ao alvo de interesse (a menos que este alvo emita sua própria energia). Os sensores que têm a sua própria fonte de energia e a que emitem ao alvo registrando a energia que é reflectida, são denominados activos, enquanto aqueles que se utilizam de uma fonte externa de energia são denominados de passivos” (Feitosa et al., 2008). Fitz (2008) considera que os sensores podem ser entendidos como dispositivos capazes de captar a energia reflectida ou emitida por uma superfície qualquer e registrá-la na forma de dados digitais diversos (imagens, gráficos, dados numéricos, etc.). Estes dados registrados são passíveis de serem armazenados, manipulados e analisados por meio de softwares específicos.

1.10.1 Obtenção e Resolução de Imagens

➤ Obtenção de Imagens

A aquisição de imagens utilizadas em teledetecção efectua-se através de sensores acoplados em satélites artificiais que orbitam o planeta. Para Fitz (2008, p. 98), na obtenção destes dados, devem existir os seguintes elementos básicos:

- Fonte/energia radiante (Solar, por exemplo);
- Objecto de visada (alvo na superfície);
- Sistema de imageamento óptico e detector (sensor).

Estruturalmente, os satélites podem ser classificados em orbitais, quando circulam em órbitas diversas do Planeta, ou geoestacionários, quando se encontram numa mesma posição em relação a um ponto situado na superfície terrestre (Fitz, 2008, p. 113).

➤ Resolução de Imagens

Entre muitos outros aspectos, um sensor pode ser caracterizado pela sua resolução. Para Matos (2011, p. 221), “o termo genérico resolução, significando a capacidade de um sistema óptico de diferenciar objectos, abrange diferentes características:

- **Resolução espacial:** é a menor dimensão registrada, correspondente à dimensão captada por uma célula do sensor.
- **Resolução espectral:** é a dimensão de intervalos do espectro 30 electromagnético passíveis de registo pelo sensor.
- **Resolução radiométrica:** é a capacidade do sensor de diferenciar a energia electromagnética que recebe.
- **Resolução temporal:** é o intervalo entre duas passagens consecutivas do sensor sobre o mesmo local

A utilização de imagens com diferentes resoluções vai depender dos objectivos a alcançar com os trabalhos efectuados. Neste contexto, é de fundamental importância, realizar uma escolha prévia da escala de trabalho a ser utilizada.

1.10.2 Teledetecção e Águas Subterrâneas

1.10.2.1 Importância da teledetecção na pesquisa de água subterrânea

As técnicas de sensoriamento remoto são, sem dúvida, ferramentas importantes para pesquisas regionais voltadas à prospecção de água subterrânea, tanto em áreas de embasamento cristalino como em bacias sedimentares, entretanto, são melhor aproveitadas em áreas pouco vegetadas, limpas de coberturas de nuvens e onde a geologia não se apresente monótona” (Feitosa et al., 2008). Para o mesmo autor, uma das principais aplicações desses produtos é a detecção de discontinuidades geológicas em terrenos onde exista predominância de rochas do embasamento cristalino através, principalmente, de técnicas de contraste de imagens e uso de filtros de convolução direcionais. Feitosa et al. (2008) aponta como principais vantagens do uso de imagens orbitais, a otimização de tempo e recursos na análise de grandes áreas e a possibilidade de uma visão integrada regional das feições geológicas e estruturais. O autor refere ainda que, vistas como ferramentas importantes para a pesquisa de água subterrânea, as técnicas de processamento geram resultados que não podem ser considerados conclusivos, mas como informações de fundamental importância para o direcionamento e planejamento de estudos posteriores de detalhes.

1.11 Metodologia e Métodos de Investigação Científica

1.11.1 Metodologia de Investigação Científica

De acordo com Sousa (2005), genericamente, Método será, todo o processo racional para chegar a um determinado fim. Saliencia ainda que o Método é a maneira ordenada de realizar determinada tarefa. E, deste modo, a Metodologia será a parte da lógica que estuda os métodos das diversas ciências, segundo as leis do raciocínio, ou a arte dirigir o espírito na investigação, ou ainda, conjunto de regras empregadas no ensino de uma ciência ou arte. Para Fitz (2008), a Metodologia será o conjunto de diretrizes estabelecidas que conduzem a realização de uma pesquisa.

Neste trabalho será abordado apenas a metodologia Design Science, por se tratar da metodologia sobre o qual recai a investigação.

1.11.1.1 Metodologia *Design Science* (DS)

A distinção entre os ambientes natural e artificial é realizada originalmente por Herbert Simon em 1969. Para este, a ciência natural é um conjunto de conhecimentos sobre uma classe de objectos e/ou fenómenos do mundo (suas características, como se comportam e como interagem). Neste sentido, é tarefa das disciplinas científicas naturais pesquisarem e ensinarem como as coisas são e como elas funcionam. No entanto, levanta-se a possibilidade de estudos sobre o Universo “artificial”, definindo que estas ciências se ocupam da “concepção de artefactos que realizem objectivos”. Ou seja, as ciências do artificial dizem respeito a como as coisas devem ser para funcionar e atingir determinados objectivos (Lacerda et al., 2013). A *Design Science* “Ciência do Projecto” tem como missão principal, desenvolver conhecimento para a concepção e desenvolvimento de artefactos. A metodologia *Design Science* (DS) é construída pelo método “*pesquisa em Ciência do Projeto*” ou “*Design Science Research*” (Adaptado de Lacerda et al., 2013).

1.11.2 Método de Investigação Científica

Em ciência, método é a maneira que o cientista escolhe para ampliar o conhecimento sobre determinado objecto, facto ou fenómeno. É uma serie de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para atingir determinado conhecimento” (Zanella, 2013, p. 19). Segundo Lacerda et al (2013, apud Andery et al., 2004), “Os métodos de pesquisa consistem em um conjunto de regras e procedimentos, aceitos pela comunidade académica, para a construção do conhecimento científico”. “Portanto, possuir um repertório amplo e bem definido de métodos de pesquisa pode contribuir para o avanço da teoria e, por consequência, do conhecimento em determinadas áreas” (Lacerda et al., 2013). Assim, como existem diversos conceitos de métodos, existem também diferentes tipos de métodos, entre eles estão os indutivos, dedutivos, dialéticos e *Design Science Research*.

1.11.2.1 Método *Design Science Research* (DSR)

A *Design Science Research* baseia-se na criação de artefactos que tenham as propriedades desejadas e alcancem objectivos definidos, conjugados à construção da ciência (Lacerda et al. 2013). Uma *Design Science* “Ciência do Projecto” tem como missão principal, desenvolver conhecimento para a concepção e desenvolvimento de artefactos. Nesse sentido, a *Design Science Research* se constitui em um processo rigoroso de projectar artefactos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os

resultados obtidos. As hipóteses são construídas para explicar ou recomendar o que pode ser determinado facto. Em *DSR*, a sua utilização está essencialmente ligada a propostas para a solução de problemas. Neste sentido, a *Design Science Research* se constitui em um processo rigoroso de projectar artefactos para resolver problemas, avaliar o que foi projectado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos (Lacerda et al., 2013).

1.11.2.1.1 Etapas da Design Science Research

Tabela 1.11.1- Apresentação de uma síntese das etapas e saída do DSR numa visão geral.

Etapas de condução	Visão geral	Saída
Conscientização do problema	O pesquisador busca solucionar um problema; condição inicial da pesquisa.	Identificação e a formalização do problema a ser solucionado, suas fronteiras (ambiente externo) e as soluções satisfatórias necessárias
Sugestão ou definição dos objectivos para solução	Identificação das funcionalidades e requisitos que o artefacto necessita atender; identificação de artefactos com finalidades semelhantes.	Artefactos identificados e soluções satisfatórias explicitadas; proposta de artefacto formalizada.
Desenvolvimento do artefacto	Construção do artefacto projectado conforme procedimentos especificados.	Artefacto em seu estado funcional.
Avaliação do artefacto	Verificação do comportamento do artefacto no ambiente para o qual foi projetado, em relação às soluções que se propôs alcançar.	Artefacto testado e avaliado.
Conclusão	Formalização geral do processo e sua comunicação às comunidades acadêmica e de profissionais	Publicação em revistas, seminários, congressos, etc.

Fonte: Lacerda, D. P. et al. (2013)

Assim, um novo conhecimento é produzido. Quando as coisas não funcionam durante a avaliação, o pesquisador é forçado a voltar para a etapa de consciência, quando novos conhecimentos são adquiridos para que se refinem os limites da incompleta teoria que foi usada para criar o artefacto em primeiro lugar. Se o investigador é capaz de resolver o problema, também pode levar a uma nova compreensão que vai modificar e melhorar a teoria original.

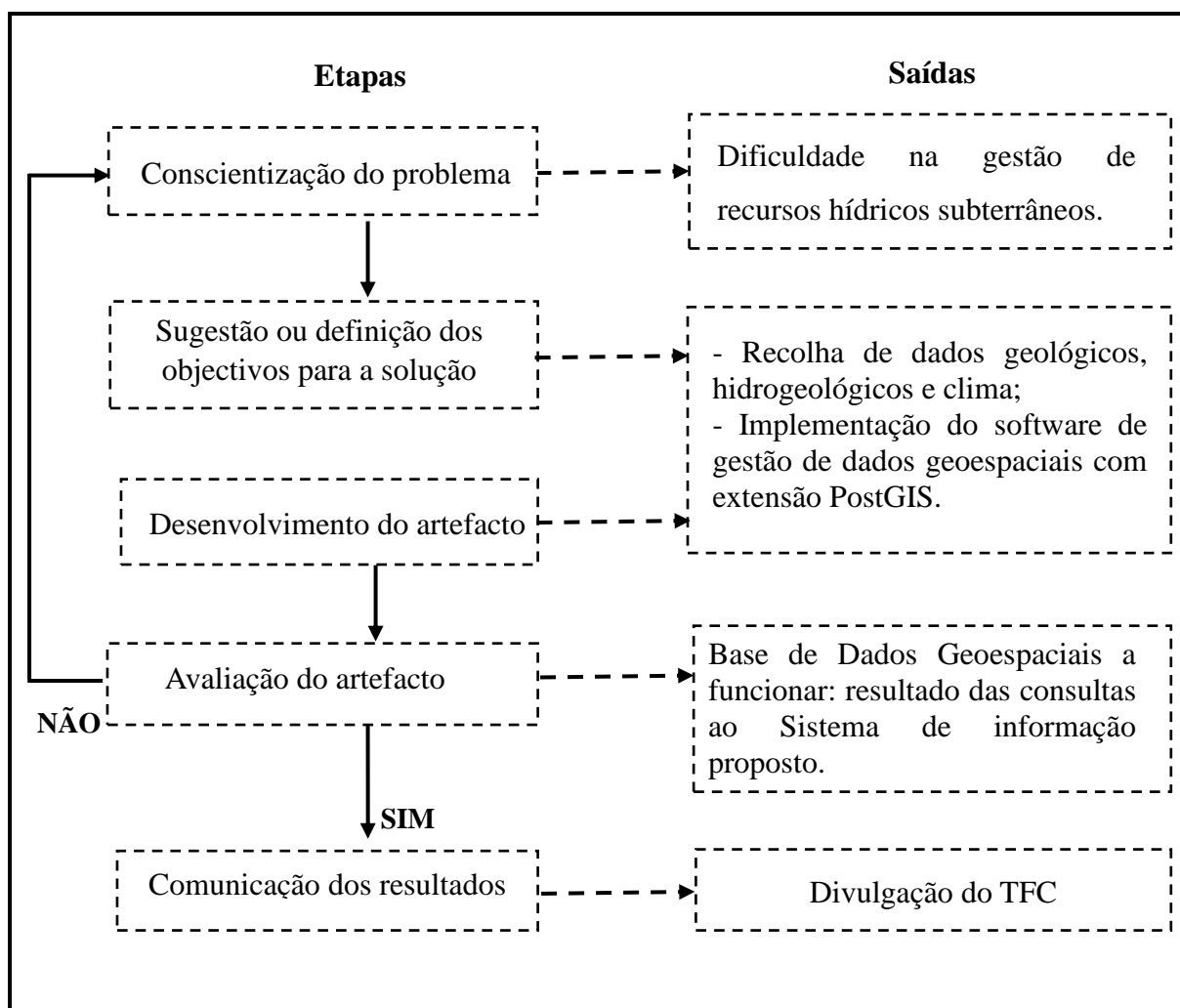
CAPÍTULO II - METODOLOGIA

2.1 Método *Design Science Research* (DSR)

2.1.1 Etapas de Implementação com DSR

A apresenta as etapas de implementação, incluindo as saídas que envolveram a criação e avaliação do artefacto criado neste trabalho.

Tabela 2.1.1 - Metodologia do trabalho com implementação do DSR



Fonte: Autora

2.1 Materiais Utilizados

Durante a realização deste trabalho, foram utilizados alguns equipamentos que ajudaram na recolha e inserção de dados em ambiente computacional.

Tabela 2.1.2 - Equipamentos utilizados para recolha e inserção de dados em ambiente computacional.

ID	MATERIAL	ORIGEM	CARACTERÍSTICA	FUNCIONALIDADE
1	Computador portátil HP	HP	Processador 2.60 GHz, disco rígido 273 GB, RAM 8 GB, placa de vídeo 128 MB, SO Windows 10 Pro (64 bits)	Operacionalizar softwares e gerir informação digital
2	PostgreSQL/PostGIS	Software livre (open source)	Sistema de base de dados espacial Versão 16	Criação da base de dados geoespaciais, manipulação, edição, tratamento e análise de dados
3	QuantumGIS (QGIS)	Software livre (open source)	Versão 3.34.11 (7.6)	Consultas e visualização de dados geoespaciais
4	ArcGIS	Esri	Versão 10.5	Conversão de coordenadas, confecção de mapas e transformação de camadas raster em vectores
5	Lucid	Site	Site de modelagem gráfica em UML e BPMN	Modelar processos relacionados à prospecção e avaliação de dados hidrogeológicos
6	Google Earth	Google	Software de visualização 2D	Localizar mina de Catoca e vias de acesso por imagens de satélite
7	SASPlanet	Software livre	Visualizador e downloader de imagens	Visualização e download de imagens de satélite da mina de Catoca
8	Modelo Digital de Elevação-MDE (Imagem SRTM: LANDSAT-8)	USGS (earthexplorer.usgs.gov)	Capturada em 10/08/2023, sensores OLI e TIRS, resolução 181, ponto 71 formato GeoTIFF	Gerar mapas de altimetria, declividade e rede de drenagem (densidade de drenagem como resultado)
9	Dado de precipitação	USGS	Formato raster, convertido para shapefile	Representar espacialmente a precipitação da área de estudo
10	Dado do tipo do solo	IGEO (Instituto Geológico de Angola)	Carta de solos de Angola em formato raster, georreferenciada e vetorizada	Criação de mapa dos tipos de solo em formato shapefile
11	Dado do uso e ocupação do solo	ESA WorldCover 2020	Arquivo raster com classificação supervisionada	Identificação de padrões de uso e ocupação do solo
12	Dado de litologia	IGEO (Instituto Geológico de Angola)	Carta geológica em formato raster, georreferenciada e vetorizada	Elaboração de mapa litológico em shapefile

Fonte: Autora

2.3 Etapas de execução do trabalho

A criação da Base de Dados Geoespaciais para a gestão da prospecção dos recursos hídricos subterrâneos na actividade mineira foi executada em cinco etapas:

A primeira etapa concentrou-se na recolha de dados, com a revisão de trabalhos publicados sobre a temática em questão, a recolha e aquisição de dados já existentes sobre a área de estudo, desde mapas temáticos e obtenção de imagens de satélite por teledetecção;

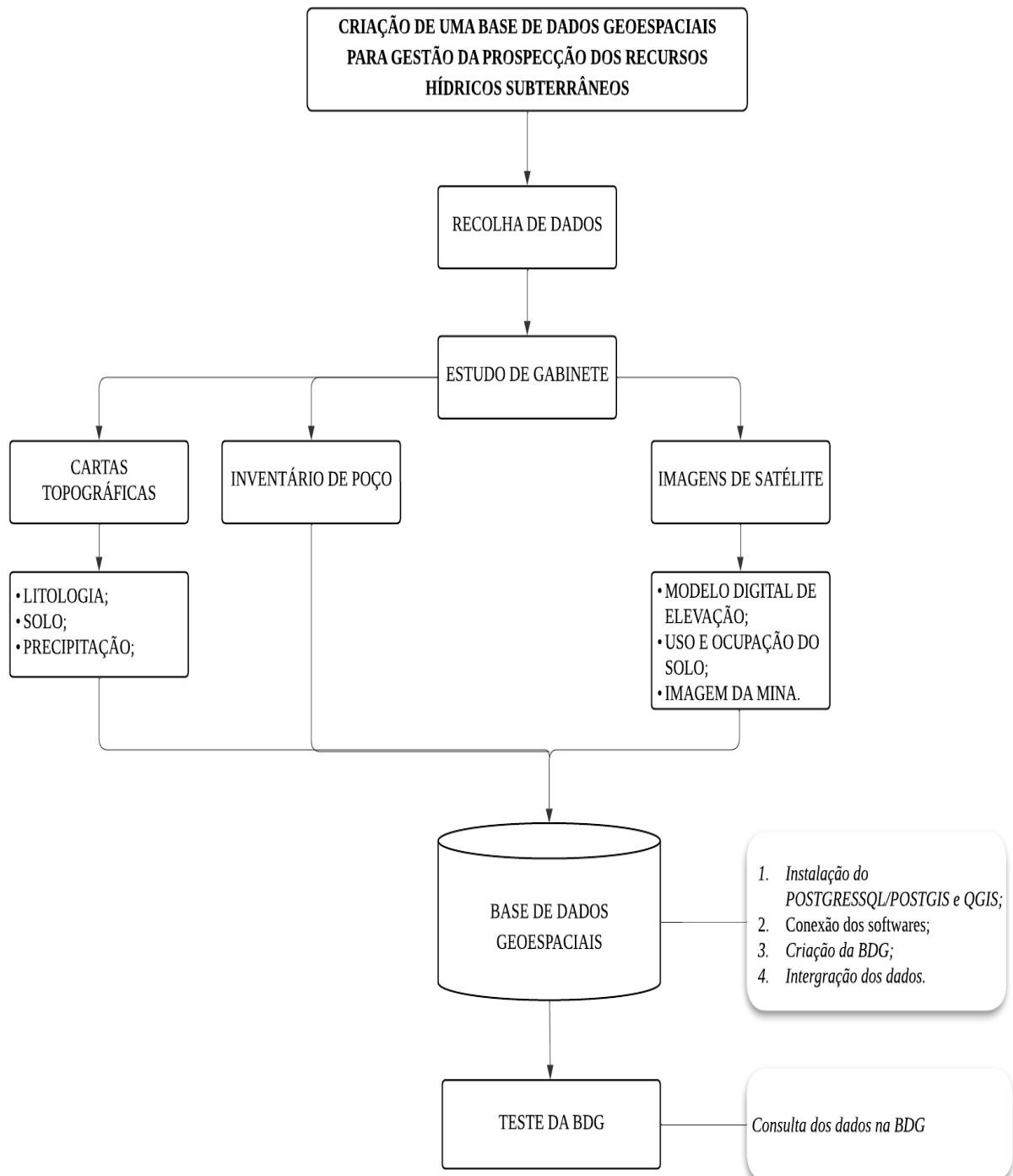
A segunda terceira etapa teve início com a instalação e configuração da plataforma de Gestão de Base de Dados PostgreSQL, aplicação da extensão PostGIS para armazenamento e visualização dos dados gráficos. Na sequência, efectuou-se também a instalação e configuração do software SIG “QGIS” para a integração, manipulação e consulta dos dados em ambiente computacional. Posteriormente foi realizada a conexão do software PostgreSQL/PostGIS pelo QGIS para que os dados fossem visualizados.

Na quarta etapa, criou-se a Base de Dados Geoespaciais, onde fez-se a organização e o armazenamento dos dados recolhidos por meio da importação dos mesmos.

Na quinta etapa, foi realizado um teste por meio de consultas, com o objectivo de verificar se a Base de Dados se encontra em perfeitas condições de funcionamento.

A Figura 2.1.1 apresenta o fluxograma que descreve o percurso metodológico efectuado para a execução deste trabalho.

Figura 2.1.1 - Etapas de execução do projecto.



Fonte: Autora

CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

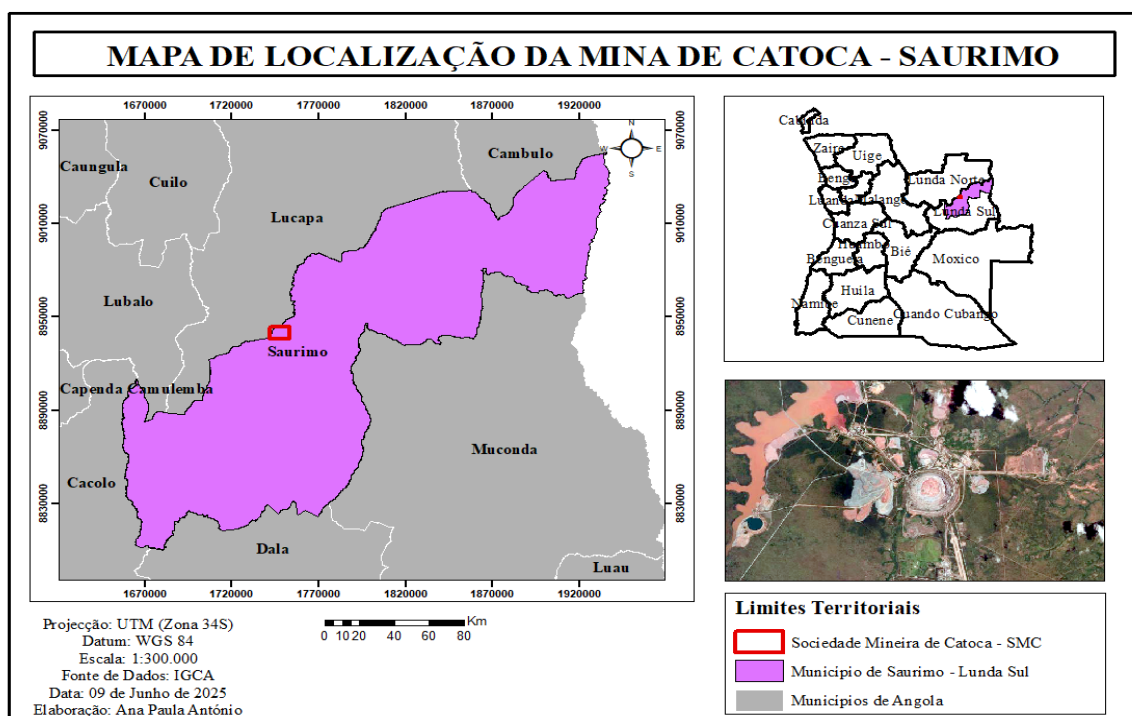
3.1 Caracterização da Área de Estudo: Mina de Catoca – Saurimo, Lunda Sul

3.1.1 Localização geográfica

A província da Lunda Sul localiza-se na região leste de Angola, tem uma superfície de 77.637 km² e uma população de 537587 habitantes que representa 1,93% da população do país. Conta com uma densidade populacional de 6,2 habitantes/km² (INE, 2014). O seu clima é tropical húmido. A precipitação média anual é de 1.366 mm e temperatura máxima de 32°C e mínima de 15°C, a humidade relativa média anual é de 63%. Quanto à divisão político-administrativa, a província divide-se em quatro municípios, a saber: Saurimo (a capital da província), Cacolo, Dala e Muconda (Manassa, 2021). No que diz respeito à sua delimitação geográfica, a Lunda-Sul faz fronteira a norte com a província da Lunda Norte, a sul com a província do Moxico, a leste com a República Democrática do Congo, separada pelo rio Cassai, e a Oeste com a província de Malanje (INE, 2018).

A área de estudo é a mina de CATOCA, localizado a oeste da província da Lunda Sul. Com um território de 639.000 m², situada a cerca de 30 km², da cidade de Saurimo (INE, 2018), tem como coordenadas 9°24'25.92" S e 20°18'19.57" L, correspondendo a uma superfície de 17.560 km², o que equivale a cerca de 1,4% da área do território angolano.

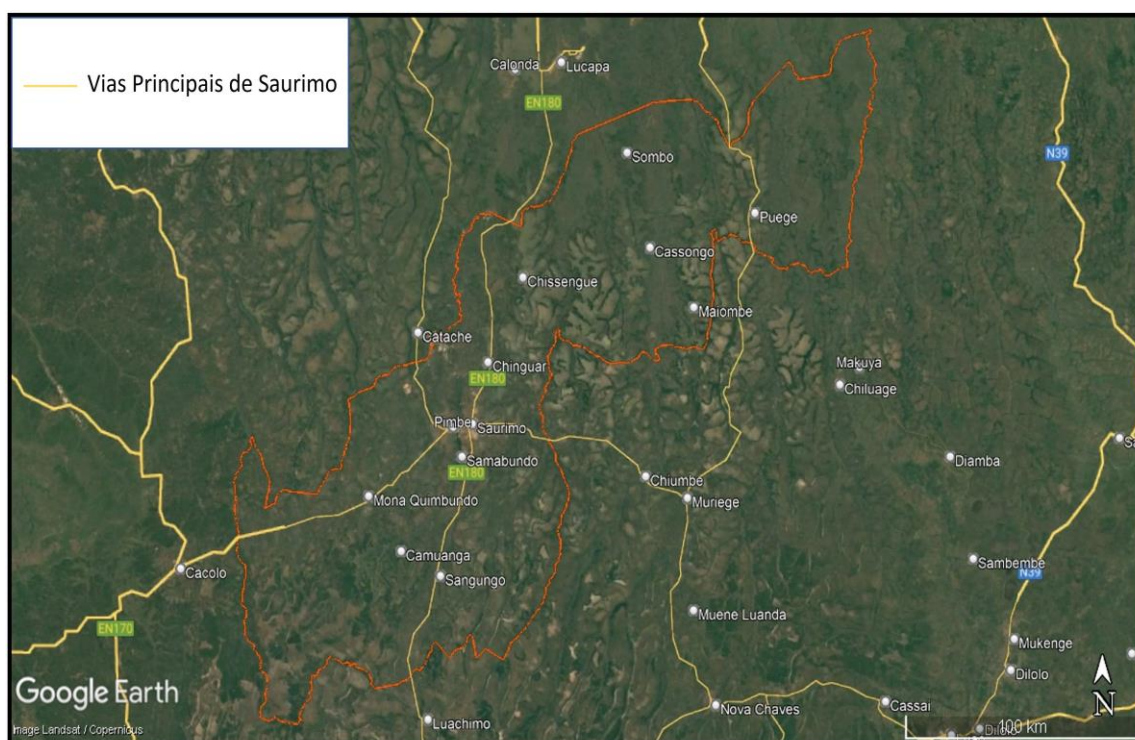
Figura 3.1.1 - Localização geográfica da área de estudo.



Fonte: Autora

A Sociedade Mineira de Catoca Lda. é uma empresa angolana de prospecção, exploração, recuperação e comercialização de diamantes. Constituída actualmente pela Endiama E.P (Angola) e TAADEEN Investment LCC (Arabia Saudita), Catoca é a quarta maior mina do mundo explorada a céu aberto e a maior empresa no subsector diamantífero em Angola, sendo responsável pela extracção de mais de 75% dos diamantes angolanos (Sociedade Mineira de Catoca, s.d.) corresponde-lhe o 86,3% da produção de diamantes do país que, no ano 2016, segundo Sodiam (Sociedade de Comercialização de Diamantes de Angola), subiu a 8,7 milhões de quilates para um valor de 988,36 milhões de USD. Catoca iniciou a sua exploração em 1993 e se estima uma vida útil de 41 anos.

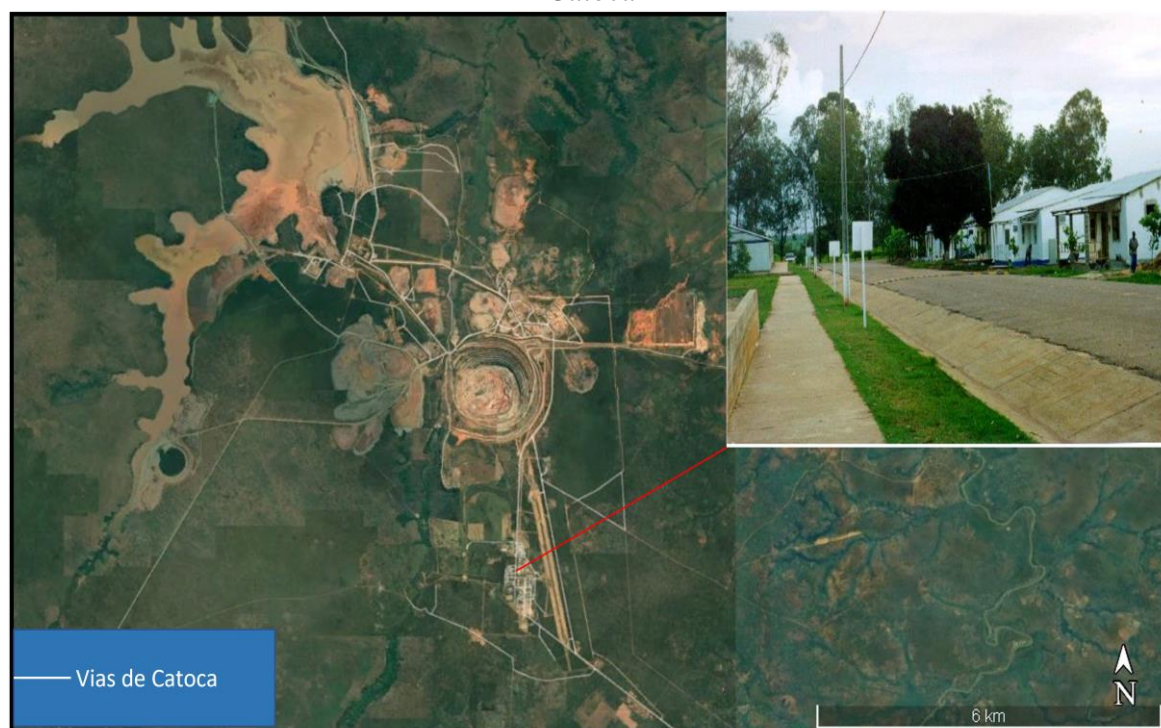
Figura 3.1.2 - Vias de acesso ao Município de Saurimo



Fonte: Google Earth Pro (adaptado pela autora)

Segundo a Revista Catoca (2025), o acesso à região pode ser feito por via aérea ou terrestre. Pelo ar, utilizam-se aeronaves de grande porte que pousam no Aeroporto de Saurimo e aviões menores que aterrizam no aeroporto localizado na Mina de Catoca. Por via terrestre, o acesso é garantido pelas estradas nacionais EN180 (figura 3.1.3), que conecta Saurimo ao Dundo, na Lunada-Norte, e EN230, que liga Malanje a Saurimo, na Lunda-Sul. O local de estudo é acessível por uma via principal asfaltada pela Sociedade Mineira de Catoca (figura 3.1.3).

Figura 3.1.3 - Vias de acesso a mina de Catoca



Fonte: Google Earth Pro (Adaptado pela autora)

3.1.2 Características biofísicas

3.1.2.1 Clima e Solo

Segundo Manassa (2021), o clima da região é tropical, com duas estações típicas no ano, a época chuvosa que se estende desde finais de agosto até inícios de maio, e a estação seca que se estende de maio a agosto. A temporada onde se registam mais chuvas é de novembro a março. Para Paca (2025), o período mais chuvoso ocorre nos meses de novembro a agosto, no qual a estimativa média anual para a precipitação atmosférica é de 1366 mm. Em relação a temperatura, esta varia entre os 12°C de mínima e os 34°C de máxima. As temperaturas médias diárias, durante o ano, variam de 22,5 a 22,8°C. A humidade média é 63%, favorecendo a vegetação e actividades como agricultura e pecuária (Revista Catoca, 2025). Muitas vezes os solos são desagregados pelo volume das quedas pluviais, as savanas existentes não os protegem, salvo em algumas modestas manchas que estão cobertas por uma vegetação rasteira. O solo predominante nesta região é o ferralítico, o paraferalítico e os solos fracamente lavados (Coqueia, 2014).

3.1.2.2 Relevo e Vegetação

O relevo da região é representado por uma planície monótona, que constitui a parte oriental da Lunda Peniplano (solo quase plano), comum declive geral da superfície sul-norte, com elevações absolutas entre 1078 e 1036 m. Representa um típico lençol- estepe tropical com abundante cobertura herbácea e raras árvores e arbustos que constituem as margens dos vales dos rios (Manassa, 2021). A vegetação de Saurimo é dominada pelas florestas de miombo, uma ecorregião composta por florestas de savana de folha larga decídua úmida (Website Wikipedia). As principais espécies arbóreas incluem os gêneros *Brachystegia*, *Isoberlinia* e *Julbernardia*. Essas florestas são importantes para a biodiversidade local e fornecem recursos essenciais para as comunidades, como madeira e produtos não madeireiros (Kussumua S. F. & Quissindo I. A. B., 2020).

3.1.2.3 Geologia

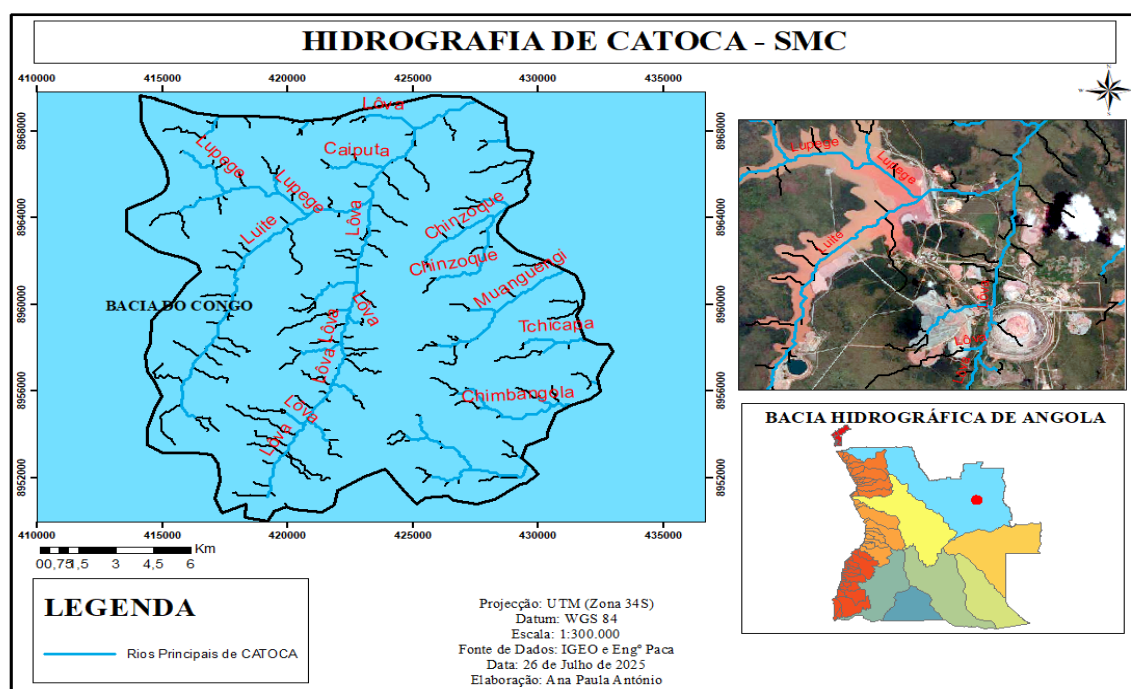
A estrutura geológica da Mina de Catoca é complexa e o corpo mineralizado subdivide-se em três partes diferentes. A Central, até aos 200m de profundidade, é composta por rochas vulcanogêneo-sedimentares (kimberlito tufístico). A parte que circunda as paredes da chaminé tem a forma de anel e é composta por kimberlitos e rochas derivadas dos mesmos e representa o principal minério industrial (kimberlito porfírico). A parte central do corpo mineralizado, abaixo de 260m, é composta por brechas kimberlíticas autolíticas (BKA). Até à profundidade de 100m o teor médio dos diamantes está distribuído de forma desigual, sendo a parte ocidental mais rica que a oriental. As rochas encaixantes são constituídas por gnaisses. Na profundidade de 65 a 75m as rochas são representadas por várias espécies e material monolítico sólido. As propriedades físicas e mecânicas do kimberlito, nos níveis superiores, revelam a sua baixa resistência, fácil trituração e elevada auto-desintegração (website CATOCA). Do ponto de vista tectónico, a região localiza-se na parte sudeste do Escudo Cristalino de Cassai, de idade arqueano-proterozóica, confinada com a depressão meso-cenozóica do Congo. Geomorfologicamente, o território localiza-se a este da Lunda peniplano, onde se desenvolvem as rochas plataforma. As manifestações kimberlíticas do período cretáceo estão associadas a fraturas de direção sub-sul, cuja extensão atinge cerca de 1.200 Km. Estruturalmente, no Oeste do Escudo Cassai, são identificadas mais de 70 chaminés, agrupadas em quatro campos kimberlíticos: Camafuca-Camazamba (19 chaminés), Camútue (15), Camagia (8) e Catoca (32). Em relação às formas circulares, Catoca é o maior depósito com estrutura circular radial de Saurimo (até 200 Km de diâmetro), morfologicamente semelhante às descritas em outras regiões diamantíferas do mundo. Está

comprovado que o campo kimberlítico de Catoca se encontra em um único nó de interseção de falhas pertencentes às zonas de fraturamento abissal de categorias continental, regional e local. Este nódulo também se caracteriza pela presença de vestígios de uma estrutura circular de 40 km de diâmetro, no epicentro onde se encontra a chaminé do depósito de Catoca (Manassa, 2021).

3.1.2.4 Hidrografia

A rede hidrográfica está orientada para a direcção norte, faz parte da bacia hidrográfica do rio Congo que inclui os rios Luembe, Chicapa, Luachimo, Chiumbe e Luxico. O rio Chicapa (Lunda-norte) é importante, pois, ele corre ao longo do limite oriental da concessão da Catoca, que se situa do lado direito do vale rio Lova, um dos seus afluentes (Manassa, 2021). A mesma, drena para o Rio Zaire, via Rio Cassai, que recebe afluentes como rios Kuango, Kuilo, Luangue, Lova, Chicapa e Luachimo. Na concessão de Catoca, a hidrografia pertence ao sistema do Rio Congo, tendo o Rio Chicapa como principal curso de água. A microbacia do Rio Lova é abastecida por rios como Luite, Catoca, Cuquema, Lova, Cluachimo e Luembe, com fluxos permanentes e interminentes. Destacam-se o Rio Cuquema, com vazão estável; o Rio Lova, que mantém fluxo na seca; o Rio Luachimo, importante para a biodiversidade; e o rio Luembe, que regula o fluxo do Rio Lova (Revista Catoca, 2025).

Figura 3.1.4 - Hidrografia de Catoca



Fonte: Autora

3.2 Apresentação dos Resultados. Teste da Base de Dados Geoespaciais

3.2.1 Recolha, Organização e Armazenamento, Processamento de Dados

- **Recolha de Dados**

A recolha de dados constituiu uma etapa fundamental para a construção da Base de Dados Geoespaciais proposta. Os dados foram obtidos por meio de revisões bibliográficas, contendo informações, como, os limites da concessão mineira, tipos de vegetação e de solo, características do meio físico e biofísico, mapas hidrográficos, Modelo Digital de Elevação (MDE), bem como arquivos *shapefile* relativos as províncias, municípios, ao tipo de solo, litologia e precipitação, fornecidos pelo Instituto Geológico de Angola (IGEO). Além disso, foi realizado um reconhecimento de campo na área de estudo, onde foi possível fazer a observação das estruturas geológicas superficiais e a presença de água dentro da cava.

- **Organização e Armazenamento de Dados**

Após a recolha, os dados (precipitação, solo, densidade de drenagem, litologia, MDE, etc.) foram organizados e posteriormente armazenados numa Base de Dados Geoespacia criada no software *PostgreSQL/PostGIS* com apoio do *QGIS 3.28*, de modo a permitir consultas espaciais e visualização dos dados.

- **Processamento dos Dados**

O processamento dos dados foi realizado no software ArcGIS, usado não apenas para elaboração de mapas temáticos, mas também para fazer a conversão de formatos (raster e vetor). O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi processado para gerar os mapas de declividade e altimetria, fundamentais para a compreensão do relevo e do escoamento superficial. Como produtos finais, foram gerados: mapa de localização da área de estudo, declividade e altimetria, de litologia, de uso e ocupação do solo, de solos, de precipitação, de densidade de drenagem, hidrográfico e de ocorrências de água.

3.2.2 Modelação dos processos do macrop processo de prospecção de recursos hídricos subterrâneas

3.2.2.1 Modelação de Prospecção de Águas Subterrâneas: Processo actual (AS-IS)

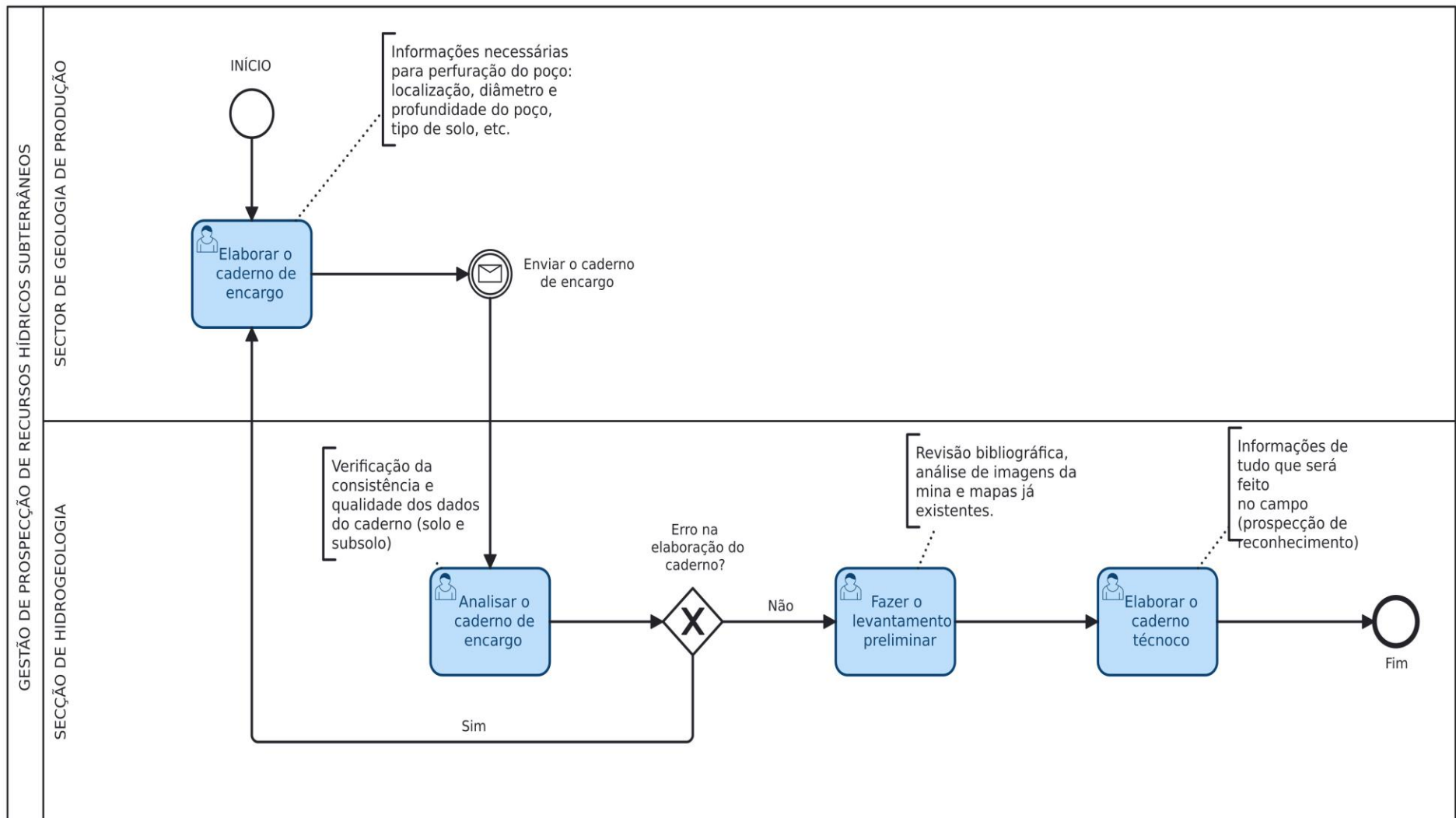
Actualmente, as fases do processo de prospecção de recursos hídricos subterrâneas da mina de Catoca envolvem diversas etapas, conforme apresentadas na tabela 3.2.1.

Tabela 3.2.1 - Processo actual de gestão de prospecção de recursos hídricos subterrâneos

ID	ACTIVIDADE	DESCRIÇÃO	ACTOR	MEIO	DADOS
1	Elaborar o caderno de encargo	Informações necessárias para perfuração do poço	Sector de Geologia de Produção	Analógico	Localização da área seleccionada, diâmetro e profundidade do furo, coordenadas, entre outros.
2	Analisar o caderno de encargo	Verificação da consistência e qualidade dos dados do caderno (solo e subsolo)	Secção de Hidrogeologia	Analógico	Localização da área seleccionada, diâmetro e profundidade do furo, litologia, coordenadas, entre outros.
3	Fazer o levantamento preliminar	Revisão bibliográfica, análise de imagens da mina e mapas já existentes.	Secção de Hidrogeologia	Analógico	Limite da área de concessão, mapas topográficos, litologia, coordenadas de poços já existentes, hidrografia, etc.
4	Elaborar o caderno técnico	Informações de tudo que será feito no campo (prospecção de reconhecimento)	Hidrogeólogo	Analógico	Litologia, coordenadas, diâmetro e profundidade do poço, entre outros.

Fonte: Autora

Figura 3.2.1 - Processo actual de gestão de prospecção de recursos hídricos subterrâneos em BPMN



Fonte: Autora

3.2.2.2 Modelação de Prospeção de Águas Subterrâneas: Processo futuro (TO-BE)

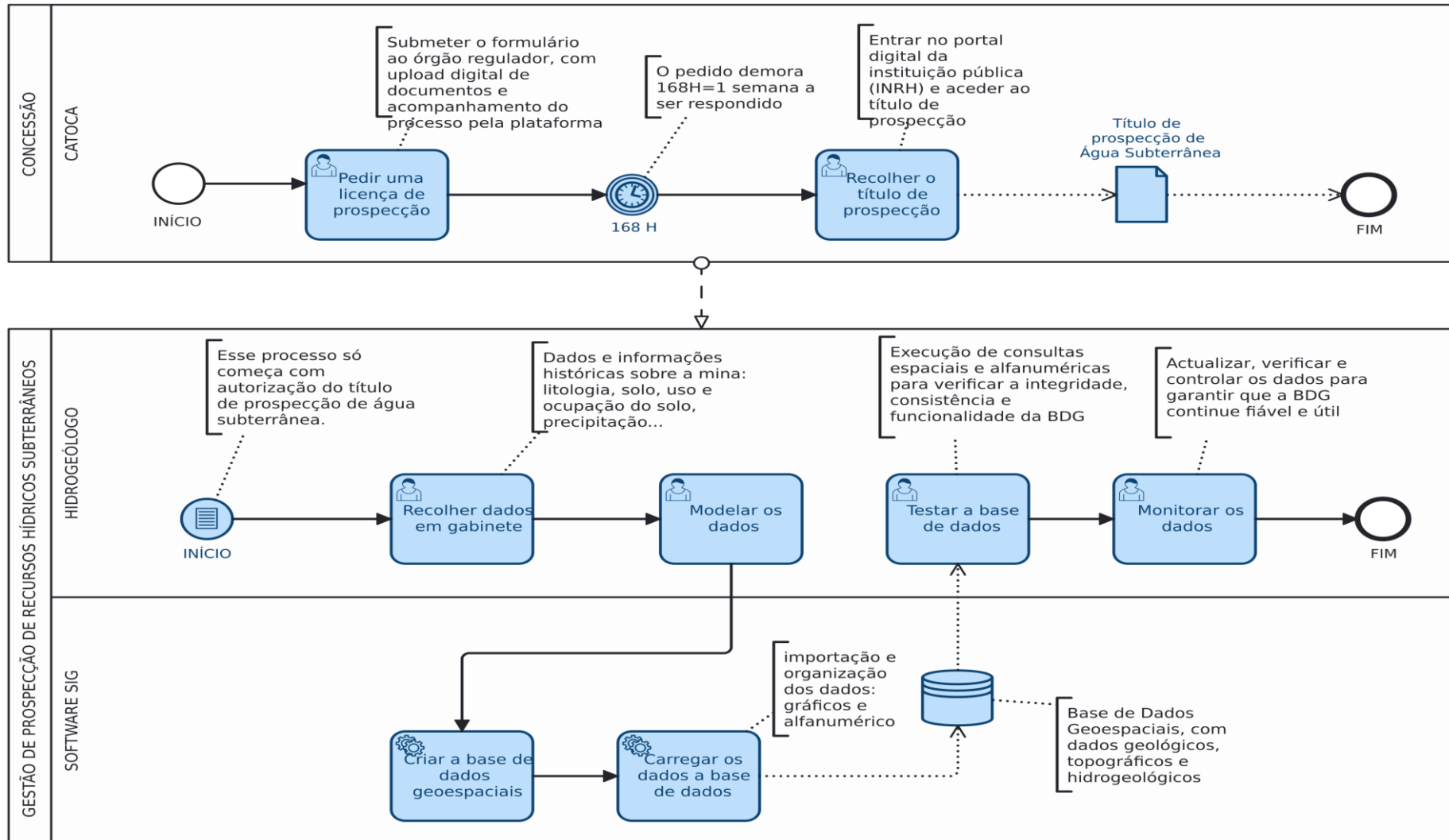
No cenário proposto (TO-BE), as fases do processo de prospeção de recursos hídricos subterrâneos na mina de Catoca serão reorganizadas e aprimoradas, conforme apresentado na tabela 3.2.2.

Tabela 3.2.2 - Processo futuro de gestão de recursos hídricos subterrâneos

ID	ACTIVIDADE	DESCRIÇÃO	ACTOR	MEIO	DADOS
1	Pedir uma licença de prospeção de águas subterrâneas	Submeter o formulário ao órgão regulador, com upload digital de documentos e acompanhamento do processo pela plataforma.	Catoca	Digital	Nome, morada, contacto, NIF, etc.
2	Recolher o título de prospeção	Entrar no portal da instituição pública e aceder ao título de prospeção.	Catoca	Digital	Licença digital, número de concessão, condições de execução.
3	Recolher dados em gabinete (desktop study)	Dados e informações históricas sobre a mina.	Hidrogeólogo	Digital	Imagens de satélite, litologia, solo, uso e ocupação do solo, precipitação, limite da concessão.
4	Modelar os dados para a BDG	Estruturação e organização dos dados a serem integrados na BDG, definindo classe, atributos, operações e visibilidade.	Hidrogeólogo	Digital	Litologia, solo, precipitação, limite da área, uso e ocupação, etc.
5	Criar a Base de Dados Geoespaciais	Estruturar tabelas, adicionar extensões como: raster e postgis	Software SIG	Digital	-----
6	Carregar os dados	Importação e organização de todos os dados (gráficos e alfanuméricos) recolhidos.	Software SIG	Digital	Litologia, solo, precipitação, limite da área, uso e ocupação, etc.
7	Testar a Base de Dados Geoespaciais	Execução de consultas espaciais e alfanuméricas para verificar a integridade, consistência e funcionalidade da BDG.	Hidrogeólogo	Digital	Litologia, solo, precipitação, limite da área, uso e ocupação, etc.
8	Monitorar os dados	Actualizar, verificar e controlar os dados para garantir que a BDG continue fiável e útil.	Hidrogeólogo	Digital	Litologia, precipitação, uso e ocupação, etc.

Fonte: Autora

Figura 3.2.2 - Processo futuro de gestão de recursos hídricos subterrâneos em BPM.



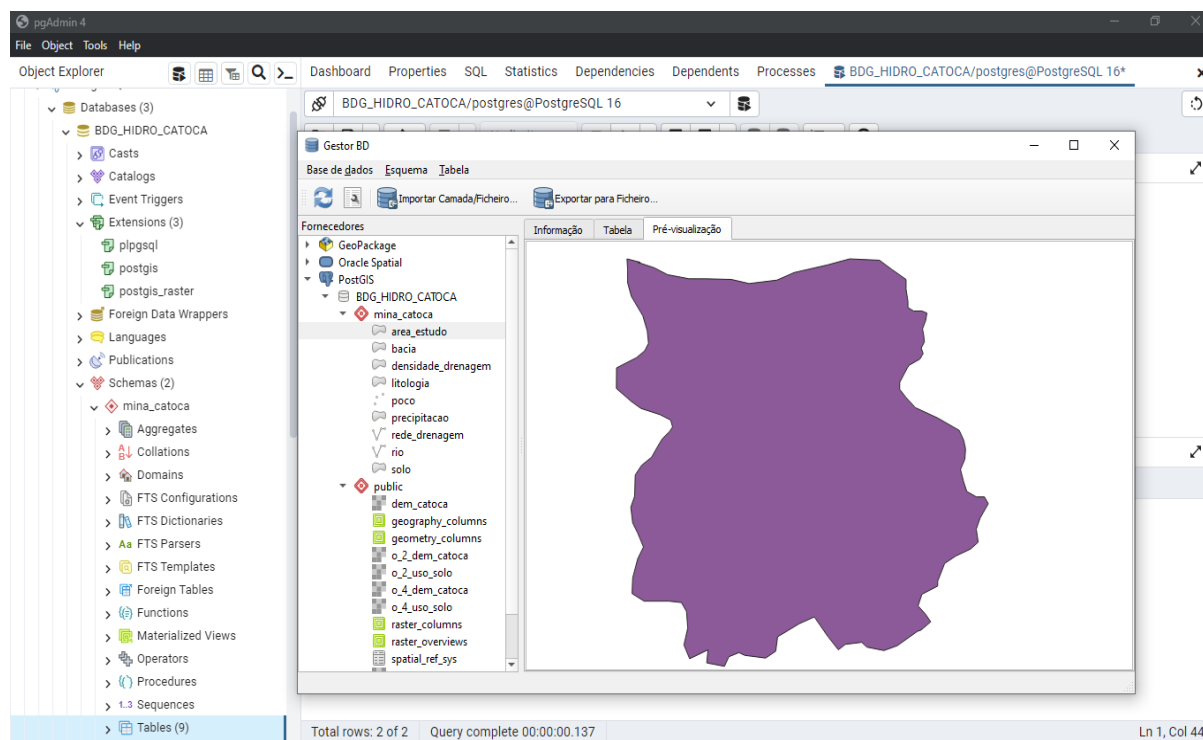
Fonte: Autora

3.2.3 Criação da Base de Dados Geoespaciais

3.2.3.1 Base de Dados Geoespaciais

A criação de uma Base de Dados Geoespaciais (BDG) foi uma etapa fundamental deste trabalho, pois permitiu integrar e organizar, num único ambiente, todos os dados recolhidos tanto no gabinete como no campo. Essa centralização facilitou o acesso, a consulta e a análise dos dados, tornando o processo mais rápido e eficiente. Na BDG foram inseridos dados geológicos e hidrogeológicos, que serviram de base para a elaboração dos mapas temáticos. Esses mapas foram utilizados nas análises e na apresentação dos resultados, permitindo uma melhor compreensão da área de estudo e evidenciando, de forma clara, os resultados obtidos.

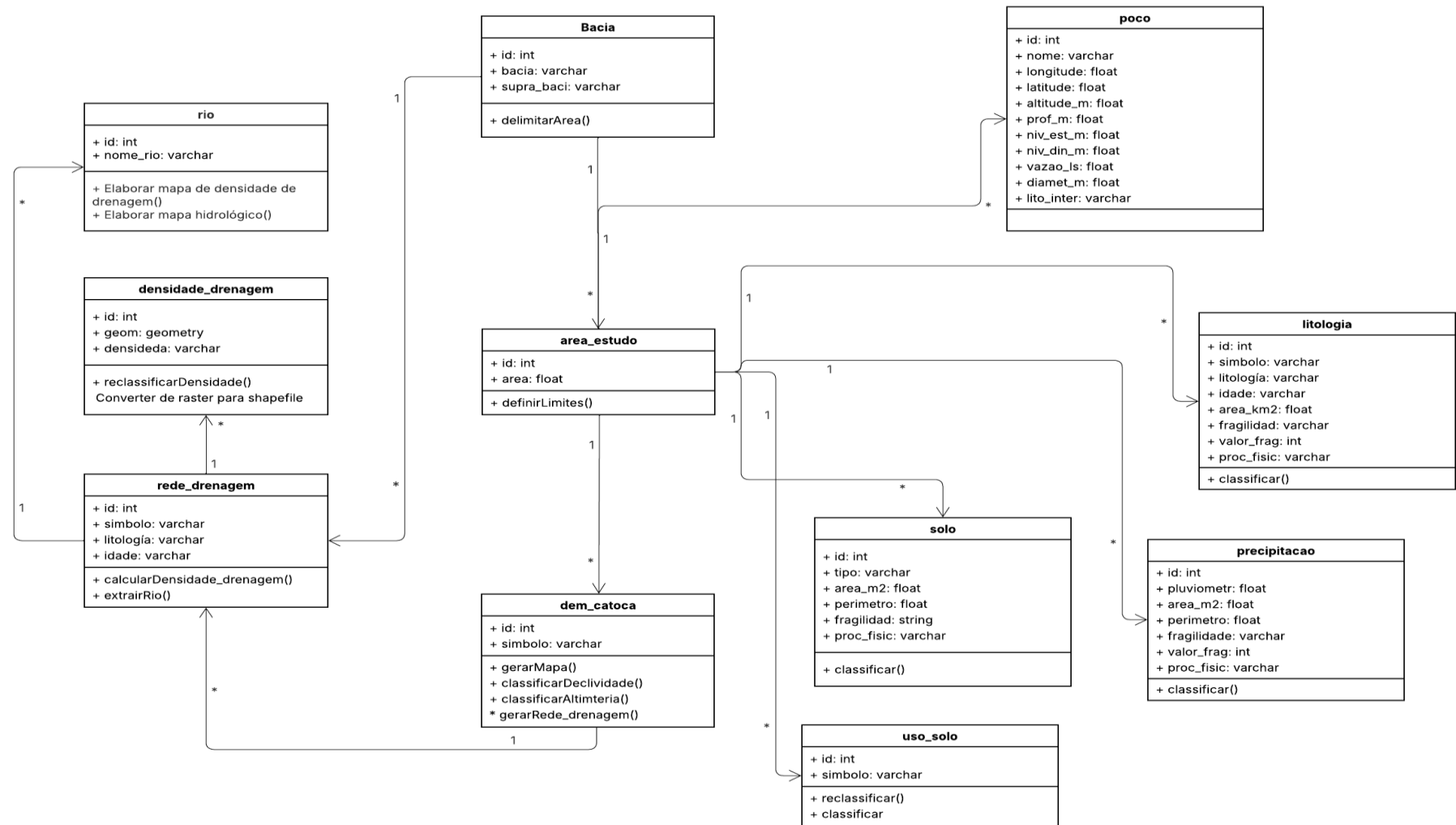
Figura 3.2.3 – Ilustração da Base de dados Geoespaciais.



Fonte: Autora

Na figura 3.2.4 conseguimos observar não apenas os dados que constituem a BDG, mas também os elementos que o caracterizam, a relação que existe entre eles, bem como a utilidade de cada um neste trabalho.

Figura 3.2.4 – Modelação dos dados em UML



Fonte: Autora

O formato de um determinado dado também influencia na forma como podem ser visualizados. Por exemplo, os dados no formato shapefile (shp) representam a feição geométrica de uma determinada camada.

Tabela 3.2.3 – Tipo e formato dos dados da BDG

ID	DADOS	TIPO DE DADOS	FORMATO
1	Litologia	Vectorial (polígono)	Shapefile (shp)
2	Rio	Vectorial (linha)	Shapefile (shp)
3	Solo	Vectorial (polígono)	Shapefile (shp)
4	Precipitação	Vectorial (polígono)	Shapefile (shp)
5	Densidade de Drenagem	Vectorial (polígono)	Shapefile (shp)
6	Rede Drenagem	Vectorial (linha)	Shapefile (shp)
7	Área de Estudo	Vectorial (polígono)	Shapefile (shp)
8	Poço	Vectorial (ponto)	Shapefile (shp)
9	Uso do solo	Raster	Tiff
10	Modelo Digital de Elevação (MDE)	Raster	Tiff
11	Mina de Catoca	Raster	Tiff

Fonte: Autora.

3.2.4 Teste do Artefacto

Após a criação e organização da Base de Dados Geoespaciais (BDG), foi realizado um teste para verificar o seu funcionamento e a forma como os dados podem ser consultados. Esse teste consistiu em efectuar consultas dentro da BDG, de modo a confirmar a integração correcta dos dados e a sua visualização.

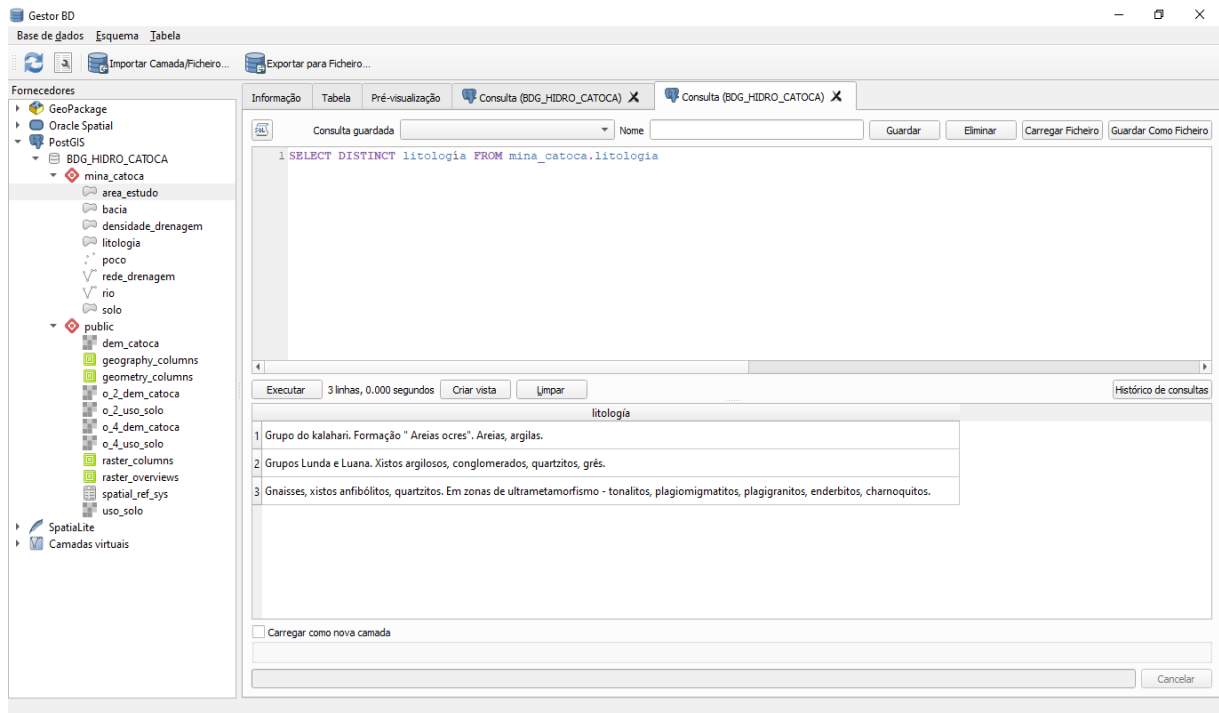
Tabela 3.2.4 - Exemplo de consultas de dados para BDG.

ID	Pergunta	Query SQL
1	Identificar os rios de catoca	SELECT * FROM mina_catoca.rio, mina_catoca.area_estudo;
2	Verificar litologias presentes na área de estudo	SELECT DISTINCT litologia FROM mina_catoca.litologia;
3	Identificar os tipos de solo presente na área de estudo	SELECT DISTINCT tipo FROM mina_catoca.solo;
4	Qual é a precipitação da área de estudo	SELECT pluviometr FROM mina_catoca.precipitacao;
5	Quantos poços tem na mina?	SELECT COUNT (*) AS total_poco FROM mina_catoca.poco;

Fonte: Autora

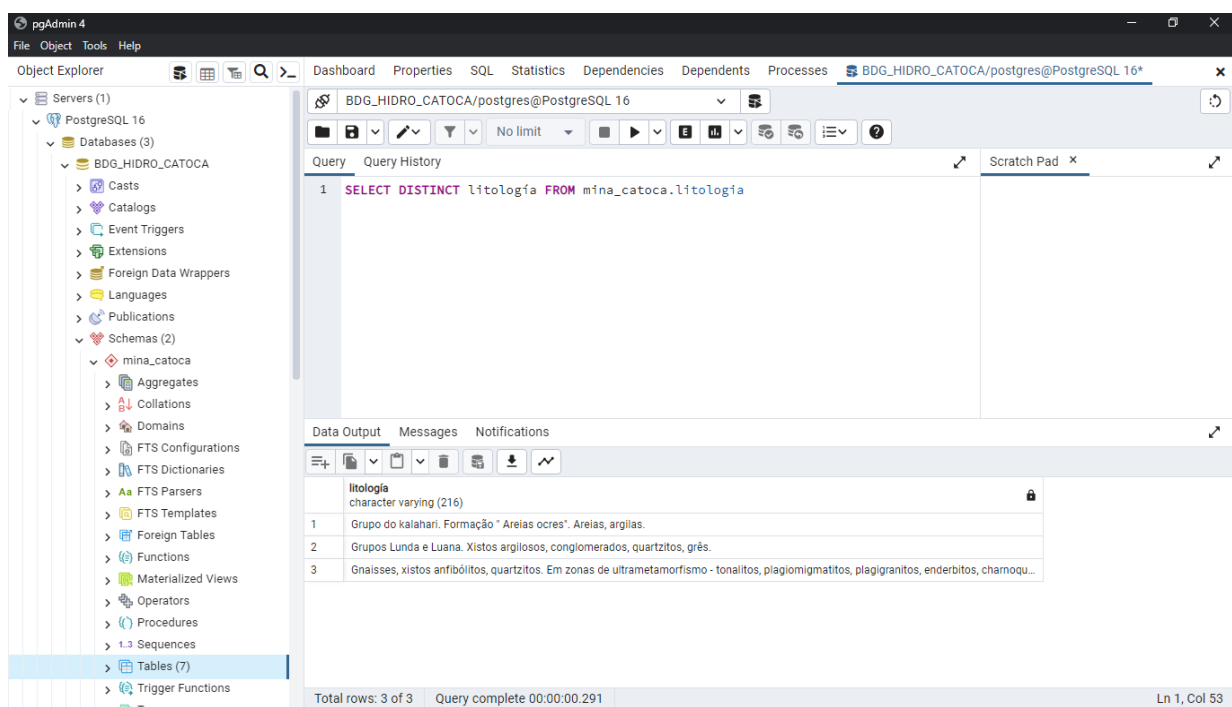
As figuras 3.2.5 e 3.2.6 ilustram o ambiente utilizado para a execução das consultas em SQL, evidenciando a visualização dos registos da camada “litologia”, com o objectivo de identificar as litologias presentes na área de estudo.

Figura 3.2.5 - Consulta da Base de Dados Geoespaciais no QGIS.



Fonte: Autora.

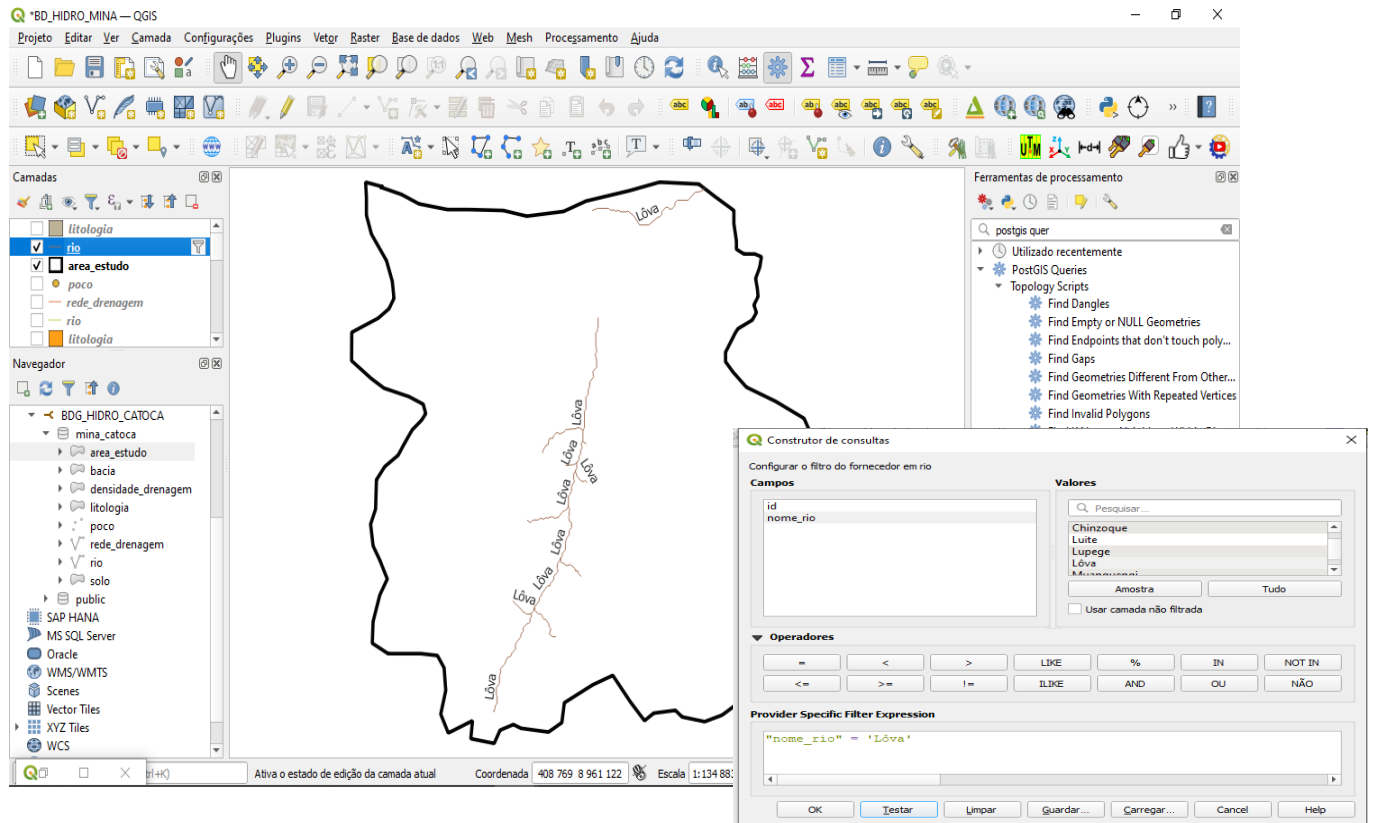
Figura 3.2.6 - Consulta da Base de Dados Geoespaciais no postgres.



Fonte: Autora.

A figura 3.2.7 apresenta a consulta que permitiu visualizar a camada correspondente, a qual consistiu em identificar a localização do rio “lôva” na área de estudo.

Figura 3.2.7 - Consulta na BDG usando filtro



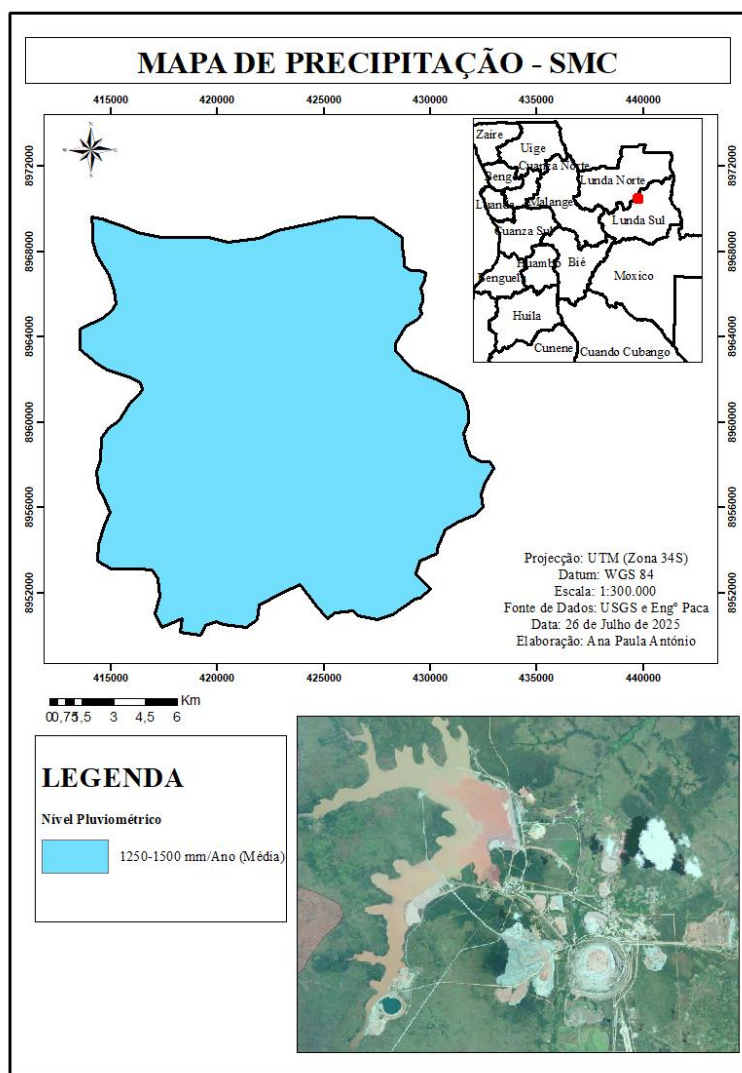
Fonte: Antora

Com estas consultas, qualquer especialista que usar a BDG vai poder elaborar mapas temáticos.

➤ Precipitação

Uma vez que a precipitação, associada a outros parâmetros físicos (como a temperatura, etc.), possibilita determinar a quantidade de água que será infiltrada no subsolo, na figura 3.2.9 constata-se que o nível pluviométrico da área de estudo está entre 1250 e 1500 mm média por mês, favorecendo a recarga natural dos aquíferos, especialmente nas formações sedimentares permeáveis como o Grupo Kalahari.

Figura 3.2.9 - Precipitação

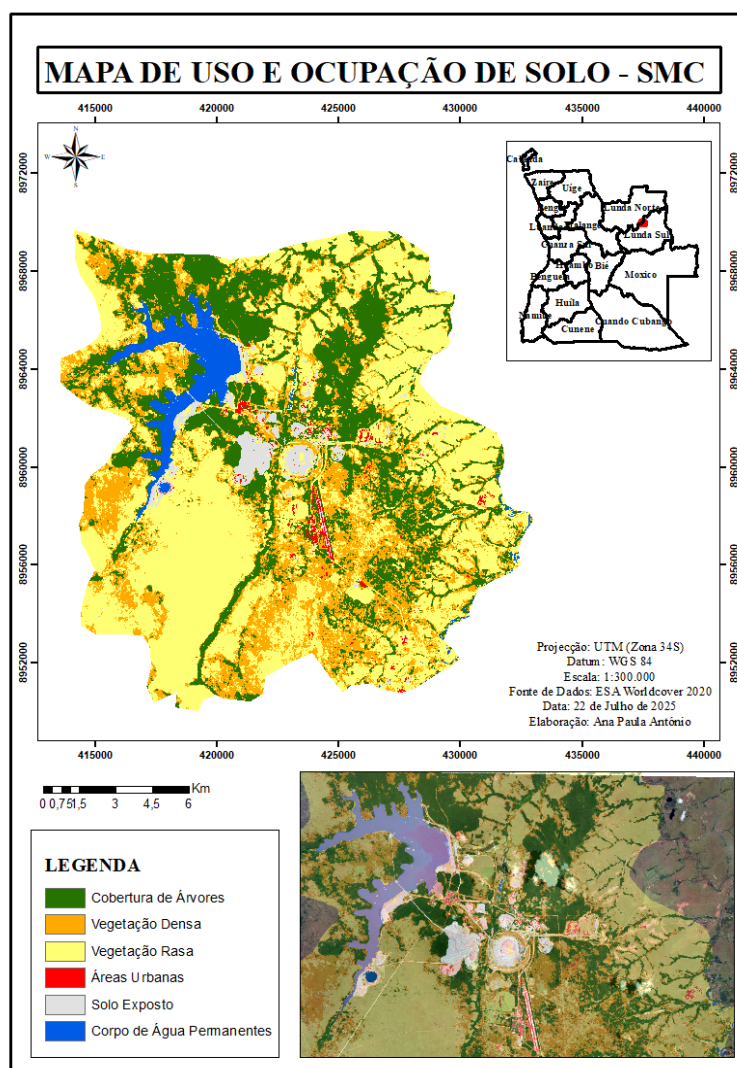


Fonte: Autora

➤ Uso e ocupação do solo

A forma como o solo é ocupado e utilizado exerce forte influência sobre a quantidade de água da chuva que consegue infiltrar no subsolo. Como se vê na figura 3.2.10, a área de estudo encontra-se numa zona que se destaca pela cobertura de árvores, vegetação densa e rala, e pela presença de corpos de água. Esses elementos favorecem o acúmulo de volumes de água na superfície por mais tempo, o que proporciona uma infiltração mais eficaz e, conseqüentemente, melhores condições para a recarga dos aquíferos subterrâneos.

Figura 3.2.10 - Uso e ocupação de solo

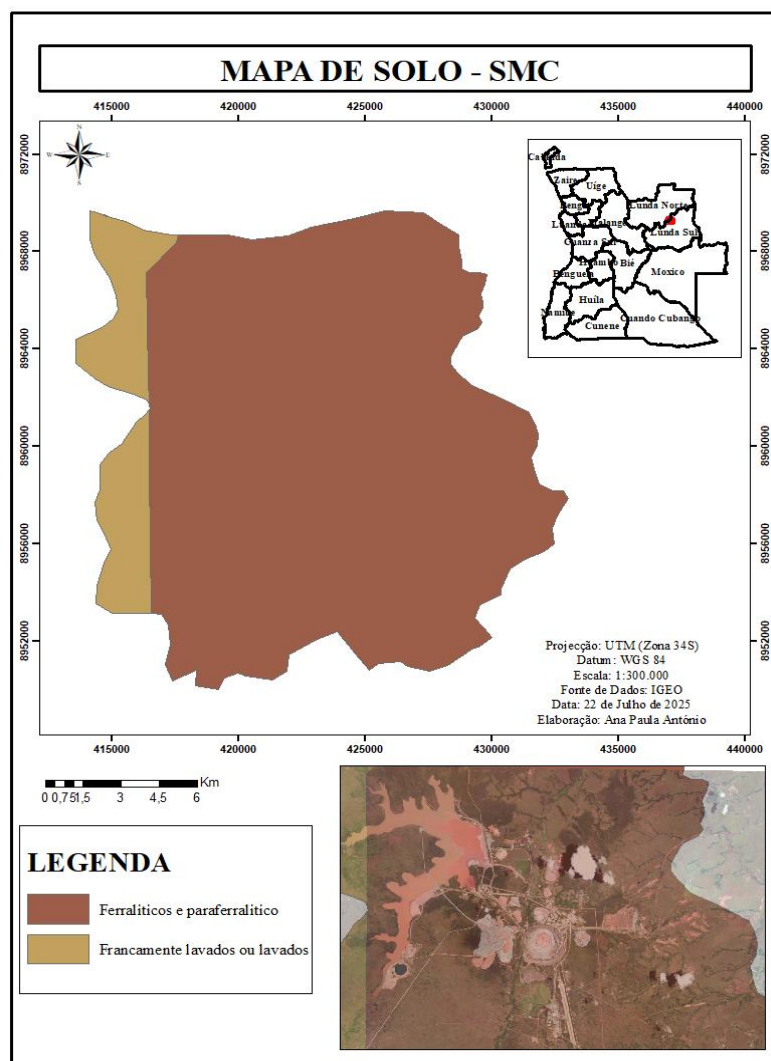


Fonte: Autora

➤ Tipo de solo

A área de estudo é coberta totalmente pelos solos ferralíticos e paraferalíticos. Os solos ferralíticos apresentam baixa capacidade de recarga de aquíferos devido à sua baixa retenção útil e estrutura argilosa pouco activos. Já os solos paraferalíticos, por serem menos intemperizados, são mais propícios a permitir a infiltração de água no subsolo dando origem a ocorrência e recarga de águas subterrâneas.

Figura 3.2.11 - Tipo de solo

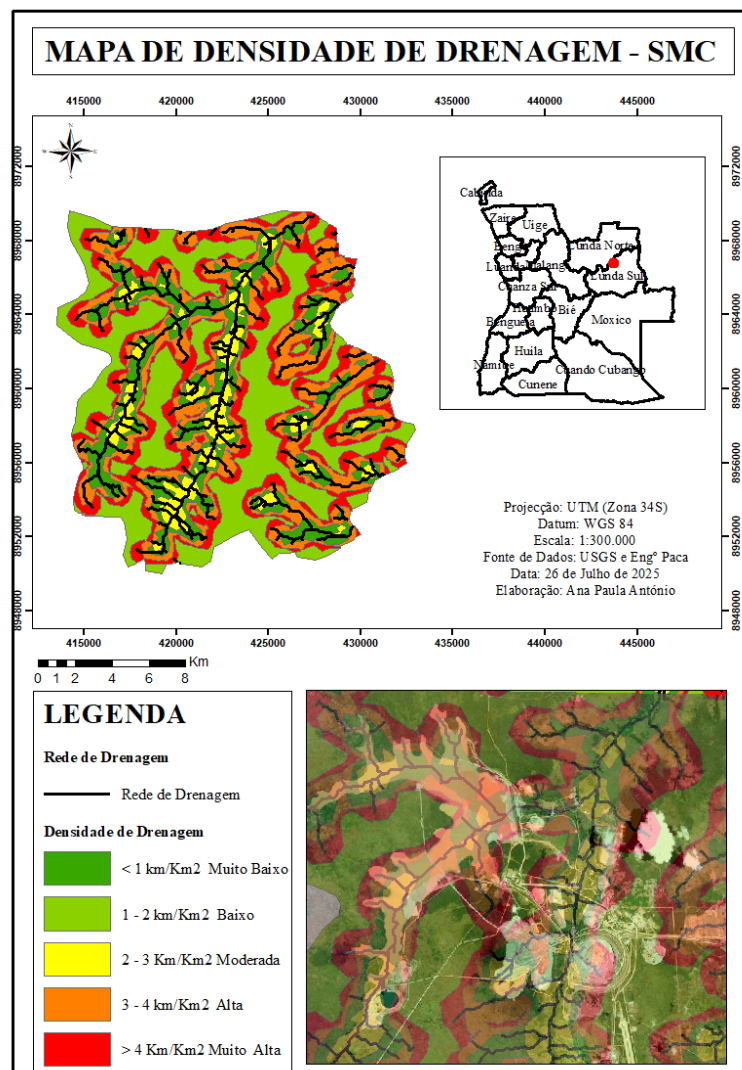


Fonte: Autora

➤ **Densidade de drenagem**

O grau de desenvolvimento da rede de drenagem numa determinada área chama-se densidade de drenagem, ou seja, ela mostra como a água se distribui numa área. Quando há maior concentração de drenagens (por exemplo, rios), significa que o terreno é menos permeável, o que faz com que a água infiltre pouco e o escoamento superficial seja maior. Já onde há menor concentração de drenagens, o solo tende a ser mais permeável, permitindo maior infiltração e recarga das águas subterrâneas.

Figura 3.2.12 - Densidade de drenagem



Fonte: Autora

A figura 3.2.13 apresenta um dos lados da cava, onde se observam manchas de água acumulada nos taludes. Essas áreas indicam a presença de infiltração ou afloramento de águas subterrâneas, resultante da interação entre o aquífero e as fraturas do maciço rochoso.

Figura 3.2.13 - Manchas de água na cava

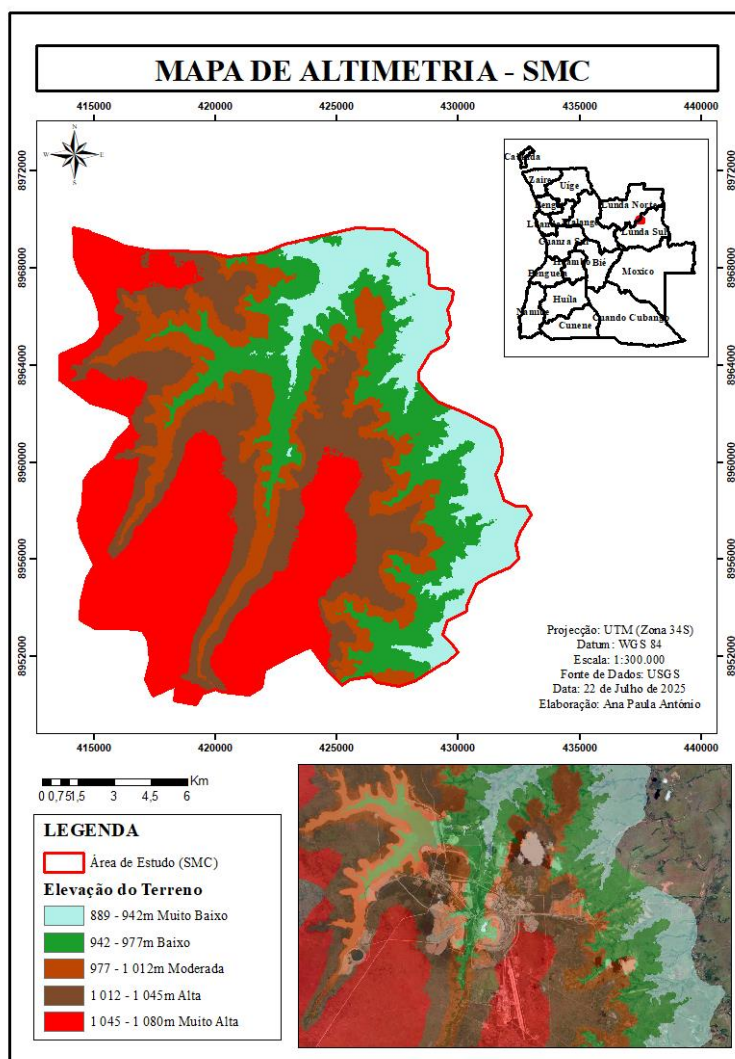


Fonte: Autora

➤ Altimetria

Uma vez que a altitude influencia directamente na declividade do terreno e na capacidade de drenagem das águas superficiais, os pontos altos são considerados zonas de recarga directa de aquíferos e os pontos baixos zonas de descarga. Na figura 3.2.14, podemos ver que a nossa área de estudo é maioritariamente predominada com uma elevações muito baixa que vai 889 – 942m, baixa 942 – 977mm e moderada 977 – 1012m.

Figura 3.2.14 - Altimetria

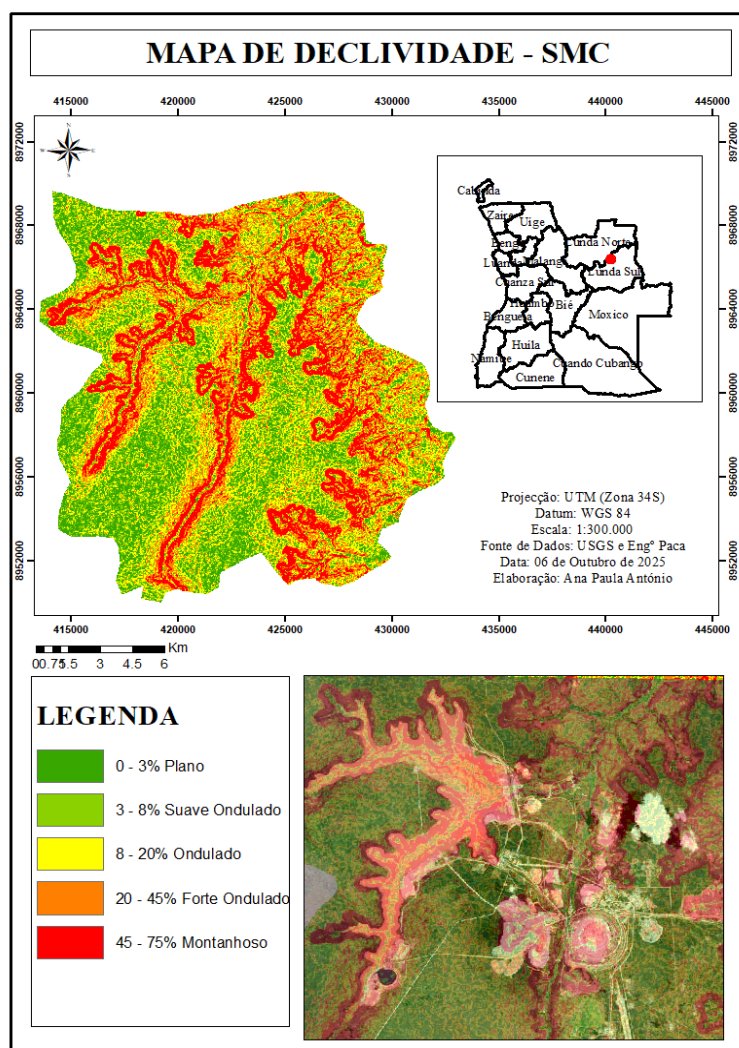


Fonte: Autora

➤ Declividade

A área de estudo é, na maior parte, plana, com inclinação entre 0 e 3%, e em poucos pontos apresenta inclinação acima de 75%, como mostra a figura. Como a inclinação do terreno influencia a velocidade com que a água da chuva escorre, as áreas mais planas acabam retendo a água por mais tempo na superfície, facilitando a sua infiltração no solo.

Figura 3.2.15 - Declividade



Fonte: Autora ([Classificação segundo, narcelio de sá, s.d.](#))

3.2.5 Benefícios para o CATOCA

Com a criação da Base de Dados Geoespaciais, Catoca vai poder:

- Integrar todos os dados geológicos e hidrogeológicos recolhidos em gabinete e campo num único lugar de fácil acesso;
- Consultar dados de forma rápida para análises mais detalhadas;
- Reduzir o tempo de processamento e de geração de mapas;
- Agilizar as actividades de análise, planeamento e tomada de decisão.
- Facilitar o acesso e a partilha de dados entre departamentos ou sectores;
- Basear decisões estratégicas em dados seguros e integrados.

CONCLUSÃO

Em suma, a pesquisa realizada neste trabalho permitiu atingir de forma clara os objectivos específicos propostos, evidenciando que a criação de uma Base de Dados Geoespaciais é uma ferramenta essencial para a gestão da prospecção dos recursos hídricos subterrâneos na actividade mineira. A integração dos dados mostrou-se fundamental para otimizar o uso de recursos, reduzir custos e aumentar a transparência nos processos, atendendo às exigências dos órgãos reguladores e reforçando o compromisso socioambiental da empresa mineradora.

Em primeiro lugar, foi possível caracterizar a área de estudo, descrevendo a sua localização geográfica, bem como as suas principais características biofísicas. Esta etapa foi essencial para compreender o enquadramento natural e operacional da Mina de CATOCA.

Em seguida, a modelação do processo de prospecção regional estruturou as etapas e fluxos de informação envolvidos na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, atendendo ao segundo objectivo do trabalho.

No terceiro momento, criou-se a Base de Dados Geoespaciais, cumprindo com a integração dos dados recolhidos, permitindo organizar e analisar os mesmos. Essa integração transformou dados dispersos em informação útil e visualmente interpretável, por meio de mapas temáticos que ajudam na tomada de decisão.

Posteriormente, a Base de Dados Geoespaciais foi testada, o que permitiu validar sua estrutura, funcionalidade e aplicabilidade no contexto mineiro, cumprindo o quarto e quinto objectivos.

Além disso, a metodologia desenvolvida demonstrou carácter replicável e adaptável a outras indústrias do sector geológico-mineiro, ampliando seu potencial de aplicação e reforçando a importância das ferramentas geoespaciais como suporte à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

Portanto, conclui-se que a implementação de uma Base de Dados Geoespaciais na fase de prospecção não apenas eleva a confiabilidade e a qualidade dos dados disponíveis, mas também contribui para uma exploração mineral mais responsável e sustentável, equilibrando as necessidades produtivas com a preservação ambiental.

RECOMENDAÇÃO

Para a Mina de CATOCA, recomenda-se a utilização desta Base de Dados Geoespaciais como uma ferramenta essencial na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, particularmente no macroprocesso de prospecção. A sua implementação permitirá que os dados hidrogeológicos sejam constantemente actualizados e integrados, proporcionando suporte eficiente à tomada de decisões e contribuindo para um planeamento mineiro mais sustentável e estratégico

Para futuros trabalhos científicos, recomenda-se a realização de novos levantamentos, tanto de gabinete como de campo, de modo a assegurar a continuidade e sustentabilidade desta Base de Dados Geoespaciais. Posteriormente, sugere-se a elaboração de um modelo conceptual que identifique as zonas favoráveis à ocorrência de águas subterrâneas em Catoca, bem como o desenvolvimento de modelos numéricos e geoquímicos (hidrológico e hidrogeológico) que permitam determinar a quantidade e qualidade das águas. Além disso, propõe-se a realização de um estudo de viabilidade técnico-económica para o aproveitamento das fontes naturais da região e, por fim, a criação de uma Base de Dados dedicada à gestão dos macroprocessos de captação, tratamento e fornecimento desta água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAS. (2022). Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Mineração e águas subterrâneas: desafios e soluções. Obtido em 13 de Fevereiro de 2025, de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30219>
- Abbott, M. B., & Refsgaard, J. C. (1996). Distributed hydrological modelling. Springer Science & Business Media.
- AmbaGeo. (s.d.). Obtido em 02 de 11 de 2025, de C:\Users\HP\Downloads\Ebook_AmbGE - Fonte de Dados Espaciais.pdf
- Angola minas. (2023). Mina de Mavoio e Tetelo uma realidade em breve.
- Bezerra, E. (2007). Princípios de análise e projecto de sistemas com UML (2ª ed.). Rio de Janeiro, Brasil: CAMPUS.
- Borghetti, N. R., Borghetti, J. R., & Rosa Filho, E. F. (2004). Aquífero Guarani: A verdadeira integração dos países do MERCOSU. Curitiba: Imprensa Oficial.
- Carvalho, A. (23 de Novembro de 2023). QueroBolsa. Obtido em 23 de Junho de 2025, de <https://querobolsa.com.br/>
- Chiossi, N. J. (2013). Geologia de Engenharia. 3ª Edição. São Paulo: Oficina de textos.
- Conicelli, B. P., & Hirata, R. (2016). Novos Paradigmas na Gestão das Águas Subterrâneas. Groundwater Research Center (CEPAS).
- Coqueia, S. A. (2014). Metodologia para o controlo geoambiental da bacia de contenção de rejeitados da Sociedade Mineira de de Catoca em Angola. Sociedade Mineira de Catoca e Departamento de Engenharia de Minas e Geoambiente, Faculdade de Engenharia-Universidade do Porto.
- Cosme, A. (2012). Projecto em Sistemas de Informação Geográfica. Lisboa: LIDEL: Edições Técnicas, Lda.
- Custodio, E. (2010). Groundwater overexploration: What does it mean? Hydrogeology Journal, 18(6), 1215-1223.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1996). Águas Subterrâneas. Barcelona: Omega: After Internationals, núm. 45-46, pp.35-57.
- DeMers, M. N. (2008). Fundamentals of Geographic Information Systems. Wiley.
- Domingues, A. F., Boson, P. H., & Alípaz, S. (2006). A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Agência Nacional de Águas (ANA). Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). Brasil: Brasília.
- EPAL - Grupos de Águas de Portugal. (s.d.). Obtido em 2025 de 11 de 2025, de <https://www.epal.pt/EPAL/menu/epal/comunica%C3%A7%C3%A3o-ambiental/ciclo-da-%C3%A1gua>
- FacUnicampos. (2025). Obtido em 13 de Fevereiro de 2025, de <https://santahelena.facunicamps.edu.br/graduacao-ead/engenharia-de-minas/>

- Feitosa, F. A. (2008). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3ª Edição. Rio de Janeiro: CPRM. Serviço Geológico do Brasil.
- Fetter, C. W. (2001). Applied Hydrogeology (4ª ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Fitz, P. R. (2008). Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de textos.
- Florestas. (03 de Agosto de 2021). Obtido em 02 de Novembro de 2025, de <https://florestas.pt/saiba-mais/o-que-sao-aguas-subterraneas/>
- Foster, S., & Chilton, J. (2002). Groundwater: the world's hidden resource. Oxford University Press.
- Freeze, A. R., & Cherry, J. A. (2017). Água Subterrânea. São Paulo: Instituto Água Sustentável.
- Giampá, C. E., & Gonçalves, V. G. (2013). Águas subterrâneas e poços tubulares profundos. 2ª Edição revisada e aumentada. São Paulo: Oficina de textos.
- Gleick, P. H. (1993). "Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources". USA: Oxford University Press.
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical Information Science. International Journal of Geographical Information Systems.
- INE. (2018). Resultados definitivos do recenseamento geral da população e da habitação de Angola 2018. Instituto Nacional de Estatística. Governo de Angola.
- INRH. (18 de janeiro de 2013). Programa Nacional Estratégico para a Água 2013-2017 (PNEA), p. 5. Obtido em 2025 de Janeiro de 2025, de <http://www.inrh.gv.ao/portal>
- Inverno, T. C. (1998). Água subterrânea e Água de superfície: um resumo único. EUA: Departamento do interior dos EUA-Pesquisa Geológica dos EUA.
- Júnior, P. J. (2004). Recursos Hídricos - Conceituação. Disponibilidade e Usos. Brasília: Consultoria Legislativa: Brasília - DF.
- Kresic, N. (2023). Hidrogeologia: Introdução à Ciência e Engenharia de Águas Subterrâneas. Warrenton, VA, EUA: Blue Ridge Press LLC, PO Box 188.
- Kussumua, S. F., & Quissindo, A. B. (2020). Análise da Área Florestal e do Uso do Solo da Floresta de Miombo Angolano entre 2001-2018. Angola: Kulongesa-TES(Tecnologia-Educação-Sustentabilidade).
- Lacerda, D. P., & al, e. (2013). Design Science Research: Método de pesquisa para a engenharia de produção. Bookman.
- Lankhorst, M. (sa). Arquitetura Empresarial no Trabalho (Modelagem, Comunicação e Análise) (2ª ed.). (Springer, Ed.)
- Lei n.º6/02. Lei das Águas. Assembleia Nacional. (21 de Junho de 2002). Artigo 14.º.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). Geographic information science and systems (4ª ed.). Hoboken: Wiley.

- Luiz, J. G., & Silva, M. C. (1995). Geofísica de Prospecção. Brasil: Belém: Universidade Federal do Pará. CEJUP LTDA.
- Manassa, M. F. (2021). Optimização do Sistema de Transportação de Massa Mineira em Jazigos Kimberlíticos Profundos (ECO7 ed.). Saurimo, Angola.
- Matos, J. (2011). Fundamentos de Informação Geográfica. 6ª Edição. Lisboa: LIDEL-Edições Técnicas, Lda.
- McWorter, D. B., & Sunada, D. K. (1977). Hidrogeologia de águas subterrâneas. The groundwater project. USA: Water Resources Publications, LLC-Colorado. Obtido em 13 de Fevereiro de 2025, de <https://gw-project.org/pt-br/books/hidrologia-e-hidraulica-de-aguas-subterraneas/>
- Narcelio de sá. (s.d.). Obtido em 23 de Julho de 2025, de <https://narceliodesa.com/criando-um-mapa-declividade-no-qgis/>
- Paca, A. B. (2025). Geoprocessamento aplicado à determinação dos parâmetros morfométricos da bacia de rejeito de Catoca. Luanda, Angola: FACUL Editora. Obtido em 18 de Julho de 2025
- Paniagua, C. (2023). Ciências exatas e da terra: teorias e princípios 2. Brasil: Ponta Grossa-PR: Atena.
- Peuquet, D. J., & Marble, D. F. (1990). "Introductory Readings in Geographic Information Systems". Taylor & Francis.
- Poff, N. L. (2002). "Aquatic ecosystems and global climate change". Hydrobiologia, 494(1), 1-11.
- Press, F., & Siever, R. (2001). Earth. Nova Iorque: W. H. Freeman.
- ResearchGate. (s.d.). Obtido em 02 de Novembro de 2025, de https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-3-Elementos-BPMN-Fonte-O-Autor-A-fim-de-facilitar-a-modelagem-de-processos-de_fig2_272086766
- Revista Catoca. (13 de Março de 2025). 30 Anos Catoca: A trajetória fantástica de Catoca. QUILATE. Obtido em 23 de Junho de 2025, de <https://www.catoca.com/revista>
- Rigaux, P., Scholl, M., & Voisard, A. (2002). Spatial Database: With Application to GIS. Morgan Kaufmann.
- Rodríguez, M., & Escalante, A. (2009). Hidrogeologia básica. Águas subterrâneas e seu fluxo (3ª edição). Edições FIEC.
- Rosa, R. (2013). Introdução ao Geoprocessamento. Instituto de Geografia-Laboratório de Geoprocessamento.
- Scanlon, B. R., & et al. (2006). "Global overview of the influence of climate and land use changes on groundwater resources" . Hydrology and Earth Sytem Sciences, pp. 10(6), 649-670.
- Silva, R. M. (2007). Introdução ao geoprocessamento: conceitos, técnicas e aplicações. Novo Hamburgo: RS: FEEVALE. p. 176.

- Sociedade Mineira de Catoca. (s.d.). Obtido em 23 de Junho de 2025, de <https://www.catoca.com/>
- Sociedade Mineira de Catoca. (s.d.). Obtido em 14 de Maio de 2025, de <https://www.catoca.com/geologia/>
- Sondasol. (2017). Especializada em prospecção Geotécnica (Sondagens). Obtido em 2025 de janeiro de 03, de <http://sondasol.com/pt/>
- Tavares, J. M. (2023). Uso de uma Base de Dados Geográfica para a criação de um Mapa de Zonas Favoráveis a Ocorrência de Água subterrânea. . Luanda: Universidade Agostinho Neto-Faculdade de Ciências Naturais, departamento de Engenharia geográfica.
- Teixeira, W. e. (2000). Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Texto.
- UNIC. (s.d.). Obtido em 23 de Junho de 2025, de Universidade Internacional do Cuanza: <https://www.unic.co.ao/licenciatura-em-engenharia-de-minas>
- Voz de Angola. (22 de Outubro de 2025). Obtido de <https://www.vozdeangola.com/sociedade/item/9288-mina-de-cobre-de-mavoio-na-provincia-de-uige-comeca-a-explorar-em-setembro-deste-ano>
- Webnode. (2011). Obtido em 2025 de Novembro de 02, de Águas Subterrâneas: <https://bg11ano-afa.webnode.pt/recursos%20hidricos%20e%20aguas%20subterr%C3%A2neas/a-hidrogeologia/aguas%20subterr%C3%A2neas/tipos-de-reservatorios/>
- wikipedia. (s.d.). Obtido em 13 de Fevereiro de 2025, de https://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia_de_minas
- Wikipedia. (s.d.). Obtido em 27 de Maio de 2025, de https://pt.wikipedia.org/wiki/Lunda_Sul?utm_source=chatgpt.com
- Wikipedia. (s.d.). Obtido em 20 de Julho de 2024, de https://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia_de_minas
- Zanella, L. C. (2013). Metodologia de Pesquisa (2ª ed.). Brasil: Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC.

ANEXOS

ANEXO A – Criação da Base de Dados Geoespaciais no Postgre

Figura 3.2.16 - Criação da BDG no PostgreSQL/PostGIS

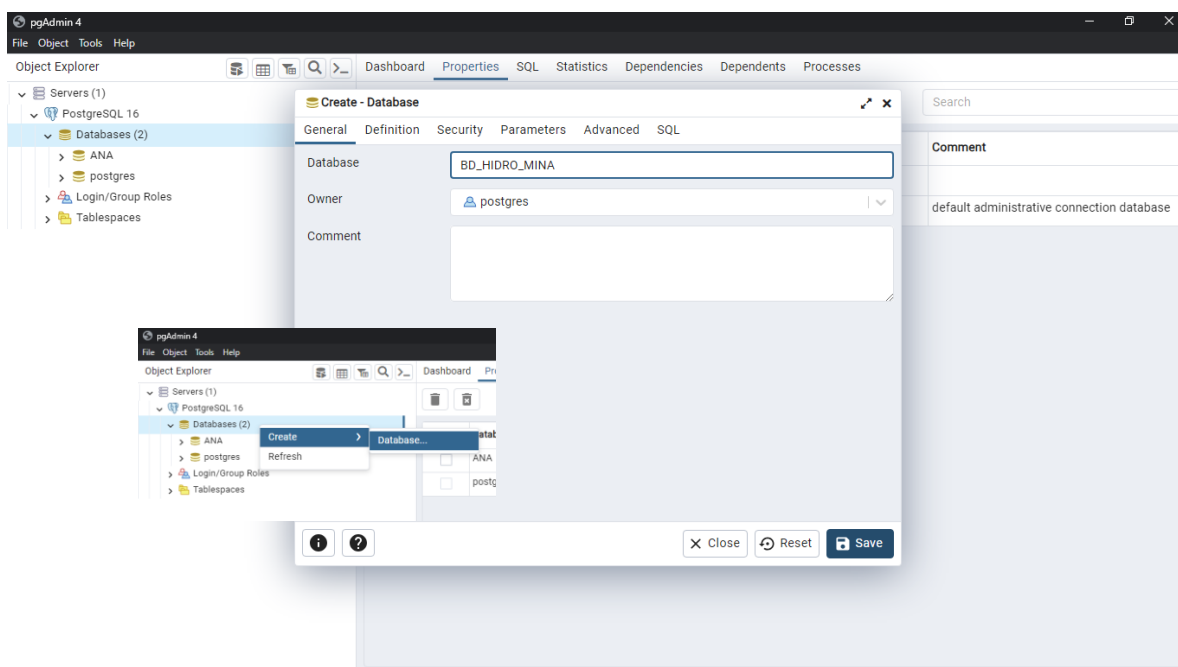
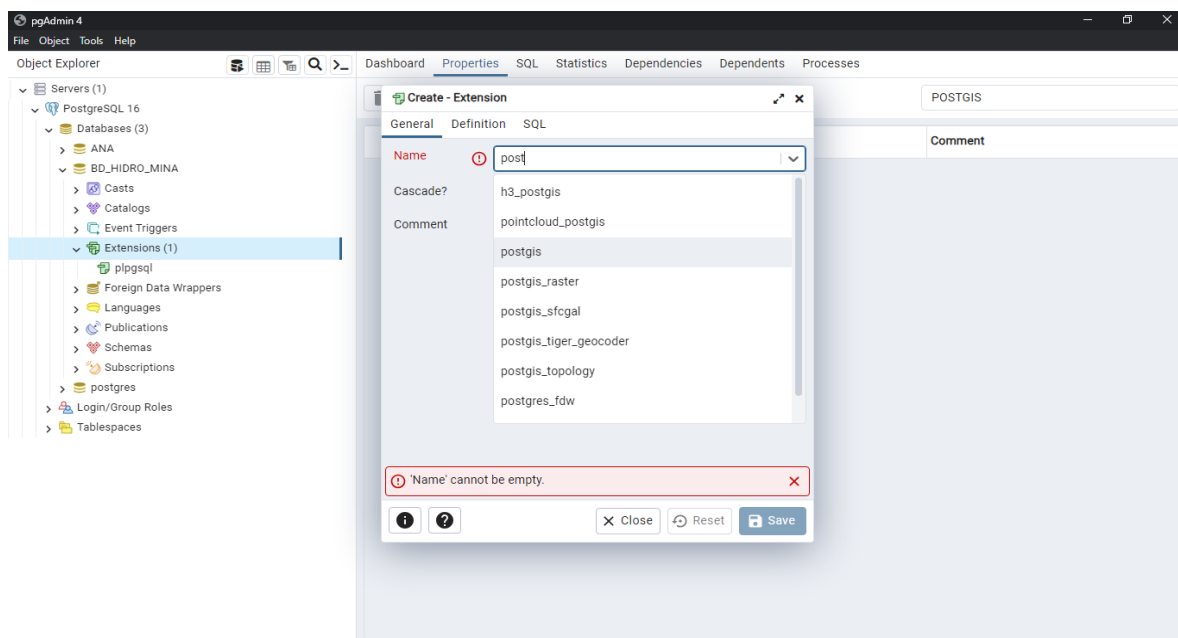


Figura 3.2.17 - Selecção das extensões de aceitabilidade dos dados



Seleccionou-se a extensão postgis (para conectar ao GIS e armazenar dados vectoriais) e postgis_raster (para armazenar dados raster's).

Figura 3.2.18 - Dados para conexão

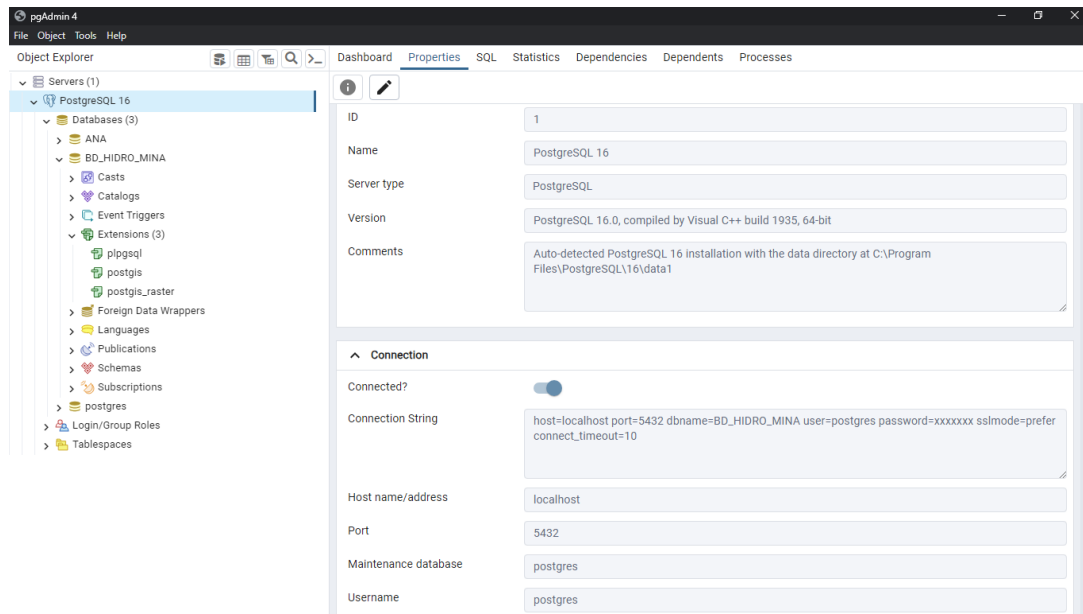


Figura 3.2.19 – Conexão do PostgreSQL com o QGIS.

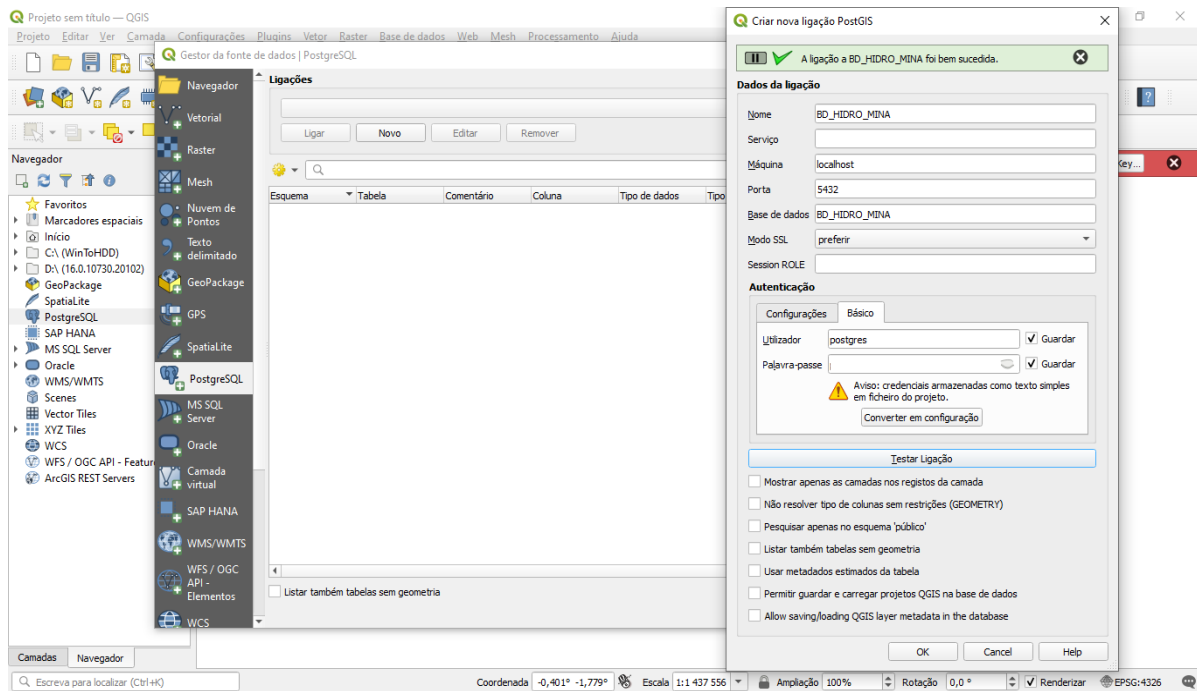


Figura 3.2.20 - Importação de dados.

