UNIVERSIDADE AGOSTINGHO NETO

FACULDADAE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MINAS

TRABALHO DE FIM DE CURSO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DE MINAS

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRAFICA PARA LOCALIZAÇÃO DE AQUÍFEROS

CASO DE ESTUDO: MINA DE CATOCA

Autor: Barros André Gombo

N° 123035

LUANDA-2024

UNIVERSIDADE AGOSTINGHO NETO

FACULDADAE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE MINAS

TRABALHO DE FIM DE CURSO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DE MINAS

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRAFICA PARA LOCALIZAÇÃO DE AQUÍFEROS

CASO DE ESTUDO: MINA DE CATOCA

NOME: Barros André Gombo

N° 123035

Curso: Engenharia de Minas

Orientador: MsC. Emanuel Saturnino

LUANDA-2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu irmão António Oliveira Ngombo, que com sua sensibilidade, percebeu as minhas necessidades e, ao contrário de muitos, em vez de me dar conselhos para fazer o que ele achava certo, me apoiou a fazer aquilo que eu queria e acreditava.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo, aos meus pais pela oportunidade de vida que eles me concederam e de ingressar neste curso. Isso estende-se a todos aqueles que me ajudaram para que isso se pudesse concretizar;
À minha companheira Nandimba Chitumba, que mesmo distante está sempre presente, norteando meu caminho e estimulando-me para conquistas e crescimento pessoal. Aos meus irmãos, e a minha mãe Luyindula Madalena a quem eu muito amo, o meu muito obrigado, mais uma vez pelo apoio e zelo. Aos meus pais, pelas lições e virtudes, as quais sempre procuro seguir.
Aos meus colegas de curso, faculdade, universidade e a todos residentes da casa das ideias, pela amizade e convivência. Aos amigos Mardoche Iamba, Jonas Kianguebene, Garcia Nenganga, Claudio rodrigues, Kennedy Manuel, e Santiago Queiroz que compartilharam comigo momentos inesquecíveis no campus Universitário. Sem vocês eu tenho a certeza que eu não estaria aqui hoje.
Aos professores do curso de engenharia de minas da Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, pela amizade, apoio, atenção, incentivo e por todo o conhecimento repassado para mim, durante o tempo de formação.
Ao geólogo Osvaldo Ngombo, geofísico Joel, Engenheiro Hermano Balão, por terem concedido a sustentabilidade e a oportunidade de obter conhecimentos práticos e teóricos que ajudaram na consolidação desta dissertação.
E o meu agradecimento especial ao professor Emanuel Saturnino, não tenho palavras para agradecer o quanto a tua contribuição foi muito importante e determinante para esta dissertação, para o meu amadurecimento profissional. Tua sabedoria mostrou-me caminhos, motivando sempre a busca pela melhoria. Obrigado por participar na concretização deste sonho e objetivo da minha vida;
Enfim, a todos que direta ou indiretamente participaram desta fase da minha vida, o meu muito obrigado.

ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1. Distribuição vertical da água no solo e subsolo, mostrando as diversas zonas de umidade 5

Figura 2. Representação esquemática de um aquífero confinado e de diferentes tipos de poços.....7

Figura 3. Áreas de descarga dos aquíferos.....8

Figura 4. Áreas de carga dos aquíferos.....9

Figura 5. Esquema ilustrativo do funcionamento básico do método sismoelétrico.....13

Figura 6. Esquema de um empreendimento mineral.....18

Figura 7. Uma aplicação de SIG.....24

Figura 8. Esquema do sensoriamento remoto.....26

Figura 9. Processo de coleta de informação.....27

Figura 10. Exemplo de um processo produtivo completo.....29

Figura 11. Abastecimento de água nas comunidades.....33

Figura 12. Perfil hidrogeológico expressando a ocorrência de unidades aquíferas.....34

Figura 13. Representação das etapas da DSR.....40

Figura 14. Localização da área estudo.....44

Figura 15. Mapa do clima de Angola.....45

Figura 16. Mapa dos rios de Angola.....46

Figura 17. Mapa dos solos de Angola.....48

Figura 18. Mapa Hidrológico de Angola.....50

TABELA 1 - MODELAÇÃO DO PROCESSO ATUAL DE PROSPECÇÃO E PESQUISA NA LINGUAGEM NATURAL.....52

Figura 19. Modelação do processo atual de prospecção e pesquisa diagrama de sequencia.....53

TABELA 2. MODELAÇÃO DO PROCESSO FUTURO DE PROSPECÇÃO NA LINGUAGEM NATURAL.....55

Figura 20. Modelação do processo futuro de prospecção e pesquisa diagrama de sequencia.....56

Figura 21. Representação das camadas sobrepostas no software ArcGIS.....57

Figura 22. Representação do potencial de águas na região no software ArcGIS.....58

Figura 23. Representação do potencial de águas na mina de catoca.....59

LISTA DE ABREVIATURAS

SIG- um sistema de informação geográfica

DS- Design Science

DSR- Design Science Research

UNESCO- Organização Das Nações Unidas Para a Educação, Ciência e a Cultura

Pb- Chumbo

VES- sondagens elétricas verticais

VLF- very low frequency

CEN- campo elétrico natural

CE- Condutividade elétrica

WMS- Web Map Service

WFS- Web Feature Service

WCS- Web Coverage Service

OGC- Open Geospatial Consortium

GDAL- Geospatial Data Abstrction Library

ECW- Enhancel Compression Wavelet

MrSID-

ESRI- Envonmental Systems Research Institute

REM- Radiação Eletromagnética

BPI- Business Process Improvement

SGBDR- Sistema Gerenciador de Bancos de Dados Relacional

UML-

DNAAS- Direção Nacional de Abasteci- mento de Água e Saneamento

MIC- Metodologia de Investigação Científica

UAN- Universidade Agostinho Neto

RESUMO

Aquíferos correspondem a uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem em seu interior em condições naturais.
A água, absolutamente é necessária para muitos processos e operações da mineração, quando não se tem um adequado conhecimento do contexto hidrológico cria problemas e acarreta custos adicionais importantes como consequência tanto das necessidades de drenagem interferência nas suas operações, para fazer frente a esses desafios, dispõe-se, hoje, de tecnologias muito avançadas que permitem evitar ou reduzir o impacto negativo nos recursos hídricos.
Para isso, deve-se conhecer com precisão o contexto hidrogeológico na área de mina, sem esquecer que a atuação tem que ser dinâmica, requerendo atualização e adequação ao longo de toda a vida da operação de mineração.

O SIG, como um sistema de tratamento computacional de dados geográficos e com funções de armazenar, processar e recuperar informações espaciais, permite a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferênciados por possibilitarem a automatização da produção de mapas para a localização de zonas com potencial de ocorrência de águas.
pode-se definir SIG como um conjunto de programas, equipamentos, métodos, dados e usuários, integrados perfeitamente, tornando possível, o levantamento, armazenamento, processamento e análise de dados georreferenciados, dando origem a informações devido a sua aplicação, O crescimento da utilização dos SIGs vem ocorrendo de forma acelerada, pois o mesmo possibilita um melhor gerenciamento de informações, consequentemente auxiliando em tomadas de decisões de maior complexidade, como planejamento nas esferas governamentais (municipais, estaduais e federais), redes de utilidade pública, proteção e mapeamento ambiental, redes de distribuição logística, entre outros.

Este trabalho tem como objetivo fornecer uma visão inicial e conceitual de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), bem como as vantagens de sua utilização, citando como exemplo de seu uso no estudo de ocorrência de águas subterrâneas e descrevendo superficialmente sua origem.

Palavras-chave: SIG, aquífero, teledetecção, mina.

ABSTRACT

Aquifers correspond to a geological formation that contains water and allows significant quantities of this water to move within it under natural conditions.

Water is absolutely necessary for many mining processes and operations, when you do not have adequate knowledge of the hydrological context it creates problems and leads to important additional costs as a consequence of both the drainage needs and interference in your operations, to face these challenges, Today, very advanced technologies are available that allow us to avoid or reduce the negative impact on water resources.

To do this, the hydrogeological context in the mine area must be precisely known, without forgetting that the action must be dynamic, requiring updating and adaptation throughout the life of the mining operation.

GIS, as a computer processing system for geographic data and with functions for storing, processing and retrieving spatial information, allows complex analyzes to be carried out by integrating data from different sources and creating georeferenced databases by enabling the automation of data production. maps for locating areas with potential for water occurrence.

GIS can be defined as a set of programs, equipment, methods, data and users, perfectly integrated, making it possible to survey, store, process and analyze georeferenced data, giving rise to information due to its application. of GIS has been occurring at an accelerated rate, as it enables better information management, consequently assisting in more complex decision-making, such as planning at governmental levels (municipal, state and federal), public utility

networks, environmental protection and mapping, logistics distribution networks, among others.

This work aims to provide an initial and conceptual vision of Geographic Information Systems (GIS), as well as the advantages of its use, citing as an example its use in studying the occurrence of groundwater and superficially describing its origin.

Keywords: GIS, aquifer, remote sensing, mine.

DEDICATÓRIA.....III
AGRADECIMENTOS IV
ÍNDICE DAS FIGURAS E TABELA S..... VII
LISTADEABREVIATURA.....VIII
RESUMO.....IX
ABSTRACT.....X

CAPÍTULO I- GENERALIDADES 1
1.1 Introdução 1
1.2 Problema 2
1.3 Causa 2
1.4 Consequências 2
1.4.1 Solução 2
1.4.2 justificativa 2
1.4.3 Objetivo geral 2
1.4.4 Objetivo especifico 2
1.5 Hipóteses 2
1.6 Metodologia de investigação 3
1.6.1 Novidade cientifica 3
1.6.2 Estrutura da monografia 3
1.7 Delimitação da pesquisa 4
1.7.1 Limitação da pesquisa 4
CAPÍTULO II- ENQUADRAMENTO TÉORICO 5
2.1 Definição de termos e conceitos 5
2.2 Exploração de minas a céu aberto 6
2.3 Precipitação, solos, fissuras e tipos de rochas 6
2.4 Águas subterrâneas 8
2.5 Águas subterrâneas e sua aplicação 9
2.6 Aquíferos e seus tipos 9
2.7 Importância da área de carga e recarga dos aquíferos 10
2.2.1 Aquíferos e sua procura 14
2.2. 2 Métodos de prospecção de aquíferos 14
2.2.3 Condições para ocorrência de aquíferos 17
2.2.4 Precipitação, solos, fissuras e tipos de rochas 17
2.2.5 Condições ideais para ocorrências de aquíferos 19

2.2.6 Sistemas de informação geográfica (SIG) 20
2.2.7 Dados vs informação 21
2.3.1 Sistema e sistemas de informação 21
2.3.2 Sistemas de informação geográfica- SIG e seus tipos..... 24
2.3.3 Componentes do SIG..... 25
2.3.4 Importância do SIG na geociência 26
2.3.5 A teledetecção e sua aplicação no SIG 26
2.3.6 A integração dos dados geográficos e alfa numéricos na gestão de água subterrâneas 28
2.3.7Modelação de processos e dados georreferênciaveis 29
2.4.1 processos e seus dados 29
2.4.2 Modelação de processos 29
2.4. 3 Dados geográficos 31
2.4.4 A geodatabase e sua modelação..... 32
2.4.5 os processos na indústria de águas subterrâneas..... 32
2.4.6 Modelação de processos de prospecção de águas subterrâneas 32
2.4.7 A gestão de águas subterrâneas nas minas 33
2.5.1 O estudo de ocorrências de águas subterrâneas em Angola 35
2.5.2 águas subterrâneas nas minas. 36
2.5.3 Metodologias e métodos da investigação cientifica 37
2.5.4 O método DSR..... 39
CAPÍTULO III – METODOLOGIA E MÉTODO DA INVESTIGAÇÃO USADO . 42
3.1 A metodologia da investigação científica usada..... 42
3.3 O método da investigação científica usado (DSR)..... 42
3.4 Fases de elaboração do trabalho..... 43
CAPÍTULO IV – O ESTUDO DE CASO 44
4 .1 O estudo de caso..... 44
Apresentação da empresa..... 45
Aspetos Histórico..... 46
Localização Geográfica e Vias de Acesso..... 47
O Clima e o Solo..... 48
A Fauna e a Flora 48
A Hidrologia 49
4.2 Aspectos Geológicos 50
CAPÍTULO V – DISCUSSÃO E RESULTADOS 52

5.1 Métodos atuais de prospecção de água subterrânea na mina de catoca 52
5.2 processos atuais de prospecção de águas subterrâneas na mina de catoca 54
5.3 Modelação do processo atual 55
5.4 Dimensionamento e parametrização do SIG para localização de aquíferos 57
5.5 Modelação do processo futuro 58
5.6 Mapa de provável ocorrência de água subterrânea na mina de Catoca. 60
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES 63
CAPÍTULO VII: RECOMENDAÇÕES 64
CAPÍTULO VIII: REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 65

CAPÍTULO I- GENERALIDADES

1.1 Introdução

Todos aqueles que trabalham no mundo da mineração são conhecedores da dualidade com que se apresenta a água: absolutamente necessária para muitos dos processos e das operações a serem desenvolvidos, mas também elemento que origina problemas e implica custos adicionais importantes.

Esses problemas ocorrem com muita frequência, porque a mineração desenvolve-se sob o nível freático, com incidência também das águas subterrâneas, em maior ou menor intensidade. Daí deriva a necessidade de se drenarem as águas nas áreas das minas, muitas vezes com grandes vazões, relacionadas com o desenvolvimento de extensos cones de drenagem, os quais devem ser mantidos ao longo da operação de mineração; outras vezes com aportes reduzidos, mas excelentes para a melhoria das condições de estabilidade do maciço rochoso. Nessas circunstâncias, produzem-se efeitos hidrológicos, ambientais e econômicos que impõem a gestão e o manejo adequado dessas águas.

Neste capítulo apresenta-se uma visão global dos principais problemas derivados dessa inter-relação “mina-águas subterrâneas”, assim como soluções aplicáveis com ajuda da ferramenta SIG (ArcGIS) no desenvolvimento de mapas sem entrar na exposição das técnicas de avalição qualitativa e quantitativa, nem criar um modelo conceptual hidrogelógico e numérico da mesma.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) aparece como método capaz de auxiliar no armazenamento, gerenciamento, edição e análise de dados espacialmente referenciados, que possuem diferentes atributos associados em uma tabela alfanumérica, e que têm como elemento comum sua localização no espaço.
Dispondo de dados sistematizados dentro de um SIG, a produção e a circulação da informação se tornam mais dinâmicas e abrangentes, expandindo a capacidade e a agilidade na atuação dos agentes que trabalham com essa informação, em especial dos gestores (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). A localização de zonas com ocorrências de aquíferos será exemplificada neste trabalho, realizando a análise de um SIG (ArcGIS) gerando mapas que servirão como artefato para comprovar a solução.

O ciclo hidrológico se inicia com a precipitação meteórica, que representa a condensação de gotículas a partir do vapor d’água presente na atmosfera, dando origem a chuva (TEIXEIRA et al, 2000). Parte dessa precipitação retorna para a atmosfera por meio da evaporação que se junta à evapotranspiração das plantas. Uma parte da precipitação também pode ser interceptada pela vegetação ao cair no solo.

1.2 Problema

Dificuldade na localização de ocorrências de aquíferos em zonas de atividades mineira.

1.3 Causa

Falta de integração de geodados, geoinformações.

1.4 Consequências

Inundações de minas.

1.4.1 Solução

Implementação de um SIG para a geointegração em localizar as ocorrências de aquíferos.

1.4.2 justificativa

Este estudo, é muito importante porque ajudou a solucionar as causas do problema que compromete a localização dos aquíferos em zonas de atividades mineiras, e como utilizar os métodos automáticos afim de proporcionar eficácia na localização dos aquíferos, por reduzir custos, evitar desabamento de minas e maior confiabilidade evidenciando assim um protótipo com os possíveis locais com ocorrência dos aquíferos.

1.4.3 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo mostrar a utilidade de um SIG (ArcGIS) na localização de ocorrência de aquíferos.

1.4.4 Objetivo especifico

- coleta de geodados e geoinformações para localização de ocorrência de aquíferos;
- Análise e interpretação de geodados e geoinformações na localização de ocorrência de aquíferos;
- Integração de geodados e geoinformação

1.5 Hipóteses

Hipótese é uma preposição que explica um fenómeno ou propõe a solução de um problema de pesquisa. Essa declaração é provisória porque em termos de procedimentos científicos, precisa ser testada.

Se implementarmos um SIG com uma integração de geodados e geoinformação, então será possível encontrar locais com a ocorrências de aquíferos na mina de catoca, porque o SIG tem a capacidade de captar, armazenar, atualizar e processar dados a fim de transformá-los em informação (apresentação de mapas).

1.6 Metodologia de investigação

A metodologia utilizada para dar solução ao problema identificado foi a metodologia DS (Design Science), sendo o seu método DSR (Design Science Research) que é muito utilizado nas engenharias, onde o mesmo apresenta como resultado um produto, ou seja, um artefato (engenho).

1.6.1 Novidade cientifica

Em primeiro lugar, deve-se ressaltar que o sucesso de uma operação em mineração depende, em grande parte, da resolução adequada de suas interações com a água. Desse modo, a viabilidade técnica e econômica de uma lavra está condicionada, com muita frequência, ao adequado conhecimento do contexto hidrológico no qual se localiza e ao subsequente desenho das atuações hidrológico-mineiras, que será tanto mais eficiente e de menor custo quanto antes sejam iniciadas.
Por esse motivo é que as empresas de mineração mais conscientes planejam, desde a fase de pesquisa até a de pós-fechamento, em abordar, com ferramentas apropriadas, os problemas que a água pode ocasionar, desenhando e implementando as medidas preventivas e corretivas mais adequadas.
Nesse sentido, o presente estudo é importante, pois apresenta uma solução sobre as formas de localização das águas subterrâneas com ajude de um SIG.

1.6.2 Estrutura da monografia

Este trabalho trata-se de estudo sobre a utilização de um SIG, o ArcGIS, na localização de aquíferos, por meio da construção de mapas com o auxílio de dados geográficos coletados com base em imagens geradas por satélite com intuído de auxiliar na automatização do processo de localizar ocorrências de águas subterrâneas.

Quanto à composição, o presente trabalho está estruturado por três partes integradas: Pré-textuais, textuais e pós-textuais. Os elementos textuais, a base do trabalho realizado, estão compostos em três capítulos, além da introdução que estabelece o centro da monografia, as conclusões finais e as recomendações.
No primeiro capítulo definiu-se os principais termos e conceitos chaves do trabalho e a seguir fez-se uma abordagem total da fundamentação teórica onde desenvolvidos os dados recolhidos ao longo do processo da pesquisa bibliográfico;

No segundo capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos assumidos. Após a descrição da tipologia de pesquisa, fez-se a descrição dos métodos, instrumentos e técnicas utilizadas e são referidos os critérios utilizados na definição e seleção da amostra.

No terceiro capítulo, é apresentada análise e interpretação de dados obtido durante a investigação empírica, bem como a conclusão ou arremates finais e são apresentados alguns modelos relativos a localização dos aquíferos na mina de catoca.

1.7 Delimitação da pesquisa

O nosso estudo limita-se apenas na demonstração dos locais com ocorrências dos aquíferos, integrando dados e informações existentes e não modelar os aquíferos nem determinar a qualidade nem a quantidade da água nos aquíferos.

1.7.1 Limitação da pesquisa

A limitação encontrada no nosso estudo foi a falta de softwares de cálculo dos parâmetros hidrogeológico dos aquíferos.

CAPÍTULO II- ENQUADRAMENTO TÉORICO

2.1 Definição de termos e conceitos

Existem várias concepções acerca do que é SIG, recorremos á Davis e Câmara (2001p.13), definem: **SIG** é um sistema de informação geográfico que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial.

Ainda nesta direção podemos definir o SIG sendo um sistema de captura, armazenamento, verificação, manipulação, analise e exibição de dados especialmente referenciados à terra.

Trazemos em referência (MANOEL FILHO, 2000), denomina-se **aquífero** a uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais.

Numa visão mais ampla, um aquífero é uma formação geológica capaz de produzir uma quantidade de água economicamente viável através de poços. Deve ser poroso, permeável e saturado. Embora os aquíferos possam assumir muitas formas dentro de uma grande variedade de ambientes hidrogeológicos, Entre os mais comuns, destacam-se: areias inconsolidadas e cascalhos aluviais, glaciais, lacustres e de deltas; rochas sedimentares, especialmente calcários e dolomitos, arenitos e conglomerados; bem como rochas vulcânicas porosas ou fraturas.
Na maioria dos casos, a exploração de aquíferos torna-se uma busca por um ou outro desses depósitos geológicos Way (1979) e Mollard (1973).

2.2 Exploração de minas a céu aberto

Os minerais sempre foram utilizados pelo homem com o objetivo de satisfazer as suas necessidades em termos de qualidade de vida. Mas, nos últimos trinta anos, a intensidade da procura pelos minerais tem vindo a registrar um incremento assinalável (VELHO, 2005). O desenvolvimento tecnológico das sociedades industrializadas é considerável, o surgimento de novos materiais, de novas soluções, de novas técnicas e de novas propostas tem sido cada vez mais constante. Os minerais constituem um parceiro ativo e decisivo neste processo evolutivo, sem eles não seria possível o surgimento de tão grande variedade de materiais (VELHO, 2005). De acordo com Wicander e Monroe (2009) o critério – que ocorre naturalmente – exclui dos minerais todas as substâncias manufaturadas pelo homem. Por consequência, o fato dos minerais serem formados a partir de processos naturais, implica dizer que, não se pode afirmar quais são as características de um mineral sem antes analisá-lo.

Oliveira (1998) a mineração é entendida como uma atividade de lavra e de concentração de minérios, podendo ser classificada em três grupos principais: as minerações ditas empresariais ou industriais, de grande porte; as minerações ditas de uso social, de menor porte, como pedreiras, os portos de areia e as lavras de argila e, por fim, os garimpos, atividades extrativas, informais, manuais ou mecanizadas e, frequentemente, clandestinas.

2.3 Precipitação, solos, fissuras e tipos de rochas

Precipitação é a chegada da água meteórica da água em estado líquido ou solido à superfície da terra. Nos países tropicais, a precipitação acontece essencialmente em forma líquida. Trata-se de um dos componentes mais essencial do ciclo hidrológico, na medida que constitui a matéria-prima das descargas dos rios e da recarga dos aquíferos, FREEZE & CHERRY, (1979).

Ao contrário de outras variáveis meteorológicas que podem ser medidas de forma contínua, a precipitação é um fenômeno descontinuo, que varia no espaço e no tempo. Diversas condições são necessárias para que ocorra a precipitação:

- Deve existir uma massa de ar a temperatura do ponto de ovalho;
- A massa de ar deve sofrer condensação, passando a forma líquida ou sólida;
- As gotas de água devem se aglutinar para formar gotas de chuva;
- As gotas de chuva devem ser de tamanho suficiente para que, ao deixarem as nuvens, não sejam totalmente evaporadas antes de atingir a superfície do solo. De acordo com as condições meteorológicas que as originam, as precipitações devem ser de três tipos: convectivas, frontais e orográficas, FREEZE & CHERRY, (1979).

Convectivas ás chuvas são ditas convectivas quando geradas por um aquecimento de massas de ar nas proximidades da superfície do solo. Correspondem a aguaceiros locais, típicos do verão.

Frontais são produzidas pelo contato da superfície com a massa de ar chamadas frentes de temperatura e umidade diferentes. Orográficas são originadas pelo resfriamento e condensação das massas de ar em ascensão nas encostas de regiões montanhosas, FREEZE & CHERRY, (1979).

Em relação à geologia dos aquíferos, os principais fatores que influenciam na natureza e distribuição dos aquíferos são a litologia, a estratigrafia e a estrutura das formações geológicas.
A litologia trata das rochas, de sua composição mineral, tamanho e relação entre os grãos.
A estratigrafia analisa as relações geométricas e cronológicas entre as camadas e as formações de origem sedimentar.
Segundo FREEZE & CHERRY, (1979), as discordâncias, por exemplo, são características estratigráficas especialmente importantes em hidrogeologia. Trata-se de descontinuidades estratigráficas ou superficiais que refletem a ocorrência de um intervalo de tempo durante o qual o processo de deposição foi interrompido, ou ainda durante o qual a superfície das rochas existentes foi intemperizada, erodida ou afetada por movimentos tectônicos. Essas discordâncias muitas vezes apresentam-se como superfícies que separam meios de permeabilidade diferente e por isso frequentemente estão associadas a aquíferos.
A estrutura diz respeito às características geométricas produzidas no sistema geológico por deformação após deposição ou cristalização, como é o caso de juntas, fraturas, falhas e dobras (MANOEL FILHO, 2000).
Os principais grupos de rochas e estruturas geológicas propícias ao acúmulo de água subterrânea são os sedimentos inconsolidados, as rochas sedimentares e as rochas ígneas e metamórficas.
No grupo de sedimentos inconsolidados ou pouco consolidados pode-se citar principalmente, as aluviões e as dunas. Estas feições geológicas são fáceis de perfurar, são geralmente encontradas em áreas onde os níveis de água subterrânea se apresentam pouco profundos e situam-se, frequentemente, em locais favoráveis à recarga (MANOEL FILHO, 2000).
Entre as rochas sedimentares, os arenitos constituem os melhores depósitos de água subterrânea. Estas rochas apresentam boa permeabilidade possibilitando o acúmulo e a transmissão da água. Entretanto, arenitos muito argilosos e siltitos têm pouca capacidade de transmissão de água e argilitos e folhelhos por serem praticamente impermeáveis, podem armazenar, mas não transmitir água em condições naturais (TODD, 1959).

As rochas carbonáticas podem ser bons depósitos de água subterrânea principalmente se apresentarem fraturas. As rochas carbonáticas ocorrem nas formas de calcário e calcário dolomítico. Quase toda dolomita tem origem secundária e resulta da alteração geoquímica da calcita. Essa transformação mineralógica produz um aumento na porosidade e permeabilidade porque a cristalização da dolomita ocupa cerca de 13% menos espaço do que a calcita (FREEZE & CHERRY, 1979).
Rochas carbonáticas apresentam porosidades variáveis de 20 a 50%, proporcionando o acúmulo de água (TODD, *op cit*).
Rochas ígneas e metamórficas têm reservas de água subterrânea relacionadas principalmente com fraturas. São águas de difícil mapeamento e custo muito

oneroso na exploração. Entre as rochas ígneas, as lavas basálticas, quando atravessadas por diáclases e fendas, e quando apresentam zonas vesiculares, podem constituir-se em bons depósitos de água (TODD, *op cit*).

2.4 Águas subterrâneas

A denominação água subterrânea é atribuída à água que circula na zona saturada, isto é, na zona situada abaixo da superfície freática. O nível freático ou nível hidrostático ou ainda lençol freático é aquele que separa a zona subsaturada (ou zona de aeração) da zona saturada. A zona subsaturada é aquela cujos espaços estão preenchidos por água e ar (TODD, 1959).

De acordo com MANOEL FILHO (1997), as águas subterrâneas são águas armazenadas nas rochas e/ou depósitos sedimentares que se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram, sob condições naturais, numa situação de equilíbrio governada por um mecanismo de recarga e descarga.
Segundo REBOUÇAS (2002), água subterrânea é a parcela das chuvas que infiltra nos terrenos da bacia hidrográfica e circula pelo seu subsolo. Os fluxos subterrâneos alimentam o escoamento básico dos rios, isto é, aquele que ocorre durante o período de estiagem. O nível freático tem profundidade variável relacionada com a topografia, permeabilidade das rochas e influências climáticas.
Desse modo, as águas subterrâneas encontram-se em profundidades variáveis (de algumas dezenas de metros a alguns milhares de metros).

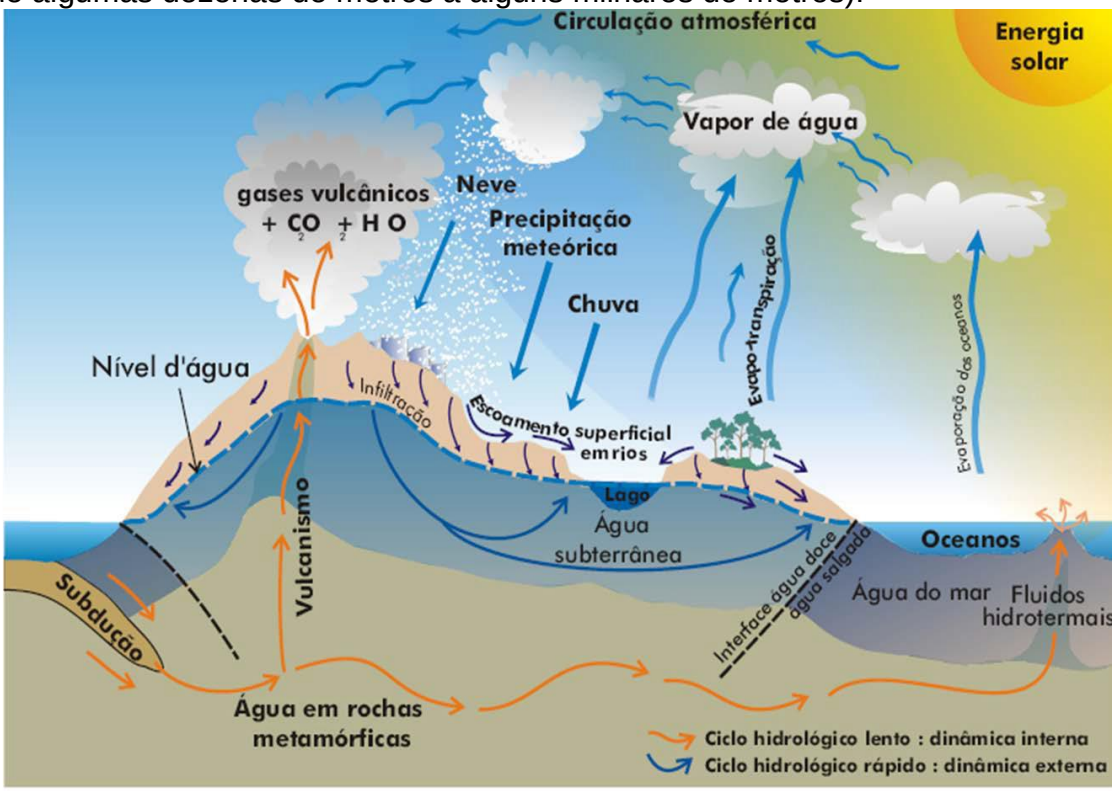

Figura 1- Distribuição vertical da água no solo e subsolo, mostrando as diversas zonas de umidade
Fonte: Teixeira et al., 2003

2.5 Águas subterrâneas e sua aplicação

Cerca de 97% da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo e Portanto menos de 3% da água potável disponível no planeta provém das águas de superfície. Estes dados dão a dimensão da importância das águas subterrâneas.

Segundo estimativas da UNESCO, no período de 1970-1995 foram perfurados no mundo cerca de 300 milhões de poços. Estes poços fornecem água subterrânea para o abastecimento de mais de 50% da população do planeta e para irrigação de aproximadamente 90 milhões de hectares (UNESCO, 2000).

As águas subterrâneas encontradas nos sistemas aquíferos regionais são águas armazenadas que se acumulam ao longo de milhares de anos e se encontram em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, governado por um mecanismo de recarga (entrada) e descarga (saída). Além dessas águas não se encontrarem diretamente expostas às influências climáticas, o seu movimento é muito lento, implicando em tempo de trânsito muito longo. Mas, nem toda a água de subsolo pode ser extraída das formações aquíferas em que se encontra. O volume explorável de um aquífero é uma variável de decisão a ser determinada como parte de um plano de gestão do sistema. Neste sentido, é preciso desenvolver modelos de simulação que forneçam informação local sobre a resposta do sistema de água subterrânea a bombeamentos e/ou recarga artificial e modelos de otimização, para identificar, usando análise de sistemas, políticas adequadas de gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis (MANOEL FILHO, 2000).

2.6 Aquíferos e seus tipos

Os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes: superior, (topo), e inferior, (base), e também em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes (MANOEL FILHO, *op cit).*

Aquífero confinado também conhecidos como artesianos ou aquíferos sob pressão, ocorre quando o nível da água está confinado sob pressão maior do que a atmosférica por estratos sobrejacentes relativamente impermeáveis (TODD, 1959).

De acordo com MANOEL FILHO, (*op cit*), os aquíferos confinados podem ser divididos em:

Aquífero confinado não drenante que é um aquífero cujas camadas limítrofes, superior e inferior, são impermeáveis. O poço desse tipo de aquífero costuma ser chamado de artesiano surgente ou jorrante.

Aquífero confinado drenante é um aquífero no qual pelo menos uma das camadas limítrofes é semi-permeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou pela base.

Aquífero Livre, freático ou Não Confinado é aquele cujo limite superior é uma superfície freática, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. Podem ser também drenantes (de base semipermeável) e não drenantes (de base impermeável).

Aquífero suspenso é um caso especial de aquífero não confinado. Ocorre quando um volume de água subterrânea está separado da água subterrânea

principal por um estrato relativamente impermeável de pequena extensão em área e por uma zona de aeração acima do corpo principal da água subterrânea. Esses aquíferos às vezes existem em caráter temporário, na medida em que drenam para o nível freático subjacente (TODD, 1959).

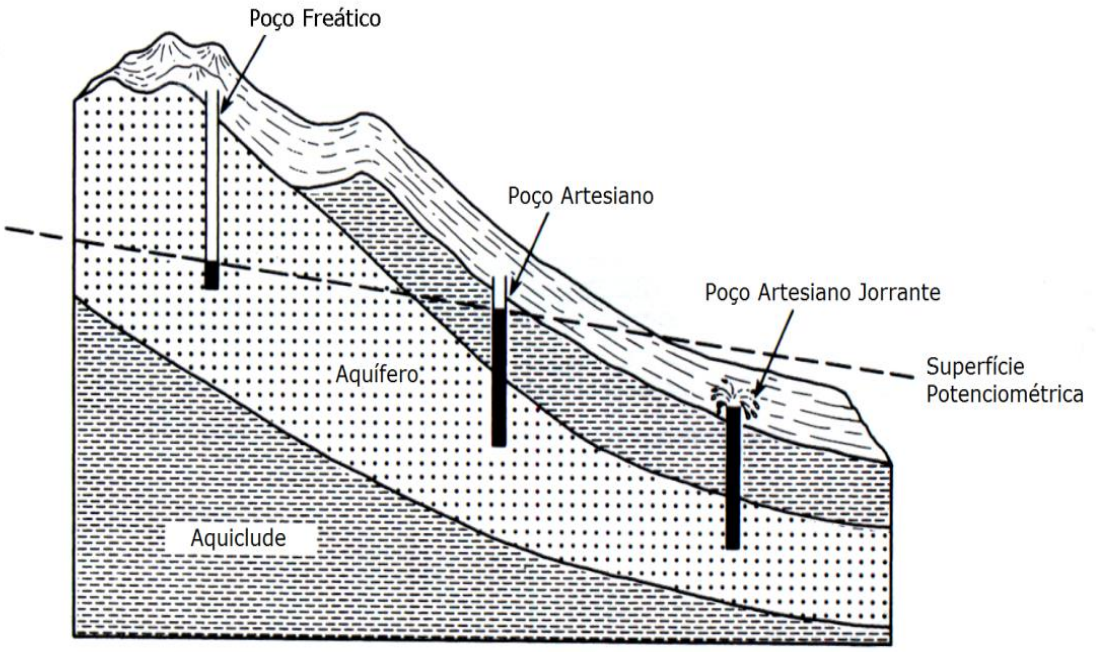

Figura 2- Representação esquemática de um aquífero confinado e de diferentes tipos de poços.
Fonte: Adaptado de FETTER, 2000.

Aquíferos costeiros são aqueles situados em planícies próximas ao mar ou grandes lagos salgados (CABRAL, 2000).

As águas destes aquíferos sofrem influência das águas salgadas, o que lhes confere características bem marcantes. Nestes locais o fluxo subterrâneo de água doce que vem do continente encontra o fluxo subterrâneo de água salgada que está se infiltrando a partir do mar ou do lago. Devido à diferença de densidades entre os dois tipos de água, ocorre uma estratificação, ficando a água doce por cima e a salgada por baixo. A água salgada forma uma cunha penetrando pela parte inferior da região de água doce. A pressão da água doce e o contínuo escoamento para o mar conseguem manter a posição de cunha salina em equilíbrio (CABRAL, op cit).

Os fatores envolvidos na contaminação pela água salgada são: distância do fundo do poço com a interface água doce/salgada, regime de bombeamento e Permeabilidade do aquífero (CABRAL, op cit).

2.7 Importância da área de carga e recarga dos aquíferos

De forma geral, a recarga de água subterrânea pode ser definida como o fluxo de água descendente que alcança o nível freático, tornando-se uma adição ao reservatório subterrâneo (LERNER; ISSAR; SIMMERS, 1990, p. 6). Os autores acrescentam ainda que a recarga do reservatório subterrâneo pode ocorrer naturalmente da precipitação, rios, canais e lagos e como fenômenos induzidos pelo homem via algumas atividades como irrigação e urbanização – perdas dos

programas de irrigação frequentemente provêm uma contribuição que excede aquela da chuva.
No que tange a atuação antropogênica na modificação da qualidade das águas subterrâneas, as fontes de contaminação são em geral diretamente associadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume oriundo de aterros de lixo. E, assim como ocorre com a água que penetra nos solos e alcança a zona saturada do aquífero, estes contaminantes também mobilizam metais naturalmente contidos no solo, como alumínio, ferro e manganês, assim como também são potenciais fontes de nitrato e substâncias orgânicas extremamente tóxicas ao homem e ao meio ambiente (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).
Neste sentido, Pascalicchio (2002) afirma que metais (pesados) podem ser encontrados em todos os lugares, diferindo-se de demais substancias tóxicas por sua perenidade, sendo os mesmos redistribuídos no ambiente em função de ciclos bioquímicos e geoquímicos, como a chuva, que dissolve minerais presentes em rochas e os carreia para os corpos de água ou outros locais. De qualquer forma, a autora supracitada assevera que a contaminação por metais se dá por meio da atividade industrial ou a partir de fontes naturais. Acrescentam-se ainda outras fontes antrópicas ligadas a atividades agrícolas, como fertilizantes e defensivos agrícolas.
Além disso, existem alguns fatores que afetam a recarga de aquíferos, dentre os quais Rushton (1988, apud LERNER; ISSAR; SIMMERS, 1990) destaca, conforme alguns aspectos:

> Sobre a superfície terrestre – topografia; precipitação: magnitude, intensidade, duração, distribuição espacial; runoff; lâmina de água; colheita padrão; evapotranspiração atual.
> □□Irrigação – natureza do agendamento da irrigação; perdas para canais e cursos de água; aplicação nos campos, preparação da terra, perdas para o campo.
> □□Rios – rios que fluem para a área de estudo; rios que deixam a área de estudo; rios que ganham ou perdem água para o aquífero.
> □□ Zona do Solo – natureza do solo, profundidade, propriedades hidráulicas; variabilidade do solo, profundidade dos enraizamentos no solo.

Figura 3- áreas de descarga dos aquíferos
Fonte: United States Geological Survey, 2000.

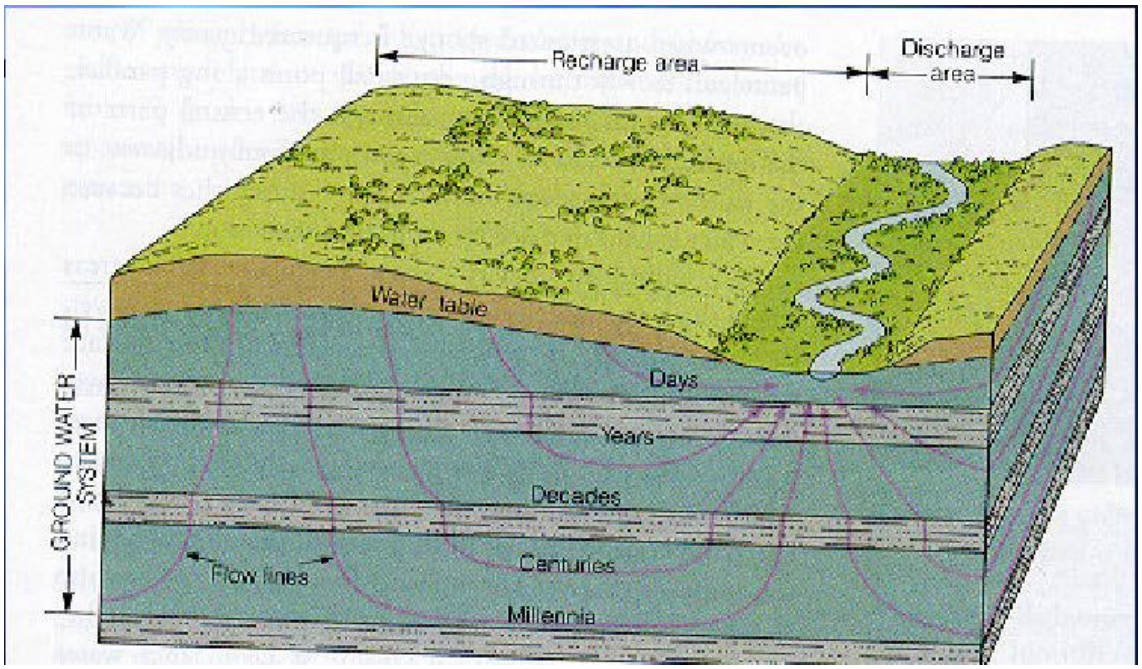

Figura 4- áreas de carga dos aquíferos
Fonte: United States Geological Survey, 2000.

Acrescenta-se ainda o tipo de uso do solo nas zonas de recarga de aquíferos. Além do uso agrícola expressivo, o impacto das malhas urbanas sobre as áreas de recarga, além de mais rápido, tem sido contundente, o que se torna um desafio às políticas de gestão hídrica urbana, que além de lidarem com as questões ligadas às águas superficiais, também devem abarcar as águas subterrâneas, e em princípio, os locais em que a mesma é recarregada. Assim, o solo urbano torna-se um elemento preponderante, que precisa ser levado em consideração.

O solo urbano é bastante suscetível à contaminação por elementos-traço (elementos químicos de baixa concentração no meio, muitos dos quais tóxicos à saúde), oriundos, principalmente, das atividades industriais. Há de se considerar as fontes de contaminação do solo por elementos-traço como fontes igualmente contaminantes das águas subterrâneas, assim, ainda que em menor grau, as principais fontes de contaminação por elementos-traço em solo, tais como as cinzas provenientes da queima de carvão e o descarte de produtos comerciais (GUILHERME et al., 2005) também podem afetar a qualidade da água subterrânea.

Dada a importância da água para a saúde coletiva, destaca-se o que afirmam Azevedo

Netto e Botelho (1995), ou seja, pessoas com doenças causadas, direta ou indiretamente, pela água de má qualidade e por falta de saneamento ocupam 80% dos leitos hospitalares, nos países em desenvolvimento. Portanto, o estado de saúde da população é grandemente afetado, em especial nos países em desenvolvimento, pelos agentes causadores de doenças encontrados na água (SELINUS et al., 2005).

Ressalta-se que os reservatórios naturais vêm sendo depositários de uma variedade de subprodutos, provenientes da atividade antrópica. A presença de

elementos potencialmente tóxicos é responsável por efeitos adversos sobre o ambiente, com repercussão na economia e na saúde pública.

A intervenção humana pode ser considerada como a maior responsável pela magnitude e frequência da disposição dos elementos tóxicos como metais pesados, por exemplo, uma vez que a sua geração e utilização como subproduto nas atividades industriais ocorre em escalas exponenciais, gerando diversos impactos em níveis locais e globais, levando a um estresse contínuo da natureza e, consequentemente, a efeitos agudos e crônicos à saúde dos ecossistemas e do homem (BAGGIO FILHO, 2008).

Em se tratando de Brasil, poucos são os estudos encontrados acerca das condições geoquímicas do solo urbano das cidades brasileiras, no entanto, quando se trata dos países europeus e dos países asiáticos, predominantemente, os estudos europeus têm maior visibilidade. Isto tem a ver com a industrialização de longa data a qual a Europa sucedeu no tempo, o que tem legado um histórico de contaminação dos solos urbanos europeus.

Na maioria destes estudos europeus, o elemento predominantemente encontrado nas amostras é o chumbo (Pb). Este elemento é um metal pesado que fora um dos primeiros metais a serem trabalhados pelo homem. No contexto atual, sua aplicação se dá principalmente na indústria, sendo um dos metais mais utilizados pela mesma. A principal aplicação das ligas de chumbo ocorre no fabrico de baterias automotivas, no entanto, o mesmo pode estar presente em diversos outros produtos industrializados, desde embalagens, trefilados de fios metálicos, munições a tintas e pigmentos.

Estudos em outras localidades do planeta verificaram outros problemas, ligados a outros tipos de elementos químicos, assim como as dificuldades observadas no trato das complexas relações entre estes e o solo.

Após um estudo piloto acerca da determinação de iodo nos solos e águas de Kabul (Afeganistão), realizado por Watts e Mitchell (2009), verificou-se que a população em destaque apresentava problemas relativos à deficiência de iodo no organismo, observando-se uma grande dificuldade para correlacionar alguns dados encontrados e explicar as relações entre os fatores e elementos que controlam a quantidade de iodo nos solos analisados, assim como a sua biodisponibilidade ou mobilidade pelos mesmos.

Tal como afirmam Watts e Mitchell (2009), os resultados conflitantes deste e de outros estudos sugerem que fatores complexos que controlam a fixação de iodo nos solos, tais como pouca matéria orgânica, natureza alcalina dos solos afegãos, incitam novas investigações que permitam compreender melhor a biodisponibilidade e mobilidade de iodo nos solos utilizados para produção de culturas no Afeganistão.

Geralmente, os solos são muito suscetíveis à contaminação promovida pelas atividades humanas, sejam quais forem, mas principalmente pelas atividades industriais, mas também pelas atividades agrícolas, mineração, disposição de resíduos urbanos, entre outros. Além disso, um fator contaminante muito comum nos centros urbanos é a utilização de fossas negras (fossas sépticas), que acabam por impor um impacto ambiental significativo aos solos e aos mananciais subterrâneos.

2.2.1 Aquíferos e sua procura

2.2. 2 Métodos de prospecção de aquíferos

Os métodos geofísicos e geológicos têm sido uma ferramenta que tem vindo a ganhar cada vez mais importância no estudo de aquíferos, bem como na avaliação da qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos.

Estes métodos ajudam na definição de modelos conceptuais de aquíferos e sistemas aquíferos, na escolha dos melhores locais para prospecção e captação de águas subterrâneas. No final da década de 70 do século XX, os métodos geofísicos começaram a ser utilizados para a identificação de contaminantes, na resolução de problemas ambientais, na definição de estratégias de exploração sustentável dos recursos, bem como na detecção de objetos soterrados (Rodriguez & Bedmar, 2003 *in* Pereira, 2008).

Métodos Geológicos de Superfície

Os passos iniciais de um programa de prospecção de água subterrânea são tomados no escritório e não no campo. Muito pode ser aprendido a partir de mapas, relatórios e dados existentes. Para quase toda a parte do mundo, existe pelo menos um mapa geológico publicado, em alguma escala; existem mapas de solos ou geológicos de superfície publicados para a maioria das áreas; além de mapas hidrogeológicos, para algumas áreas. Mapas geológicos e relatórios fornecem ao hidrogeólogo uma indicação inicial das formações geológicas de uma área, juntamente com sua estratigrafia e relações estruturais. Mapas de solos ou de geologia superficial, juntamente com mapas topográficos, fornecem uma ideia inicial sobre a distribuição e gênese dos depósitos superficiais não consolidados e as formas de relevo associadas. Mapas hidrogeológicos fornecem uma interpretação resumida dos dados topográficos, geológicos, hidrogeológicos, geoquímicos e de recursos hídricos disponíveis para uma área. Interpretações de fotografias aéreas também são amplamente utilizadas na prospecção da água subterrânea. É possível preparar mapas morfológicos, de solos, uso da terra, vegetação e padrões de drenagem a partir de uma fotografia aérea. Cada um desses fatores influencia o sistema natural de fluxo da água subterrânea e/ou a presença de aquíferos potenciais. Way (1979) e Mollard (1973) propuseram manuais de interpretação de fotografias aéreas e ambos incluem um grande número de fotos interpretadas, muitas das quais ilustram feições hidrogeológicas.

Entretanto, mesmo em áreas onde existe quantidade considerável de informações, geralmente é necessário realizar um mapeamento geológico em campo. Do ponto de vista da importância das areias e cascalhos não consolidados como aquíferos potenciais, atenção especial deve ser dada às formas do relevo e à distribuição de depósitos glaciais e aluviais. Onde os depósitos de areia e cascalho são escassos, ou onde estes são superficiais e não saturados, atenção mais detalhada deve ser dada à litologia, estratigrafia e estruturas presentes nas formações rochosas.

Os métodos de mapeamento hidrogeológico são úteis na determinação da escala e profundidade dos sistemas naturais e no mapeamento de suas áreas de recarga e descarga. Way (1979) e Mollard (1973).

Métodos Geológicos de Subsuperfície

Olhar apenas para as manifestações superficiais de um ambiente geológico raramente é suficiente. É improvável que as relações estratigráficas de subsuperfície sejam reveladas totalmente sem uma investigação subterrânea direta. Mais uma vez, o passo inicial geralmente envolve uma pesquisa dos registros disponíveis. Muitos estados e governos exigem que os registros geológicos de todos os poços tubulares estejam disponíveis em um banco de dados para o uso de outros pesquisadores. Estes dados, embora de qualidade variável, muitas vezes podem fornecer ao hidrogeólogo informações consideráveis sobre os acertos e fracassos passados de uma dada região.

Na maioria dos programas de exploração, especialmente aqueles em larga escala para abastecimento industrial ou municipal, é necessário realizar sondagens para delimitar melhor as condições subterrâneas. Os furos de sondagem proporcionam a oportunidade de perfilagem geológica e geofísica e de amostragem de materiais geológicos. Perfurações piloto também podem ser utilizadas para obter amostras de água para análise química e medição do nível freático no local. Programas de perfurações piloto, juntamente com mapas geológicos e registros de poços disponíveis, podem ser interpretados em termos da litologia, estratigrafia e estruturas locais e regionais. Seus registros podem ser usados para preparar seções estratigráficas, blocos, diagrama, indicar espessuras de camadas ou formações e mapas de litofácies.

As interpretações hidrogeológicas podem incluir mapas potenciométricos e de isópacas da espessura da zona saturada em aquíferos não confinados. Os resultados de análises da água subterrânea, quando exibidas graficamente usando os métodos citados anteriormente, podem fornecer evidências importantes sobre o ambiente geoquímico natural, bem como uma medida direta da qualidade da água. (Pirson, 1963; Wyllie, 1963).

A geofísica é uma área científica que se dedica à aplicação de conhecimentos físicos à investigação da Terra, da Lua e dos planetas, embora seja predominantemente associada ao estudo do nosso planeta. O estudo da crusta terrestre, a exploração dos recursos subterrâneos (minerais ou águas subterrâneas, entre outros interesses económicos), o mapeamento de estruturas subterrâneas (tectónicas ou arqueológicas, por exemplo), bem como estudos ligados à engenharia civil pertencem à área da geofísica conhecida por Geofísica Aplicada (Reynolds, 2011), na qual está inserido o tema deste estágio.

Atualmente, entre os métodos geofísicos mais utilizados estão métodos elétricos resistivos (tais como sondagens elétricas verticais - VES), métodos eletromagnéticos (tais como o método VLF – EM: very low frequency – eletromagnéticos ou o método do campo elétrico natural), métodos sísmicos (tais como o método da reflexão sísmica e o método da refração sísmica), métodos gravitacionais (tais como os levantamentos gravíticos) e métodos mistos (tais como o método sismoelétrico).

Método sismoelétrico, também conhecido como prospecção eletrocinética, é um método geofísico de prospecção, utilizado em hidrogeologia com o objetivo de identificar a profundidade a que se encontra a água no aquífero, estimar a condutividade hidráulica do aquífero, dando indicação dos valores prováveis de produtividade de um furo a captar água no local em estudo (Costa, 2018).

Este método consiste na aplicação de um choque na superfície do terreno (utilizando uma marreta ou um tiro de pólvora negra), o qual provoca ondas sísmicas compressivas que se propagam em profundidade a velocidades que estão dependentes das características dos materiais que atravessam e da sua saturação em água (Figura 5). Estas ondas, que assumem a forma de semicírculo (ou semiesfera no espaço tridimensional), vão então provocar uma deslocação das partículas elétricas da água subterrânea em relação às partículas elétricas da matriz rochosa assim que as ondas atingirem o topo do aquífero. Estes movimentos de partículas levam à emissão de um sinal elétrico de resposta em direção à superfície, sinal este que é depois captado para posterior análise. Assim que as ondas sísmicas iniciais atravessam a totalidade do aquífero, o sinal desaparece, dado que os movimentos de partículas cessam assim que o meio deixe de estar saturado em água (Costa, 2018).

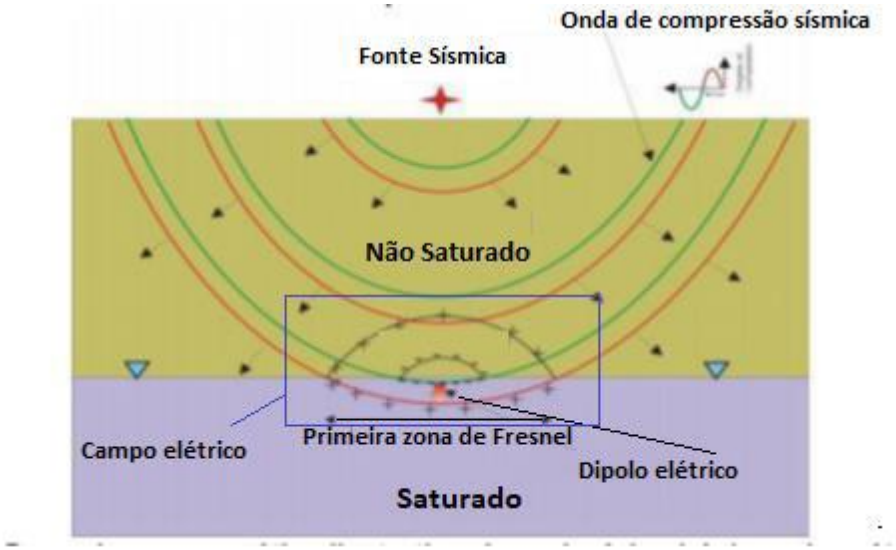

Figura 5 - Esquema ilustrativo do funcionamento básico do método sismoelétrico
Fonte: Aqualocate, 2013

Método do campo elétrico natural (CEN) é um método geofísico de prospecção não invasivo que permite caracterizar o subsolo do ponto de vista geoelétrico, através do estudo do campo elétrico natural como fonte local de campo eletromagnético. Tem por base a resistividade elétrica das diferentes camadas do subsolo (Olatinsu & Salawudeen, 2021).

Os conceitos de condutividade elétrica e de resistividade elétrica são centrais ao funcionamento deste método. A **condutividade elétrica (CE)** a facilidade com que um material conduz eletricidade, isto é, a facilidade com que um material se deixa atravessar por corrente elétrica. A **resistividade elétrica** corresponde ao oposto da CE, tratando-se da resistência que um material oferece à passagem de corrente elétrica (Waff, 2018). A condutividade é favorecida pela existência de água no solo ou nas rochas, bem como de sais dissolvidos nessa água, o que faz com que a resistividade do solo não esteja unicamente dependente da porosidade e permeabilidade do solo, mas também da quantidade de água existente e da sua composição iónica. Elevado conteúdo em água no solo ou a presença de materiais condutores de corrente elétrica respondem com menor

resistividade, enquanto terrenos mais secos ou materiais pouco condutores de corrente elétrica possuem maior resistividade elétrica (Mota, 2017).
A utilização de campos magnetotelúricos na criação de perfis de CNE em profundidade, baseia-se nos campos elétrico e magnético da Terra, que não são estáticos, mas variam ao longo da superfície do planeta. As ondas eletromagnéticas viajam pela superfície da Terra e têm a capacidade de entrarem nos solos. Quando entram nos solos, os campos elétricos destas ondas fazem com que correntes elétricas atravessem os materiais do solo capazes de conduzir eletricidade, sendo este o caso da maioria dos materiais que compõem a superfície terrestre. De acordo com os trabalhos de Maxwell e Ampere, referidos em Waff (2018), sempre que uma corrente elétrica flui num material, este gera o seu próprio campo magnético que, dado o facto de a corrente ser alterna e variar com o tempo, faz com que os campos magnéticos também variem.
Instrumentos de medição atuais permitem medir estas variações nos campos elétrico e magnético e, em consequência, a medição da condutividade do subsolo. Assim, o termo “magnetotelurics” divide-se em magneto – correntes eletromagnéticas induzidas – e em telurics – correntes que fluem pela Terra.

2.2.3 Condições para ocorrência de aquíferos

Para se entender a origem da água subterrânea é necessário tratar do ciclo hidrológico, que segundo Heath (1983) refere-se ao constante movimento da água sobre, na e sob a superfície da Terra. Desta forma, o autor chama a atenção para importância da compreensão do que vem a ser este ciclo, pois O conceito de ciclo hidrológico é central ao entendimento da ocorrência de água e ao desenvolvimento e administração de suprimentos em água” (HEATH, 1983, p. 5). Atualmente sabe-se que a origem da água subterrânea está ligada ao ciclo hidrológico, que é um sistema natural (fechado) em que a água circula do oceano para a atmosfera, para depois ser precipitada nos continentes e então retornar ao oceano superficialmente e subterraneamente (ALIEVI; PINESE; CELLIGOI, 2009).
Neste último meio (subterrâneo), parte da água infiltrada é retida pelas raízes das plantas e acaba evaporando por meio da capilaridade do solo ou pela evapotranspiração destes vegetais. A outra parte move-se para camadas mais profundas, por efeito da gravidade, formando assim as águas subterrâneas. Desta forma, boa parte da água subterrânea se origina da superfície do solo, sendo a recarga feita da precipitação, cursos da água e reservatórios superficiais (MOTA, 1995, p. 141).

2.2.4 Precipitação, solos, fissuras e tipos de rochas

Precipitação é a chegada da água meteórica da água em estado líquido ou solido à superfície da terra. Nos países tropicais, a precipitação acontece essencialmente em forma líquida. Trata-se de um dos componentes mais essencial do ciclo hidrológico, na medida que constitui a matéria-prima das descargas dos rios e da recarga dos aquíferos, FREEZE & CHERRY, (1979).

Ao contrário de outras variáveis meteorológicas que podem ser medidas de forma contínua, a precipitação é um fenômeno descontinuo, que varia no espaço e no tempo. Diversas condições são necessárias para que ocorra a precipitação:

- Deve existir uma massa de ar a temperatura do ponto de ovalho;
- A massa de ar deve sofrer condensação, passando a forma líquida ou sólida;
- As gotas de água devem se aglutinar para formar gotas de chuva;
- As gotas de chuva devem ser de tamanho suficiente para que, ao deixarem as nuvens, não sejam totalmente evaporadas antes de atingir a superfície do solo. De acordo com as condições meteorológicas que as originam, as precipitações devem ser de três tipos: convectivas, frontais e orográficas, FREEZE & CHERRY, (1979).

Convectivas ás chuvas são ditas convectivas quando geradas por um aquecimento de massas de ar nas proximidades da superfície do solo. Correspondem a aguaceiros locais, típicos do verão.

Frontais são produzidas pelo contato da superfície com a massa de ar chamadas frentes de temperatura e umidade diferentes. Orográficas são originadas pelo resfriamento e condensação das massas de ar em ascensão nas encostas de regiões montanhosas, FREEZE & CHERRY, (1979).

Em relação à geologia dos aquíferos, os principais fatores que influenciam na natureza e distribuição dos aquíferos são a litologia, a estratigrafia e a estrutura das formações geológicas.
A litologia trata das rochas, de sua composição mineral, tamanho e relação entre os grãos.
A estratigrafia analisa as relações geométricas e cronológicas entre as camadas e as formações de origem sedimentar.
Segundo FREEZE & CHERRY, (1979), as discordâncias, por exemplo, são características estratigráficas especialmente importantes em hidrogeologia. Trata-se de descontinuidades estratigráficas ou superficiais que refletem a ocorrência de um intervalo de tempo durante o qual o processo de deposição foi interrompido, ou ainda durante o qual a superfície das rochas existentes foi intemperizada, erodida ou afetada por movimentos tectônicos. Essas discordâncias muitas vezes apresentam-se como superfícies que separam meios de permeabilidade diferente e por isso frequentemente estão associadas a aquíferos.
A estrutura diz respeito às características geométricas produzidas no sistema geológico por deformação após deposição ou cristalização, como é o caso de juntas, fraturas, falhas e dobras (MANOEL FILHO, 2000).
Os principais grupos de rochas e estruturas geológicas propícias ao acúmulo de água subterrânea são os sedimentos inconsolidados, as rochas sedimentares e as rochas ígneas e metamórficas.
No grupo de sedimentos inconsolidados ou pouco consolidados pode-se citar principalmente, as aluviões e as dunas. Estas feições geológicas são fáceis de perfurar, são geralmente encontradas em áreas onde os níveis de água subterrânea se apresentam pouco profundos e situam-se, frequentemente, em locais favoráveis à recarga (MANOEL FILHO, 2000).
Entre as rochas sedimentares, os arenitos constituem os melhores depósitos de água subterrânea. Estas rochas apresentam boa permeabilidade possibilitando o acúmulo e a transmissão da água. Entretanto, arenitos muito argilosos e siltitos têm pouca capacidade de transmissão de água e argilitos e folhelhos por serem

praticamente impermeáveis, podem armazenar, mas não transmitir água em condições naturais (TODD, 1959).
As rochas carbonáticas podem ser bons depósitos de água subterrânea principalmente se apresentarem fraturas. As rochas carbonáticas ocorrem nas formas de calcário e calcário dolomítico. Quase toda dolomita tem origem secundária e resulta da alteração geoquímica da calcita. Essa transformação mineralógica produz um aumento na porosidade e permeabilidade porque a cristalização da dolomita ocupa cerca de 13% menos espaço do que a calcita (FREEZE & CHERRY, 1979).
Rochas carbonáticas apresentam porosidades variáveis de 20 a 50%, proporcionando o acúmulo de água (TODD, *op cit*).
Rochas ígneas e metamórficas têm reservas de água subterrânea relacionadas principalmente com fraturas. São águas de difícil mapeamento e custo muito oneroso na exploração. Entre as rochas ígneas, as lavas basálticas, quando atravessadas por diáclases e fendas, e quando apresentam zonas vesiculares, podem constituir-se em bons depósitos de água (TODD, *op cit*).

2.2.5 Condições ideais para ocorrências de aquíferos

Em relação à geologia dos aquíferos, os principais fatores que influenciam na natureza e distribuição dos aquíferos são a litologia, a estratigrafia e a estrutura das formações geológicas. A litologia trata das rochas, de sua composição mineral, tamanho e relação entre os grãos.
A estratigrafia analisa as relações geométricas e cronológicas entre as camadas e as formações de origem sedimentar.
Segundo FREEZE & CHERRY, (1979), as discordâncias, por exemplo, são características estratigráficas especialmente importantes em hidrogeologia. Trata-se de descontinuidades estratigráficas ou superficiais que refletem a ocorrência de um intervalo de tempo durante o qual o processo de deposição foi interrompido, ou ainda durante o qual a superfície das rochas existentes foi intemperizada, erodida ou afetada por movimentos tectônicos. Essas discordâncias muitas vezes apresentam-se como superfícies que separam meios de permeabilidade diferente e por isso frequentemente estão associadas a aquíferos. A estrutura diz respeito às características geométricas produzidas no sistema geológico por deformação após deposição ou cristalização, como é o caso de juntas, fraturas, falhas e dobras (MANOEL FILHO, 2000).
Os principais grupos de rochas e estruturas geológicas propícias ao acúmulo de água subterrânea são os sedimentos inconsolidados, as rochas sedimentares e as rochas ígneas e metamórficas.
No grupo de sedimentos inconsolidados ou pouco consolidados pode-se citar principalmente, as aluviões e as dunas. Estas feições geológicas são fáceis de perfurar, são geralmente encontradas em áreas onde os níveis de água subterrânea se apresentam pouco profundos e situam-se, frequentemente, em locais favoráveis à recarga (MANOEL FILHO, 2000).
Entre as rochas sedimentares, os arenitos constituem os melhores depósitos de água subterrânea. Estas rochas apresentam boa permeabilidade possibilitando o acúmulo e a transmissão da água. Entretanto, arenitos muito argilosos e siltitos têm pouca capacidade de transmissão de água e argilitos e folhelhos por serem praticamente impermeáveis, podem armazenar, mas não transmitir água em condições naturais (TODD, 1959).

As rochas carbonáticas podem ser bons depósitos de água subterrânea principalmente se apresentarem fraturas. As rochas carbonáticas ocorrem nas formas de calcário e calcário dolomítico. Quase toda dolomita tem origem secundária e resulta da alteração geoquímica da calcita. Essa transformação mineralógica produz um aumento na porosidade e permeabilidade porque a cristalização da dolomita ocupa cerca de 13% menos espaço do que a calcita (FREEZE & CHERRY, 1979).
Rochas carbonáticas apresentam porosidades variáveis de 20 a 50%, proporcionando o acúmulo de água (TODD, *op cit*).
Rochas ígneas e metamórficas têm reservas de água subterrânea relacionadas principalmente com fraturas. São águas de difícil mapeamento e custo muito oneroso na exploração. Entre as rochas ígneas, as lavas basálticas, quando atravessadas por diáclases e fendas, e quando apresentam zonas vesiculares, podem constituir-se em bons depósitos de água (TODD, *op cit*).

2.2.6 Sistemas de informação geográfica (SIG)

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre a superfície da Terra [RAPER & MAGUIRE, 1992].
A maioria das aplicações SIG apresenta uma estrutura geral com uma interface para comunicação com o utilizador, uma base de dados, uma unidade de gestão dessa base de dados, e um conjunto de funcionalidades para entrada e edição de dados, sua análise e produção e impressão de mapas Com os avanços da Internet, desenvolveram-se nos últimos anos técnicas que possibilitam a publicação e acesso a bases de dados geográficas remotas, cuja estrutura interna dos programas, permite aceder e publicar dados remotamente através de serviços WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service) e WCS (Web Coverage Service), de acordo com as especificações do OGC – Open Geospatial Consortium.

A interface do utilizador inclui, portanto, um conjunto de ferramentas para visualização e navegação através de informação espacial, sendo capaz de visualizar os tipos de ficheiros mais comuns em formatos matriciais (raster) e vectoriais, aceder a bases de dados espaciais e aos standards de serviços remotos do OGC. As ferramentas básicas das aplicações permitem ainda explorar registos e compor mapas [RAPER & MAGUIRE, 1992].

As aplicações SIG suportam diversos formatos/modelos de dados graças a bibliotecas de interpretação, tais como a notável GDAL/OGR que é base de muitos softwares SIG, inclusivamente software proprietário (não Open Source). Existem ainda formatos proprietários, que sendo fechados/não standard criam sérios problemas à integração com software livre, por vezes mais por questões legais do que devido a questões puramente técnicas. Um exemplo era o caso das bibliotecas para suporte dos formatos ECW e MrSID, que possuem licenças pouco claras, em particular no que concerne à livre distribuição das mesmas [RAPER & MAGUIRE, 1992].

2.2.7 Dados vs informação

Dado é a base para a informação. Ele não é capaz de descrever uma situação por completo. Ele pode ser quantificado, mas não qualificado, os dados podem ser considerados a unidade básica da informação, sem dados, não temos informações, pois estas são criadas a partir daqueles. De maneira geral, é o conteúdo quantificável e que por si só não transmite nenhuma mensagem que possibilite o entendimento sobre determinada situação, [RAPER & MAGUIRE, 1992].

Dados são observações documentadas ou resultados da medição. A disponibilidade dos dados oferece oportunidades para a obtenção de informações.

Os dados podem ser obtidos pela percepção através dos sentidos (por exemplo observação) ou pela execução de um processo de medição. A Figura abaixo ilustra as fontes dos dados, [RAPER & MAGUIRE, 1992].

Tipos de Dados

Antes de iniciar a análise de uma base de dados, é preciso determinar corretamente que tipo de dados está disponível. Disso depende o tipo de análise a ser feito e a ferramenta a ser utilizada.

Existem muitas formas de classificar dados, dependendo do seu uso e da forma como os dados serão armazenados (em papel, em arquivo eletrônico, etc.), (OLIVEIRA, 2002, p. 35).

Informação

São dados oferecidos de uma forma significativa e útil para os indivíduos, (Maclean,1999).

2.3.1 Sistema e sistemas de informação

Um sistema “é um conjunto de partes interagentes e interdependentes que, conjuntamente, formam um todo unitário com determinado objetivo e efetuam determinada função” Isso estabelece, enquanto aspecto mais importante para um sistema, o conceito de que cada elemento individual, ou parte, ao relacionar-se e elencarem interligação e interdependência, formam um conjunto maior, cuja totalidade é imensamente superior à individualidade de suas partes (OLIVEIRA, 2002).

Um sistema possui, obrigatoriamente, duas características básicas: o propósito ou objetivo, e a totalidade ou globalidade; os objetivos são definidos a partir dos arranjos de suas partes, enquanto a totalidade refere-se ao fato de que, havendo qualquer estímulo a um dos componentes do sistema, este estímulo se refletirá no sistema como um todo. Em geral os sistemas procuram atuar como:

- Ferramentas para exercer o funcionamento das empresas e de sua intrincada abrangência e complexidade;

- Instrumentos que possibilitam uma avaliação analítica e, quando necessário, sintética das empresas;
- Facilitadores dos processos internos e externos, com suas respectivas intensidades e relações; Meios para suportar a qualidade, produtividade e inovação tecnológica organizacional;
- Geradores de modelos de informações para auxiliar os processos decisórios empresariais;
- Produtores de informações oportunas e geradores de conhecimento;
- Valores agregados e complementares à modernidade, perenidade, lucratividade e competitividade empresarial. (REZENDE; ABREU, 2000, p. 32)

Os sistemas podem ser classificados de várias maneiras; porém, para efeito deste artigo, classificam-se os sistemas de duas maneiras principais:

Sistemas Abertos e Sistemas Fechados.

Padovese (1997, p. 36), afirma que “os sistemas fechados não interagem com o ambiente externo, enquanto que os sistemas abertos se caracterizam pela interação com o ambiente externo, suas entidades e variáveis”. A seguir, é apresentada, detalhadamente, a classificação de sistema.

Sistema Aberto

A interação da empresa com a sociedade e o ambiente onde ela atua caracteriza essencialmente o chamado sistema aberto. Os sistemas abertos envolvem a ideia que determinados inputs são traduzidos no sistema e, processados, geram certos outputs. Com efeito, a empresa vale-se de recursos materiais, humanos e tecnológicos, de cujo processamento resultam bens ou serviços a serem fornecidos ao mercado. (BIO, 1998, p. 19)

A empresa busca recursos no ambiente, processa-os com ajuda dos recursos internos e devolve ao ambiente, na forma de bens ou serviços. A relação de troca é natural no desenvolvimento de qualquer atividade, assim como a empresa busca no fornecedor a matéria-prima, precisa estar preparada internamente, com recursos humanos e tecnológicos, para transformar essa matéria-prima e devolver à sociedade em forma de produto acabado.

O sistema fechado

Independe do meio externo para o desenvolvimento das suas funções. Cornachione (1998, p. 25), afirma que “os sistemas fechados são entendidos como os que não mantêm relação de interdependência com o ambiente externo”.

Padovese (2000) cita, como exemplo, de sistema fechado o relógio, pois o seu mecanismo trabalha em conjunto, sem precisar do meio externo para o seu funcionamento. A interação ocorre entre as partes que compõem o sistema, não se tornam menos importantes, apenas não interagem com o meio externo.

Sistemas de Informação

É a expressão utilizada para descrever um Sistema seja ele automatizado, seja manual, que abrange pessoas, máquinas e/ou métodos organizados para coletar, processar, transmitir e disseminar dados que representam informação para o usuário e/ou cliente, (CASSARRO, 1998, p. 25).

Todo Sistema de Informação que manipula dados e gera informação, usando ou não recursos de tecnologia em computadores, pode ser genericamente considerado como um ‘’**sistema de informação**’’. Por exemplo, o sistema de informação organizacional pode ser conceituado como a organização e seus vários subsistemas internos, contemplando ainda o meio ambiente externo.

Segundo Turban 1998, uma infraestrutura de informação consiste em instalações físicas, serviços e gerenciamento que suportam todos os recursos computacionais existentes em uma organização.

Existem cinco componentes principais na infraestrutura:

Hardware do computador, software de propósito geral, redes e instalações de comunicação (incluindo internet), banco de dados e o pessoal do gerenciamento da informação.

A infraestrutura abrange esses recursos e a sua integração, operação, documentação, manutenção e gerenciamento. A infraestrutura também nos informa como recursos computacionais específicos são organizados, operacionalizados e administrados.

Vantagens de um Sistema de Informação

Em um Sistema, várias partes trabalham juntas visando um objetivo em comum. Em um Sistema de Informação não é diferente, porém o objetivo é um fluxo mais confiável e menos burocrático das informações. Em um Sistema de Informação bem construído, suas principais vantagens são:

- Redução de custos operacionais e administrativos e ganho de produtividade;
- Mais integridade e confiabilidade da informação;
- Mais estabilidade;
- Mais segurança de acesso à informação;
- Otimização do fluxo de informação permitindo mais agilidade e organização;
- Informações de melhor qualidade, essenciais para uma boa tomada de decisão.

Observações: Um Sistema de Informação não precisa ter essencialmente computadores envolvidos, basta ter várias partes trabalhando entre si para gerar informações.

Ele pode ser tanto manual quanto baseado em TI, ou uma mescla dos dois. Acontece que um Sistema de Informação grande, dificilmente sobrevive atualmente sem estar informatizado, o que por si só, não elimina o fator humano no processo. É a interação dos componentes da TI com o componente humano que faz com que um Sistema de Informação tenha funcionalidade e utilidade para a organização, (Maclean,1999).

2.3.2 Sistemas de informação geográfica- SIG e seus tipos

Atualmente o número de SIG disponíveis no mercado gira em torno de setenta. Deste total uns 20 são classificados como não comercias e 50 são comercializados que variam de alguns milhares até uma dezena de milhar.

Os softwares não comercias que merecem os destaques são:

Spring: é um sistema de informação geográfica no-estado-arte com funções de analises especial, processamento digital de imagens, geostatística, modelagem numérica e consulta a base de dados geográficos. Embora seja distribuído gratuitamente em versões para a plataforma Windows e Linux, o Spring não é propriamente um software livre, mas um freeware, uma vez que o seu código-fonte matem fechado e as entidades que desenvolveram mantém o copyright.

Grass: um verdadeiro software livre desenvolvido por programadores de várias partes do mundo, originalmente para plataformas Linux. O seu código-fonte está disponível na internet e pode ser usado livremente, de acordo com os conceitos da licença pública geral que concede o direto de qualquer usuário de executar, copiar, estudar, modificar e aperfeiçoar o software, o GRASS trabalha com dados raster e vectorial e tem funções para processamento de imagens e análise espacial.

Os softwares comercias que merecem os destaques são:

IdrisI: é um SIG de baixo custo desenvolvido no laboratório Clarck na UNIVERSIDADE de Clarck, Estados Unidos, com propósitos educacionais. A distribuição atual para a plataforma Windows, está na sua 15 versão denominada Andes. Opera com dados raster e incorpora sofisticadas ferramentas para a análise espacial, modelamento de dados geográficos e processamento de imagens digitais de sensoriamento remoto.

ArcGIS: segundo a empresa ESRI, responsável pelo seu desenvolvimento e distribuição, é um SIG com poderosas ferramentas para análise e gerenciamento de dados espacial (raster e vectorial) e também para criação, visualização e cartografia de dados geográficos, ele é um SIG modulado que funciona na plataforma Windows. Apresenta soluções completas para usuários de computadores pessoais ou de ambientes compartilhados nas empresas e internet.

Hidro GeoAnalyst: ainda pouco conhecido, é um software para gerenciamento., tratamento e visualizações de dados hidrogeológico. Desenvolvido pela Schlumberger

Water Services, para plataformas Windows, inclui ferramentas de geração de relatórios de mapas de contorno e de edição de perfis de poços.

2.3.3 Componentes do SIG

Para que os SIG se apresentam como ferramentas capazes e seguras, na resolução de problemas espaciais deve- se ter em conta a maneira como se estruturam e organizam as suas várias componentes. As diversas componentes do SIG devem atuar e ser geridas de igual importância, se o que, o sistema não funcionara (Machado, 2000).

As componentes de um SIG são:
Hardware, Software, dados, os indivíduos e os processos de análise de informação.

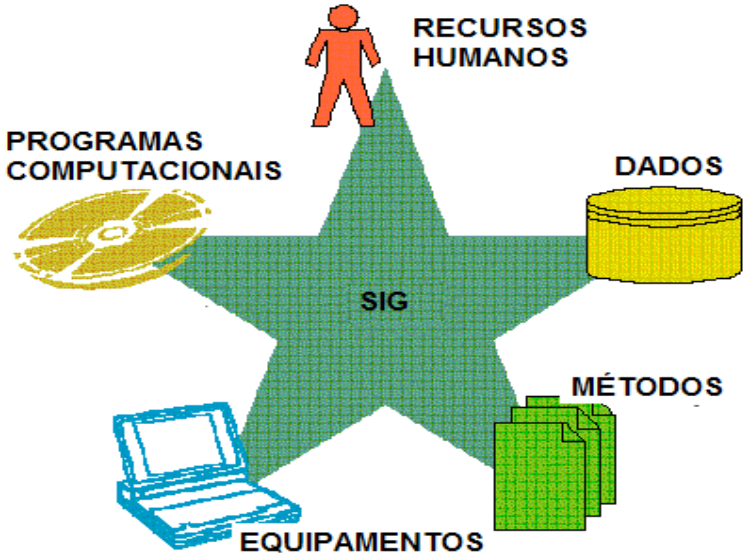

Figura 7- Uma aplicação de SIG
Fonte: [RAPER & MAGUIRE, 1992]

- Hardware: constitui o conjunto de equipamento utilizado para processar e armazenar de uma forma automática a informação. Nesta categoria vamos incluir os computadores, servidores, impressoras, mesas digitalizadoras, receptores de GPS, vídeos projetores que são usados nos processos de análise, armazenamento e gestão de dados, visualização e disseminação da informação.
- Software: constitui a parte logica do computador, ou conjunto de instruções e programas que tornam possível o desenvolvimento de operações automáticas**.**

Como afirma Burrough (1986) citado por machado (2000), são cinco os conjuntos gerais de softwares a considerar em um SIG:

1. De entrada de dados e sua verificação e correção;

2. De armazenamento e gestão das Bases de Dados;

3.De transformação e análise de dados;

4. De saída de dados e sua apresentação;

5. De interação entre maquinas e utilizadores;

- Os indivíduos: constitui o grupo de especialistas que têm como missão o desenvolvimento de atividades que visam dar respostas aos problemas geográficos quotidianos. Nos dias que correm a sociedade tem testemunhado a existência de computadores com hardware e software de ponta, por isso espera-se que tenhamos os operadores mais experientes.
- Analise: processo no qual os dados importados pelo SIG, são transformados pelo operador com intuito de gerar informações e conhecimento.
- Dados: são representações de factos, eventos ou fenômenos que servem de veículo para interpretação de um aspecto qualquer depois de processos pelo homem ou processamento automático.

- Netwere

2.3.4 Importância do SIG na geociência

Atualmente, um SIG pode ser aplicado a praticamente todas as atividades humanas, uma vez que essas atividades são sempre executadas em algum local, em alguma posição geográfica. As grandes aplicações de Sistemas de Informações Geográficas requerem a montagem de uma equipe multidisciplinar, envolvendo profissionais de informática, bancos de dados, cartografia (cartografia, sensoriamento remoto, fotogrametria, Geodésia, etc.) e os outros profissionais das áreas de aplicações do SIG, ou seja, se o SIG estiver sendo aplicado na gestão de distribuição elétrica, se fazem necessários na equipe os profissionais diretamente relacionados com gestão de eletricidade, o mesmo raciocínio pode ser feito com relação a agricultura, planejamento urbano, etc. Além desses profissionais, se faz necessário contemplar também as pessoas que utilizarão as informações geográficas produzidas pelo sistema, pessoas essas, nem sempre relacionadas com a aplicação ou a instituição onde o sistema está implantado. Desta forma, é possível categorizar os recursos humanos em três grupos, o núcleo de geométrica, os usuários temáticos e os usuários gerais.

2.3.5 A teledetecção e sua aplicação no SIG

Segundo Lillesand e Kiefer (1994), a definição clássica do termo sensoriamento remoto (SR) refere-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles. Para melhor compreender esta definição, faz-se necessário identificar os quatro elementos fundamentais das técnicas de SR, os quais podem ser representados através do esquema apresentado na figura.

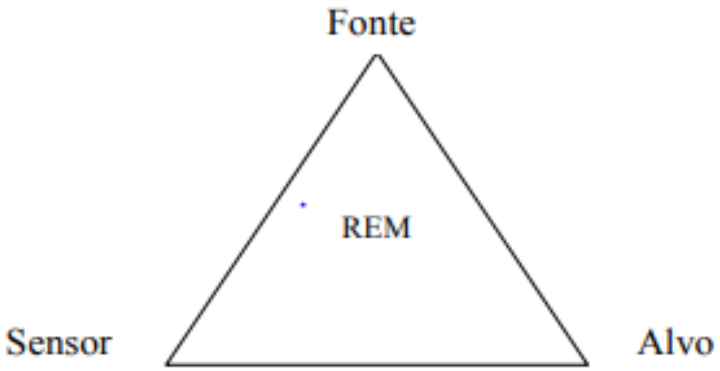

Figura 8- esquema do sensoriamento remoto
Fonte: Lillesand e Kiefer (1994)

No centro do triângulo deste esquema, encontra-se a Radiação Eletromagnética (REM), que é o elemento de ligação entre todos os demais que se encontram nos vértices. São eles, a fonte de REM, que para o caso da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo dos recursos naturais, é o Sol (pode ser também a Terra para os sensores passivos de micro-ondas e termais, podem ser antenas de micro-ondas para os sistemas radares); o sensor, que é o instrumento capaz de coletar e registrar a REM refletida ou emitida pelo objeto, que também é denominado alvo, e que representa o elemento do qual se pretende extrair informação.

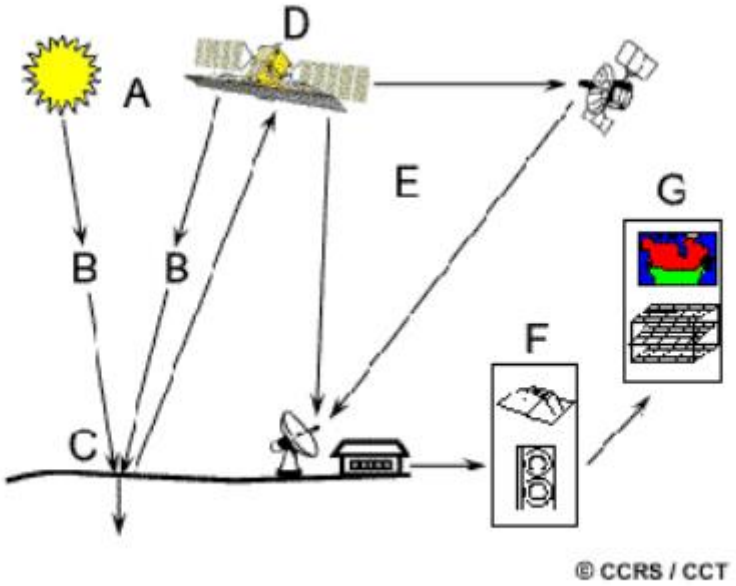

Figura 9- Processo de coleta de informação
Fonte: (Johnson, 2009).

Sensoriamento Remoto utiliza sensores a bordo de satélites e aeronaves para capturar informações sobre a superfície e atmosfera terrestre;
Os sensores variam de acordo com a capacidade de detalhamento da observação espacial, espectral, temporal e radiométrica;

Os sinais capturados pelos sensores são transmitidos para a Terra, recebidos em estações onde eles são transformados em imagens digitais. Muitas outras tecnologias, ciências e técnicas são utilizadas na aquisição e manipulação de informações geográficas, entre elas, estão a cartografia, a geodesia, a topografia, a fotogrametria e os sistemas de informações geográficas (SIG), que são: o um sistema para entrada, manipulação e exibição de informações geográficas; o uma categoria de programa computacional; o uma instância prática de um SIG combina programa computacional com equipamentos, dados, usuários e procedimentos, para resolver um problema, auxiliar decisões e planejamentos(Johnson, 2009).

2.3.6 A integração dos dados geográficos e alfa numéricos na gestão de água subterrâneas

O espaço geográfico é o meio físico onde as entidades geográficas coexistem. Uma entidade geográfica é qualquer entidade identificável do mundo real, possuindo características espaciais e relacionamentos espaciais com outras entidades geográficas
[Gatr91].
Dado espacial é qualquer tipo de dado que descreve fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial. Dados geográficos ou georreferenciados são dados espaciais em que a dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da terra, num determinado instante ou período de tempo [CCHM96].
Os dados geográficos possuem três características fundamentais: características espaciais, não-espaciais e temporais [Dang90, MePi94, LaTh92]. As características espaciais informam a posição geográfica do fenômeno e sua geometria. As características não-espaciais descrevem o fenômeno e as características temporais informam o tempo de validade dos dados geográficos e suas variações sobre o tempo. A representação espacial de uma entidade geográfica é a descrição da sua forma geométrica associada à posição geográfica.
Os dados geográficos possuem propriedades geométricas e topológicas. As propriedades geométricas são propriedades métricas. A partir de feições geométricas primitivas, tais como pontos, linhas e polígonos, os quais representam a geometria das entidades, são estabelecidos os relacionamentos métricos. Esses relacionamentos expressam a métrica das feições com referência a um sistema de coordenadas. De acordo com a geometria são estabelecidas algumas propriedades geométricas tais como, comprimento, sinuosidade e orientação para linha; perímetro e área da superfície para polígonos, volume para entidades tridimensionais, e forma e inclinação tanto para linhas quanto para polígonos [LaTh92].
Já as propriedades topológicas (não-métricas) são baseadas nas posições relativas dos objetos no espaço como conectividade, orientação (de, para), adjacência e contenção.
Observa-se que alguns conceitos espaciais podem ser medidos tanto no domínio geométrico quanto no topológico. A proximidade, por exemplo, pode ser obtida tanto através de adjacência quanto da distância Euclideana1 [LaTh92].

2.3.7Modelação de processos e dados georreferênciaveis

2.4.1 processos e seus dados

Segundo Harrington (1993, p. 10), processo é qualquer atividade que recebe uma entrada (input), agrega-lhe valor e gera uma saída (output) para um cliente interno ou externo. Os processos fazem) para um cliente interno ou externo. Os processos fazem uso dos recursos da organização para gerar resultados concretos‖. O processo de fabricação recebe como entrada uma solicitação do cliente e matéria-prima, trabalha essa matéria-prima segundo as especificações do produto e gera o produto solicitado pelo cliente.

Figura 10- exemplo de um processo produtivo completo
Fonte: Robert S. Kaplan e David P. Norton.

Dado é a base para a informação. Ele não é capaz de descrever uma situação por completo. Ele pode ser quantificado, mas não qualificado, os dados podem ser considerados a unidade básica da informação, sem dados, não temos informações, pois estas são criadas a partir daqueles. De maneira geral, é o conteúdo quantificável e que por si só não transmite nenhuma mensagem que possibilite o entendimento sobre determinada situação, (1993, p. 10).

Dados são observações documentadas ou resultados da medição. A disponibilidade dos dados oferece oportunidades para a obtenção de informações.
Os dados podem ser obtidos pela percepção através dos sentidos (por exemplo observação) ou pela execução de um processo de medição. A Figura abaixo ilustra as fontes dos dados.

2.4.2 Modelação de processos

Modelagem de Processos significa desenvolver diagramas (Diagramas de Processos) que mostram as atividades de um processo, ou de uma área de negócios, e a sequência na qual são executadas. Muitos negócios são

relativamente complexos, assim um modelo poderá consistir de diversos diagramas, e o alvo da modelagem é ilustrar um processo completo, permitindo aos gestores, consultores e colaboradores melhorarem o fluxo e aperfeiçoarem o processo. Modelagem de Processos significa desenvolver diagramas (Diagramas de Processos) que mostram as atividades da empresa, ou de uma área de negócios, e a sequência na qual são executadas. Muitos negócios são relativamente complexos, assim um modelo poderá consistir de diversos diagramas, e o alvo da modelagem é ilustrar um processo completo, permitindo aos gestores, consultores e colaboradores melhorarem o fluxo e aperfeiçoarem o processo. Modelagem de Processos significa desenvolver diagramas (Diagramas de Processos) que mostram as atividades da empresa, ou de uma área de negócios, e a sequência na qual são executadas. Muitos negócios são relativamente complexos, assim um modelo poderá consistir de diversos diagramas, e o alvo da modelagem é ilustrar um processo completo, permitindo aos gestores, consultores e colaboradores melhorarem o fluxo e aperfeiçoarem o processo (Filho *et al.,* 2011).

E para a construção desses diagramas atualmente temos algumas linguagens para construções desses diagramas de processos, E alguns dos seus objetivos, especificações e notações, mostrando algumas ferramentas existentes para modelagem das mesmas e finalizando com uma comparação entre elas, A modelagem de processo tem sido desenvolvida como uma tecnologia para descrever processos tais que eles possam ser entendidos e desenvolvidos com maior visibilidade organizacional. Dentro da área de modelagem de processos existem muitos métodos e notações que podem ser usados para descrever o processo sobre uma ótica mais detalhista. Estes métodos variam desde notações formais rigorosas (notação matemática), até notações mais gráficas (mais fáceis de entender). Cada um desses tipos de notações tem as suas vantagens e problemas. Geralmente, as notações formais podem ser executadas em um computador como programas para se estudar em detalhes (Filho *et al.,* 2011).

Os resultados da modelagem de um processo são essencialmente: acréscimo de valor para o cliente e redução de custos para a empresa. O que, consequentemente, conduz a empresa ao aumento de negócio é uma ferramenta, um resultado de desempenho por si só, A saída final deve ser a melhoria na maneira como funciona, o foco das melhorias está nas ações que geram valor agregado ao negócio, ou seja, que melhoram o serviço e a experiência do cliente, além de reduzir tempo e esforço gastos.
Utilizamos BPI (Business Process Improvement), para a melhoria de processo de negócio, ele é uma metodologia (abordagem) que processos de negócio com objetivo de alcançar as metas e melhorar os resultados dos processos. O primeiro passo da BPI é determinar o cenário atual dos processos, ou seja,
AS-IS (que o cenário atual) e depois definir o cenário futuro, ou seja, TO
OS dois tipos principais de modelos de processo:
· Modelo “as is” or baseline (a situação atual);
· Modelo “to be “ (a nova situação pretendida).
Figura 5.1.1- exemplo ilustrativo do processo do negócio ajuda a otimizar e entender os dois ” dos modelos AS-IS e TO-BE (“Fonte: Rildos F. Santos, 2004
TO-BE.

O principal objetivo da modelagem de processos é representar os processos de uma maneira clara e formal em diferentes níveis de abstração. A disponibilidade de modelos completos permite uma análise crítica das atividades existentes para definir melhorias e racionalizações dos processos (Rildos F. Santos, 2004).

2.4. 3 Dados geográficos

O espaço geográfico é o meio físico onde as entidades geográficas coexistem. Uma entidade geográfica é qualquer entidade identificável do mundo real, possuindo características espaciais e relacionamentos espaciais com outras entidades geográficas [Gatr91]. *Matricial*. A representação em formato *matricial* (também chamada *raster* ou tesselação) é caracterizada por uma matriz de células de tamanhos regulares, onde para cada célula é associado um conjunto de valores representando as características geográficas da região [Bote95]. As células podem ser de diferentes formatos: triangulares, hexagonais e retangulares (também chamadas de *pixels*). O termo *raster* designa células regulares. No entanto, é usado de forma genérica para representação matricial [CCHM96]. Os relacionamentos topológicos no espaço são implicitamente determinados a partir da vizinhança das células e as coordenadas geográficas (longitude, latitude) ou planas (x, y) são obtidas indiretamente a partir da posição da célula na matriz (coluna, linha). Imagens de satélite e modelos digitais de terreno são naturalmente representados no formato matricial.
A representação em formato vetorial utiliza pontos, linhas e polígonos para representar a geometria das entidades geográficas. Pontos são representados por um par de coordenadas, linhas por uma sequência de pontos e polígonos por uma sequência de linhas onde a coordenada do ponto inicial e final coincidem. Entidades geográficas lineares, como ruas, divisões político-administrativas e redes de tráfego, são naturalmente representadas em formato vetorial. As redes são casos especiais de dados vetoriais, onde são utilizados arcos e nós conectados na representação do fluxo e da direção da rede. As operações topológicas e métricas são comuns em representações vetoriais.
As visões de *campos* e *objetos* são mapeadas nos SIGs dentro de estruturas *matricial* ou *vetorial*. Para alguns autores, *campos* são representados no formato matricial e *objetos* são representados no formato vetorial [MePi94, PeBS97, Fran92, Cama95]. Já em
[CCHM96], encontramos que campos são frequentemente representados no formato matricial e objetos geográficos são tipicamente representados no formato vetorial. Para
[LiIo96] cada um desses modelos pode ser mapeado em uma ou outra estrutura, sendo que alguns se adequam melhor à estrutura matricial e outros à estrutura vetorial. O exemplo das curvas de nível ilustra bem a colocação feita em [LiIo96]. Elas são representadas na visão de *campos* e, no entanto, para implementação se adequam melhor à estrutura *vetorial* e não à *matricial*. Já imagens, que também são representadas na visão de *campos,* são naturalmente mapeadas na estrutura *matricial*. As definições de *campos* e *objetos* utilizadas nesta dissertação não estão necessariamente associadas a nenhum dos dois formatos de representação.
O formato vetorial pode ser representado em diversos modelos de representação. Esses modelos são relacionados às técnicas de armazenamento de objetos espaciais, como, por exemplo, o modelo *Spagetti*, o modelo *Topológico e* o modelo de *Grafo,* e podem ser implementados em diversas

estruturas. De acordo com [Cere96], não existe um consenso na forma de representação geométrica em um SIG, fazendo com que diferentes implementações utilizem modelos de representação diferentes. Uma descrição detalhada desses modelos pode ser vista em [LaTh92].

2.4.4 A geodatabase e sua modelação

Um geodatabase é um banco de dados relacional que armazena dados geográficos. O geodatabase é um container para armazenar dados espaciais e de atributo e relacionamentos que existem entre eles [LaTh92].
Em um banco de dados geográficos, as geometrias e as descrições dos elementos que representam as características do mundo real são armazenadas, gerenciadas e processadas em um único ambiente computacional, o Sistema Gerenciador de Bancos de Dados Relacional.
Existem muitos SGBDR's que suportam dados geográficos a partir da utilização de drivers específicos, entre eles se pode destacar o PostgreSQL com o driver PostGIS, o Oracle com os drivers Spatial e SDE, Ingres, SQLServer, Sybase, Informix e Access, entre outros. O driver tem a função de realizar conversão, inserção, recuperação e extração de dados geográficos junto ao SGBDR, na figura 12 é possível observar um banco de dados geográficos no ambiente do SGBDR Access, (Filho *et al.,* 2011).

O Geodatabase funciona como um depósito de dados espaciais e descritivos, onde os dados geográficos são armazenados em Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados
Relacionais (SGBDR). O Geodatabase é uma solução escalável, pois existe o *Personal*
Geodatabase, *Enterprise Geodatabase* e na versão 9.2, existe também o *File Geodatabase*.
Além disso, suporta integridade e regra nos dados. O ArcGIS possui ferramentas de conversão de dados, viabilizando desta forma, a utilização de dados existentes.

2.4.5 os processos na indústria de águas subterrâneas

2.4.6 Modelação de processos de prospecção de águas subterrâneas

Segundo (Rildos F. Santos, 2006) a prospecção é um projeto, ou seja, um conjunto de atividades e tarefas especificas não repetitivas sequencialmente independentes, com determinado objetivo para se atingir determinadas especificações, possuindo um tempo de realização limitado, recursos naturais humanos e financeiros limitados.

Os campos de atividade da prospecção mineira podem ser definidos da seguinte forma:

- Planeamento e execução dos trabalhos de procura, observação, definição e interpretação de jazidas minerais;
- Avaliação da eficiência de projetos de prospecção e desenvolvimento das jazidas;
- Estudos de melhor exploração dos jazigos;

- Análise de mercados de bens baseada na tipologia até jazidas em termos de desenvolvimento estruturais económicos e preços.
- Participação nas discussões para a definição de alvos e perspectivas de uma política;

Os resultados da modelagem de um processo são essencialmente: acréscimo de valor para o cliente e redução de custos para a empresa. O que, consequentemente, conduz a empresa ao aumento de lucros. Um diagrama de modelo de processo é uma ferramenta, ou seja, um meio para se atingir um fim determinado e não um resultado de desempenho por si só, (Rildos F. Santos, 2006).

A saída final deve ser a melhoria na maneira como o processo funciona, o foco das melhorias está nas ações que geram valor agregado ao negócio, ou seja, que melhoram o serviço e a experiência do cliente, além de reduzir tempo e esforço gastos.

Utilizamos BPI (Business Process Improvement), para a melhoria de processo, ele é uma metodologia que ajuda a otimizar e entender os processos de negócio com objetivo de alcançar as metas e melhorar os resultados dos processos. O primeiro passo da UML é determinar o cenário atual dos processos, ou seja, AS-IS (que o cenário atual) e depois definir o cenário futuro, ou seja, TO-BE, (Rildos F. Santos, 2006).

OS dois tipos principais de modelos de processo:

- Modelo "**as is**" or baseline (a situação atual);
- Modelo "**to be** " (a nova situação pretendida).

2.4.7 A gestão de águas subterrâneas nas minas

No âmbito do processo de reformas das políticas do sector de águas em curso no país, muitas esperanças foram confiadas na Direção Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento (DNAAS) e seus parceiros sociais para definir e estabelecer princípios básicos, que permitam uma gestão comunitária eficaz e eficiente das infraestruturas de abastecimento de águas subterrâneas e

saneamento,(DNAAS,2015).

Figura 11 - Abastecimento de água nas comunidades

Fonte: http://dw.angonet.org/DW publicações

O abastecimento de águas subterrâneas para fins domésticos, de boa qualidade, em quantidades suficientes e de maneira sustentável, é uma tarefa nada fácil. Muito mais difícil é em zonas rurais, para comunidades de escassos recursos e onde o governo, especialmente ao nível municipal, tem pouca capacidade de cumprir com o seu dever de prover serviços básicos aos cidadãos. Prova das dificuldades que ainda persistem, depois de muitas décadas de experiências e lições aprendidas, é o baixo nível de sustentabilidade da grande maioria dos sistemas de água instalados. Na maioria dos casos é porque ainda estão a ser usados os modelos tradicionais falhados, ou o modelo sem apoio externo algum, (DNAAS, 2015).

O modelo de gestão mais apropriado depende em grande medida do nível de complexidade da tecnologia empregue no sistema, especialmente no que diz respeito ao nível de organização e formação técnica exigido aos gestores e operadores. Portanto, está secção começa com uma breve descrição dos diferentes sistemas de águas subterrâneas mais frequentemente utilizados nos contextos rural. A captação de água das chuvas não está incluída por ser um sistema de propriedade e manejo privados e, portanto, por não ter relevância no contexto da gestão comunitária.

2.5.1 O estudo de ocorrências de águas subterrâneas em Angola

A temática da localização, caracterização e exploração de aquíferos há muito tempo que vem sendo discutida por especialistas de vários estratos da sociedade, dada a aplicação destes no abastecimento de água a população, (Porphírio,Barbosa&Bertolino,2010).

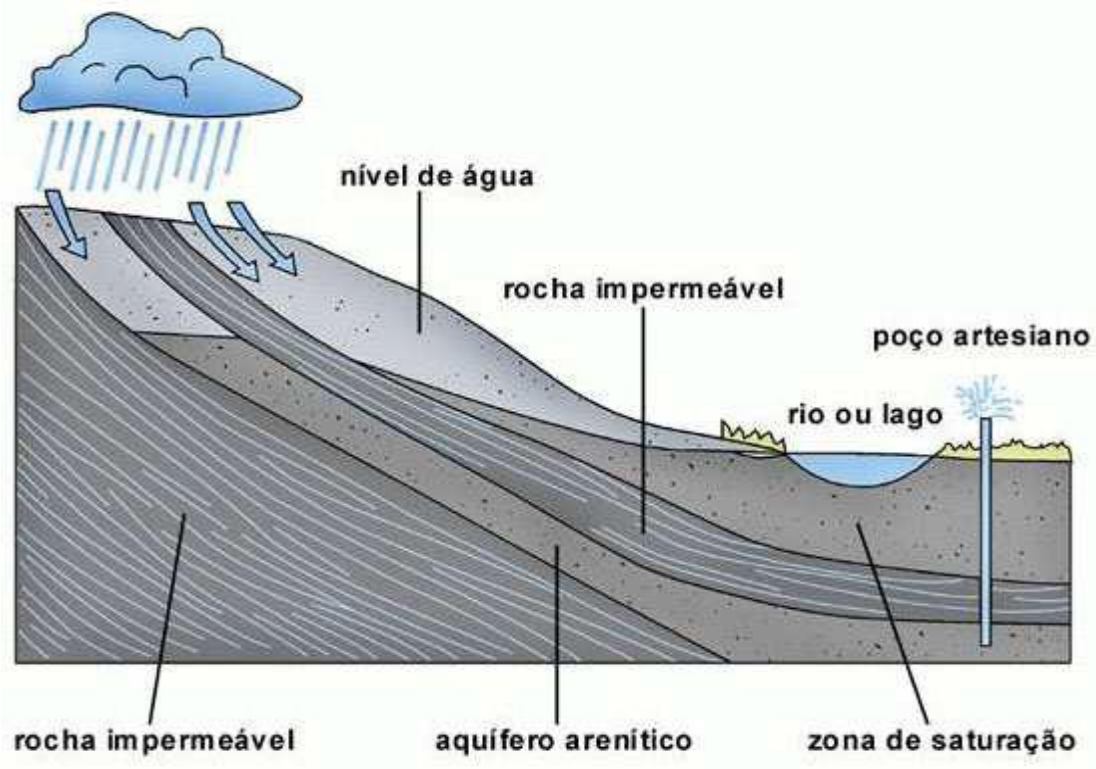

Figura 12 - Perfil hidrogeológico expressando a ocorrência de unidades aquíferas
Fonte: *hidrogeologia.no.sapo.pt/aquiferos.htm*.

Para os autores supramencionados, nos relatórios de pesquisas geológicas (principalmente geologia de aguas), é importante que não constem apenas informações sobre as características físicas e químicas das aguas contidos nas rochas, mais que tais espelhem também dados quantitativos para que se possa estimar o volume de produção ao longo dos anos e os possíveis benefícios económicos e sociais para a região.
Nas investigações geológicas, os especialistas recorrem a utilização cuidada de vários métodos (com destaque ao Geofísico, Magnético e Geoquímico), para o alcance de dados fiáveis e a formulação de hipóteses que estejam relacionadas com os fenómenos geológicos ocorridos nos tempos remotos da história da Terra, (Fernandes & Pedro, 2007).
A Geofísica é a aplicação dos princípios da Física no Estudo da Terra. Os seus objetivos prendem-se com a detecção e localização de estruturas geológicas no solo e subsolo, bem como a determinação da sua geometria e dimensão Dohr (1974) e Khan (2000), mencionados por Chissingui (2010).

Na aplicação do método Geofísico (no ponto de vista de investigação), recorre-se a utilização de alguns métodos de prospecção, tais como: o método Gravimétrico, Magnético, Eletromagnético, Sísmico, Radiométrico e Ground Penetrating Radar.

Chissingui (2010), acrescenta que ao selecionar um método, é importante saber o tipo de aquífero em questão, dadas as características físicas de determinados aquíferos não se adequarem a certos métodos.
Chissingui (2010), relacionando a vizinhança de Angola com a Namíbia e África do Sul, argumenta que a região da África subsaariana se encontra numa zona privilegiada em termos de águas subterrâneas, chamando assim a atenção para estudos apurados, com recurso a tecnologia de ponta, no estudo pormenorizado e aproveitamento destes recursos.
O território angolano, além das importantes reservas de petróleo nas províncias de Cabinda, Zaire, Luanda, Cuanza-Sul, Benguela e Namibe, ostenta também importantes reservas hidrográficas, florestais, bem como de minerais metálicos e não metálicos, principalmente nas províncias do ocidente angolano, ouro, ferro, entre outros.
Segundo Gouveia, Pedro, Monteiro, Nascimento e Neto, (sem ano), a província do Cunene geologicamente pertence ao Sistema Bembe, sendo que esta enquadra-se numa zona abundante em aquíferos, ainda com base na pesquisa destes autores, na região do Curoca existem aquíferos não descobertos.

2.5.2 águas subterrâneas nas minas.

A necessidade de utilização de água em diversas etapas da cadeia produtiva vem fazendo com que esta seja considerada um dos principais insumos no setor de mineração, aumentando de maneira exponencial a preocupação com o conhecimento das fontes disponíveis para reposição da água consumida.
A água está presente em quase todas as etapas do processo produtivo, desde a etapa de pesquisa mineral que antecede o estabelecimento de uma mina seguida pelas etapas de lavra, tratamento do minério até a metalurgia extrativa (CIMINELLI *et al.*, 2006).

As fontes responsáveis pela reposição da água consumida na mineração são basicamente:

- Superficiais;
- Subterrâneas;
- Reciclagem;
- Recirculação.

As fontes superficiais são classificadas como aquelas provenientes de lagos naturais, cursos de água ou barramentos implantados como o objetivo exclusivo de preservação de água. Normalmente são as mais utilizadas nos processos de beneficiamento devido à disponibilidade e, na maioria dos casos, não possuírem contaminações significativas que possam afetar o desempenho dos processos, embora a eventual necessidade de tratamento, a escassez e as restrições ambientais possam limitar a utilização e favorecer a busca por outras alternativas (ANA, 2006).

As fontes subterrâneas são viabilizadas nas situações em que a disponibilidade superficial é reduzida, quando existem restrições ambientais quanto à captação e principalmente nas situações em que há a necessidade de rebaixamento do aquífero para permitir as operações de lavra, atividade conhecida como rebaixamento do lençol freático. No entanto, em muitos casos, os sistemas

aquíferos não possuem regularidade ou capacidade de abastecimento para atendimento completo às demandas da mineração.
As águas de reciclagem e recirculação são aquelas provenientes das barragens de rejeito ou das etapas internas do processo na qual existe o desaguamento, como filtragem, peneiramento e espessamento.

Enfatiza-se que existem situações particulares nas quais a necessidade de rebaixamento do lençol freático extrai volume de água superior à demanda da mina, cujo excedente é lançado diretamente no curso de água e, desta forma, artificialmente aumenta a disponibilidade hídrica superficial durante a operação da mina. Entretanto, esta situação não é caracterizada como uso consuntivo e não tem interesse para este estudo.
Em termos quantitativos, o volume de água necessário para as atividades de mineração está relacionado diretamente a fatores como:

- Método de lavra;
- Tipo do minério a ser beneficiado;
- Processo utilizado no beneficiamento.

Na fase de pesquisa, a utilização e consumo estão basicamente relacionadas ao abastecimento humano dos pesquisadores e no resfriamento dos equipamentos utilizados nas sondagens. Entretanto, por se tratarem de pequenos volumes, esta fase não será analisada neste trabalho.
De maneira geral, as etapas que mais precisam de água são a lavra e o beneficiamento, sendo este constituído por operações de peneiramento, moagem, filtração, flotação e lavagens diversas, além de usos difusos como umectação de vias, lavagem de caminhões e máquinas e o abastecimento humano dentro das unidades industriais.
Para exemplificar o uso e consumo de água na mineração serão abordadas algumas etapas específicas de lavra e processos de beneficiamento que utilizam ou consomem grande quantidade de água, ressaltando que nem todas as etapas descritas são caracterizadas como obrigatórias nos processos, podendo estar presentes ou não de acordo com o tipo de minério e a tecnologia utilizada.

2.5.3 Metodologias e métodos da investigação cientifica

A metodologia de investigação é um conjunto de técnicas e processos que servem para a investigação de algum objecto de estudo. É a partir dela que conseguimos construir uma pesquisa sobre qualquer objecto do mundo natural ou teórico. Isso é possível porque a metodologia de investigação cientifica junta um método com uma lógica, isto é, um modo de se fazer (método) e a sequência de raciocínios a ser seguida (lógica), BURGOYNE; JAMES, 2005; LACERDA et al., 2013).

Sendo assim, a MIC para as ciências em geral é baseada em conhecimentos impíricos. Este que é o conhecimento obtido ao acaso, após inúmeras tentativas, através de acções não planejadas, (Loyola, 2000).

O método se constitui no caminho de construção do discurso científico. Ele é a trajetória que o pesquisador percorre para conhecer o objeto

(fenômeno/investigado) em busca de construir um conhecimento racional e sistemático, o método enquanto construção, resultante de um processo por meio do qual o homem procura conhecer a natureza e a sociedade, deve ser compreendido e explicado como resultado de relações entre homens em contextos históricos particulares e singulares.
Diante disso, ele se altera refletindo o desenvolvimento e as rupturas nos diferentes momentos da história, (FIOCRUZ, 2005).
No processo de desenvolvimento do homem em busca do conhecimento, partindo-se da relação que se estabelece entre sujeito e objeto do conhecimento os tipos de métodos criados são:

Método Indutivo: Esse método prevê que pela indução experimental o pesquisador pode chegar a uma lei geral por meio da observação de certos casos particulares sobre o objeto observado. Nesse sentido, o pesquisador sai das constatações particulares sobre os fenômenos observados até as leis e teorias gerais

Método Dedutivo: O método dedutivo parte das teorias e leis consideradas gerais e universais buscando explicar a ocorrência de fenômenos particulares. O exercício metódico da dedução parte de leis universais que supostos constituem as premissas do pensamento racional e deduzidas chegam a conclusões. O exercício do pensamento pela razão cria uma operação na qual são formuladas premissas e as regras de conclusão que se denominam demonstração, (LAKATOS, MARCONI, op. cit, p. 63).

Método Hipotético-dedutivo: método hipotético-dedutivo surge de uma crítica profunda ao indutivismo metodológico. Esse método pressupõe o uso de inferências dedutivas como teste de hipóteses. Karl Popper (*apud* FERREIRA, 1998) propõe como caminho para essa trajetória metodológica o cumprimento das seguintes etapas:

- Expectativas e teorias existentes;
- Formulação de problemas em torno de questões teóricas e empíricas;
- Solução proposta, consistindo numa conjectura; dedução das consequências na forma de proposições passíveis de teste sobre os fenômenos investigados;
- Teste de falseamento: tentativas de refutação, entre outros meios, pela observação e experimentação das hipóteses criadas sobre os problemas investigados.

Método Dialético:

O método dialético se propõe a penetrar no mundo dos fenômenos por meio de sua ação recíproca, da contradição inerente ao fenômeno e da mudança dialética que ocorre na natureza e na sociedade. Entende a realidade social como totalidade, que se constitui na categoria fundamental para aproximação do real, (ALVES, 2000, p.131-2, grifo nosso).

2.5.4 O método DSR

Design Research ou Design Science Research É um processo de utilização de conhecimento para projetar e criar artefatos úteis e, em seguida, usando vários métodos rigorosos para analisar por que, ou por que não, um determinado artefato é eficaz artificial (SIMON, 1996).

Segundo Popper (2006, p. 61), "As teorias são redes, lançadas para capturar aquilo que denominamos mundo: para racionalizá-lo, explicá-lo, dominá-lo." Na base da construção das teorias, estão os métodos científicos de pesquisa. Os métodos de pesquisa consistem em um conjunto de regras e procedimentos, aceitos pela comunidade acadêmica, para a construção do conhecimento científico (ANDERY et al., 2004). De fato

Segundo Aken (2004), a utilização da DSR aumenta a relevância da pesquisa visto que seus resultados atuam como uma prescrição que auxiliaria em soluções para problemas reais, podendo de forma generalizada utilizar o conhecimento adquirido em cenários práticos. Sendo um método de pesquisa orientado às resoluções de problemas, a DSR trata-se de um método que tem como meio operacionalizar e fundamentar a pesquisa quando esta tem por objetivo a confecção de um artefato que, mesmo concebidos de forma genérica, possam ser avaliados e refletidos em cenários específicos (HEVNER et. al., 2004). Mesmo gerando resultados a partir de um processo, o método contribui para fortalecer a base de conhecimentos existentes, podendo colaborar para o aprimoramento de teorias.

Dois fatores são fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa em DSR: A relevância e o rigor.
A relevância – que garante soluções práticas a partir dos resultados da pesquisa na utilização pelos colaboradores das organizações;
Rrigor – que torna a pesquisa confiável a fim de contribuir na base de conhecimentos em áreas específicas. A validade das pesquisas se sustenta na comprovação que o artefato desenvolvido tem condições de atender aos objetivos da pesquisa. A pesquisa deve ser capaz de responder questões preconizando a ciência (SELLTIZ et al., 1995).
Já a avaliação dos artefatos deve evidenciar que estes resolvam problemas reais. A avaliação de um artefato é feita em cinco formas, sendo:

- A observacional: é verificado o comportamento do artefato em seu ambiente real e com profundidade, o pesquisador não interage com o ambiente, mas simplesmente é um observador;
- A analítica: verifica o desempenho do artefato e a melhoria do sistema quando a ele é agregado;
- A experimental: trata-se da representação do ambiente para avaliar o comportamento do artefato;

- O teste: visa a funcionalidade e a utilidade do artefato, não precisando compreender sua estrutura interna;
- A descritiva: checa a utilidade do artefato em diferentes contextos.

Estabelecida a fase inicial da construção das classes de problemas, é feita uma revisão sistemática da literatura por meio do quadro de soluções empíricas, determinando qual teoria sustentará a melhor compreensão do problema. Essa revisão da literatura ajuda a compreender e identificar os artefatos que ofereçam soluções ao problema levantado. Após serem identificados, é necessário definir a classe de problemas as quais pertencem os artefatos. De acordo com Köche (2013), a revisão sistemática da literatura faz com que o pesquisador perceba as variáveis presentes no contexto escolhido, definindo quais irá trabalhar. É importante salientar que o artefato é um produto concebido pelo homem, sendo ele artificial, conforme defende Simon (1996).

Definido o artefato, segue-se o processo de desenvolvimento do mesmo, em que sua primeira camada é denominada de espaço do design. Essa primeira camada trata-se das possíveis soluções em torno do problema, os possíveis artefatos a serem desenvolvidos e seus requisitos para que sejam funcionais, verificando tudo que existe sobre o problema levantado, assim como na relação da proposta do artefato. A segunda camada se chama concepção do artefato, divididas em quatro subcamadas: a viabilidade, a utilidade, a representação e a construção do artefato. A viabilidade garante que a proposta seja implementável. A utilidade visa demonstrar ao usuário seus benefícios e as razões pela escolha. A representação estabelece qual o formato mais adequado a ser implementado. Por fim, a construção do artefato serve como guia em futura concepção.

Para operacionalizar a DSR, existem 12 passos principais na proposta de condução de pesquisa apontada por Dresch et al. (2015) e ilustrada na Figura:

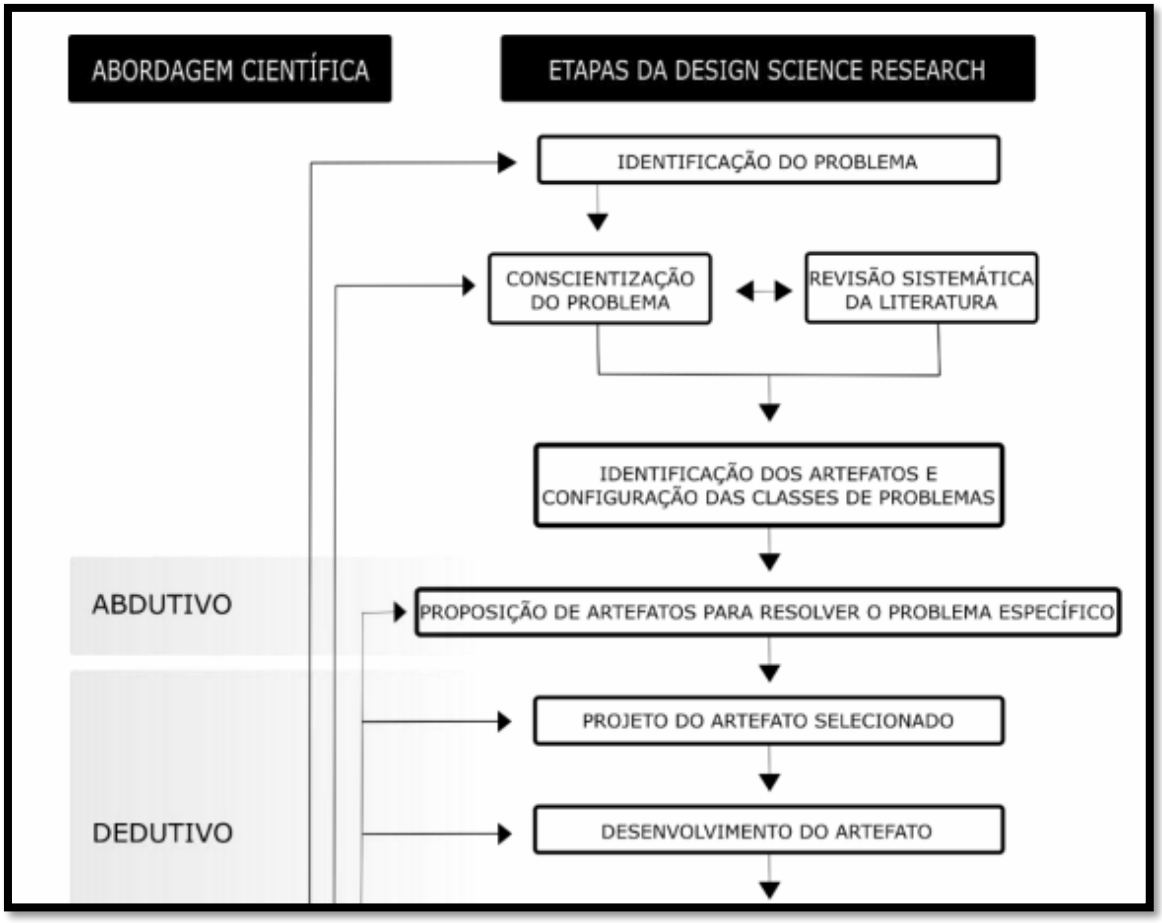

Figura 13 - Representação das etapas da DSR

Fonte: (selltiz et al., 1995).

CAPÍTULO III – METODOLOGIA E MÉTODO DA INVESTIGAÇÃO USADO

3.1 A metodologia da investigação científica usada

para solucionar este problema, a metodologia de investigação científica (MIC), e o método escolhido foi o Dedutivo.

Método Dedutivo: é o método que utiliza o raciocínio lógico para chegar a conclusões mais particulares, ou seja, específicas a partir de princípios e preposições gerais. Consiste na extração de uma verdade geral na qual ela está implícita.

3.3 O método da investigação científica usado (DSR)

Dentro das metodologias de investigação usadas nesta área surgiu, recentemente o método DSR. Este método foca-se no desenvolvimento de artefatos que alargam as atuais fronteiras das tecnologias de informação de forma a melhorar a performance dos negócios e das organizações.
Para a elaboração deste trabalho usou-se o método DSR, esta metodologia utiliza mais comumente em estudo na área de sistemas de informação, engenharia e computação. Tem ganhado como alternativa aos estudos, nas áreas que envolvem o desenvolvimento de artefatos e requerem uma abordagem mais interdisciplinar e colaborativa.
O DSR como método deriva das práticas relativas de design-desenhar ou projetar. O design vem propor alterações em um determinado sistema buscando melhorias. Essas alterações visam o desenvolvimento de produtos ou artefatos não existentes utilizando o conhecimento como fundamento dessa construção.

O método Design Science Research (DSR) é importante pois serve de base para o desenvolvimento de pesquisas voltadas a resolver problemas complexos relevantes.

O Design Science Research (DSR) é o método de pesquisa orientado pelo Design Science.Tendo como principal missão de desenvolver conhecimento para a concepção e desenvolvimento de artefactos.

A abordagem do *Design Science Research* pode orientar pesquisas que se destinam a projetar ou desenvolver algo novo, uma vez que a *design science* tem como foco causar a mudança, criando artefatos e gerando soluções para problemas existentes.

As características da DSR são:

- O pesquisador toma a acção;
- Envolve dois objectivos: (Resolver um problema e contribuir para ciência);
- Requer a interação entre pesquisadores e os participantes da pesquisa.

Etapas do DSR

- Conceitualização
- Sugestão
- Desenvolvimento
- Avaliação
- Conclusão

3.4 Fases de elaboração do trabalho

A metodologia a desenvolver para encontrar aquíferos com ajuda de um SIG, envolve as seguintes fazes:

Identificar o problema, sua descrição, causas e consequências;

Recolha bibliográfica e da informação disponível, pesquisa bibliográfica, análise de relatórios, livros e publicações que abordam sobre o presente trabalho;

Estudo de caso foi escolhido a mina de catoca que serviu de alvo da nossa proposta de monografia com a qual não se estabeleceram contato com a mesma, usando o levantamento de requisitos (“AS-IS” dos processos e dos dados);

Modelação dos dados e dos processos, depois de serem levantados os dados e os processos (TO-BE e AS-IS), definiram-se as linguagens de modelação adequadas aos dados e processos relacionados com o problema;

Protótipo (mapas);

Definição das conclusões e dos resultados.

CAPÍTULO IV – O ESTUDO DE CASO

4 .1 O estudo de caso

A Mina de CATOCA está situada a leste de Angola entre a província de Lunda Sul dista 35 km da capital de Lunda Sul (Saurimo). Foi descoberta pelos garimpeiros em 1973 na época colonial, mais tarde a empresa Catoca foi fundada em 1993 pelo estado angolano em parceria com as empresas ALROSA (Rússia) e ODEBRECHT (Brasil). As suas bases operacionais foram firmadas em 1995, em que foram feitos estudos de prospecção de modo a garantir a sua riqueza e formas de exploração óptima, técnica e racional.

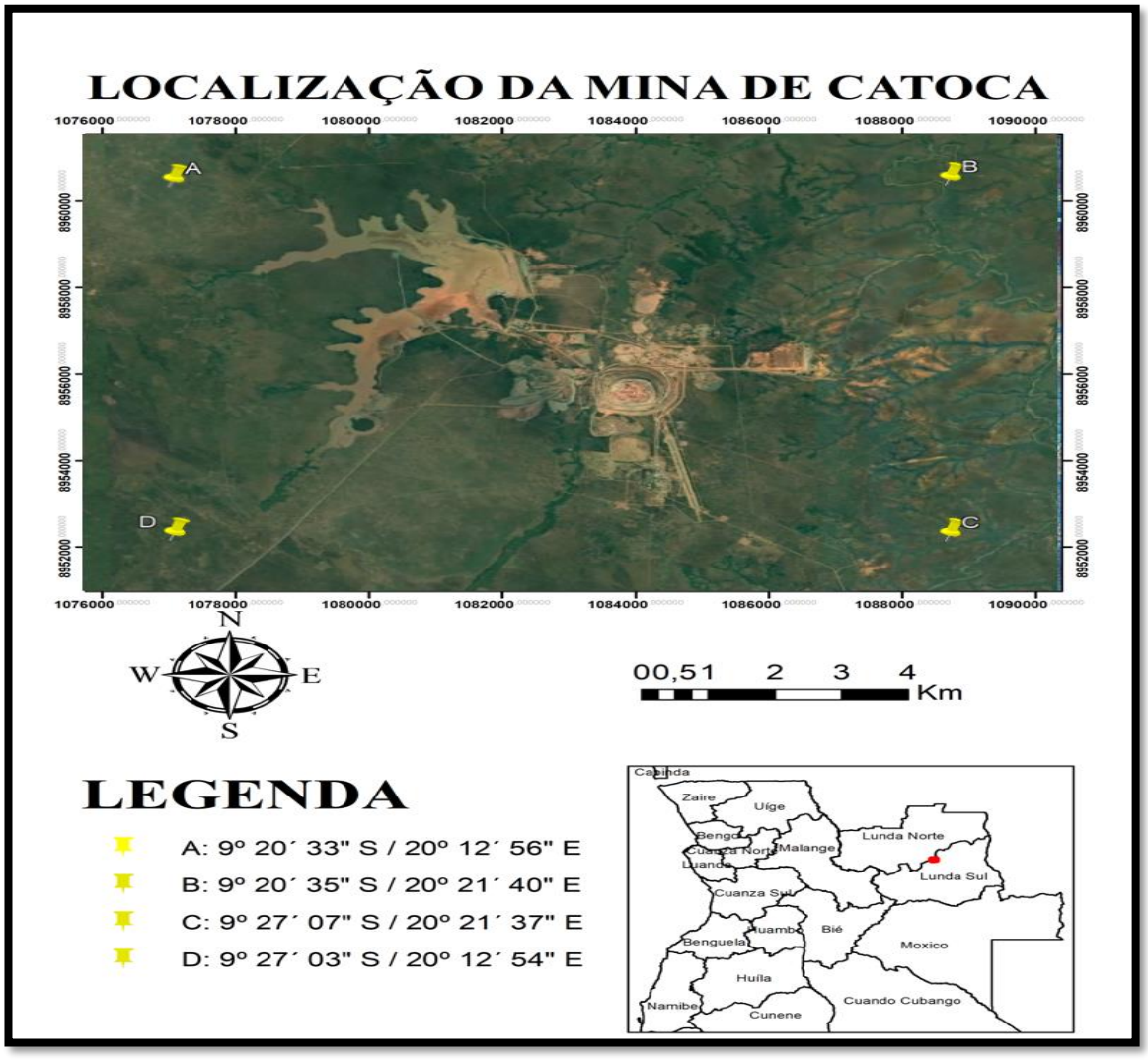

Figura 14 - Localização da área de estudo

Fonte: Google Earth

Apresentação da empresa

A Sociedade Mineira de Catoca é uma empresa de prospecção, exploração, tratamento-beneficiamento e comercialização de diamantes, erguida por iniciativa do governo Angolano para explorar o primeiro kimberlito, de direito angolano e capital misto. Os sócios que formam Catoca, são:

- ENDIAMA, empresa angolana de capital público, com 32,8% de ações;
- ALROSA, empresa Russa de capital público, com 32,8% de ações;
- LEV LEVIEV, empresa Israelita de capital privado com 18,0% de ações;
- ODEBRECHT, empresa Brasileira de capital privado, com 16,4% de ações.

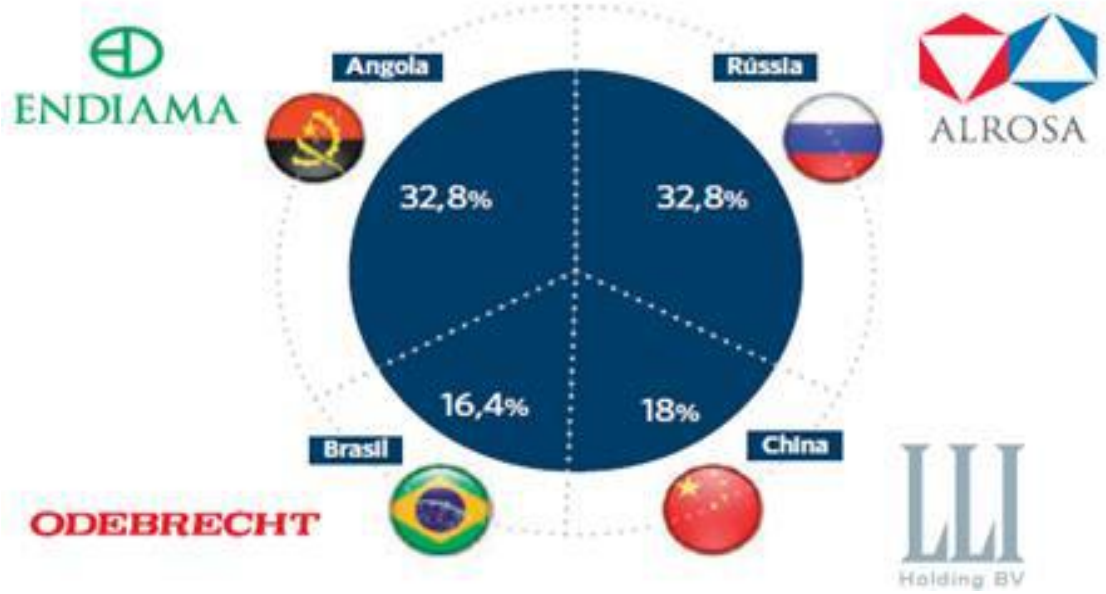

Figura 15- Estrutura de acionistas da Sociedade Mineira de Catoca

Fonte : Relatório Catoca, 2012

A sociedade mineira de Catoca tem 64 hectares de área de concessão, constituída por uma vila residencial e vários empreendimentos de suporte ao processo de exploração. Emprega cerca de 3500 trabalhadores, dos quais 80 % são de nacionalidade angolana e o restante distribui-se entre Russos, Brasileiros, Filipinos, Sul Africanos, Israelitas e Portugueses. Atualmente a empresa tem desenvolvido esforços no sentido de descobrir novos jazigos, através da prospecção dentro e fora da zona de concessão, sendo efetuada em Angola e no estrangeiro, para dar continuidade à marca e à sua principal atividade de negócio. As tecnologias como “Smartmine” e “Datamine” otimizam as operações mineiras, simplificam a logística, minimizando os custos e permitindo uma gestão integral de recursos. A empresa possui duas centrais de tratamento e recuperação de diamantes, com uma capacidade para tratar mais de 10 milhões de toneladas de minério/ano. Integral de recursos. A empresa possui duas centrais de tratamento e recuperação de diamantes, com uma capacidade para tratar mais de 10 milhões de toneladas de minério/ano.

No seu plano estratégico de desenvolvimento, a empresa, pauta por um sistema integrado de gestão da qualidade, ambiente, segurança e saúde ocupacional. Este plano apoia-se nas seguintes diretivas:

 Ser uma empresa competitiva e rendível, atendendo às expectativas dos clientes, acionistas e as restantes parte interessadas, respeitando os requisitos legais e outros aplicáveis;
 Melhorar continuamente a eficácia do sistema integrado de gestão buscando a redução dos impactos ambientais, a prevenção de acidentes, lesões e doenças ocupacionais**;**
 Desenvolver as atividades de gestão dos riscos relacionados com a segurança e a saúde ocupacional, abrangendo os perigos químicos, físicos, ergonómicos e mecânicos, com realce nos trabalhos com eletricidade, trabalho em alturas, máquinas, equipamentos, instalações, detonações e escavações;
 Buscar o uso eficiente de energia e recursos naturais, bem como gerir os resíduos industriais, estimular a redução do consumo, a reutilização, a reciclagem de materiais e a prevenção da poluição;
 Respeitar o trabalhador visando o seu crescimento humano, profissional e também a comunidade, desenvolvendo a responsabilidade social e ambiental;
 Efetuar a pesquisa constante de soluções inovadoras que permitem alcançar níveis mais elevados de qualidade a custos competitivos dentro do tempo necessário;
 Otimizar a formação de recursos humanos em todos níveis e a partilha de projetos de formação;
 Trabalhar em parceria com os seus fornecedores, empresas de prestação de serviços e sub empreiteiros para um contínuo desenvolvimento em busca da melhoria contínua do desempenho ambiental, segurança e saúde ocupacional;
 Desenvolver e implantar novas tecnologias no processo produtivo, tendo como objetivo a melhoria continua dos processos e a sua eficiência, não colocando em risco o ambiente, segurança e a saúde ocupacional

Aspetos Histórico

A Sociedade Mineira de Catoca – SMC, é uma empresa, cujo objeto social é a prospecção, pesquisa, exploração e comercialização de diamante, na província da Lunda - Sul, assume o compromisso de garantir que as atividades de sua operação sejam desenvolvidas com a preservação do ambiente, a segurança, saúde de seus empregados e de seus prestadores de serviços.
O kimberlito de Catoca foi descoberto em 1968 pelos técnicos da Diamang, que prospetavam blocos aluviais nas margens do rio Lova, afluente do rio Chicapa. Em 1981 a Endiama substituiu a Diamang na gestão das reservas nacionais de kimberlito e nessa mesma época a Iakutalmaz, estatal soviética especializada em projetos de mineração de diamantes, manifestou interesse em participar na exploração, em Angola.
Ao longo da década 1980, foram realizados estudos geológicos no sentido de perceber a viabilidade técnica e económica da exploração do kimberlito, tendo sido concluída a primeira revisão no período de 1985 – 1987, que confirmou os teores e a qualidade dos diamantes. Em dezembro de 1991 os estudos de viabilidade foram concluídos e no ano seguinte o governo de Angola aprovou a constituição da sociedade mineira de Catoca por três empresas - Alrosa (40%), Odebrecht 20% e Endiama 40%. Em 16 de Setembro de 1993 estas três empresas assinaram o contrato da constituição da sociedade mineira de Catoca.
A partir de 1995 chegou a Catoca a primeira equipa de trabalho, tendo sido iniciado o levantamento topográfico, o estudo hidrogeológico, a capacitação de mão-de-obra, a captação e tratamento de água.

A exploração comercial do kimberlito de Catoca começou em 31 de julho de 1997, quando o primeiro carregamento de minério entrou na central de tratamento 1, dando início a uma produção em pequena escala, porém essencial para a capitalização da empresa. Em 1999 foi instalado o sistema de irrigação para o projeto agropecuário e implantado o sistema integrado privativo de telecomunicações com instalações terrestre e satélite. Já em 18 de novembro de 2005 foi inaugurada pelo Presidente da República, o engenheiro José Eduardo dos Santos, a segunda central de tratamento de minérios.
No entanto, a bacia de rejeitado em estudo, entrou em exploração às 14h30 do dia 06/06/2005, projetada para o tempo de vida útil da mina, com capacidade para receber um volume de 180000000 m3.

Localização Geográfica e Vias de Acesso

Em termos administrativo-geográficos, a sociedade mineira de Catoca situa-se no Nordeste da República de Angola, na parte noroeste da província da Lunda Sul, próximo da cidade de Saurimo, numa distância de 35 km e cerca de 800 km de Luanda (ilustração 4). O território da área de concessão da SMC encontra-se dentro da folha topográfica 121-SG34 (escala 1:1000000) do Cadastro Topográfico do Estado, numa região situada nos limites entre as Lundas Norte e Sul, e ocupa uma área de 340 km2, delimitada por coordenadas geográficas.

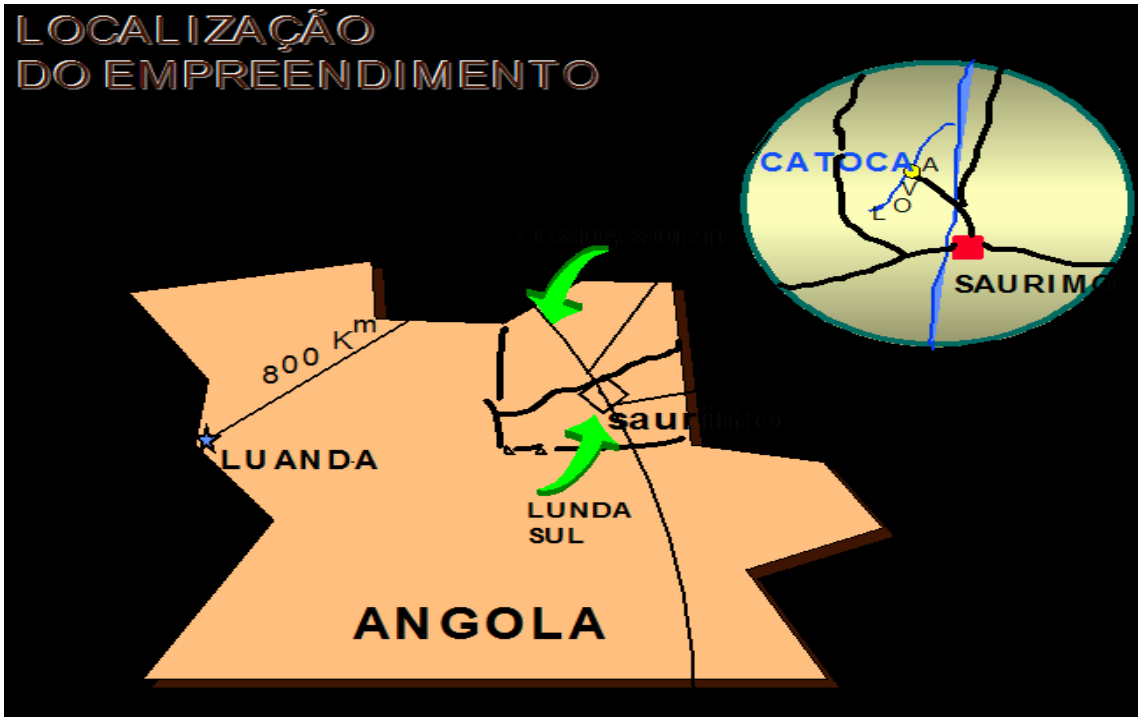

Figura 16 - Localização geográfica de Catoca

Fonte: Relatório Catoca, 2012

O acesso à região pode ser feito tanto por via aérea como terrestre. Por via aérea, utilizam-se aviões de grande e pequeno porte que aterram, respetivamente no aeroporto de Saurimo e aeroporto da mina de Catoca, e por via terrestre, através das estradas nacionais nº 180 que liga as cidades de

Saurimo ao Dundu, e estrada nacional 230 entre as cidades de Malange e Saurimo (Lunda Sul). O local de estudo é acessado por uma via principal, asfaltada pela empresa - Catoca, a partir do desvio da estrada nacional nº 180, no bairro do Zorro, diversas vias secundárias, asfaltadas na vila

O Clima e o Solo

O clima da região é tropical, favorável para atividade agrícola, pecuária e pesca. A região apresenta as duas principais estações típicas durante o ano: a época das chuvas que perdura do final de agosto até os primeiros dias de maio, e a estação seca (cacimbo) que se prolonga de maio a agosto. A temporada mais chuvosa ocorre nos meses de novembro a março, na qual a estimativa da média anual para a precipitação atmosférica é de 1366 mm. Em relação à temperatura, ao longo do ano está varia entre os 12ºC de mínima e os 34ºC de máxima. E por último, a média anual da humidade relativa é de 63%, onde dependendo dos anos, as direções predominantes do vento podem variar de Norte a Nordeste e Sul para Sudoeste.
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 paraferralítico e os solos fracamente lavados.

A Fauna e a Flora

Angola apresenta uma excepcional biodiversidade, devido à grande heterogeneidade de biomas nela representados. Inúmeros fatores contribuem para essa grande diversidade de ambientes representados no país, entre eles, a posição geográfica intertropical, a grande variação nas altitudes e a grande variabilidade geológica. A combinação entre as diferentes condições climáticas e pedológicas produziram cenários biológicos extremamente diversos, compreendendo desde a densa floresta tropical até áreas desérticas.
A região de Saurimo, onde se encontra inserido o empreendimento, caracteriza-se por ser uma zona de transição entre os domínios da savana, ao sul, e da floresta tropical que se estende ao norte, ganhando extensas áreas na República Democrática do Congo. Portanto, não apenas a cobertura vegetal da região, mas também sua fauna, se caracteriza pela grande diversidade de animais: o hipopótamo (Hippopotamus amphibius), a palanca-vermelha (Hippotragus equinus), a pacaça (Syncerus caffer), a eita tunganga (Tragelaphus strepsiceros), a quissema (Kobus defassa), o leão (Panthera Leo), a cabra-de-leque (Antidorcas marsupialis), o sacara (Otocyon megalotis), os mabecos (Lycaon pictus), a geneta (Genetta angolensis), o gato-bravo (Felis silvestris), o leopardo-caçador (Acinonyx jubatus), a hiena-castanha (Parahyaena brunnea), a galinha-do-mato (Numida meleagris), as serpentes e etc.

Figura 17 - Área de savana arborizada

Fonte: Relatório Catoca, 2012

A Hidrologia

A rede hidrográfica da região está orientada na direção norte, drena as suas águas para o rio Zaire, por intermédio do rio Kassai, um dos seus maiores tributários e cujos afluentes, alimentados por inúmeros sub-afluentes, atravessam a região de sul para o norte. Os principais afluentes do rio Kassai são, de oeste para leste, o Kuango, Cuilo, Luangue, Luxico, Chicapa, Luachimo, Chihumbe e seu afluente Luembe.

Figura 18 - Quedas do rio Chicapa

Fonte: Sabino Augusto Calula Coqueia, 2012

Os vales dos rios são abertos e têm formas de U e V. São rios de médio comprimento, frequentemente com pedregais, por isso são impróprios para

navegação. Os rios, presente na área de concessão da sociedade mineira de Catoca, possuem recursos hídricos interessantes, destacando-se o rio Lova, que é utilizado para abastecimento de água potável. O rio Luite, que fica localizado na zona adjacente a bacia de contenção de rejeitados. O mais atrativo é o rio Chicapa, que corre ao longo do limite leste da concessão, é utilizado para o aproveitamento hidroelétrico, com uma potência de 17-20 Mega Watt, suficiente para atender às necessidades de Catoca e à cidade de Saurimo (capital da província de Lunda Sul), ilustração 9. O caudal destes rios varia segundo as estações do ano. No período seco (junho-agosto) apresentam um caudal mínimo, enquanto no tempo chuvoso (setembro-novembro), o caudal aumenta consideravelmente.

4.2 Aspectos Geológicos

Geologia Regional
Em Angola a maior parte das ocorrências kimberlíticas estão localizadas nas seguintes regiões:
I. Lundas;
II. Bacia dos rios Kukumbi, Kukuilo e Kuango;
III. Curso médio do rio Kuanza;
IV. Curso superior dos rios Kunene, Keve e Katumbela;

A região das Lundas, que apenas abrange as duas primeiras áreas (I e II), é uma das estruturas tectónicas da Região Nordeste de Angola, é composta por duas falhas principais paralelas e orientadas na direção NE-SW. Também é conhecida pela designação de Corredor do alinhamento do Lucapa. As duas linhas principais são atravessadas por várias falhas recentes que terão sido responsáveis pela ascensão das erupções kimberlíticas e outras fontes primárias de diamantes nas Lundas

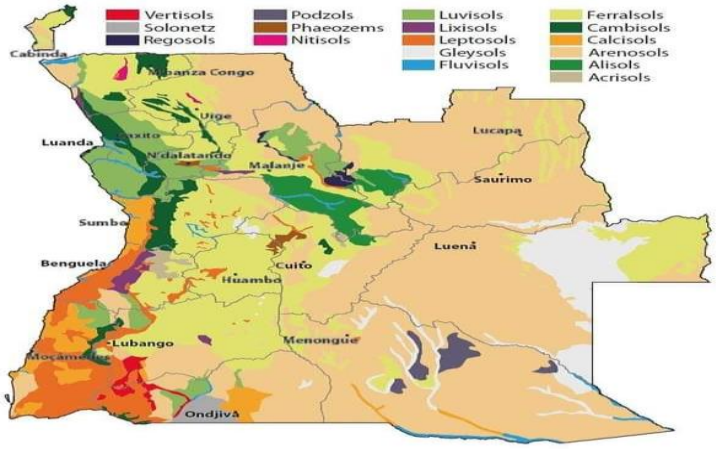

Figura 18 - Mapa Hidrológico de Angola

Fonte: autor

A região da área de concessão (Lundas) é caracterizada por possuir poucos conhecimentos geológico-geofísicos. As resumidas características esboçadas da região, apresentadas abaixo, são baseadas nos dados disponíveis no Ministério de Geologia e Minas de Angola (Instituto Geológico de Angola), da sintetização e análise das publicações e arquivos técnicos relativos aos

resultados de trabalhos executados por diversos projetos, empresas públicas e autores, no período até 1975. Complementados com as informações acerca das atividades de pesquisas geológicas realizadas durante 1978-1983, incluindo os resultados dos levantamentos aerogeofísicos, aerofotometria e levantamentos espaciais, considerando também a interpretação dos dados geológicos sobre as regiões vizinhas.
A região diamantífera das Lundas, segundo Monforte A. (1960), encontra-se no NE de Angola, no escudo de cassai. Esta região situa-se no corredor de Lucapa, uma mega estrutura tectónica que se estende de NE a SW atravessando Angola, e nela se localizam mais de 900 corpos kimberlíticos. Existem na região dois andares estruturais, o inferior corresponde ao soco cristalino (complexo litólogo-estrutural do Arcaico e do Proterozóico Precoce) e o superior que constitui a cobertura da plataforma, representado pelos complexos do Proterozóico Tardio, Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico.

A região do nordeste de Angola, segundo Araújo A. G. et.al.1992, não é uma unidade geológica bem definida, constituindo uma zona de transição onde se estendem as formações que se ligam, quer com as outras áreas de Angola, quer com a República Democrática do Congo. Assim, as rochas representadas localmente podem agrupar-se em três importantes conjuntos:
 Rochas do Substrato ou do soco cristalino (Arcaico Inferior e Proterozóico Inferior);

 Rochas de cobertura (Paleozóico Superior – Mesozóico Inferior, Cretácico e Quaternário);

 Formações superficiais (Quaternário).

A região da área de concessão (Lundas) é caracterizada por possuir poucos conhecimentos geológico-geofísicos. As resumidas características esboçadas da região, apresentadas abaixo, são baseadas nos dados disponíveis no Ministério de Geologia e Minas de Angola (Instituto Geológico de Angola), da sintetização e análise das publicações e arquivos técnicos relativos aos resultados de trabalhos executados por diversos projetos, empresas públicas e autores, no período até 1975. Complementados com as informações acerca das atividades de pesquisas geológicas realizadas durante 1978-1983, incluindo os resultados dos levantamentos aerogeofísicos, aerofotometria e levantamentos espaciais, considerando também a interpretação dos dados geológicos sobre as regiões vizinhas.

CAPÍTULO V – DISCUSSÃO E RESULTADOS

5.1 Métodos atuais de prospecção de água subterrânea na mina de catoca

Os métodos de investigação geológica consistem em procedimentos que visam decifrar as características principais do solo quanto aos parâmetros físicos e químicos para dessa forma possibilitar o seu uso e ocupação. Basicamente o estudo da crosta através de determinadas metodologias tem como objetivo delimitar espacialmente os corpos terrestres e determinar suas características e propriedades geomecânicas através de um conjunto de processos de investigação aplicado em um local para o conhecimento das unidades geológicas.
A geologia divide os métodos de investigação geológica em dois tipos: direto e indireto. Ambos são aplicáveis na verificação da superfície e subsuperfície.

A prospecção de águas subterrâneas na mina de catoca foi feita com os procedimentos seguintes:

Levantamento de superfície
Mapeamento de cada tipo de rocha ou de solos que afloram no local

Levantamento geológico de campo (direto)

Aerofotogeologia (indireto)

Levantamento de subsuperfície
Métodos diretos: permitem a observação direta do subsolo ou através de amostras coletadas ao longo de uma perfuração ou a medição direta de propriedades in situ. Exemplos de métodos diretos:

Poços: Os poços e valas ou trincheiras de inspeção são meios de prospecção verticais de grande diâmetro feitas com pás e picaretas, em solos coesivos, acima do nível d'água, geralmente de rasa profundidade, que permitem o acesso no interior do terreno para exame direto "in situ" das paredes da escavação em estado natural, permitindo o exame detalhado dos horizontes perfurados, a retirada de amostras indeformadas (solos), a coleta de amostras deformadas volumosas, qualquer que seja o tipo de solo com finalidade de ensaios laboratoriais. A trincheira de inspeção é recomendada nos casos em que há interesse em investigar o comportamento ou distribuição dos materiais no sentido lateral. O método especifica os procedimentos para a execução de poços e trincheiras de inspeção em solos para a retirada das amostras, deformadas e indeformadas.

Trado: A Sondagem a Trado é um método geológico-geotécnico baseado na perfuração de pequeno diâmetro, e profundidade reduzida, realizado através de um instrumento chamado trado (amostrador de solo constituído por lâminas cortantes) que pode ter formas espiraladas (trado helicoidal ou espiralado) ou convexas (trado concha). Sondagem de maior facilidade de execução e menor custo, permite a coleta apenas de amostras deformadas, preferencialmente coletadas de metro a metro ou toda vez que houver mudança no tipo de material.

Permite a medição da profundidade do nível freático. Pode ser feita manualmente ou de forma mecanizada.

Sondagem a percussão: Obtida através do golpeamento do fundo do furo por peças de aço cortantes. Utilizada tanto para obtenção de amostras de solo quanto para medir sua resistência à penetração. Permite a execução de: ensaios SPT, ensaios de lavagem por tempo, ensaios de permeabilidade (infiltração, rebaixamento, bombeamento, recuperação). Ainda permite a verificação do nível do lençol freático e a retirada de amostras deformadas.

Sondagem rotativa: Sondagem rotativa é um método de investigação geológico-geotécnica que consiste no uso de um conjunto moto-mecanizado, com a finalidade de obter amostras de materiais rochosos, contínuas e com formato cilíndrico, através da ação perfurante dada basicamente por forças de penetração e rotação que, conjugadas, atuam com poder cortante.

Sondagem rotopercussiva: A perfuração se faz através das intensidades de impactos e rotação de ferramentas que compõe a coluna de perfuração como martelos pneumáticos, button bit ou broca tricônica. As amostras são recuperadas com injeção de ar comprimido, produzido por compressores de alta pressão, nas hastes com tubos internos pelos quais a amostra retorna a superfície sobre pressão do ar, sendo recolhidas e identificadas metro a metro em sacos de plásticos, ráfia ou algodão cru atendendo a necessidade litológica local.

Métodos indiretos: as propriedades das camadas do subsolo são estimadas indiretamente pela observação a distância ou pela medida de outras grandezas do solo, ou seja, são métodos que não permitem o acesso ao material investigado. Os principais métodos são:

Métodos geoelétricos (eletroresistividade, sondagem elétrica vertical, potencial espontâneo e polarização induzida, radar de penetração no subsolo).

Métodos sísmicos (sísmica de refração e sísmica de reflexão);

Métodos potenciais (magnetometria e gravimetria).

Seja através dos métodos diretos ou indiretos, quanto mais se souber sobre as condições em subsuperfície melhores serão as possibilidades de sucesso em construções, mapeamento de recursos, ou mesmo para desvendar o interior do planeta.

5.2 processos atuais de prospecção de águas subterrâneas na mina de catoca

A prospecção de água subterrânea é tarefa complexa, envolve aplicação de diferentes técnicas para definir locais apropriados onde perfurar poços tubulares que alcancem sucesso, em obter reservas de água subterrânea, nas condições de serem disponibilizadas para diversos usos. A locação preliminar de obras de captação de água subterrânea em imagens aéreas e orbitais é o método mais acessível, por isto o mais usado pela alta relação benefício custo.

O desenvolvimento das técnicas de prospecção na mina de catoca é um processo sequencial que envolvem a seguintes fases: A primeira, consiste em delimitação da área da concessão, a segunda fase consiste na Recolha de dados e informações geológica e geofísicas da área no gabinete, e a terceira consiste em Projetar estes dados e informações para área da concessão, a quarta fase consiste em Recolher dados e informações geológicas e geofísicas da área em campo, a quinta consiste em Projetar este dados e informações para área da concessão, a sexta consiste em calcular os parâmetros hidrogeológico, a sétima consiste em Modelar conceptualmente e numericamente a hidrogeologia da área de concessão, a oitava consiste em Identificar os aquíferos na área de concessão, e por fim Perfurar poços de teste e de monitorização.

5.3 Modelação do processo atual

Modelação do processo atual de prospecção e pesquisa na linguagem natural

Processo: localização de ocorrências de aquíferos (AS IS)

Tabela 1 - Modelação do processo atual de prospecção e pesquisa na linguagem natural

Fonte: autor

ID	ACTIVIDADE	ACTOR	MEIO	DURAÇÃO	LOCAL	CUSTO	Total
1	Delimitar a área da concessão	Geólogo	Imagens, fotografia, mapa da área	20 dias	Mina de catoca	**100.000,00kz**	**2.551.000,00kz**
2	Recolher dados e informações geológica e geofísicas da área no gabinete	Geólogo	Imagens, fotografia, mapa, relatórios da área	1 mês	Luanda	**250.000,00kz**	
3	Projetar dados e informações para área da concessão	Geólogo	Papel, mapa	20 dias	Luanda	**133.000,00kz**	
4	Recolher dados e informações geológica e geofísicas da área em campo	Geólogo	GPS, bússola, teodolito,	3 meses	Lunda Sul	**200.000,00kz**	
5	Projetar dados e informações para área da concessão	Geólogo	Papel, mapa	20 dias	Lunda Sul	**323.000,00kz**	
6	Calcular parâmetros hidrogeológico	Geólogo		5 horas	Lunda	**215.000,00kz**	
7	Modelar conceptualmente e numericamente a hidrogeologia da área de concessão	Geólogo	Papel	2 meses	Luanda	**710.000,00kz**	
8	Identificar os aquíferos na área de concessão	Geólogo	Mapa	3 meses	Mina de catoca	**70.000,00kz**	
9	Perfurar poços de teste e de monitorização	Técnico de perfuração	Perfuratriz rotativa	2 dias	Mina de catoca	**550.000,00kz**	

Modelação do processo atual de prospecção e pesquisa com diagrama de **sequência**

Processo: localização de ocorrências de aquíferos (AS IS)

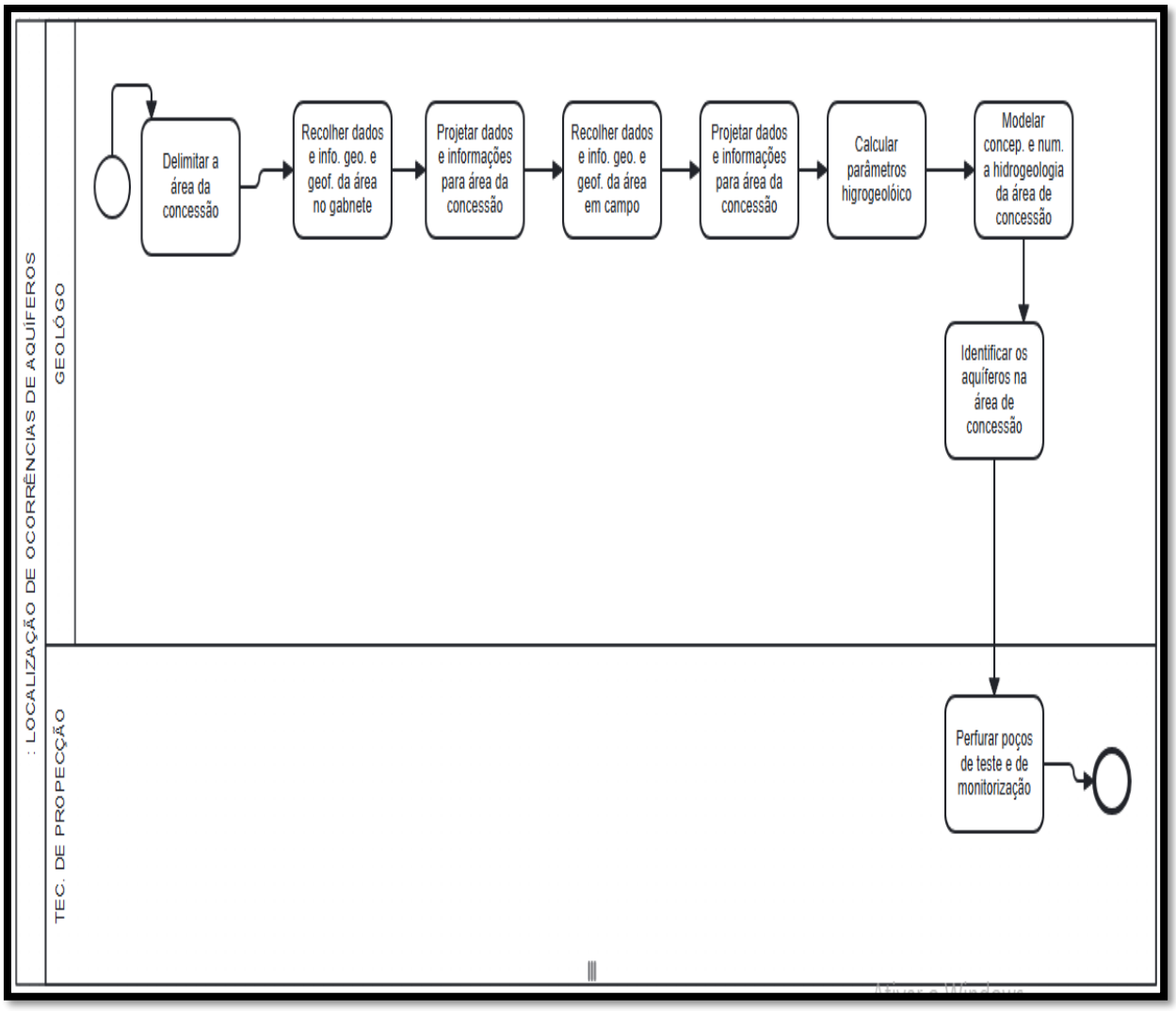

Figura 19 - Modelação do processo atual de prospecção e pesquisa diagrama de sequencia

Fonte: autor

5.4 Dimensionamento e parametrização do SIG para localização de aquíferos

Na fase de criação do artefato, neste caso o SIG, os componentes do sistema de informação geográfico que proporcionaram a sua funcionalidade serão apresentados a seguir.

Estamos à altura de estruturar o artefato e suas ferramentas;

Software: GIS (ArcGIS) e suas funcionalidades

Dados geográficos: formato raster

- Dados em formato raster ou matriciais com resolução espacial

Tipo de rede: LAN (rede de internet local)

- **WIFI**

Peopleware: indivíduo manuseador do software

- Barros André Gombo

Hardware: Computador

- Processador cor: i3
- Memória Ram: 4GB
- Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 Bite

5.5 Modelação do processo futuro

Modelação do processo futuro de prospecção na linguagem natural

Processo: localização de ocorrências de aquíferos (TO-BE)

Tabela 2 - Modelação do processo futuro de prospecção na linguagem natural

Fonte: autor

ID	ACTIVIDADE	ACTOR	MEIO	DURACAO	LOCAL	CUSTO	Total
1	Delimitar a área da concessão	Engenheiro	Imagens, fotografia, mapa digitais	10 minutos	Gabinete	**20.000,00kz**	**220.000,00kz**
2	Recolher dados e informações geológica e geofísicas da área no gabinete	Engenheiro	Consulta de base de dados	30 minutos	Gabinete	**60.000,00kz**	
3	Projetar dados e informações para área da concessão	Engenheiro	software ArcGIS	20 minutos	Gabinete	**20.000,00kz**	
4	Converter dados e informações geológica e geofísicas de vector para raster	Engenheiro	Software ArcGIS	40 minutos	Gabinete	**90.000,00kz**	
5	Usar a calculadora rastear	Engenheiro	software ArcGIS	50 minutos	Gabinete	**10.000,00kz**	
6	Identificar os aquíferos na área de concessão	Engenheiro	software ArcGIS	5 minutos	Gabinete	**20.000,00kz**	

Modelação do processo futuro de prospecção com diagrama de sequência

Processo: localização de ocorrências de aquíferos (TO-BE)

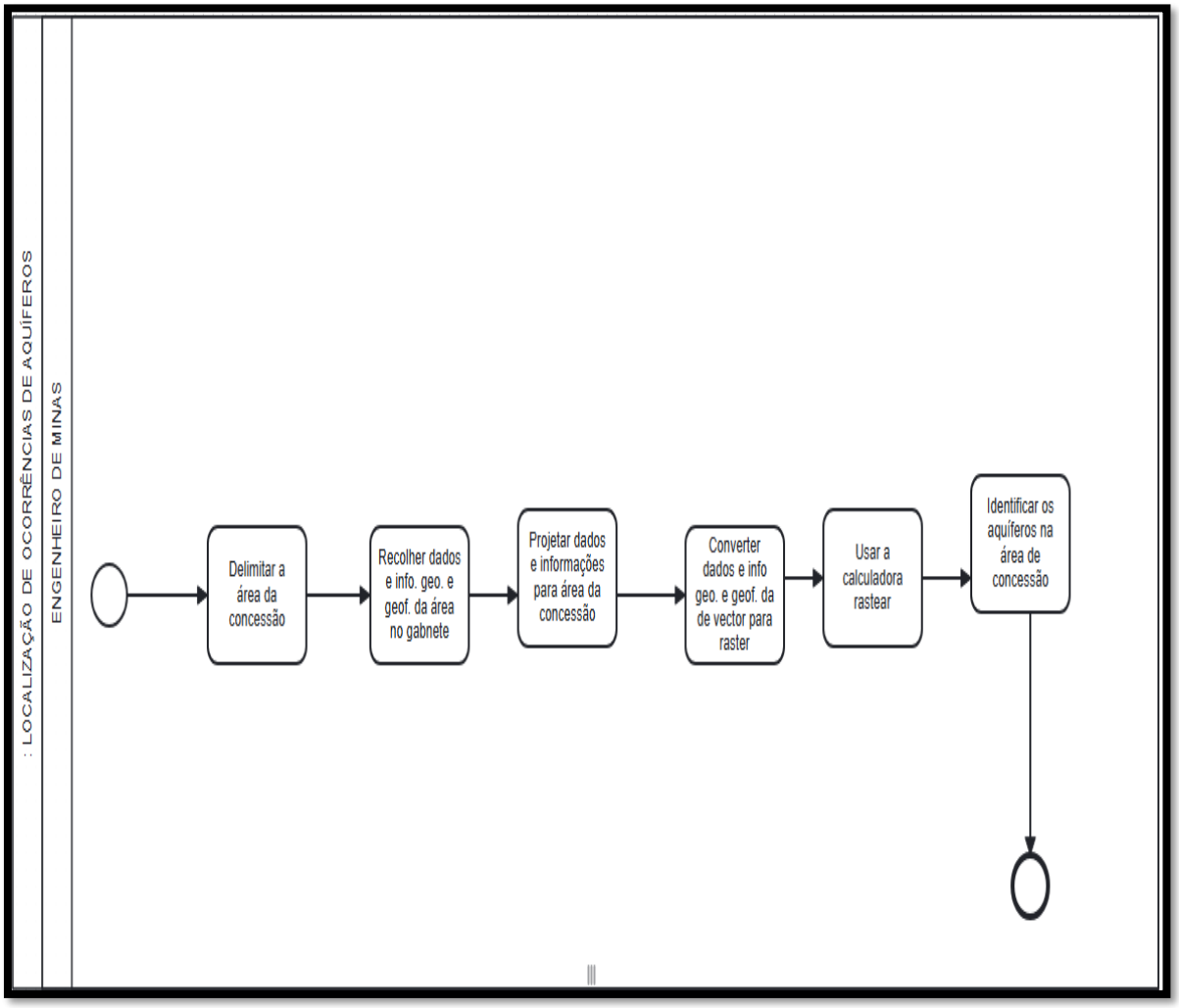

Figura 20 - Modelação do processo futuro de prospecção e pesquisa diagrama de sequencia

Fonte: autor

5.6 Mapa de provável ocorrência de água subterrânea na mina de Catoca.

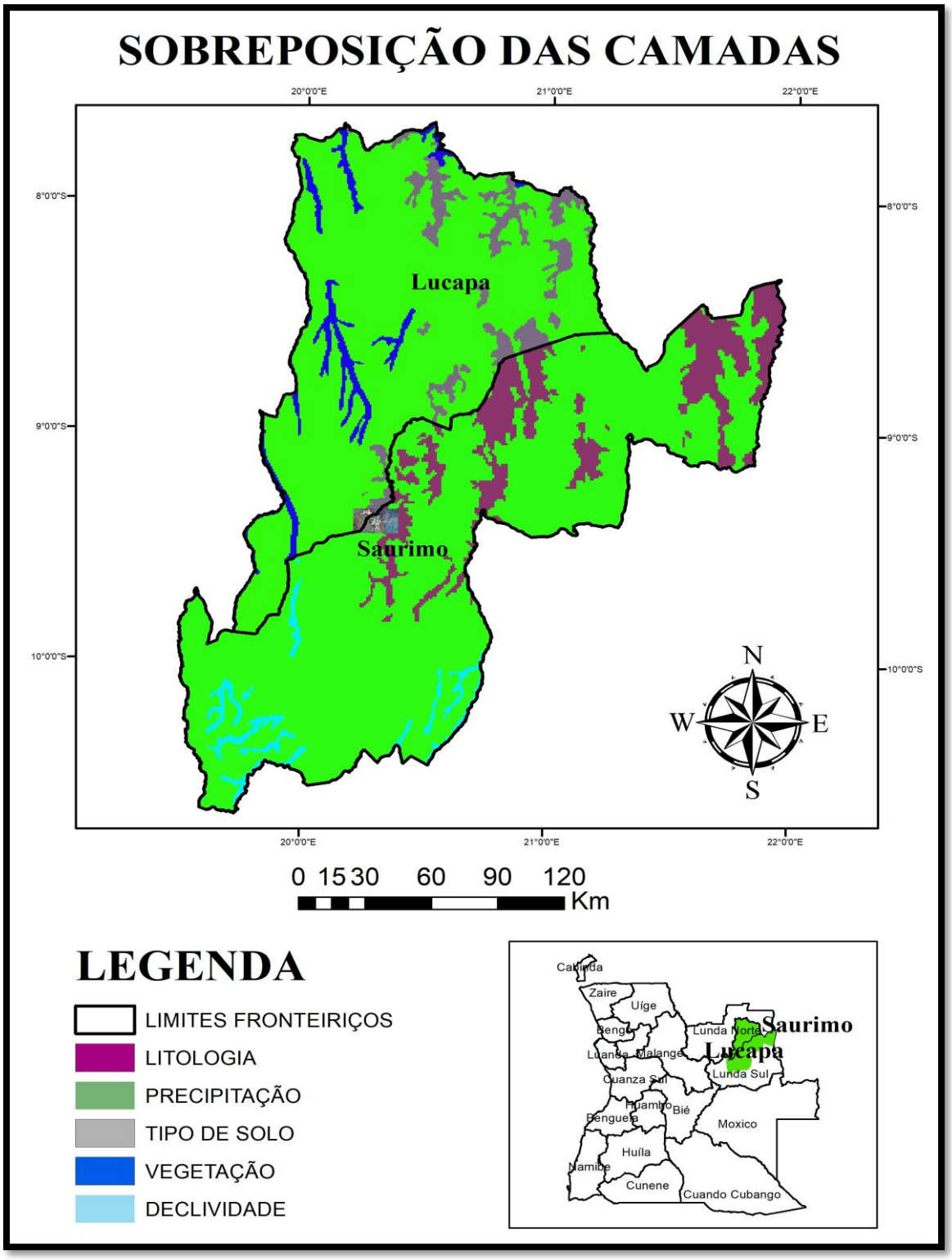

Figura 21 – representação das camadas sobrepostas

Fonte: autor

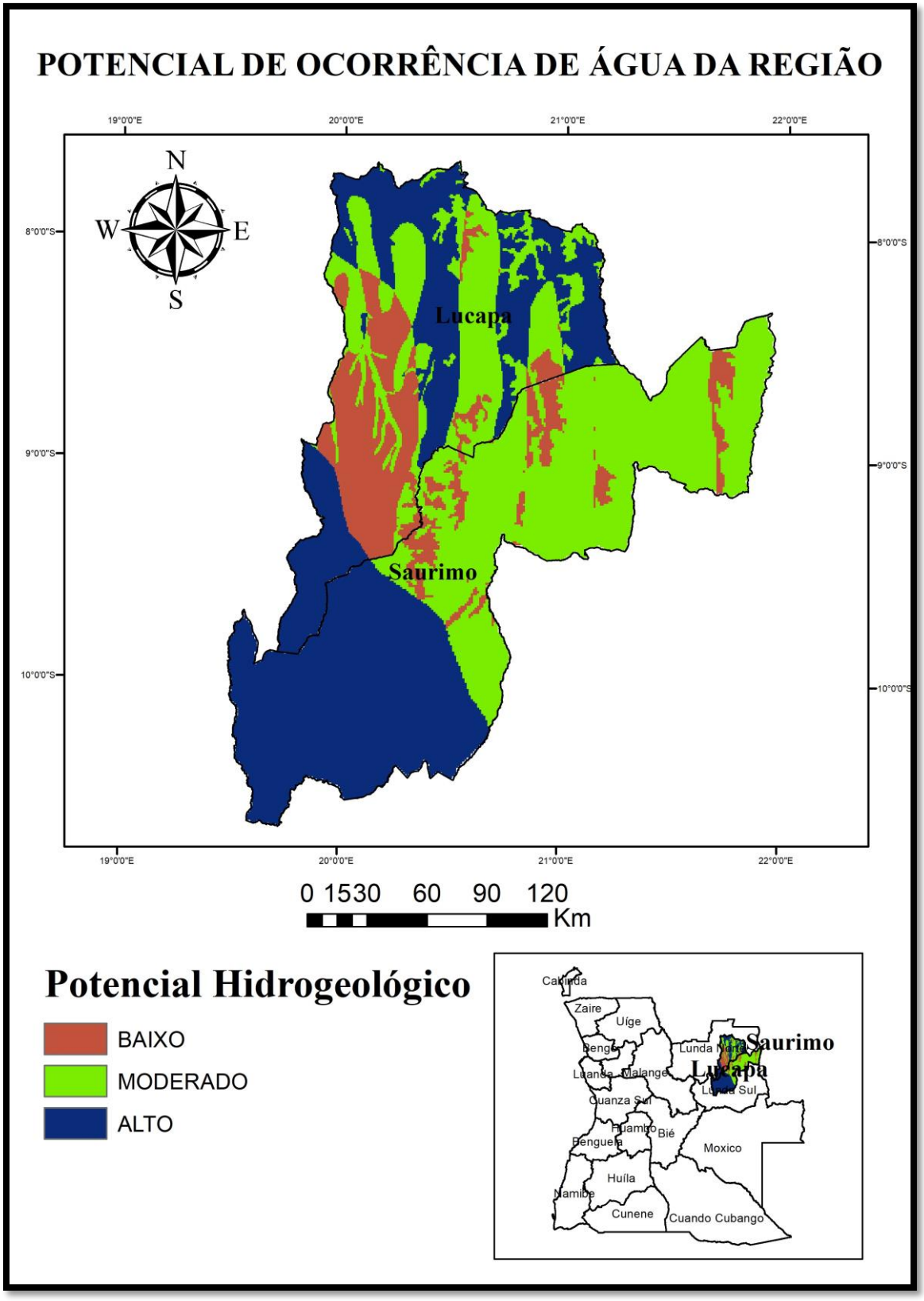

Figura 22 – representação do potencial de águas na região

Fonte: autor

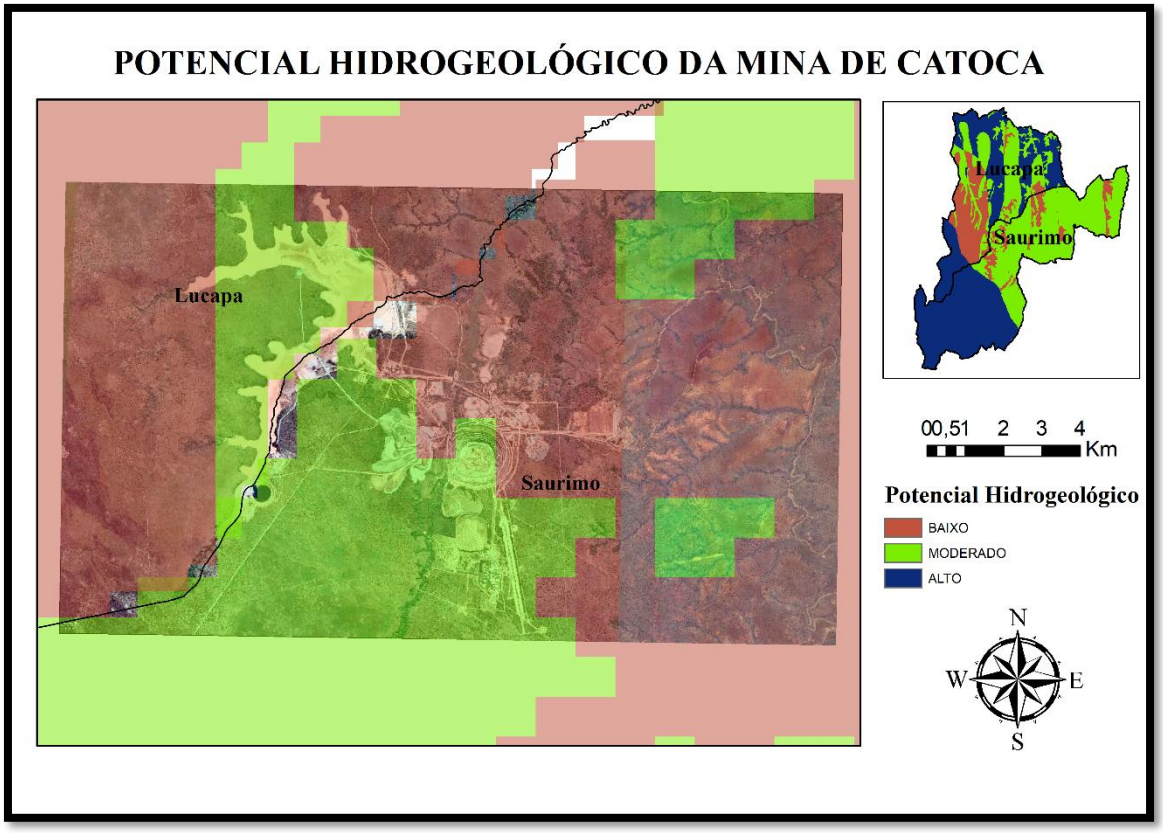

Figura 23 – representação do potencial de águas na mina de catoca

Fonte: autor

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES

Depois de ter cumprido com os objectivos do estudo, podemos dizer que o estudo sobre a localização de ocorrências de aquíferos em zonas de atividades mineira permitiu comprovar o grande potencial e vantagens do uso de um SIG na integração de geodados e geoinformação codificados, através da automatização das complexas operações e cruzamento de informações, gerando elevado grau de precisão no resultado final e economia de tempo frente aos métodos tradicionais. No entanto, a sua maior contribuição para o presente trabalho é o fato de minimizar a complexidade e o grau de subjetividade no processo de localização de ocorrências de aquíferos em zonas de atividades mineira a partir de técnicas e métodos que eram realizados de forma manual. Isso porque na, prospecção de aquíferos torna-se necessário considerar aspectos diversos do meio ambiente (solos, climas, estratigrafia, vegetação, declive e outros fatores), que quando existem um SIG (ArcGIS), encontram-se frequentemente em formatos diferentes (mapas, tabelas, fotos aéreas e imagens de satélites). Um aspecto que não pode ser negligenciado na utilização de um SIG (ArcGIS) para a localização de ocorrências de aquíferos em zonas de atividades mineira é a necessidade de dispor de shapefiies confiáveis e espacialmente ajustadas. Assim sendo, o processo de localização de ocorrências de aquíferos em zonas de atividades mineira, de uma ou outra área de estudo, maior ou menor, ou qualquer outra atividade que envolva análise de dados espaciais georeferênciados, podem ser executados mais precisa e rapidamente com a utilização de um SIG.

CAPÍTULO VII: RECOMENDAÇÕES

Existe muita complexidade nas formações geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais, neste sentido, recomenda-se que se faça estudos minuciosos na área de estudo para novos projetos acerca do referido tema e que fosse desenvolvido por estudantes finalistas em engenharia de minas da UAN, de modo a ter-se um conhecimento global sobre a localização de ocorrências de aquíferos em zonas de atividades mineira.

Tendo em vista as dificuldades encontradas durante a realização deste trabalho e a importância da mesma, faz-se algumas recomendações nas empresas do sector mineiro para o prosseguimento deste estudo para aplicação no caso de projetos de mineração a utilização de softwares específicos para a modelação dos aquíferos, cálculo dos parâmetros hidrogeológico dos aquíferos e desenvolvimento de modelos conceptual hidrogeológico e numérico.

Em relação ao Departamento de Energia e Água, é necessário formular políticas Públicas especialmente relacionadas às águas subterrâneas e inseri-las de forma clara na Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos precisa ser efetivamente colocado à disposição da sociedade.

CAPÍTULO VIII: REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ***ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AQUÍFEROS****.* (1980). porto Alegre: http://e3ambiental.com.br/servicos/hidrogeologia.

2. Almeida, L. d. (2016). ***HidrogeologiaConceitos Básicos.*** Brasília: Coordenação de Águas Subterrâneas SIP/ANA.

3. Apostila de ArcGIS *.* (1990). CUIMBRA: Laboratório de Topografia e Cartografia Universidade Federal do Espírito Santo.

4. Borges, K. A. (2002). ***Modelagem de Dados Geográficos****.* Lisboa: UFMG.

5. Charneca, N. M. (2012). ***MODELAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS APLICADA AO PLANEAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.*** LISBOA: UNIVERSIDADE DE LISBOA,FACULDADE DE CIÊNCIAS.

6. Elsa Cristina RAMALHO1, A. F. (2015). ***Interpretação hidrogeológica da modelação 3D das sondagens eléctricas verticais (SEV) da década de 1960 na bacia do Cunene Angola****.* LIsBOA: Hydrogeology Journal 1.

7. FERREIRA, P. D. (2006). ***APOSTILA DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.*** **GOIÂNIA:** Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás.

8. Fogliatto, F. S. (2005). ***Unified Modeling Language" (UML).*** SPICE (Software Process Improvement.

9. Gomes, L. A. (2010). ***PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS DE UM AQUÍFERO.*** Ceará: 1st Joint World Congress on Groundwater.

10. ISAAC, A. M. (2006). ***CARACTERIZAÇÃO FISICA DO SECTOR INTERMÉDIO****.* Luanda: http://breve-monografia-angolana.blogspot.pt.

11. Júnior, P. A. (1984). ***Elementos de Hidrologia Aplicada*** *.* S. Paulo: Livraria Freitas Bastos.

12. Lima, P. F. (1994). ***Processos Organizacionais.*** Rio de Janeiro: HarperBusiness.

13. Lisboa1, N. A., & Norberto Dani1, P. A. (2022). ***Exploration of groundwater in anular morphostructures that control the occurrence of the aquifer sistems at the*** *Paraná Basin Rio Grande do Sul.* Rio de Janeiro: Lisboa, N. A. et al. Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas.

14. Millon, M. M. (2004). ***ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*** *.* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

15. Moraes, E. C. (2002). ***FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO***. Curitiba: INPE.

16. Nandaia, M. (Abril de 2015). ***Os Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota***. LISBOA: World Health Organization, World Malaria Report.

17. Paulo Cristiano de Oliveira, N. N. (2010). ***APLICAÇÃO DO DESIGN SCIENCE RESEARCH (DSR) EM CURSOS SUPERIORES DE TECNOLOGIA.*** Mossoró,: Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar.

18. ***Perspectivas em Sistemas de Informação Geográfica1***. (2022). São José dos Campos, SP, Brasil: {gilberto, bira}@dpi.inpe.br.

19. Pinto, N. M. (2022). ***Métodos Geofísicos em Prospeção e Proteção da Água Subterrânea.*** LISBOA: UNIVERSIDADE DE LISBOA,FACULDADE DE CIÊNCIAS,DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA.

20. RICARDO HIRATA, A. S. (1999). ***As águas subterrâneas e sua importância*** *ambiental e socioeconômica.* parana: ISBN digital 978-85-63124-07-4.

21. Soares, R. C. (2010). ***CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO.*** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG.

22. www.Google.com.br. (s.d.).

23. www.wikipedia.org/wiki/Mungo. (s.d.).