



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**LIZANDRA SUSI SUZART ALVES BAHIANA**

**O USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE  
PRESIDENTE DUTRA - BAHIA**

Salvador  
2019

**LIZANDRA SUSI SUZART ALVES BAHIANA**

**O USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE  
PRESIDENTE DUTRA - BAHIA**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia,  
Instituto de Geociências, Universidade Federal  
da Bahia como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Rogério  
Bastos Leal

Coorientador: MSc. Thiago dos Santos  
Gonçalves

Salvador  
2019

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**LIZANDRA SUSI SUZART ALVES BAHIANA**

**O USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE  
PRESIDENTE DUTRA - BA**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

1º Examinador – Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal – Orientador

---

Universidade Federal da Bahia

2º Examinador – MSc. Thiago dos Santos Gonçalves – Coorientador

---

Universidade Federal da Bahia

3º Examinador – Prof. MSc. Hailton Mello da Silva

---

Universidade Federal da Bahia

4º Examinador – MSc. Geólogo José Carlos Cruz do Carmo

---

Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia – CERB

**Salvador, 17 de junho de 2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas  
(SIBI/UFBA), com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bahiana, Lizandra Susi Suzart Alves  
O Uso das Águas Subterrâneas no Município de  
Presidente Dutra - Bahia / Lizandra Susi Suzart Alves  
Bahiana. -- Salvador, 2019.  
94 f. : il

Orientador: Luiz Rogério Bastos Leal.  
Coorientador: Thiago dos Santos Gonçalves.  
TCC (Graduação - Geologia) -- Universidade Federal  
da Bahia, Instituto de Geociências, 2019.

1. Presidente Dutra. 2. Água Subterrânea. 3.  
Gestão. I. Leal, Luiz Rogério Bastos. II. Gonçalves,  
Thiago dos Santos. III. Título.

*“Replicou-lhe Jesus: Todo o que beber dessa água tornará a ter sede; mas aquele que beber da água que eu lhe der nunca terá sede; pelo contrário, a água que eu lhe der se fará nele uma fonte de água que jorre para a vida eterna.” João 4.13,14*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, soberano e excelso que me conduziu nesta árdua jornada, pois sem Ele nada teria conseguido.

Agradeço muito a Deus também pela vida de meus pais, Antonio Carlos Bahiana e Neiva Dulce Suzart Alves Bahiana que me apoiaram e me auxiliaram desde o meu nascimento e nessa minha trajetória em que cursei Geologia na UFBA.

Com certeza, se não fossem as amigadas que conquistei não poderia trilhar tão bem esse curso, por isso, expresso aqui minha gratidão aos meus amigos, em especial àqueles que estiveram a quase todo o momento comigo, nas disciplinas e nas equipes, Samile Régis, serva de Deus, grande amiga e profissional; Artur César de Oliveira, excelente pessoa e grande profissional também; Matheus Tartari, com sua expertise em ArcGIS e suas krigagens; Alessandra Limoeiro, sempre calma e fofa ajudando-me a suportar as dificuldades e me fazendo companhia sempre. Além destes queridos, agradeço também a Liz Mariana, Gabriela Carvalho, Roberto Rios, aos que fizeram parte da minha equipe em Campo 2 também, Aldo, Jackson e Rivaldo.

Devo agradecer também, àquelas pessoas estiveram sempre me apoiando, como minha família e amigas, em especial: Karen Bahiana, Sabrina Bahiana, Jamile Neves, Larissa Oliveira, Mariana Saraiva, Taislaine Bittencourt e Gabriela Amorim.

Desejo minha gratidão também ao meu orientador Luiz Rogério Bastos Leal e meu coorientador Thiago dos Santos Gonçalves que me auxiliaram na construção deste trabalho final de graduação com seus conhecimentos. Além da disponibilidade do ambiente do NEHMA – Núcleos de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente, para o desenvolvimento do trabalho.

E por fim, mas tão importantes quanto, devo agradecer imensamente aos docentes desse instituto que têm o prazer de passar o conteúdo de suas matérias da melhor maneira e fazer com que os discentes amem fazer o que fazem: Ângela Leal, Luiz César, Geraldo Marcelo, Débora Rios, Roberto Rosa, Renato Santiago, Lucas Salles, Erick Guedes (tirocinista), Danilo Melo, Maria das Graças (física 2), Pablo Santana, Maria Heloísa, Carolina Poggio, Ilene Abreu, Moacyr Marinho, Flávio Sampaio, Ricardo Galeno, José Ângelo, Hailton Mello.

## RESUMO

Este trabalho tem o intuito de apresentar os resultados obtidos após análises relativas ao uso das águas subterrâneas no município de Presidente Dutra - Bahia. Este município está situado na microrregião de Irecê, centro-norte do Estado da Bahia, e é conhecido como a capital da pinha por reservar cerca de 3.845 hectares para o cultivo da espécie e chegando a produzir cerca de 20 toneladas por hectare da fruta por ano, segundo a Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia (ADAB). O cultivo da pinha gera milhares de empregos na região e possui grande importância no desenvolvimento do PIB do município, com uma receita de 18 milhões de reais ao ano. O crescente aumento do desenvolvimento da agricultura irrigada na região fez com que houvesse acréscimo na perfuração de poços para acesso às águas subterrâneas. Em virtude da necessidade do uso dos recursos hídricos para a continuidade da agricultura irrigada e conseqüente desenvolvimento econômico da região, torna-se de fundamental importância a análise do uso das águas subterrâneas para um diagnóstico que auxilie sua gestão. As seguintes etapas foram realizadas para elaboração do presente trabalho: levantamento bibliográfico das características da região em estudo; coleta de dados dos poços disponíveis na plataforma do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM); elaboração de mapas, e enfim a compilação e análise das informações coletadas. Os poços perfurados são destinados a suprir principalmente a irrigação, o abastecimento humano e dessedentação de animais. Com relação a vazão de estabilização, o menor valor computado foi de 0,32 m<sup>3</sup>/h e o maior foi de 79,2 m<sup>3</sup>/h. Quanto à capacidade específica, mais da metade da área do município apresenta-se classificada entre 0,55 e 4,07 m<sup>3</sup>/h/m. O sentido predominante do fluxo subterrâneo é de SE para NW. Através do diagrama de Piper, 20% das águas foram classificadas como cálcicas mistas, 10% como cálcicas cloretadas. Duas amostras de água subterrânea foram classificadas quanto à qualidade para uso na irrigação como classe C4-S1, ou seja, risco de salinização muito alto e risco de sódio baixo; e como classe C2-S1, possuindo então águas com risco de salinização médio e risco de sódio baixo. Levando em consideração as características locais, como: escassez de recursos hídricos superficiais, baixas taxas pluviométricas (200 a 800mm/ano), balanço hídrico negativo, aumento da demanda de água principalmente devido às atividades de irrigação; algumas recomendações devem ser implementadas a fim de tornar mais eficiente a gestão dos recursos hídricos do município. E são elas: cadastro dos poços e monitoramento, estudo da capacidade específica do aquífero, estudo para viabilidade da implementação de recarga artificial, além de educação ambiental, palestras e seminários para conscientização dos habitantes e agricultores quanto ao uso racional da água.

**Palavras-chave:** Presidente Dutra; Água Subterrânea; Gestão.

## ABSTRACT

This work intends to present the results obtained after analyzes concerning the use of groundwater in the municipality of Presidente Dutra - Bahia. This municipality is located in the microregion of Irecê, in the north-central part of the State of Bahia. It is known as the custard apple capital because it reserves approximately 3,845 hectares for the cultivation of the species and produces about 20 tons per hectare of the fruit per year, according to ADAB - State Agency of Agricultural and Livestock Defense of Bahia. The cultivation of custard apple trees generates thousands of jobs in the region and has great importance in the development of the PIB of the municipality, with a revenue of 18 million reais per year. The growing increase in the development of irrigated agriculture in the region has led to an increase in the drilling of wells to access groundwater. Due to this necessity for the use of water resources for the continuity of irrigated agriculture and consequently economic development of the region, it is of fundamental importance to analyze the use of groundwater for a diagnosis that assists in their management. The following steps were carried out to elaborate on the present work: bibliographical survey of the characteristics of the region; collecting data from wells available on the Groundwater Information System (SIAGAS) platform from the Brazilian Geological Service (CPRM); creation of maps, and finally the compilation and analysis of the information collected. It was verified that the drilled wells are destined mainly to irrigation, supply the human supply, animal watering. Regarding the stabilization flow rate, the lowest value computed was 0.32 m<sup>3</sup>/h and the highest was 79.2 m<sup>3</sup>/ h. Concerning the specific capacity, more than half the area of the city is classified between 0.55 and 4.07 m<sup>3</sup>/h/m. The predominant direction of the underground flow is from SE to NW. Through the Piper diagram, 20% of the waters were classified as mixed calcic, 10% as chlorinated calcic. Two samples of groundwater were classified as quality for use in irrigation as class C4-S1, that is, risk of very high salinization and risk of low sodium; and as class C2-S1, having waters at risk of medium salinization and low sodium risk. Taking into account the local characteristics, such as: scarcity of surface water resources, low rainfall rates (200-800 mm/year), negative water balance, increased water demand mainly due to irrigation activities; some recommendations should be implemented in order to make the management of the municipality's water resources more efficient. Moreover, they are: well register and monitoring, aquifer specific capacity study, feasibility study for the implementation of artificial recharge, environmental education, lectures, and seminars to raise the awareness of the inhabitants and farmers about the rational use of water.

**Keywords:** Presidente Dutra; Groundwater; Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapas de Situação e Localização da área da pesquisa.....	19
Figura 2 - Gráfico de Temperatura e Pluviosidade de Presidente Dutra-BA.....	20
Figura 3 - Classificação do comprometimento hídrico segundo o balanço hídrico quantitativo total por UPGRH.....	21
Figura 4 - Mapa de solos da Bacia do rio Verde.....	24
Figura 5 - Mapa da cobertura vegetal e uso do solo da bacia do rio Verde.....	26
Figura 6 - Mapa Geomorfológico da bacia do rio Verde.....	27
Figura 7 -Localização da RPGA dos rios Verde e Jacaré na região do rio São Francisco e no Estado da Bahia.....	28
Figura 8 - Mapa da rede de drenagem da bacia do rio Verde.....	29
Figura 9 - Mapa Geológico da Bacia do rio Verde.....	31
Figura 10 - Estratigrafia da sub-bacia Irecê.....	33
Figura 11 - Mapa Hidrogeológico da microrregião de Irecê, Bahia.....	34
Figura 12 - Mapa de domínios de Temp para o ACS. Polígono vermelho indica a localização do município de Presidente Dutra.....	36
Figura 13 - Tipos de aquíferos quanto à porosidade.....	38
Figura 14 - Tipos de aquíferos quanto à pressão.....	39
Figura 15 - Lapiáz em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama.....	41
Figura 16 - Dolinas em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama.....	42
Figura 17 - Uvalas em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama.....	43
Figura 18 - Poljes em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama.....	44
Figura 19 - Componentes principais do sistema cárstico.....	45
Figura 20 - Fluxograma do método adotado para o mapeamento do fluxo subterrâneo.....	51
Figura 21 - Percentual da vazão de retirada de água.....	52
Figura 22 - Percentual da vazão de consumo de água.....	53
Figura 23 - Projeção da vazão de retirada de água até o ano de 2030.....	53
Figura 24 - Mapa da Classificação NDVI da região de estudo.....	56
Figura 25 - Empreendimentos Rurais em Presidente Dutra.....	57
Figura 26 - Mapa de feições cársticas e lineamentos estruturais da região de estudo.....	58
Figura 27 - Diagrama de rosetas da direção principal dos fotolineamentos.....	59
Figura 28 - Diagrama de rosetas da direção principal dos eixos das dolinas.....	59
Figura 29 - Mapa dos poços utilizados.....	61
Figura 30 - Mapa de zoneamento da capacidade específica da área de estudo.....	67
Figura 31 - Bloco diagrama da carga hidráulica da área de estudo.....	68
Figura 32 - Mapa do fluxo subterrâneo da área de estudo.....	69

Figura 33 - Diagrama de Piper .....	72
Figura 34 - Poços classificados .....	75

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Calcarenito cinza-escuro e calcilito cinza-claro (laminito algal), com estratificação ondular e lenticular.....	33
Fotografia 2 - Lapiaz.....	42
Fotografia 3 - Dolina preenchida com água pluvial.....	42
Fotografia 4 - Vista aérea de uvalas.....	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantitativo de poços perfurados por ano .....	62
Gráfico 2 - Quantitativo de poços perfurados por Formação/Grupo.....	63
Gráfico 3 - Valores de Ne(m).....	64
Gráfico 4 - Gráfico de caixa dos valores de Ne(m).....	64
Gráfico 5 - Valores de Vazão de Estabilização (m <sup>3</sup> /h).....	64
Gráfico 6 - Comparativo entre os valores de Ne(m) e Vazão de Estabilização (m <sup>3</sup> /h) .....	65
Gráfico 7 – <i>Box-plot</i> da Capacidade Específica (m <sup>3</sup> /h/m).....	66
Gráfico 8 - a) Quantidade de amostras por tipo de água; b) Percentual por tipo de água .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos usos consuntivos de água (ano de 2019) .....	54
Tabela 2 - Disponibilidades de água .....	55
Tabela 3 - Demandas de água .....	55
Tabela 4 - Saldo da Disponibilidade hídrica e demanda .....	55
Tabela 5 - Características morfométricas .....	60
Tabela 6 - Valores de Ne, Nd e Q .....	63
Tabela 7 - Dados hidroquímicos das águas subterrâneas na área de estudo.....	70
Tabela 8 - Valor Mínimo Padrão (CONAMA 396/2008) para os parâmetros físico-químicos. ....	71
Tabela 9 - Percentuais das amostras por classes de enquadramento .....	73
Tabela 10 - Valores de STD para classificação dos tipos de água - Resolução CONAMA 357/2005 .	73
Tabela 11 - Localização e dados dos poços .....	91

## ABREVIATURAS E SIGLAS

ADAB	Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia
ANA	Agência Nacional de Águas
CBPM	Companhia Baiana de Pesquisa Mineral
CERB	Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia
Codevasf	Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra às Secas
EBDA	Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Global Position System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MINTER	Ministério do Interior
RPGA	Região de Planejamento e Gestão de Água
SEAGRI	Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente - Bahia
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UBV.3	Unidade de Balanço do rio Verde 3
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
UTM	Universal Transversal de Mercator

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>xiii</b>
<i>CAPÍTULO 1</i> .....	16
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVOS .....	17
1.1.1 Geral .....	17
1.1.2 Específicos.....	17
1.2 JUSTIFICATIVAS .....	17
1.3 ESTRUTURAÇÃO DOS CAPÍTULOS .....	18
<i>CAPÍTULO 2</i> .....	19
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	19
2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS .....	19
2.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	20
2.2.1 Clima .....	20
2.2.2 Solos .....	22
2.2.3 Vegetação e uso da terra.....	24
2.2.4 Geomorfologia.....	26
2.2.5 Hidrografia.....	28
<i>CAPÍTULO 3</i> .....	30
3 ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS .....	30
3.1 GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL.....	30
3.1.1 Formação Salitre.....	32
3.2 HIDROGEOLOGIA .....	33
3.3 ASPECTOS HIDRODINÂMICOS .....	35
<i>CAPÍTULO 4</i> .....	37
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	37
4.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	37
4.2 AQUÍFERO .....	38

4.3	QUALIDADE DA ÁGUA.....	39
4.4	CARSTIFICAÇÃO.....	40
4.4.1	Fenômenos de carstificação.....	40
4.4.2	Feições cársticas.....	41
4.5	HIDROGEOLOGIA DOS MEIOS CÁRSTICOS.....	45
<i>CAPÍTULO 5</i> .....		47
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
5.1	MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.....	48
5.2	MÉTODO DE MAPEAMENTO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS .....	49
5.3	MÉTODO PARA ELABORAÇÃO DO MAPA DE CAPACIDADE ESPECÍFICA 49	
5.4	MÉTODO PARA MAPEAMENTO DE FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA....	50
<i>CAPÍTULO 6</i> .....		52
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
6.1	CLASSIFICAÇÃO NDVI E IMÓVEIS RURAIS .....	56
6.2	FEIÇÕES CÁRSTICAS .....	57
6.3	DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DOS POÇOS EM PRESIDENTE DUTRA	60
6.4	CAPACIDADE ESPECÍFICA .....	65
6.5	FLUXO SUBTERRÂNEO .....	68
6.6	CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS .....	69
<i>CAPÍTULO 7</i> .....		76
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	76
REFERÊNCIAS .....		81

# 1 INTRODUÇÃO

---

O desenvolvimento da agricultura irrigada vem ganhando destaque no cenário econômico nacional. O município de Presidente Dutra, situado na mesorregião centro-norte do Estado da Bahia, é conhecido como a capital da pinha destinando cerca de 3.845 hectares para o cultivo da espécie e chegando a produzir cerca de 20 toneladas por hectare da fruta por ano, segundo a Agência Estadual de Defesa Agropecuária da Bahia (ADAB, 2015). O cultivo da pinha gera milhares de empregos na região e possui grande importância no desenvolvimento do PIB do município, com uma receita de 18 milhões de reais no ano de 2010, conforme a ADAB (2011a *apud* OLIVEIRA, 2016). Vale ressaltar que na década de 80 que começou a aumentar a demanda de mercado para a pinha.

De acordo com levantamentos realizados por Machado (2012), a atividade de agricultura irrigada é desenvolvida no município principalmente por agricultores familiares, ou seja, cuja propriedade possui até 260 ha de área e fazem uso predominantemente de mão de obra familiar. O mesmo autor indica o destaque de Presidente Dutra em relação aos outros municípios que compreendem a microrregião de Irecê, no que diz respeito às áreas destinadas ao cultivo da pinha, chegando a atingir 58% da área. Além disso, é o responsável pela produção de 63% da pinha no território, conforme Censo IBGE 2010. Tendo em vista tais dados, Machado (2012) conclui que o município de Presidente Dutra é o principal produtor e exportador de pinha do território de Irecê.

O crescente aumento do desenvolvimento da agricultura irrigada na região fez com que houvesse acréscimo na perfuração de poços para exploração das águas subterrâneas. Em média são utilizados 300 litros de água por planta semanalmente, apenas no cultivo da pinha. Em contrapartida, muitos poços acabaram por secar devido à sobre-exploração das águas e a lenta recarga natural que é responsável pelo abastecimento dos aquíferos. Em virtude deste fato e da necessidade do uso dos recursos hídricos para a continuidade da agricultura irrigada e, conseqüentemente, desenvolvimento econômico da região, torna-se de fundamental importância a análise do uso das águas subterrâneas para um diagnóstico que auxilie em sua gestão.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

O trabalho tem como objetivo analisar o uso das águas subterrâneas no município de Presidente Dutra – BA.

### 1.1.2 Específicos

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa torna-se necessário o cumprimento dos seguintes procedimentos específicos:

- Levantar dados e informações concernentes ao uso das águas na região;
- Pesquisar trabalhos publicados desenvolvidos no município;
- Adquirir dados dos poços instalados na região que constam no SIAGAS;
- Verificar a vazão utilizada nos poços;
- Elaborar mapas que visem contribuir para a análise do uso das águas, como: Mapa de Classificação NDVI, Mapa das feições cársticas, Mapa do fluxo subterrâneo, Mapa de zoneamento da capacidade específica do aquífero;
- Classificar as águas subterrâneas com relação à sua hidroquímica;
- Compilar os dados e informações obtidos através das etapas anteriores e propor alguns métodos para auxiliar na gestão dos recursos hídricos do município.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

A pesquisa visa estudar o uso das águas subterrâneas em Presidente Dutra. Em virtude do sucessivo aumento de demanda de água para a atividade de agricultura irrigada, que vem crescendo na região em detrimento da agricultura de sequeiro, muitos poços são perfurados para exploração das águas subterrâneas. No entanto, há localidades onde os poços perfurados secaram, sendo a provável causa a sobre-exploração e baixas taxas de recarga por se tratar de uma região semiárida.

O desenvolvimento da economia do município é baseado principalmente na comercialização da pinha, e a irrigação vem se tornando grande aliada para o aumento da produção da fruta. Portanto, a realização de estudos com a finalidade de promover uma melhor utilização dos recursos hídricos disponíveis no município é fundamental. Estes estudos irão auxiliar os produtores a desenvolver um cultivo rentável de forma a

minimizar os impactos ambientais negativos, possibilitando o uso racional destes recursos.

### 1.3 ESTRUTURAÇÃO DOS CAPÍTULOS

Este trabalho está estruturado em 07 capítulos assim apresentados:

No Capítulo 1 é feita uma introdução ao assunto do trabalho, bem como apresentam-se os objetivos (geral e específicos) e a justificativa para a elaboração do presente estudo.

O Capítulo 2 aborda os aspectos fisiográficos da área de estudo, abordando o clima, tipos de solos, vegetação e uso da terra, geomorfologia e hidrografia.

O Capítulo 3 apresenta os aspectos geológicos e hidrogeológicos existentes na área de estudo e seu entorno.

O Capítulo 4 traz uma fundamentação teórica para o presente estudo.

No Capítulo 5 são identificados e detalhados os procedimentos metodológicos utilizados para alcançar os objetivos delineados.

O Capítulo 6 avalia e discute os resultados analíticos obtidos.

No Capítulo 7, o trabalho encerra-se com as conclusões e as recomendações pertinentes.

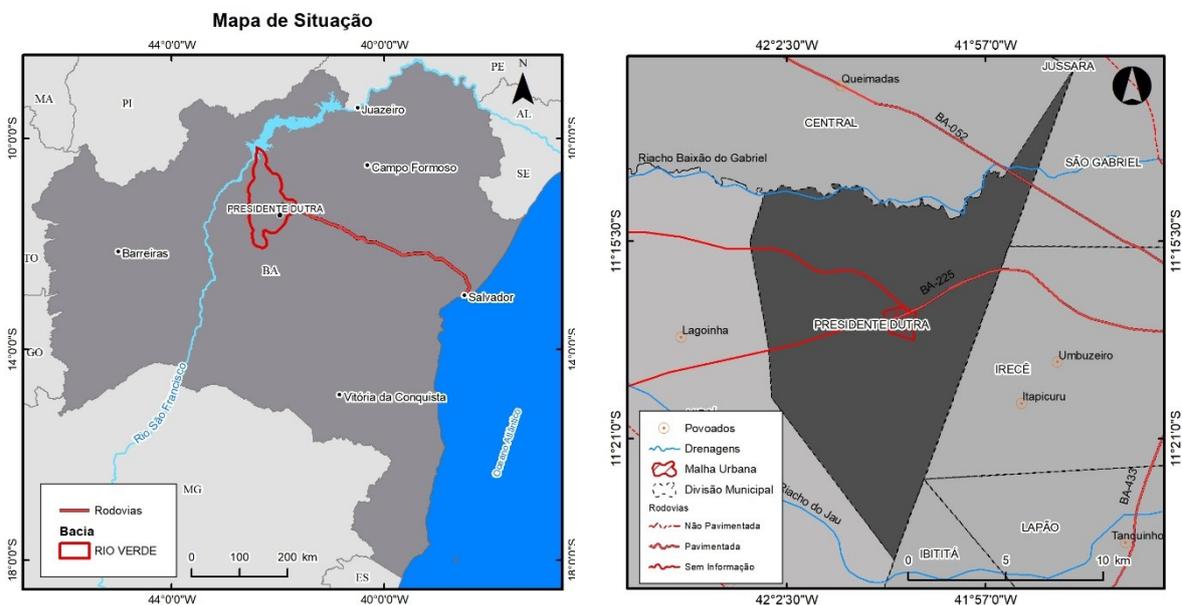
## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O município de Presidente Dutra compreende uma área de 163,55 km<sup>2</sup> e faz parte da microrregião de Irecê, situada na porção centro-norte do Estado da Bahia (Figura 1). Está situado entre os pares de coordenadas geográficas: 11°10'46" latitude Sul e 41°59'12" longitude Oeste, 11°26'00" S e 41°59'12" W, 11°26'00" S e 42°3'00" W, 11°10'46" S e 42°3'00" W. Possui como municípios limítrofes Irecê, São Gabriel e Lapão, a leste, Central e Jussara, a norte, Uibaí, a oeste e Ibititá, a sul. Vale ressaltar que o município de estudo se insere na bacia hidrográfica do rio Verde.

O município de Presidente Dutra dista 495 km de Salvador, capital do Estado. O principal acesso ao município ocorre pelas rodovias: BR-324, BA-052 e BA-225, em um percurso de aproximadamente 6 horas e 30 min de carro.

Figura 1 - Mapas de Situação e Localização da área da pesquisa.



Fonte: autor, dados do IBGE (2018)

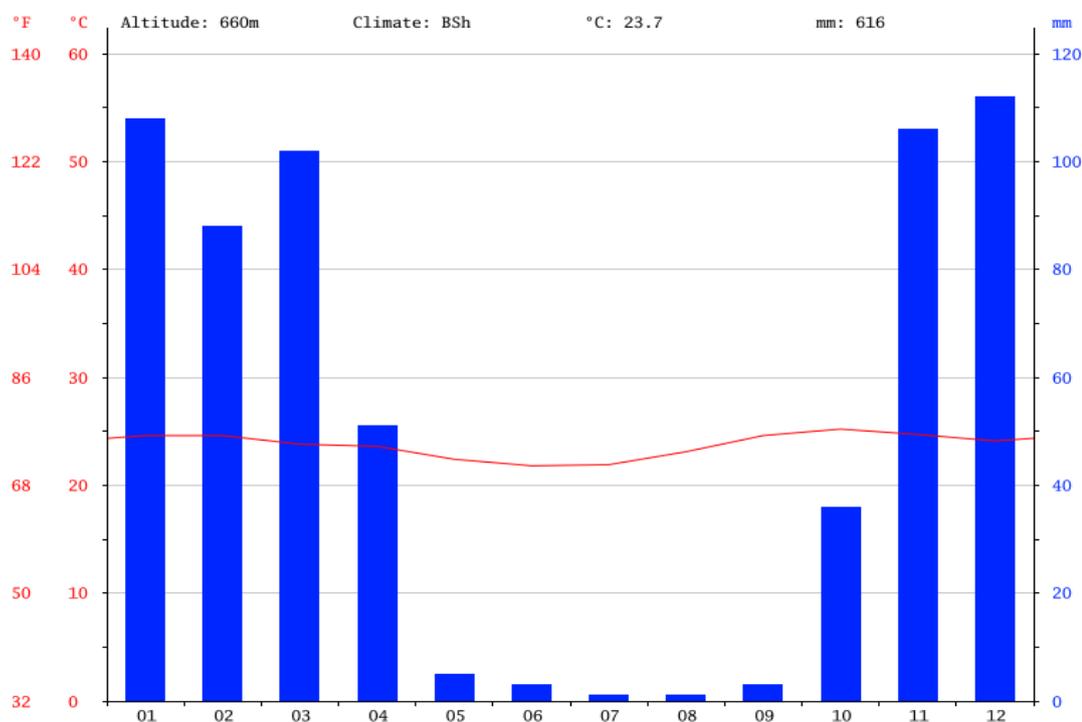
## 2.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

### 2.2.1 Clima

O município é caracterizado pelo clima semiárido, tipo BSw h segundo a classificação de Köppen (GONÇALVES, 2004) e precipitação pluviométrica média que varia entre 200 a 800 mm/ano, a qual distribui-se principalmente entre os meses de outubro a abril (CDSTI, 2010). A temperatura varia em torno de 22° a 30° C. Devido à má distribuição de chuva, a região apresenta longos períodos de estiagem, por vezes atingindo até oito meses no ano (SOUZA, 2008).

O gráfico abaixo (Figura 2) representa uma média de pluviosidade e temperatura oriunda de estações meteorológicas ao longo de 30 anos, até 2012. A partir dele, é possível verificar que o mês mais seco é o de julho, com cerca de 1mm, e o mês mais chuvoso, dezembro, apresentando pouco mais de 110mm. A média anual de pluviosidade é 616mm. Com relação à temperatura, esta não demonstra muita variação, e em média marca 23,7°C.

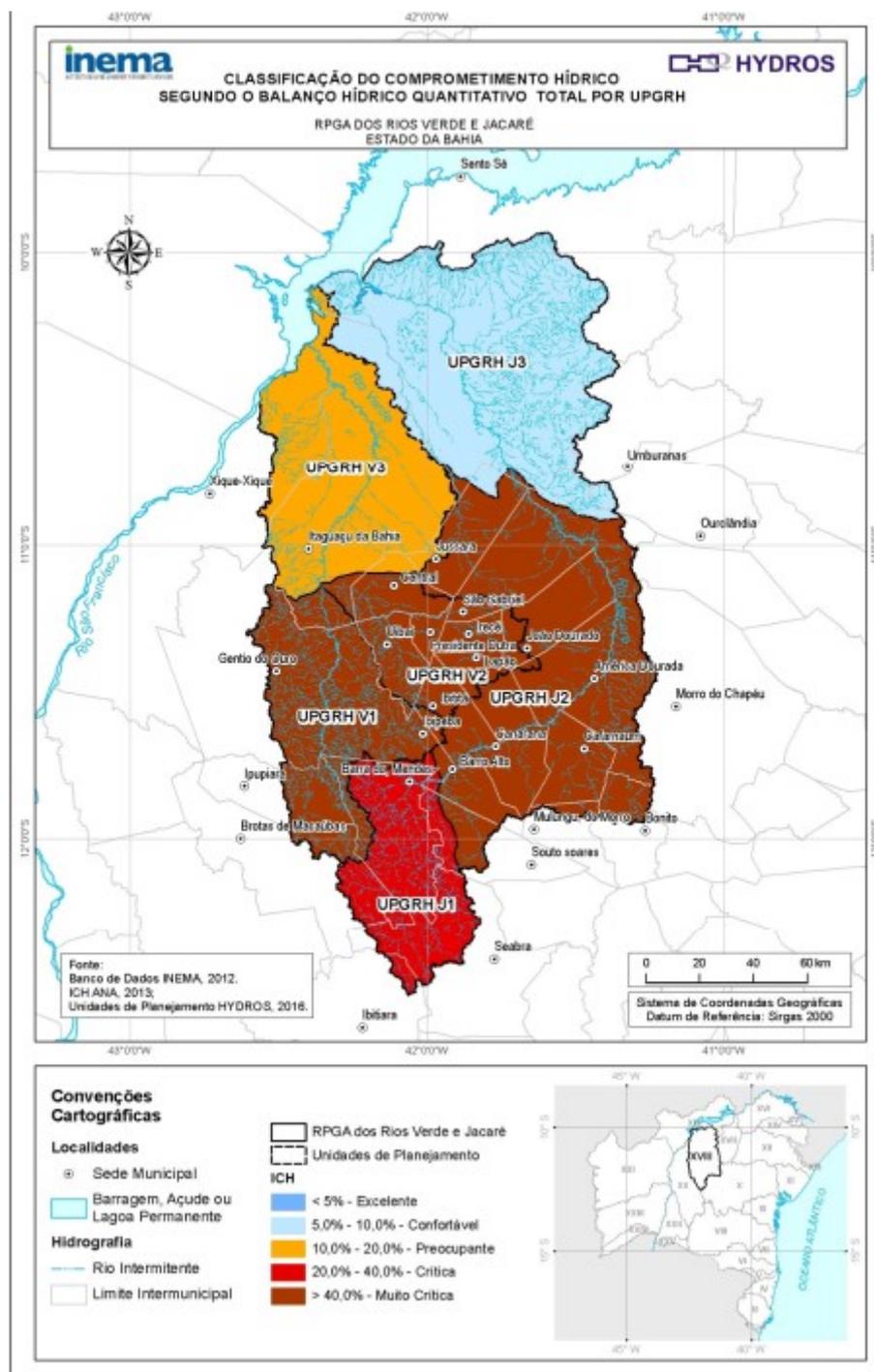
Figura 2 - Gráfico de Temperatura e Pluviosidade de Presidente Dutra-BA.



Fonte: média dos dados de estações meteorológicas (Irecê – código: 1141014) da série histórica entre 1982 a 2012. Climate-Data.org (2018).

A Figura 3, a seguir, é um mapa da classificação do comprometimento hídrico que consta no Plano de Bacia da RPGA dos rios Verde e Jacaré. É possível identificar que o município de Presidente Dutra encontra-se em uma zona classificada com um Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) maior que 40%, ou seja, refletindo uma situação muito crítica.

Figura 3 - Classificação do comprometimento hídrico segundo o balanço hídrico quantitativo total por UPGRH.



Fonte: INEMA (2017a).

### 2.2.2 Solos

A região da bacia hidrográfica do rio Verde apresenta quatro tipos de solo, sendo eles: Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háptico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Litólico, conforme os dados do *shape* de solos disponibilizados pela plataforma *GeoSGB* da CPRM. A descrição destes solos, a seguir, baseia-se no Boletim de Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solo da Margem Direita do Rio São Francisco – Estado da Bahia (JACOMINE, 1976).

#### **i) Argissolo**

Ocorre na porção centro-norte da bacia e constituem solos relativamente profundos e bem drenados. Em comparação aos Latossolos não são muito profundos, porém quanto aos Cambissolos são mais profundos.

#### **ii) Cambissolo Háptico**

Ocorre na porção leste e ocupa quase metade da bacia do rio Verde. Caracterizam-se por serem solos rasos e bem drenados.

#### *Cambissolo Háptico Ta Eutrófico*

Este é o tipo de Cambissolo que predomina na região e que são mais utilizados na agricultura pela sua alta fertilidade natural. É caracterizado por uma textura franco-arenosa ou mais argilosa e cor bruno a bruno-amarelado. São fortemente a imperfeitamente drenados, rasos a profundos e possuem boa fertilidade, conforme a Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC.

#### **iii) Latossolo Vermelho Amarelo**

Ocorrem tanto à norte como ao sul da bacia, sendo ao sul em menor proporção. Sua coloração varia de vermelho ao amarelo. Caracterizam-se pela sua média a grande profundidade, associados comumente a terrenos planos ou suavemente ondulados, mas podem ocorrer também em relevos ondulados a montanhosos. Apresenta baixa fertilidade natural inibindo seu uso para agricultura.

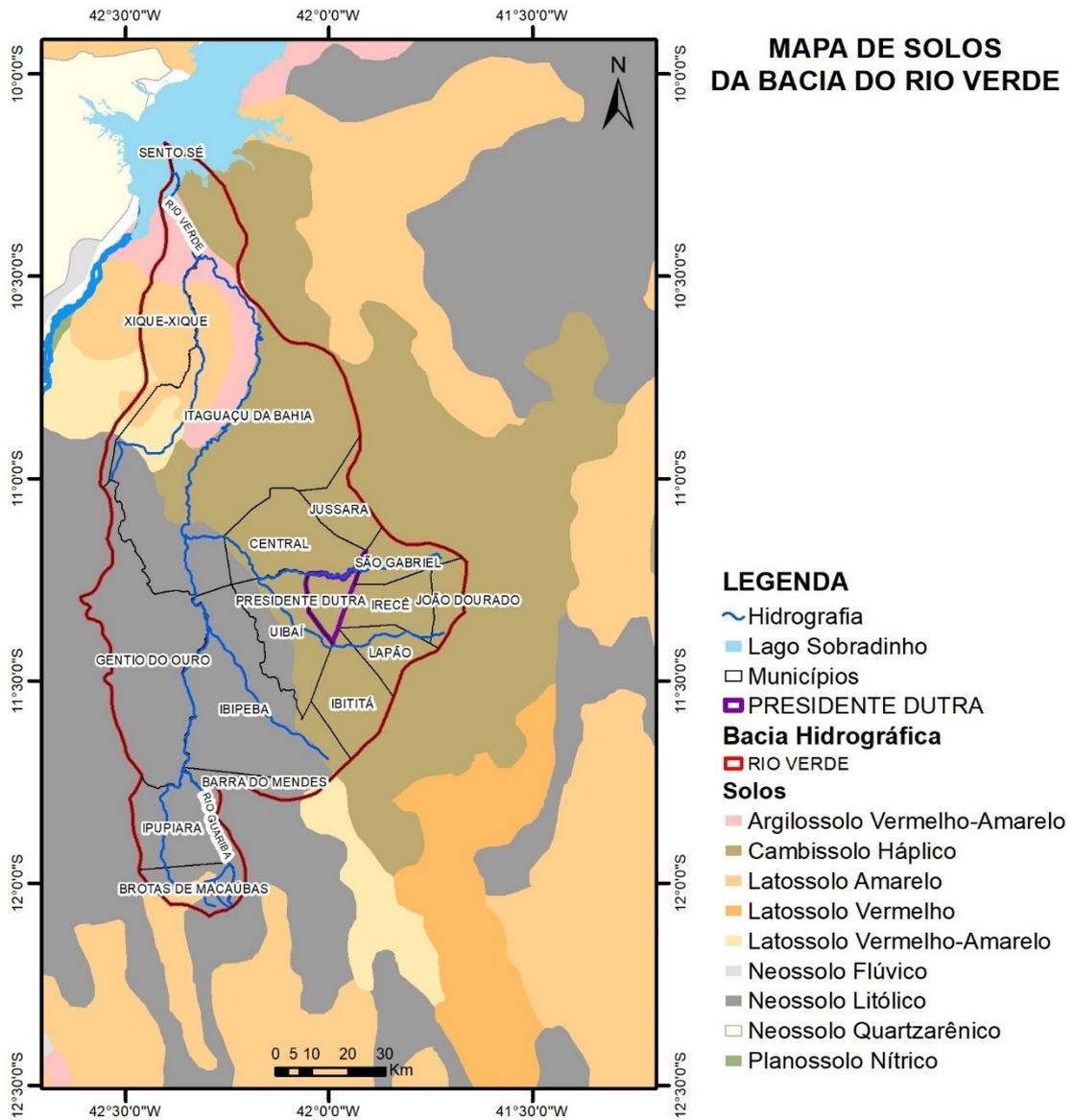
**iv) Neossolo**

*Litólico*

Ocorre na porção centro-oeste e sudoeste e ocupa boa parte da área da bacia. São solos rasos a muito rasos, de coloração acinzentada a esbranquiçada, são pouco desenvolvidos e por conta da alta pedregosidade e erosão interna não são muito utilizados para agricultura. Estão associados a relevos montanhosos, na área ocorrem sobre as rochas e metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina.

Devido ao arcabouço geológico carbonático da região, o solo que predomina no município de Presidente Dutra é o Cambissolo Háplico Ta Eutrófico (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de solos da Bacia do rio Verde



Fonte: IBGE/Embrapa (2001).

### 2.2.3 Vegetação e uso da terra

A vegetação que predomina na região é do tipo Caatinga Arbórea Aberta, sem palmeiras (BRITO, 2010). De acordo com a classificação apresentada no RADAM Brasil, este tipo de vegetação ocorre comumente em áreas pediplanadas com solos rasos e litólicos. Caracteriza-se por uma fisionomia antrópica, a qual contribui para a lixiviação do solo em épocas de chuvas torrenciais. Como o próprio nome já indica, a distribuição

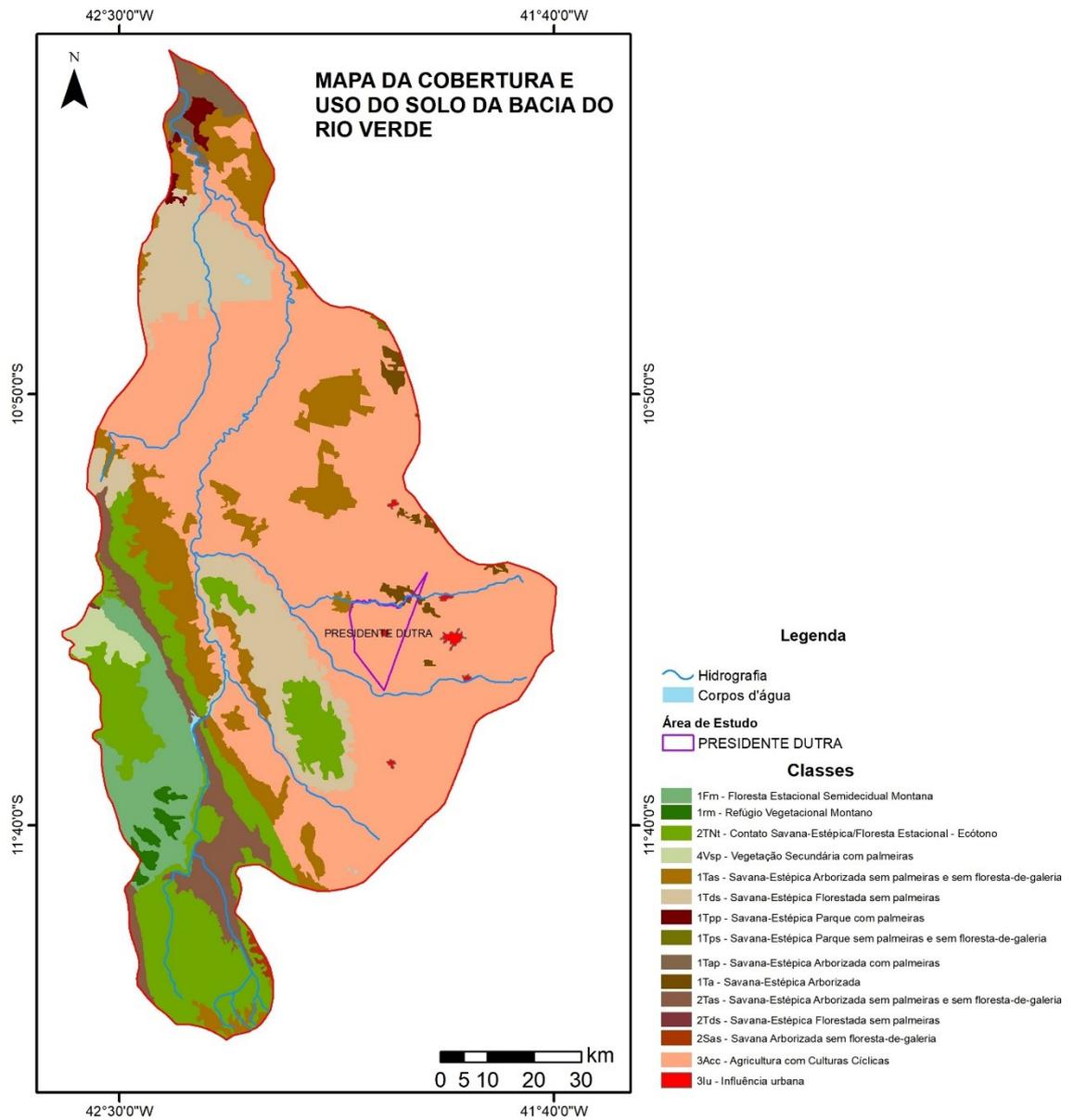
dos indivíduos que constituem este tipo vegetativo se dá de forma espaçada, por isso a denominação aberta. A frequência de cactáceas de pequeno porte é comum.

As espécies mais comuns de árvores são: o Juazeiro, a Aroeira, a Algaroba, o Umbuzeiro, dentre outros; e os arbustos mais comuns são: o Xiquexique, o Sanjoeiro e Quebra-facão, além de cactáceas como o Mandacaru, a cabeça-de-frade, dentre outras espécies com espinhos e folhas xerófitas, as quais estão adaptadas à escassez hídrica da região e em geral, apresentam raízes profundas para a captação das águas subterrâneas (SOUZA, 2008).

Os indivíduos que representam a vegetação da Caatinga caracterizam-se por serem do tipo Caducifólia, pois, nos períodos de seca perdem suas folhas, e nos períodos chuvosos voltam a recuperá-las. Esta característica é similar ao da pinheira. Apesar de não ser nativa da região se assemelha em alguns aspectos aos indivíduos nativos (SOUZA, 2008).

O mapa, a seguir, representa a cobertura vegetal e o uso do solo da bacia do rio Verde (Figura 5).

Figura 5 - Mapa da cobertura vegetal e uso do solo da bacia do rio Verde



Fonte: autor, IBGE (2016).

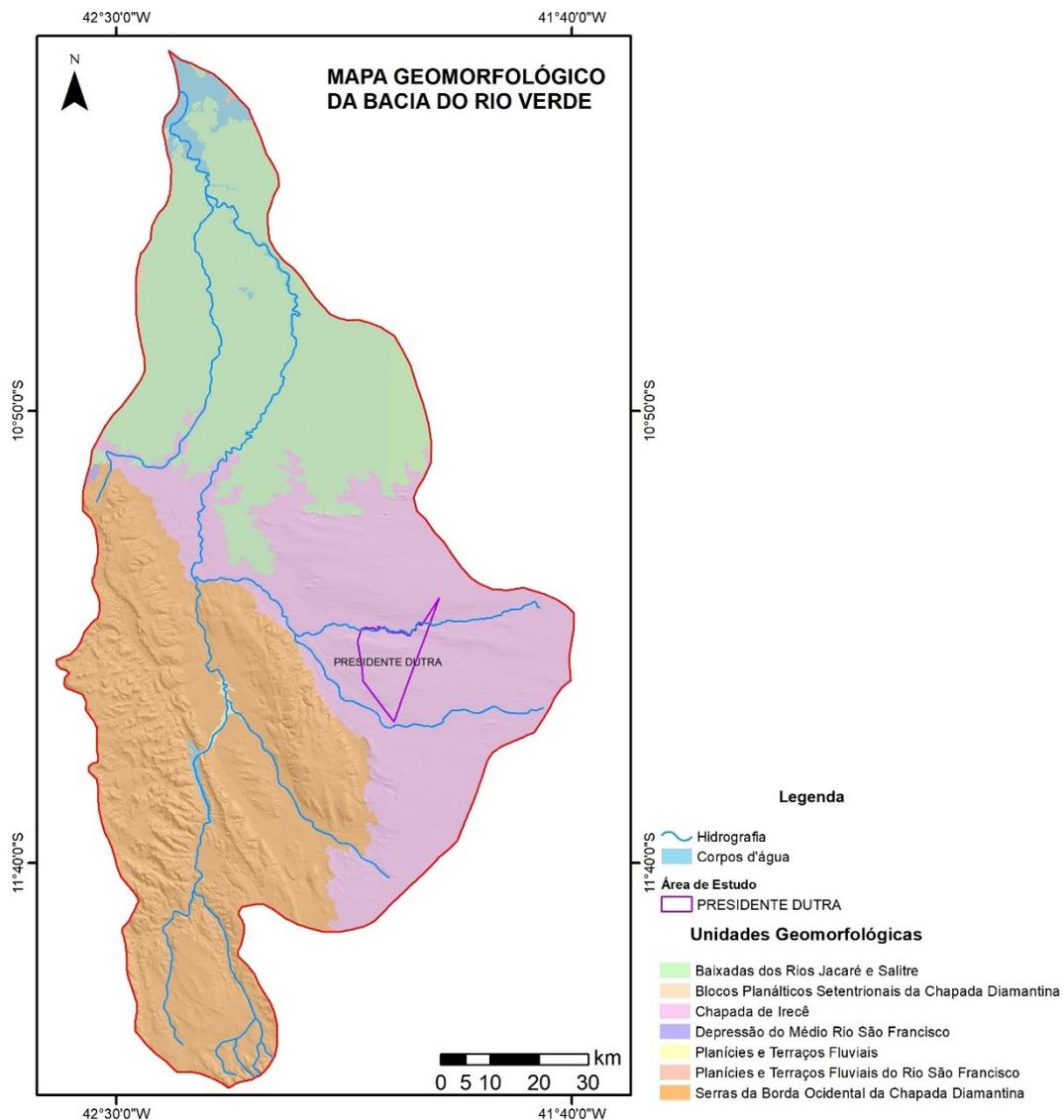
## 2.2.4 Geomorfologia

Reconhecer os aspectos geomorfológicos da área neste estudo assume relevância para a identificação de áreas de recarga e exutórios, além de possibilitar a caracterização dos processos morfodinâmicos que ocorrem.

O município de Presidente Dutra encontra-se na unidade geomorfológica denominada Chapada de Irecê (BRASIL, 1981), cuja altitude varia em torno de 600 a 800m e constitui um relevo plano, com poucos picos de elevação (Figura 6).

Esta unidade é caracterizada pelos modelados de dissolução comuns aos ambientes Cársticos. Ou seja, as rochas que compõe o arcabouço litológico da área são carbonáticas e muito solúveis. Apresentam, em geral, porosidade secundária, que permite a percolação de fluidos e conseqüentemente sua dissolução devido a composição química delas. Esta dissolução provoca o modelamento de feições cársticas em superfície e em subsuperfície, o que torna complexo o estudo das águas subterrâneas, pois não se trata de um reservatório isotrópico.

Figura 6 - Mapa Geomorfológico da bacia do rio Verde



Fonte: autor, IBGE (2018).

## 2.2.5 Hidrografia

O Município de Presidente Dutra está inserido totalmente na bacia dos rios Verde e Jacaré na Região de Planejamento e Gestão de Água (RPGA) XVIII, conforme a divisão utilizada pelo INEMA (Figura 7). Esta bacia limita-se ao norte com a bacia dos rios Riachos e Veredas, a oeste com bacia dos rios Paramirim e Santo Onofre, ao sul com a bacia do rio Paraguaçu e à leste com a bacia do rio Salitre (INEMA, 2017a).

Figura 7 -Localização da RPGA dos rios Verde e Jacaré na região do rio São Francisco e no Estado da Bahia



Fonte: INEMA, 2017a.

O município de Presidente Dutra não apresenta rios perenes, sendo em sua maioria cursos d'água intermitentes que são abastecidos pelas águas da chuva, mas, nos períodos de seca, permanecem sem água, o que prejudica o abastecimento público e requer utilização de outros recursos para suprimento da população. Nas décadas de 70 e 80 o governo federal, por intermédio da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) e outros órgãos como o Departamento Nacional de Obras Contra às Secas (DNOCS), Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), e o já extinto Ministério do Interior (MINTER), propuseram um projeto de perenização dos rios da região através da construção de barragens para o represamento das águas meteóricas. No entanto, por consequência da falta de um estudo mais especializado, este projeto não gerou resultados positivos. Isto se deve ao fato de nos



### 3 ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

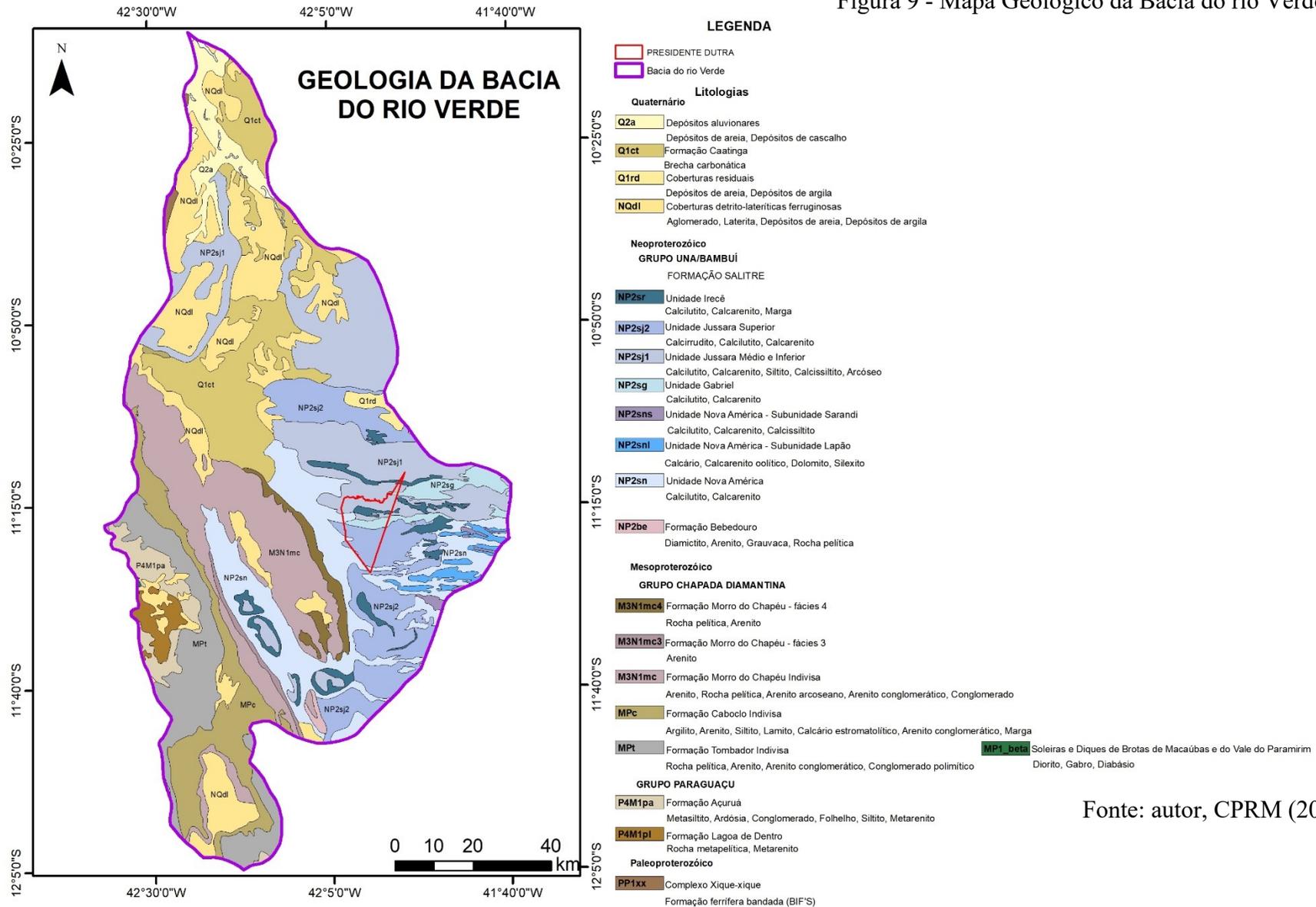
---

#### 3.1 GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

As rochas que compõe o substrato rochoso da bacia do rio Verde datam de um intervalo desde o Paleoproterozóico ao Quaternário recente (Figura 9). Os seguintes litotipos ocorrem na região conforme Inda & Barbosa (1978 *apud* SILVA, 2005):

- (i) Complexo Xique-Xique – constitui o embasamento do Supergrupo Espinhaço. Data do Paleoproterozóico e é composto por itabiritos e quartzitos com intercalações de chert. Ocorre a noroeste da bacia, mas sua representatividade na bacia é bem pequena;
- (ii) Supergrupo Espinhaço – na bacia do rio Verde é representado pelos grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina. O Grupo Paraguaçu é constituído por rochas metamorfizadas e metassedimentares, como vulcanitos, metaconglomerados, metarenitos a metapelitos. O Grupo Chapada Diamantina funciona como o divisor de águas da bacia hidrográfica e aflora a sul, leste e oeste. É composto por rochas sedimentares de conglomerados a folhelhos;
- (iii) Supergrupo São Francisco - dividido em Grupo Una e Bambuí, sendo que apenas o primeiro aflora na área da bacia. O Grupo Una é composto pelas formações: Bebedouro e Salitre. A Formação Salitre é subdividida nas seguintes unidades: Nova América, Gabriel, Jussara e Irecê – divisão adotada por Pedreira *et al.*, (1987). Predominam rochas carbonáticas e algumas rochas sedimentares conglomeráticas e siltosas, do Neoproterozóico;
- (iv) Formações Superficiais, tércio-quaternárias, Formação Caatinga, Depósitos de Tálus e Depósitos aluvionares recentes.

Figura 9 - Mapa Geológico da Bacia do rio Verde



### 3.1.1 Formação Salitre

A Formação foi inicialmente descrita por Branner (1911) quando denominou a rocha no vale do rio Salitre, como “Calcário Salitre”, e mais tarde foi elevada à categoria de Formação por Pedreira *et al.* (1975 *apud* SILVA, 1994), dividindo-a em quatro unidades de litofácies, tais como: Nova América, Gabriel, Jussara e Irecê, da base para o topo (Figura 10). Estas unidades limitam-se através de contatos gradacionais ou interdigitados.

Conforme Branner (1911), essa formação possui uma espessura aproximada de 500 metros e está em discordância erosiva e angular com o embasamento cristalino do Grupo Chapada Diamantina e a Formação Bebedouro. Coberturas cenozoicas recobrem parte das rochas que compõe a Formação Salitre. A descrição das unidades que compõe essa formação apresenta-se a seguir:

Unidade Nova América: constitui-se de laminito algal, calcilutito, calcissiltito e níveis de calcarenito, dolarenito e estromatólitos colunares, muitas vezes silicificados. Estruturas dos tipos: estratificações onduladas, lenticulares, cruzadas *hummocky* e *tepee*, são identificadas. Comumente os litotipos dessa unidade estão associados a mineralizações de Zn, Pb, barita e concentrações de fosfato.

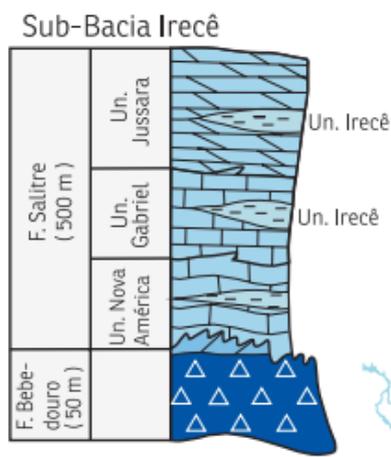
Unidade Gabriel: compõe-se de calcilutito peloidal, calcissiltito laminado, calcarenito maciço oolítico, níveis de calcirudito, argilito, conglomerado intraclástico. Estruturas comuns são: laminação plano-paralela e estratificação cruzada *hummocky*, além de processos de silicificação.

Unidade Jussara: constitui-se de calcarenito intraclásticos peloidais oncolíticos, calcarenitos quartzosos, calcirudito, calcissiltito, calcilutito peloidal micrítico, com níveis de arenitos, e zonas silicificadas. Estruturas de estratificação, laminação plano-paralela, estratificações cruzadas tangenciais à base, sigmoidal, tipo espinha-de-peixe e marcas de onda são comuns.

Unidade Irecê: é composta de calcilutito laminado, localmente plaqueado, interestratificado com marga, arenito, siltito e argilito.

A fotografia 1, a seguir, representam as rochas da região de estudo.

Figura 10 - Estratigrafia da sub-bacia Irecê



Fonte: Guimarães *et al.*, 2012.

Fotografia 1 - Calcarenito cinza-escuro e calcilito cinza-claro (laminito algal), com estratificação ondular e lenticular



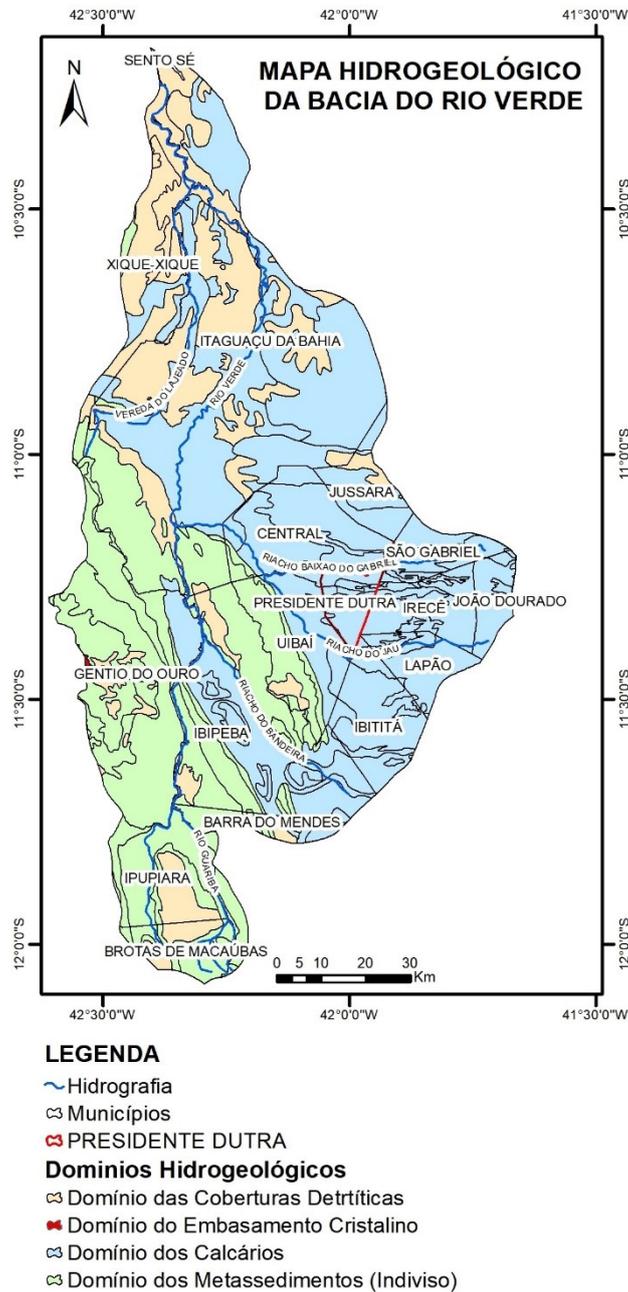
Fonte: Guimarães *et al.*, 2012.

### 3.2 HIDROGEOLOGIA

Na Bacia do rio Verde ocorre predominantemente três domínios hidrogeológicos (Figura 11) e são eles: Domínio dos Calcários, também denominado de Aquífero Cárstico Salitre (ACS); Domínio dos Metassedimentos, que representam o Aquífero Fissural Chapada Diamantina (AFCD) e os Domínios das Coberturas Detríticas. Em menor proporção, à oeste, próximo ao município de Gentio do Ouro, ocorre também o Domínio do Embasamento Cristalino.

O município de Presidente Dutra encontra-se sobre o domínio dos Calcários que reflete o substrato rochoso carbonático que predomina na região. Trata-se de um aquífero fissuro-cárstico anisotrópico, que combina o armazenamento de água em fraturas, fissuras e cavidades cársticas comuns a este tipo de rocha.

Figura 11 - Mapa Hidrogeológico da microrregião de Irecê, Bahia.



Fonte: Autoria própria, dados do IBGE (2018).

### 3.3 ASPECTOS HIDRODINÂMICOS

As características hidrogeológicas e hidrodinâmicas de um aquífero definem sua capacidade de armazenamento (porosidade) e transmissão de fluido (permeabilidade). Quando se trata de aquíferos fissuro-cársticos o estudo dessas características se torna mais complexo, por conta de sua natureza. Este tipo de aquífero apresenta porosidade primária, intergranular, mas também, porosidade secundária, devido aos processos de carstificação e fraturamento.

De acordo com Brasil (2003), o sistema cárstico representa uma rede subterrânea dos condutos (*karst network*) com uma condutividade hidráulica muito alta ( $K > 10^{-1}$  m/s) que está embutida numa matriz rochosa de baixa permeabilidade (calcário fissurado) com valores de K entre  $10^{-3}$  m/s a  $10^{-7}$  m/s, o que depende do grau de fraturamento e estratificação. A capacidade de armazenamento em um sistema cárstico de conduto é pequena por causa da baixa permeabilidade do calcário fissurado que o compõe. Este sistema cárstico geralmente conecta-se às saídas (nascentes) (GRASSO & JEANNIN, 2002 *apud* BRASIL, 2003).

Na região da bacia dos rios Verde e Jacaré observa-se vazões predominantes iguais ou inferiores a 5 m<sup>3</sup>/h, no entanto, existem poços com vazões superiores a 30 m<sup>3</sup>/h. Estes, em geral, estão localizados próximos a grandes lineamentos estruturais e zonas de descarga do aquífero, adjacente ao contato dos metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina na borda leste e oeste do aquífero. A relação entre profundidade e vazão na área da bacia é ínfima (BASTOS LEAL & SILVA 2004 *apud* LUCIANO, 2007).

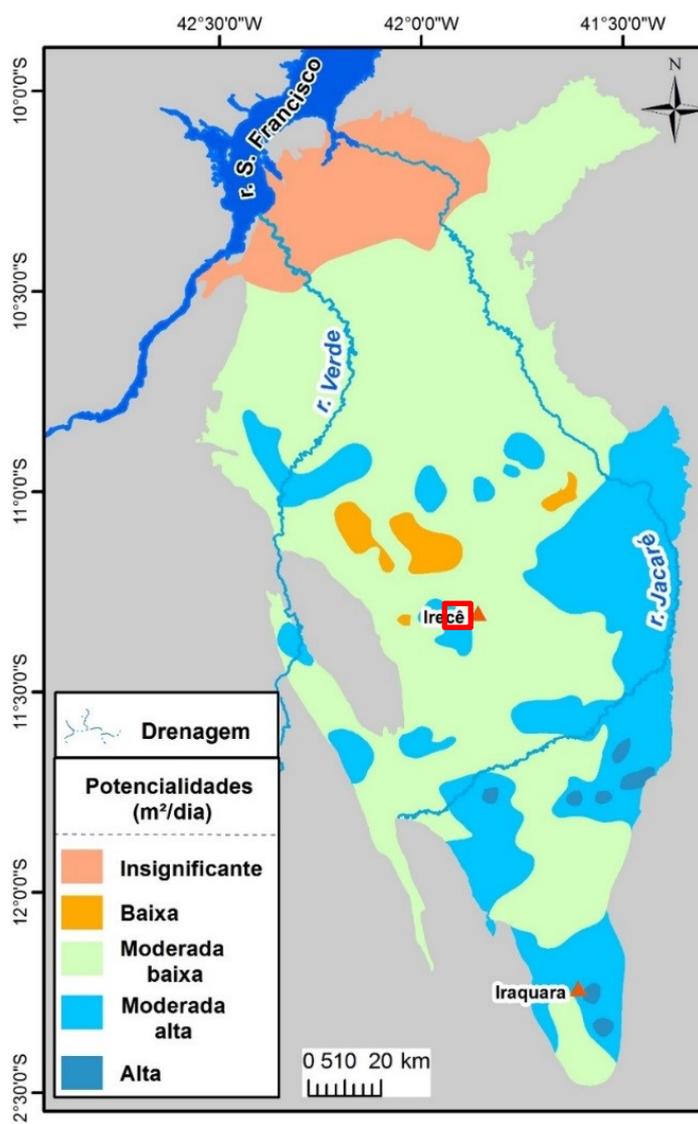
Conforme Ramos *et al.* (2007) dados de nível freático do aquífero ressaltam a sua proximidade à superfície, apresentando valores inferiores a 15m, enquanto valores superiores a 45m são encontrados mais ao sul/sudeste da bacia. A crescente perfuração de poços na região tem provocado um rebaixamento do nível freático de aproximadamente 1m ao ano nos últimos 20 anos. Em contrapartida, análises de dados isotópicos e medidas de nível freático estimam valores médios de recarga regional na faixa de 55 a 66 mm/ ano (BEDMAR *et al.* 1980, GUERRA, 1986; RAMOS, 2005; BERALDO, 2005).

Alguns poços na borda leste da bacia apresentam menor valor de rebaixamento do nível freático. Este fato está associado a zonas de maior carstificação, de descarga natural

e de maiores valores de capacidade específica (média de 4,5 m<sup>3</sup>/h/m), revelando áreas de maior potencialidade para explorar águas subterrâneas na região (BRASIL, 2003).

Gonçalves & Leal (2018) apresentam valores de transmissividade empírica (Temp) calculados com base nos valores de capacidade específica (Sc) obtidos de 1.334 poços no Aquífero Cárstico Salitre (ACS). A partir desses dados, os autores dividiram o ACS em cinco zonas de potencialidades hídricas (Figura 12). O menor valor de Temp foi de 0,916 m<sup>2</sup>/dia, enquanto o maior valor foi de 1.245,8 m<sup>2</sup>/dia. O município de Presidente Dutra, objeto do presente estudo, situa-se no domínio de potencialidade moderada baixa/moderada alta.

Figura 12 - Mapa de domínios de Temp para o ACS. Polígono vermelho indica a localização do município de Presidente Dutra



Fonte: Adaptado de Gonçalves & Leal (2018).

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

---

A microrregião de Irecê é alvo de uma série de estudos hidrogeológicos, bem como de análises da qualidade das águas da região e acerca do cultivo de diversas espécies que os municípios produzem. No entanto, poucos são os trabalhos que relacionam o uso das águas subterrâneas com o desenvolvimento da atividade agrícola. A seguir, alguns trabalhos relevantes para o desenvolvimento da pesquisa em foco serão destacados e brevemente resumidos.

Um relatório publicado por Cordeiro *et al.* (2000) aponta a recente utilização da tecnologia irrigada para aumento da produtividade no cultivo da pinha.

O trabalho de Souza (2008) desenvolve uma abordagem voltada para a investigação da existência de um desenvolvimento sustentável gerado pela produção e comercialização da pinha em Presidente Dutra-BA, concluindo que não há. A justificativa se baseia no fato do uso indiscriminado dos recursos naturais, sem a devida atenção para sua conservação.

Galvão (2016) levanta uma preocupação no que tange aos impactos ambientais que vem sendo provocados em consequência da prática de um cultivo de pinha cada vez mais tecnificado.

### 4.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA

As águas subterrâneas podem ser simplesmente definidas como sendo fluidos armazenados em subsuperfície nos poros, fraturas e cavidades das rochas e que circulam por elas conforme a permeabilidade característica das rochas.

De acordo com o Departamento de Recursos Minerais (DRM) do Serviço Geológico do estado do Rio de Janeiro, a água subterrânea é a parcela da água que permanece no subsolo, onde flui lentamente até descarregar em corpos de água de superfície, ser interceptada por raízes de plantas ou ser extraída em poços. Tem papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. A água subterrânea é também responsável pelo fluxo de base dos rios, sendo responsável pela sua perenização durante os períodos de estiagem. Essa contribuição em todo o mundo é da ordem de 13.000 km<sup>3</sup>/ano (*World Resources Institute, 1991 in REBOUÇAS, 1998*), quase 1/3 da descarga dos rios. Portanto, exerce papel importante no ciclo hidrológico do planeta.

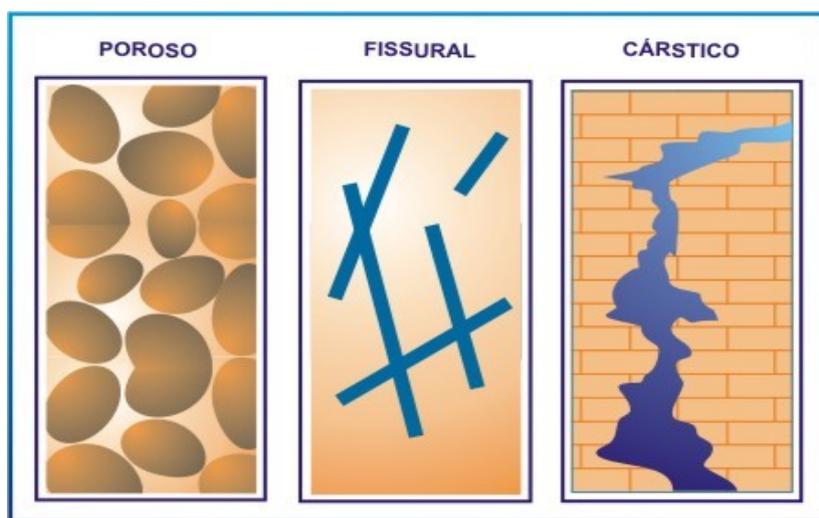
A água subterrânea é oriunda principalmente das águas das chuvas que percolam, por causa da ação da gravidade, através dos solos e da zona não saturada até que penetram nas cavidades das rochas onde ficam armazenadas por um determinado tempo.

#### 4.2 AQUÍFERO

Um aquífero representa uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais.

Existem basicamente três tipos de aquíferos: Poroso ou sedimentar; Cárstico e Fissural (Figura 13). O poroso tem por característica permitir a circulação de fluidos através dos poros entre os grãos de rochas sedimentares ou sedimentos. O aquífero Cárstico permite a circulação de água através de suas cavidades originadas pela dissolução de rochas carbonáticas, principalmente. Enquanto o fissural armazena e permite a circulação de fluidos por meio de fraturas, fendas e falhas existentes nas rochas.

Figura 13 - Tipos de aquíferos quanto à porosidade

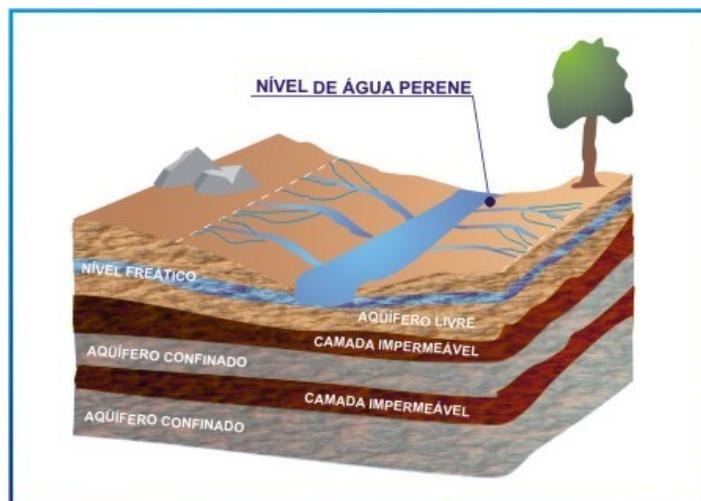


Fonte: Boscardin Borghetti *et al.* (2004) *apud* Magoga (2010)

Os aquíferos ainda podem ser classificados quanto a pressão das águas em suas superfícies limítrofes. São estes: Aquífero livre e aquífero confinado (Figura 14). O aquífero livre refere-se à formação geológica cuja superfície superior encontra-se em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Tratam-se de aquíferos comuns, porém que apresentam maior vulnerabilidade à contaminação devido à proximidade da superfície. O aquífero confinado, como o nome já diz, é limitado por

duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis, logo a pressão da água no topo da zona saturada é maior que a pressão atmosférica naquele ponto.

Figura 14 - Tipos de aquíferos quanto à pressão



Fonte: Boscardin Borghetti *et al.* (2004) *apud* Magoga (2010)

### 4.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Hirata *et al.* (2009 *apud* MOTTA *et al.*, 2014) afirmam que a qualidade das águas subterrâneas está sujeita a características intrínsecas dos aquíferos e, extrínsecas, geralmente associadas à degradação de origem antrópica. A dinâmica de percolação da água nas rochas é uma característica interna dos aquíferos, onde a reatividade dos minerais e o tempo de trânsito definem a composição química da água. As características extrínsecas podem estar relacionadas ao excesso de fertilizantes na agricultura, disposição inadequada de resíduos, vazamento de esgoto ou de tanques subterrâneos, entre outras.

Para que as águas sejam consideradas potáveis, conforme a legislação brasileira, devem estar de acordo com uma série de padrões microbiológicos, de substâncias químicas que representam risco à saúde, de radioatividade e organolépticos, como cor, odor e sabor. A Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Resolução 396/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Enquanto a Resolução CONAMA 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o enquadramento.

A classificação e enquadramento dos corpos d'água assume um importante papel para definir em quais atividades essas águas podem ser utilizadas, a fim de que não haja prejuízos para o meio ambiente e nem para a saúde humana.

#### 4.4 CARSTIFICAÇÃO

A denominação carste é oriunda do alemão *karst*, cuja origem é a palavra *krasz* – como os camponeses chamavam uma paisagem da atual Croácia e Eslovênia (antiga Iugoslávia) que possuía rios subterrâneos com cavernas e superfície acidentada dominada por depressões com paredões rochosos e torres de pedra (KARMANN, 2000).

As rochas que mais comumente passam por processos de carstificação são as rochas carbonáticas, nas quais mais de 75% de sua composição é de minerais carbonáticos como: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), siderita ( $\text{Fe}^{2+}\text{CO}_3$ ), Magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), ankerita ( $\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+})(\text{CO}_3)_2$ ), que refletem a porção solúvel; enquanto os outros 25% da rocha são constituídos por “impurezas”, como as argilas, em maior parte, e quartzos, os quais refletem a porção menos solúvel ou insolúvel, o que ainda pode ser incrementado por sulfetos e óxidos de ferro e magnésio (LUCIANO, 2007).

##### 4.4.1 Fenômenos de carstificação

Diz-se de fenômenos cársticos o conjunto de transformações que ocorrem em uma região de rochas carbonáticas como consequência da circulação de água (SILVA, 2008 *apud* LIMA, 2009).

A intensificação dos processos de carstificação ocorre de acordo com algumas características, por exemplo: quanto maior a quantidade de água disponível, ou seja, em regiões de clima úmido, onde as taxas pluviométricas ultrapassam os 2000mm por ano, aumenta a probabilidade de percolação nas rochas, podendo provocar maior desgaste destas; no entanto, a composição mineralógica dos litotipos também irá influenciar, pois existem elementos químicos mais propensos a dissolução, como o íon  $\text{CO}_3$  (carbonato). Logo, diz-se que as rochas carbonáticas são mais vulneráveis à dissolução em águas na temperatura ambiente, por exemplo. E, a existência de um sistema de falhas e fraturas nas rochas também facilitam a percolação de água e a interação água/rocha, possibilitando a intensificação da dissolução. Um outro fator que possui relevante significância é o tempo,

pois, quanto maior o tempo do contato água/rocha mais intemperismo químico pode ocorrer, e por consequência a dissolução.

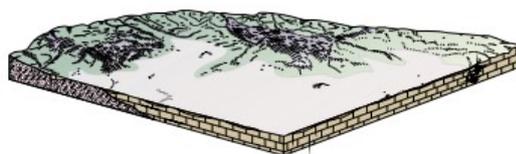
#### 4.4.2 Feições cársticas

Conforme Silva (2008 *apud* LIMA,2009), existem três tipos de formas cársticas que estão presentes em praticamente todo sistema cárstico, e são: formas de absorção epigênicas – relacionadas aos locais por onde ocorre a infiltração das águas no carste e esculpem a morfologia cárstica; formas de condução hipogênicas – relacionadas aos locais por onde circulam as águas no subsolo através de cavernas e outros condutos subterrâneos; e as formas de emissão – por onde as circulações hipogênicas retornam as formas epigênicas através de surgências.

As principais feições que ocorrem em regiões cársticas são:

- a) Lapiès (Lapiaz) – Conforme o Manual Técnico de Geomorfologia são sulcos ou caneluras esculpidas por águas pluviais nas superfícies de rochas carbonáticas, com especial destaque em fraturas, constituindo uma feição típica de relevo cárstico (Figura 15 e Fotografia 2);

Figura 15 - Lapiaz em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama



Fonte: Manual Técnico de Geomorfologia – IBGE (2009).

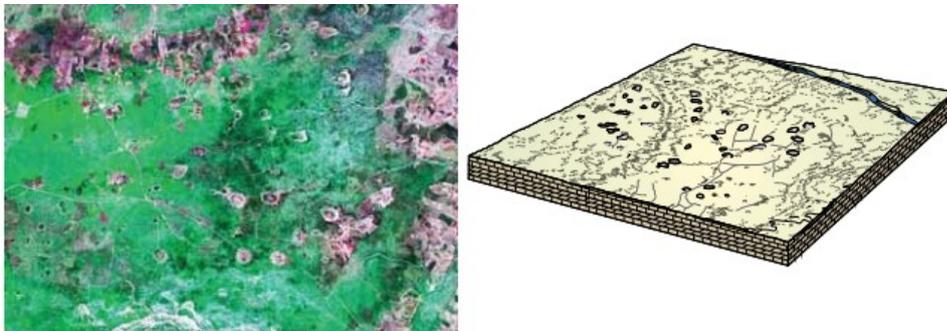
Fotografia 2 - Lapiaz



Fonte: <https://www.wikiloc.com/hiking-trails/fanzara-cueva-de-la-muela-15719666/photo-9806085>.

- b) Dolinas – Cvijic (1983 *apud* LIMA, 2009) define como dolinas as depressões fechadas, elípticas ou circulares, de poucos metros a centenas de metros de diâmetro e profundidade, que se formam na superfície em função da dissolução subsuperficial, e consequente abatimento das rochas (Figura 16 e Fotografia 3);

Figura 16 - Dolinas em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama



Fonte: Manual Técnico de Geomorfologia – IBGE (2009).

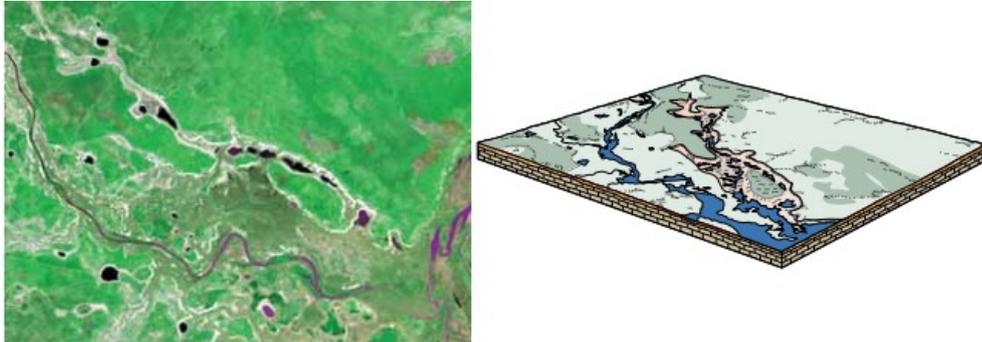
Fotografia 3 - Dolina preenchida com água pluvial



Fonte: Silva (2015).

- c) Uvalas – Christofolletti (1980) define essas estruturas como sendo “o desenvolvimento das dolinas que pode levar ao estreitamento das divisas entre elas, promovendo então, a coalescência. Originam dessa maneira uma depressão com contornos sinuosos, de maior amplitude” (Figura 17 e Fotografia 4);

Figura 17 - Uvalas em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama



Fonte: Manual Técnico de Geomorfologia – IBGE (2009).

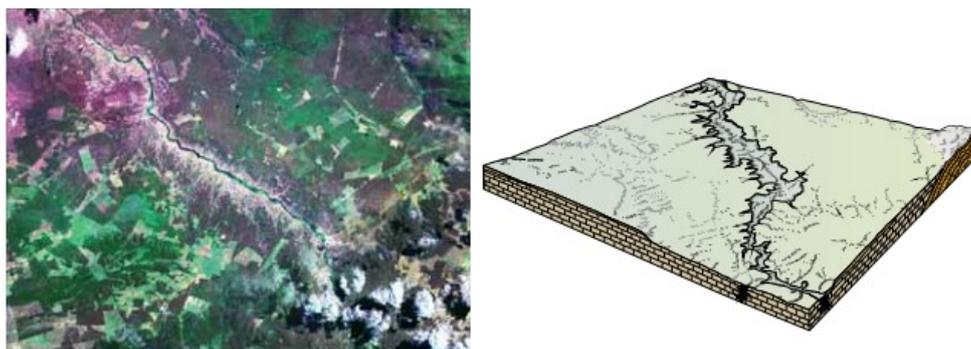
Fotografia 4 - Vista aérea de uvalas



Fonte: [http://geowhiz.weebly.com/uploads/3/9/4/7/39476461/karst\\_environments.pdf](http://geowhiz.weebly.com/uploads/3/9/4/7/39476461/karst_environments.pdf)

- d) Poljes – São bacias alongadas com fundo plano e paredes íngremes, formada pela coalescência de outras depressões, como as dolinas e uvalas (Figura 18). White (1988 *apud* LIMA, 2009) afirma que correspondem a largas depressões fechadas que podem chegar a dezenas de quilômetros de extensão, com o fundo rochoso ou recoberto e paredes abruptas;

Figura 18 - Poljes em imagem de satélite e esquema de bloco diagrama

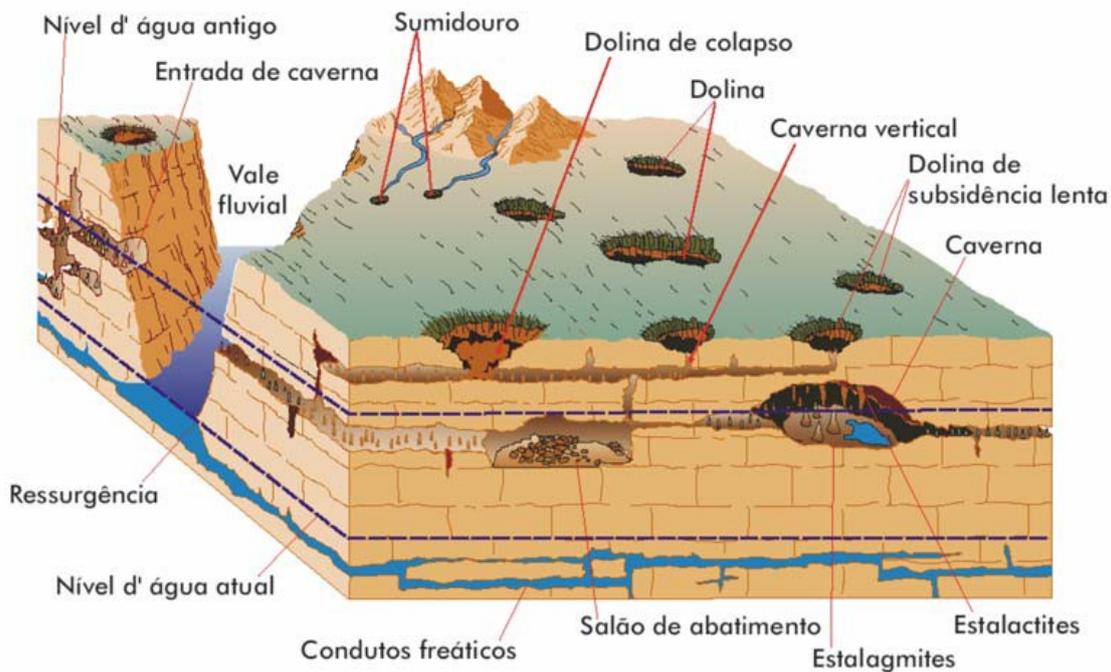


Fonte: Manual Técnico de Geomorfologia – IBGE (2009).

- e) Vales cegos – Silva (2008 *apud* LIMA,2009) os define como “vales epigenéticos que deixaram de funcionar devido a uma carstificação mais profunda”;
- f) Simas – Segundo Silva (2008 *apud* LIMA,2009) são formas cársticas abertas de absorção originadas de desabamentos de rochas em profundidade. São normalmente circulares e com paredes verticais a subverticais. Podem ser originados da evolução da carstificação de uma dolina;
- g) Sumidouros – definidos por Lladó (1970 *apud* LIMA, 2009) como “áreas abruptas em superfície que permitem a rápida infiltração da água precipitada para o subsolo”;
- h) Cavernas – Christofolletti (1980) afirma que “uma caverna pode ser definida como um leito natural subterrâneo e vazio, podendo estender-se vertical e horizontalmente e apresentar um ou mais níveis”.

A Figura 19, a seguir, apresenta um esquema dos componentes principais de um sistema cárstico.

Figura 19 - Componentes principais do sistema cárstico



Fonte: Karmann, 2000.

#### 4.5 HIDROGEOLOGIA DOS MEIOS CÁRSTICOS

A região do presente estudo encontra-se sobre um arcabouço carbonático reflexo da composição das rochas que constituem maior parte do seu subsolo. O comportamento das águas em subsuperfície, sua relação com as águas superficiais, bem como a disposição destas neste ambiente caracteriza-se por uma complexidade que é digna de atenção.

Conforme Silva (2015), os ambientes cársticos são caracterizados comumente por: extensas zonas sem correntes de água superficiais, mesmo em climas úmidos; existem depressões cuja drenagem é subterrânea; grandes cavidades no subsolos (cavernas) permitem a circulação de correntes de água; possuem grande rapidez da infiltração das chuvas e outras águas superficiais; além de existirem anomalias na direção do fluxo de água subterrânea com relação ao gradiente potenciométrico regional, dentre outras características peculiares.

Os processos de carstificação influenciam diretamente no comportamento dos aquíferos. Algumas características das rochas que influenciam nesses processos são: grau de diagênese, metamorfismo, estratificação, composição química (o calcário puro é mais solúvel), densidade de fraturamento, topografia, acamamento, teor de argila, variação faciológica, entre outros.

Do ponto de vista hidrogeológico os meios de condução das águas subterrâneas nos cartes são importantes para avaliação da sua capacidade de transmissão e armazenamento de água no subsolo. Estes meios de condução estão, geralmente, associados a formas de absorção e ligados diretamente a descontinuidades litológicas ou interferências tectônicas. Sendo: cavernas, condutos, diaclases; isolados ou interconectados em uma rede.

Um dos parâmetros que auxiliam na caracterização hidráulica de um aquífero é o estudo da potencimetria. Através deste estudo é possível identificar prováveis zonas de recarga, de circulação e descarga dos aquíferos.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

---

A pesquisa em questão possui um caráter qualitativo, no que diz respeito a coleta de informações acerca do uso das águas subterrâneas no município de Presidente Dutra, suas formas de captação e destinação. De posse dessas informações analisou-se o uso das águas subterrâneas na região de estudo, a partir da comparação com os dados obtidos dos poços disponibilizados no SIAGAS.

Para tanto, o seguinte procedimento metodológico foi adotado, dividido em três etapas:

- i. Primeira etapa: levantamento bibliográfico sobre o uso das águas subterrâneas; como se dá o cultivo da pinha na região; além, dos aspectos fisiográficos e geológicos da região importantes para o desenvolvimento da pesquisa como apresentado nos capítulos anteriores. Ainda nesta etapa, levantou-se o número de poços do município na plataforma do SIAGAS, além dos shapes da geologia, hidrogeologia, solos, vegetação e uso do solo, geomorfologia e drenagem.
- ii. Segunda etapa: Os seguintes mapas foram elaborados nesta etapa, sendo: Mapa dos Solos, Mapa de Cobertura Vegetal e Uso do Solo, Mapa de Declividade, Mapa Geomorfológico, Mapa da rede de drenagem da bacia do rio Verde, Mapa Geológico, Mapa Hidrogeológico, Mapa de Classificação NDVI, Mapa da Capacidade Específica do Aquífero, Mapa de Feições Cársticas e Mapa do Fluxo Subterrâneo. Nesta etapa ainda, foi feita a classificação hidroquímica das águas subterrâneas do município. Também confeccionou-se gráficos comparativos com os dados dos poços.
- iii. Terceira etapa: Posteriormente, as informações foram compiladas e analisadas com o intuito de propor algumas sugestões para a melhoria da gestão dos recursos hídricos subterrâneos do município de Presidente Dutra. O produto desta análise foi a elaboração deste Trabalho Final de Graduação.

A seguir apresenta-se alguns métodos utilizados na elaboração dos mapas anteriormente citados.

## 5.1 MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Para análise da dinâmica da cobertura vegetal na área de estudo foi utilizada a técnica de processamento digital de imagem denominada NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, que baseia seu índice através de duas propriedades espectrais da vegetação: a elevada taxa de absorção na região do visível do comprimento de onda do vermelho e a alta reflectância no comprimento de onda do infravermelho próximo (SOMMER & SALDANHA, 2012). Para aplicação desta técnica foi selecionado um conjunto de imagens *Sentinel – 2B* (cena orbital do sensor MSI *Sentinel -2B*), cuja resolução espacial é de 10m para as bandas 04 (vermelho) e 08 (NIR-Infravermelho próximo). A escolha das imagens de satélite *Sentinel -2B* em detrimento de outros satélites como *Landsat*, se dá pela maior resolução espacial, que é de 10m, enquanto outros satélites fornecem imagens com resolução espacial em torno de 30m.

Vale ressaltar que as imagens *Sentinel-2B* utilizadas neste trabalho foram adquiridas gratuitamente no portal *Remote Pixel*, com acesso através do sítio <https://remotepixel.ca/>.

É recomendado que as imagens passem por processamentos digitais específicos para a correção delas a fim de minimizar os erros que possam vir a ocorrer durante a classificação a ser realizada por um SIG, neste trabalho foi empregado o ArcGIS 10.3. Contudo, as imagens adquiridas não possuíam uma porcentagem significativa de nuvens, logo, não foi realizada a correção atmosférica. As correções geométricas e radiométricas não foram realizadas também por não interferirem no resultado de classificação da cobertura e uso do solo.

Cada imagem, portanto, deve ser analisada individualmente através do software ArcGIS para sua classificação através da técnica de NDVI. Para tanto, utiliza-se a ferramenta *Raster Calculator*, no *ArcToolBox – Spatial Analyst Tools – Map Algebra*. Nesta ferramenta, a seguinte expressão é empregada, para cada uma das cenas escolhidas:

$$(i) \quad \frac{[Banda\ 8\ (NIR) - Banda\ 4\ (Vermelho)]}{(Banda\ 8\ (NIR) + Banda\ 4\ (Vermelho))}$$

## 5.2 MÉTODO DE MAPEAMENTO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS

O mapeamento de feições cársticas através de imagens de sensoriamento remoto pode se tornar complexo devido ao fato de existir erros na análise visual do intérprete ou mesmo de erros na análise automática de *softwares* para geoprocessamento de imagens. No entanto, estas ferramentas são utilizadas como auxílio na identificação de depressões cársticas superficiais, sendo, entretanto, necessária a comprovação através de visitas de campo.

A metodologia adotada para esse mapeamento foi de análise visual de imagens de satélite e identificação das feições superficiais através da forma, tamanho, padrão e associação de objetos. Para tanto, fez-se uso de imagens de satélite *Sentinel-2B*, com resolução de 10m, mais especificamente da composição das bandas R4, G3, B2 para realçar as possíveis feições cársticas. A análise destas imagens foi feita através do ArcGIS 10.3. Após a vetorização das feições verificou-se a área e o perímetro de cada uma, além de identificar a direção preferencial do eixo maior das dolinas.

No *software* QGis 3.4.4 foi possível gerar dois diagramas de rosetas indicando a direção preferencial dos fotolineamentos interpretados através de imagens do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2* de outubro de 2011), com resolução de 30m x 30m e a direção principal do eixo das dolinas identificadas. Estes fotolineamentos foram cedidos pelo coorientador deste trabalho.

## 5.3 MÉTODO PARA ELABORAÇÃO DO MAPA DE CAPACIDADE ESPECÍFICA

A capacidade específica de um aquífero reflete a relação entre a vazão de estabilização e o rebaixamento, ou seja,  $S_c \text{ (m}^2\text{/h)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / s \text{ (m)}$ .

De posse dos dados dos poços da área de estudo e entorno – total de 106 – foi necessário selecionar aqueles que possuem informação de vazão, nível estático e nível dinâmico. A fim de melhor organizar esses dados em uma tabela, o *software Microsoft Excel* foi utilizado. Em uma coluna calculou-se a capacidade específica, através da divisão entre vazão ( $\text{m}^3\text{/h/m}$ ) e rebaixamento (metro). Para calcular o rebaixamento subtrai-se o valor do nível estático e do nível dinâmico, pois irá refletir o quanto o nível de água do aquífero foi rebaixado.

Com o auxílio do ArcGIS 10.3 os dados dos poços foram espacializados em um ambiente SIG e, através da ferramenta *Geospatial Analyst– Kriging*, foi realizada a análise geoestatística dos pontos conhecidos por sua capacidade específica. Antes da aplicação desta técnica foi necessário o tratamento dos dados. Primeiramente, retirou-se os valores negativos e os valores muito discrepantes da mediana, os chamados, *outliers*. Totalizaram 16 *outliers* e 1 valor negativo. Então, é gerado um variograma, que segundo Yamamoto (2016), auxilia na determinação da distribuição e variabilidade espacial das variáveis de interesse. A partir disso, é possível realizar a modelagem, neste caso, a Krigagem ordinária. Representou-se um mapa dividido em cinco quartis.

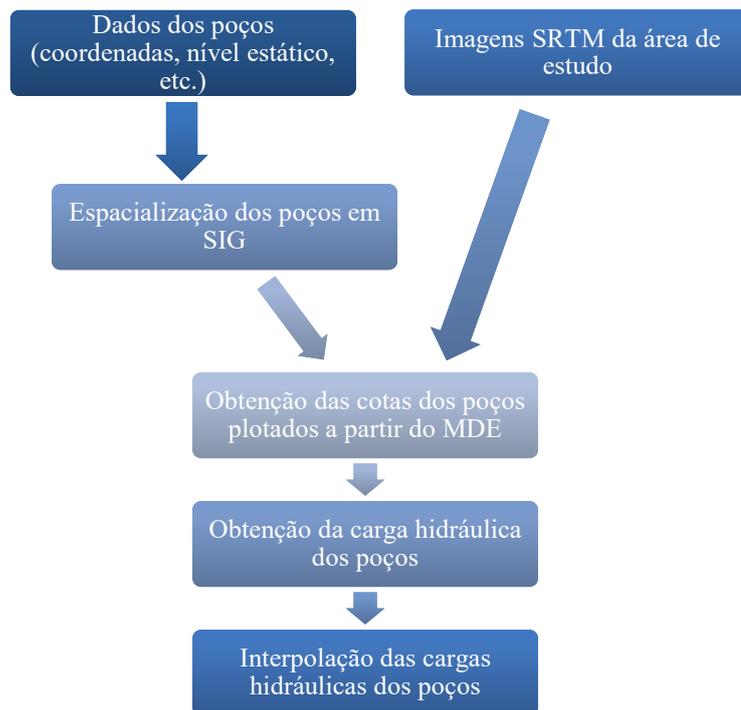
#### 5.4 MÉTODO PARA MAPEAMENTO DE FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Identificar o sentido do fluxo das águas subterrâneas tem grande importância para escolher melhores lugares para perfuração de poços, bem como instalação de poços de monitoramento para avaliar contaminações, dentre outros benefícios.

Através da plataforma SIAGAS são obtidos os dados necessários (coordenadas, nível estático, cotas) dos poços da região e proximidades. Esses poços devem ser plotados em um ambiente SIG para espacialização. Quando se está trabalhando em uma área com diferentes aquíferos, os poços devem ser agrupados de acordo com o aquífero do qual captam água, contudo não é o caso deste estudo, pois na região domina o aquífero fissuro-cárstico.

Algumas fichas de poços não apresentam a informação da cota do terreno onde foi perfurado o poço, por isso foi necessária a obtenção deste dado através de um Modelo Numérico de Terreno (MNT) que é gerado a partir de imagens SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*. Então, para um determinado ponto espacializado no SIG será destinado um valor correspondente a diferença entre a cota altimétrica e o nível de água, resultando na carga hidráulica do aquífero naquele ponto. A Figura 20, a seguir, exemplifica a metodologia descrita anteriormente em formato de fluxograma.

Figura 20 - Fluxograma do método adotado para o mapeamento do fluxo subterrâneo



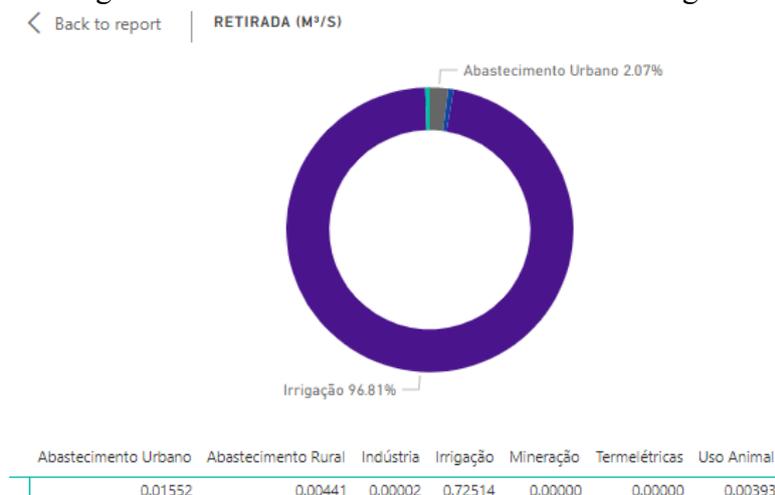
Fonte: autor.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos levantamentos realizados e informações dos estudos relacionados aos recursos hídricos nacionais e estaduais pode-se verificar que a maior demanda das águas subterrâneas no município de Presidente Dutra é referente às atividades de irrigação e posteriormente para abastecimento humano. No caso da região em estudo, uma adutora da barragem Mirorós é responsável pelo abastecimento humano, no entanto, algumas comunidades rurais não são contempladas. Portanto, utilizam de cisternas para captação de água das chuvas e perfuram poços para complementação e suprimento da necessidade de água da população.

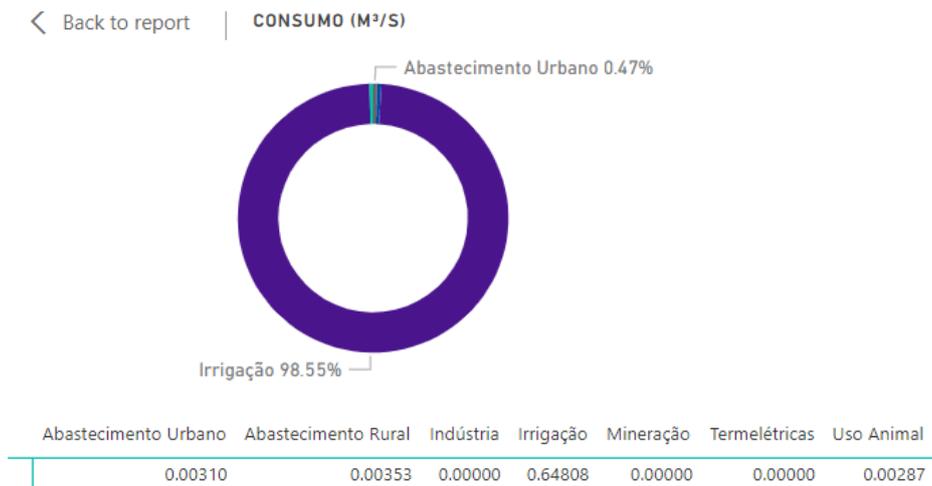
A ANA no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) publicou, recentemente, o Manual de Usos Consuntivos da água no Brasil e o quantitativo e percentual das demandas de água por município. As Figuras 21 e 22, a seguir, apresentam os gráficos do percentual dos usos consuntivos de água do município de Presidente Dutra relativo ao ano de 2019. Vale ressaltar que são previsões, pois os dados referem-se a coletas até o ano de 2017. O primeiro gráfico reflete a vazão total retirada dos corpos hídricos, enquanto, o segundo gráfico reflete a vazão real de consumo das águas. Percebe-se, portanto, que a atividade de agricultura irrigada é o principal explorador e consumidor de água do município, perfazendo cerca de quase 97% da retirada e quase 99% do consumo de água de Presidente Dutra.

Figura 21 - Percentual da vazão de retirada de água



Fonte: ANA (2019).

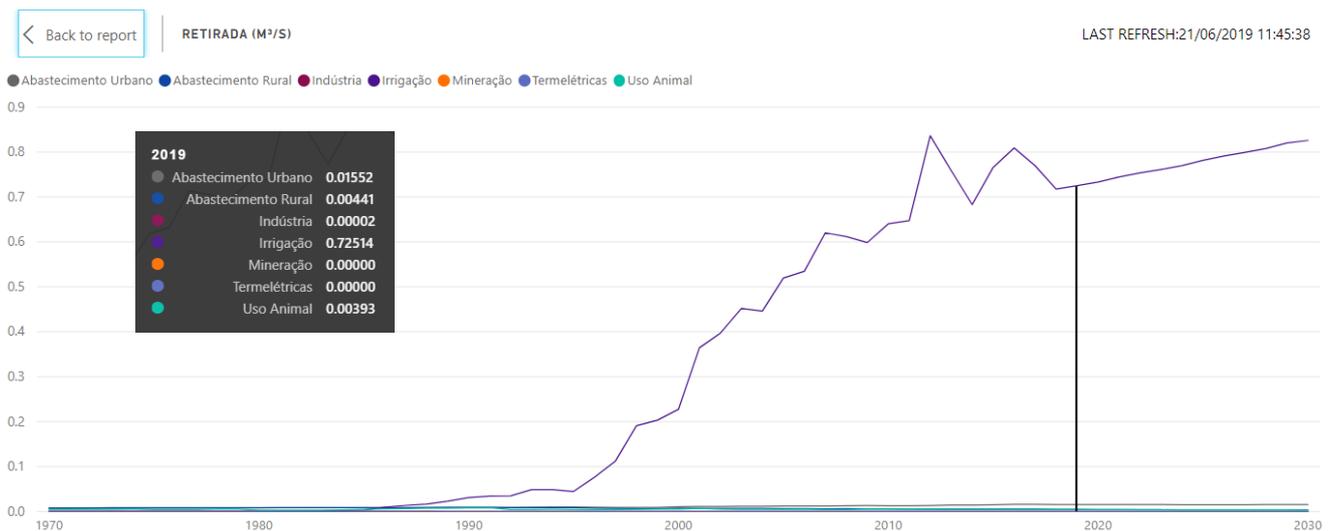
Figura 22 - Percentual da vazão de consumo de água



Fonte: ANA (2019).

A Figura 23, a seguir, apresenta um gráfico de projeção até o ano de 2030 das retiradas (m<sup>3</sup>/s) de água do município por uso consuntivo. Retrata a relação da vazão média retirada por ano pelos usos mais comuns, que são: abastecimento humano, abastecimento rural, indústria, irrigação, mineração, telemétricas e uso animal. Destaca-se que a irrigação tem maior representatividade da demanda, enquanto os outros usos, em comparação com a atividade de irrigação possuem um aumento ínfimo até o ano de 2030.

Figura 23 - Projeção da vazão de retirada de água até o ano de 2030



Fonte: ANA (2019).

A Tabela 1, a seguir, apresenta uma previsão das vazões de retirada, consumo e retorno, em m<sup>3</sup>/s, do município de Presidente Dutra, para o ano de 2019. A vazão de

retorno representa a porção de água que foi retirada, mas não consumida e muitas vezes pode retornar a algum corpo hídrico.

Tabela 1 - Valores dos usos consuntivos de água (ano de 2019)

<b>Usos consuntivos da água (ano 2019)</b>	<b>Retirada (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Consumo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Retorno (m<sup>3</sup>/s)</b>
<i>Abastecimento urbano</i>	0,0155	0,0031	0,0124
<i>Abastecimento Rural</i>	0,0044	0,0035	0,0009
<i>Irrigação</i>	0,725	0,648	0,077
<i>Indústrias</i>	0,0000177	3,27 x 10 <sup>-6</sup>	0,0000144
<i>Abastecimento animal</i>	0,0039	0,0029	0,0011
<b>Total</b>	<b>0,749</b>	<b>0,658</b>	<b>0,0914</b>

Fonte: ANA (2019). Demanda média anual do ano de referência.

Conforme o Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (ANA, 2017), o município de Presidente Dutra no ano de 2015 apresentava 21 ha destinados a culturas que utilizam pivôs centrais para irrigação, enquanto, 1357 ha eram destinados ao cultivo das demais culturas e sistemas. A previsão para o ano de 2030, segundo o Manual de uso consuntivo das águas é de 49 ha para sistema de pivôs centrais e 1605 ha para demais sistemas e culturas. Esta projeção reitera a previsão de aumento das áreas destinadas a agricultura e, conseqüentemente, a demanda de água para uso na irrigação.

O Plano de Bacia dos rios Verde e Jacaré (INEMA, 2017) apresenta em um capítulo os valores de disponibilidade hídrica superficial e subterrânea para as Unidades de Balanço (UB) e Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) das bacias e faz uma relação com as demandas segundo os usos consuntivos resultando em um balanço hídrico. A Tabela 2 apresenta um resumo das disponibilidades superficiais e subterrâneas, além da vazão de retorno que reflete a vazão não consumida que retorna ao corpo hídrico. A Tabela 3 apresenta as demandas por uso consuntivo e a Tabela 4 apresenta o balanço hídrico para a UB em que está inserido o município de Presidente Dutra, nesse caso a UBV.3 (corresponde a Unidade de Balanço do rio Verde número 3).

Tabela 2 - Disponibilidades de água

Unidade de Balanço	Superficial (hm <sup>3</sup> /ano)	Subterrânea (hm <sup>3</sup> /ano)	Vazões de retorno (hm <sup>3</sup> /ano)	Total	
				(hm <sup>3</sup> /ano)	(m <sup>3</sup> /s)
UBV.3	9,85	22,80	3,82	36,47	1,16

Fonte: INEMA (2017).

Tabela 3 - Demandas de água

Unidade de Balanço	Abastecime nto Urbano e Rural (hm <sup>3</sup> /ano)	Dessedentaçã o animal (hm <sup>3</sup> /ano)	Indústria (hm <sup>3</sup> /ano)	Mineração (hm <sup>3</sup> /ano)	Irrigação (hm <sup>3</sup> /ano)	Total	
						(hm <sup>3</sup> / ano)	(m <sup>3</sup> /s)
UBV.3	7,44	0,94	0,13	0,73	32,90	42,14	1,34

Fonte: INEMA (2017).

Tabela 4 - Saldo da Disponibilidade hídrica e demanda

Unidade de Balanço	Disponibilidade Hídrica Total		Demanda Total		Saldo	
	(hm <sup>3</sup> /ano)	(m <sup>3</sup> /s)	(hm <sup>3</sup> /ano)	(m <sup>3</sup> /s)	(hm <sup>3</sup> /ano)	(m <sup>3</sup> /s)
UBV.3	36,47	1,16	42,14	1,34	-5,67	-0,18

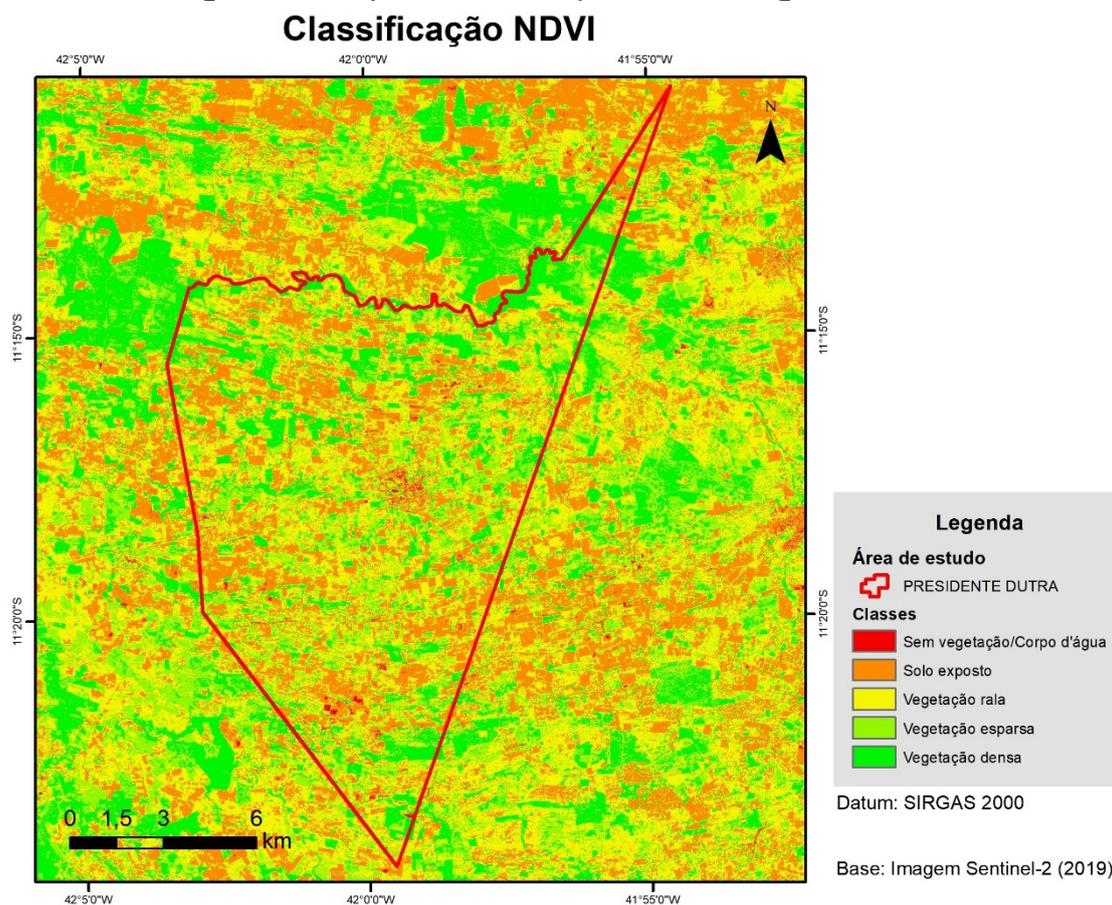
Fonte: INEMA (2017).

Na Tabela 4, acima, é possível identificar que o balanço hídrico da UBV.3 é negativo, ou seja, há mais demanda do que disponibilidade hídrica. Em consequência desta informação ressalta-se a necessidade da utilização de métodos que visem gerir melhor os recursos hídricos da UB, bem como dos municípios que a compõem. Nota-se, a partir da Tabela 2, que o maior valor de disponibilidade para a UB corresponde às águas subterrâneas, logo, são as que requerem maior atenção quanto a sua gestão. Para tanto, é preciso a identificação de algumas informações que tem influência direta com estas, como por exemplo: identificar a quantidade de empreendimentos agrícolas, bem como as feições cársticas, o fluxo das águas subterrâneas, capacidade específica do aquífero, dentre outras, que serão apresentadas em seguida.

## 6.1 CLASSIFICAÇÃO NDVI E IMÓVEIS RURAIS

Com o resultado das imagens classificadas conforme o índice NDVI, obtém-se um mapa da cobertura vegetal (Figura 24), onde é possível fazer comparações no que diz respeito a distribuição das áreas antropizadas, que em sua maioria relaciona-se com a atividade de agricultura, e das porções com vegetação densa.

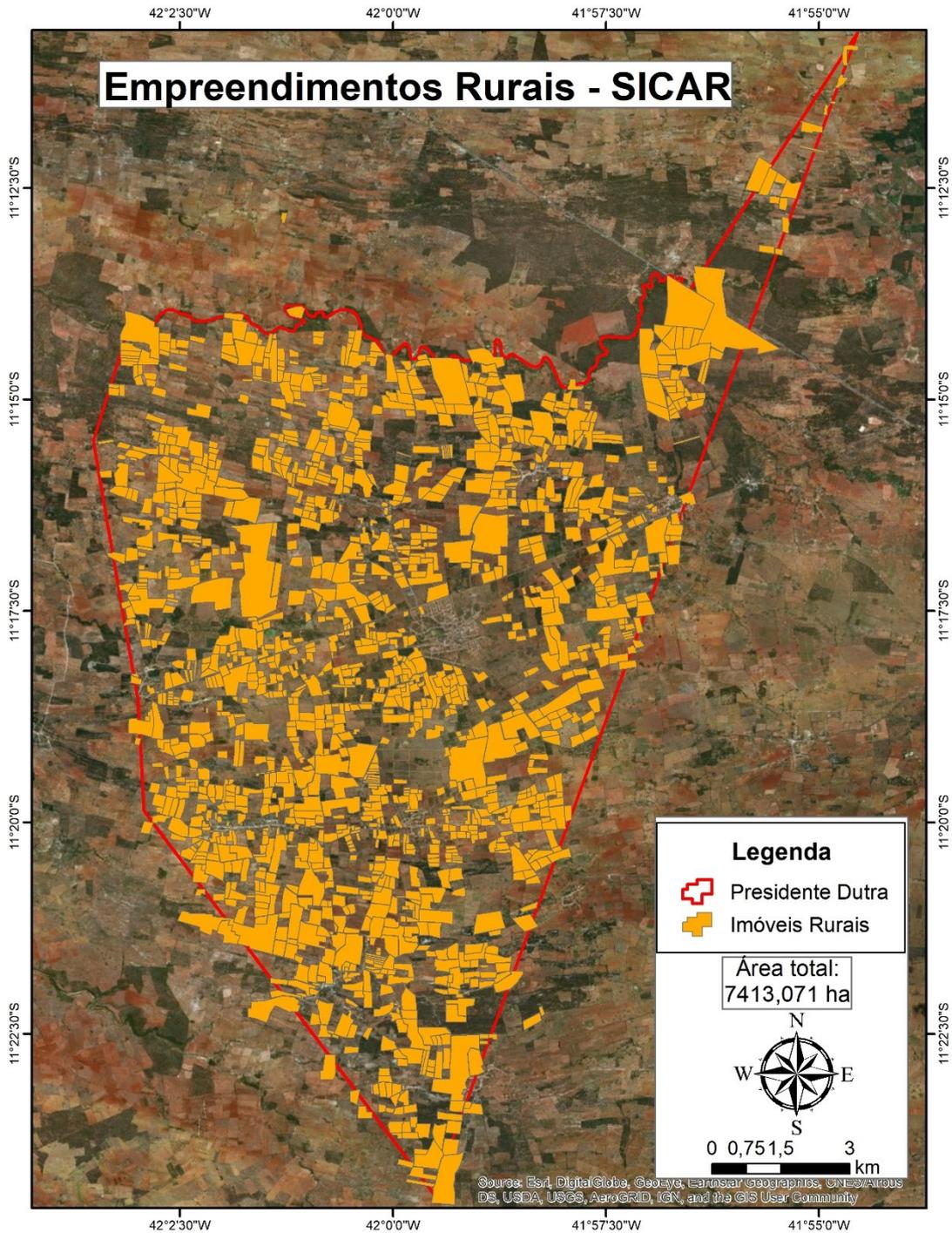
Figura 24 - Mapa da Classificação NDVI da região de estudo



Fonte: autor.

A Figura 25 destaca os imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural - SICAR para o município de Presidente Dutra, totalizando cerca de 7.413,071 hectares. Estes imóveis ainda estão em fase de análise, por isso não apresentam dados relativos à espécie do empreendimento, qual atividade é desenvolvida, dentre outros dados. O mapa permite a visualização da distribuição desses imóveis e ratifica a extensa área destinada a atividade de agricultura, como apontado anteriormente pelos números e percentuais apresentados pelos gráficos da ANA.

Figura 25 - Empreendimentos Rurais em Presidente Dutra



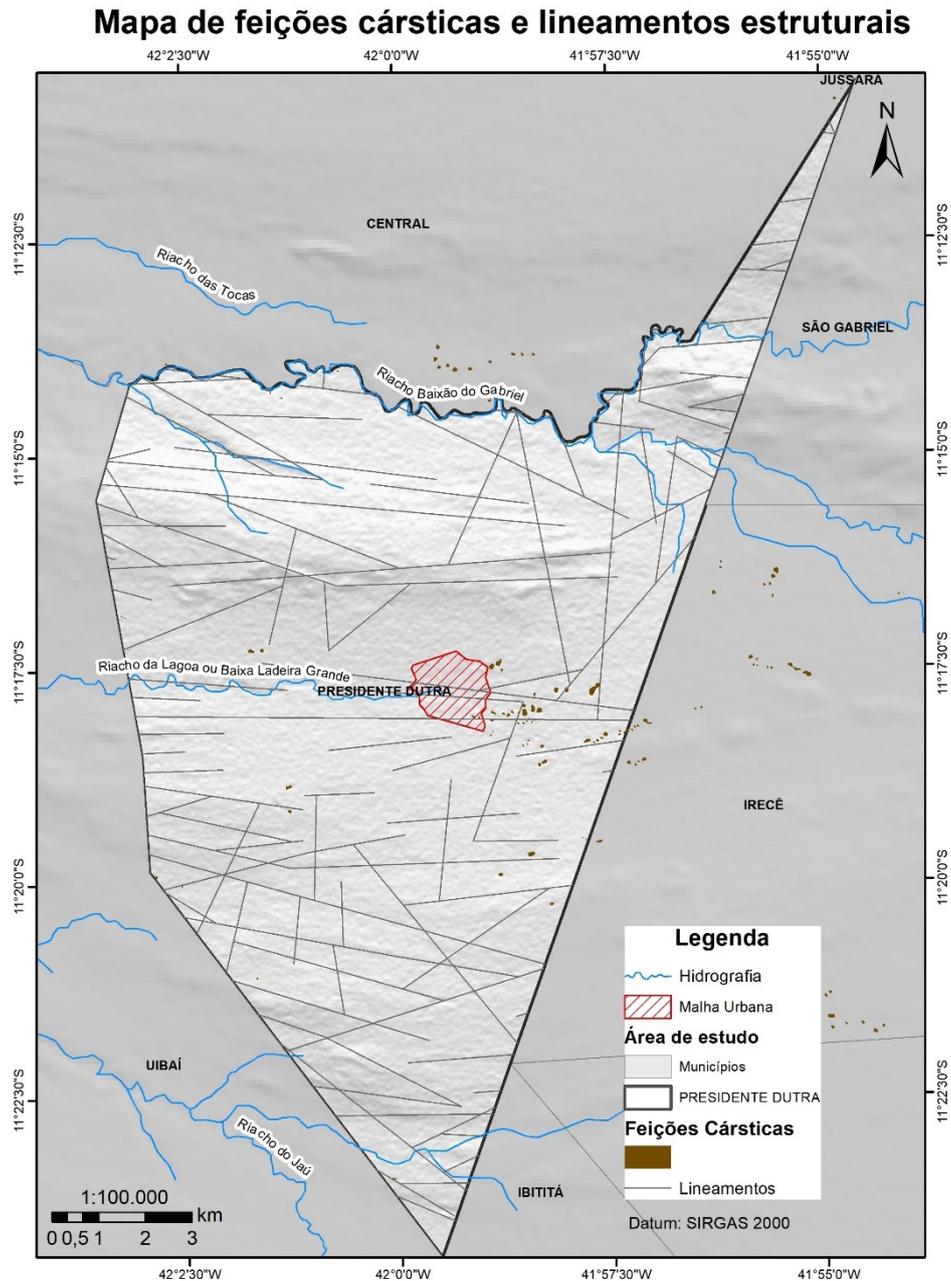
Fonte: autor, MMA (2019).

## 6.2 FEIÇÕES CÁRSTICAS

O mapeamento das feições cársticas resultou na Figura 26, a seguir. Para avaliar a relação dessas feições com as estruturas locais utilizou-se o shape dos fotoloteamentos

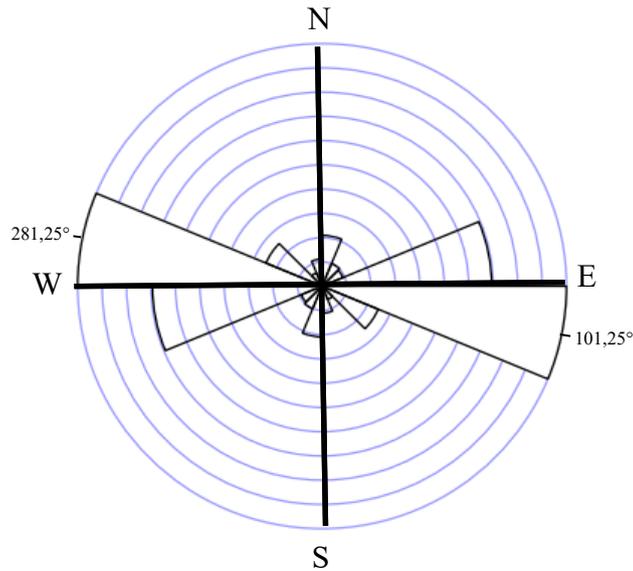
estruturais. Esses lineamentos foram obtidos através de imagens ASTER GDEM e indicam direção predominante WNW-ESE, ou aproximadamente E-W, como destacado pela Figura 27, que apresenta a roseta da direção preferencial dos lineamentos estruturais. Essa direção associa-se com as estruturas regionais de eixo de dobra que encontram-se aproximadamente E-W, enfatizado por alguns autores, como Guerra (1986) e Silva (2005).

Figura 26 - Mapa de feições cársticas e lineamentos estruturais da região de estudo



Fonte: autor.

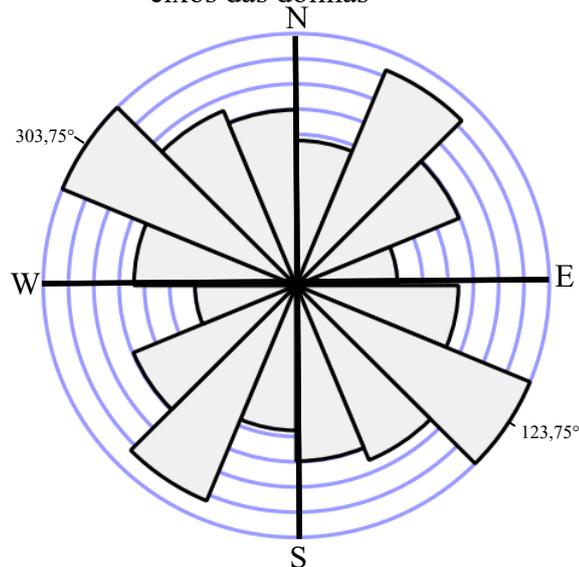
Figura 27 - Diagrama de rosetas da direção principal dos fotolineamentos.



Fonte: autor.

A Figura 28 apresenta uma roseta da direção preferencial do eixo principal das feições mapeadas. Pode-se verificar que a direção principal é NW-SE. Esta direção pode estar relacionada ao modelo Riedel de deformação, onde a posição do tensor principal ( $\sigma_1$ ) aproxima-se a N-S, por isso a direção dos eixos das dobras encontra-se E-W, que é ratificado pelos lineamentos estruturais interpretados. Então, a carstificação estaria sendo desenvolvida de forma mais pronunciada na direção de uma componente oblíqua do tensor.

Figura 28 - Diagrama de rosetas da direção principal dos eixos das dolinas



Fonte: autor.

De um total de 160 feições interpretadas através das imagens de satélite a maior parte corresponde a depressões circulares ou elipsoidais, alongadas e algumas assemelham-se à coalescência de duas ou mais feições, o que possivelmente retrata as uvalas ou poljes. A seguinte Tabela 5 resume as características morfométricas de área, perímetro e diâmetro/eixo das feições.

Tabela 5 - Características morfométricas

	<i>Maior</i>	<i>Menor</i>	<i>Média</i>	<i>Total</i>
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	29807,97	8,31149	1725,5	477666,6
<b>Perímetro (m)</b>	805,1304	10,7098	167,624	29326,54
<b>Eixo (m)</b>	320,57	3,48	58,44	10482,33

Fonte: autor.

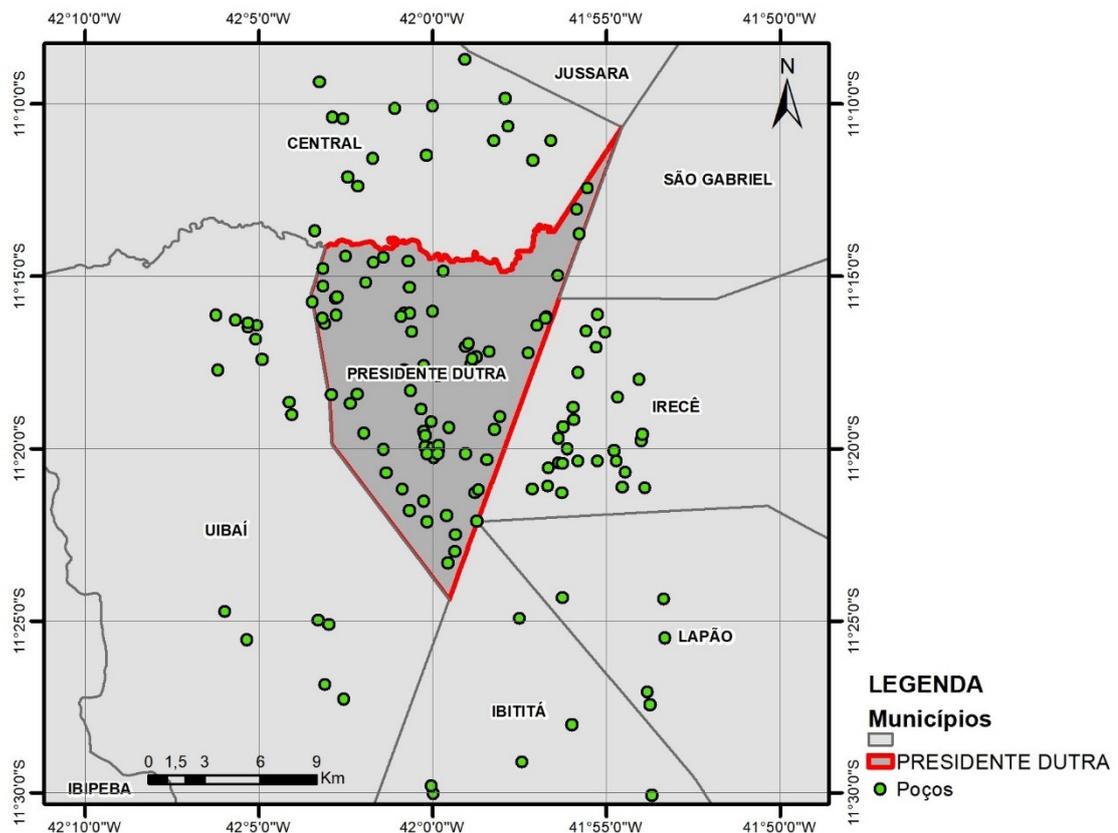
Identificar as feições cársticas e os principais lineamentos estruturais auxiliam no critério de locação dos poços. Conforme Guerra (1986), alguns critérios para locação de poços em ambientes cársticos são: dar preferência a borda de estruturas quer cársticas quer fissurais, que podem ser identificadas através de fotos aéreas em escala entre 1:20.000 e 1:40.000.

Ainda de acordo com o autor, deve-se evitar o fundo da superfície de afundamento, preferindo locar nas bordas das estruturas. Zonas de maior decomposição da rocha devem ser evitadas devido ao uso de maior quantidade de revestimento. Alinhamento de dolinas ou superfícies de afundamento alongadas sugerem zonas preferenciais de maior carstificação e controle estrutural. Recomenda-se que a locação seja no sentido de jusante do fluxo. No caso de cruzamento de estruturas, o ponto de cruzamento é uma opção segura por ser ponto de convergência do fluxo.

### 6.3 DESCRIÇÃO DAS INFORMAÇÕES DOS POÇOS EM PRESIDENTE DUTRA

A Figura 29, a seguir, apresenta os poços utilizados para a confecção dos mapas que serão posteriormente discutidos. Tais poços encontram-se cadastrados na plataforma SIAGAS.

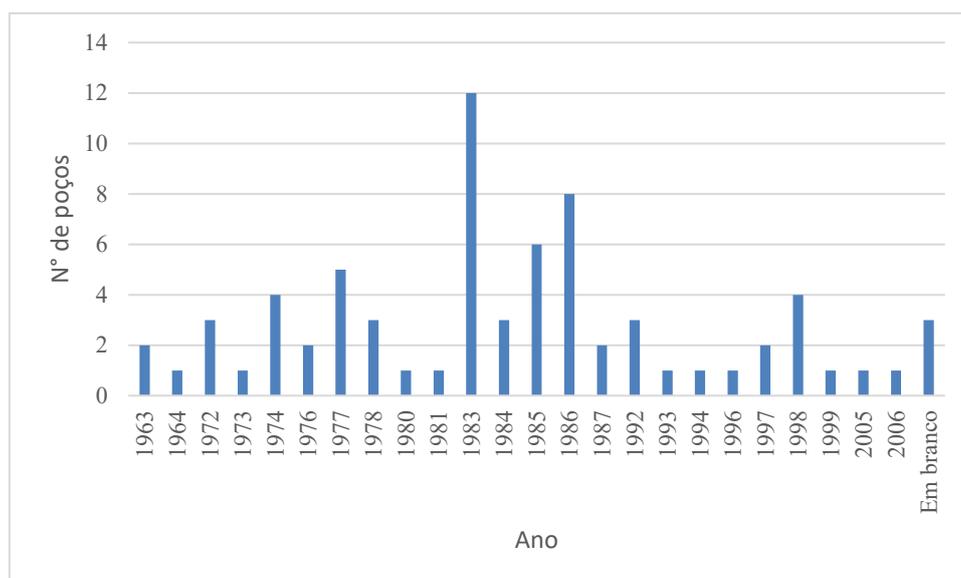
Figura 29 - Mapa dos poços utilizados



Fonte: Autoria própria, dados do CPRM/SIAGAS (2019) e IBGE (2018).

Na plataforma SIAGAS existem cerca de 72 poços cadastrados no município de Presidente Dutra-BA. Estes poços foram perfurados entre os anos de 1963 e 2006, e apresentam dados de nível estático, nível dinâmico, vazão de estabilização, além de outros parâmetros químicos, em alguns poços. Tais dados são importantes para elaboração de mapas de fluxo subterrâneo, capacidade específica, bem como para subsidiar análises quantitativas com relação aos parâmetros hidrodinâmicos, disponibilidade hídrica e seu uso em uma determinada região. De acordo com o gráfico 1, verifica-se que o ano de 1983 destaca-se pela maior quantidade de poços perfurados, cerca de 12. Apesar do decréscimo do número de poços após este ano, alguns trabalhos recentes apontam a existência de muito mais poços do que o que consta no cadastro do SIAGAS. Este fato, provavelmente, deve-se a perfuração irregular de poços, sem a devida solicitação ao órgão responsável pela outorga destes, no caso do Estado da Bahia, o INEMA.

Gráfico 1 - Quantitativo de poços perfurados por ano



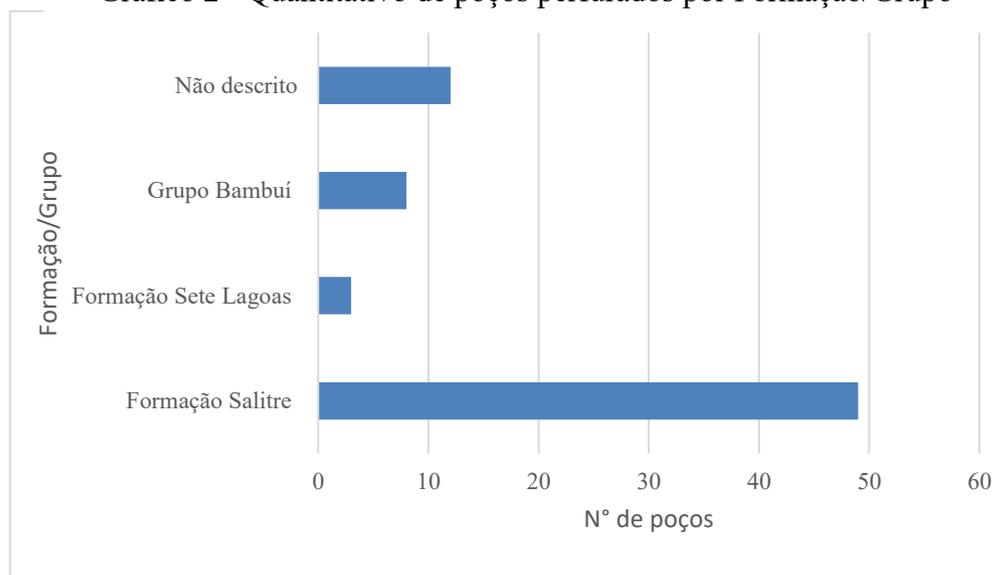
Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019).

De acordo com a descrição das fichas dos poços, a maior parte deles são utilizados para abastecimento urbano, enquanto alguns para abastecimento doméstico e irrigação. Informação esta que também não reflete a realidade atual, pois como retratado anteriormente mais de 90% da demanda de água no município é para irrigação.

As informações de topo e base dos poços identificam que sua menor profundidade é de 26m, à leste e nordeste; enquanto, a maior profundidade foi de 189m, à noroeste. Quase todos os poços atestaram a condição livre do aquífero na região. Em apenas um destes poços identificou-se surgência.

Quanto a litologia, foram descritas 3 (três) diferentes: a Formação Salitre (49 poços), a Formação Sete Lagoas (3 poços) e o Grupo Bambuí (8 poços). Essa variedade da descrição litológica dos perfis dos poços, provavelmente deve-se à época de perfuração dos poços, onde não havia ainda a separação do Grupo Bambuí do Grupo Una, como já é adotado. Vale ressaltar que 12 poços não apresentam descrição litológica, como indicado no gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 - Quantitativo de poços perfurados por Formação/Grupo



Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019).

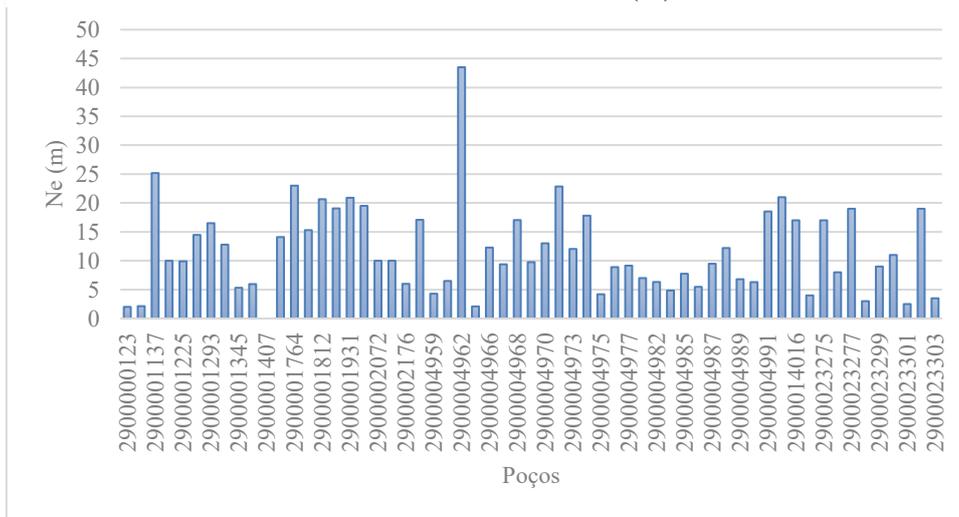
O menor valor de nível estático ( $N_e$ ) encontrado foi de 0m, associado ao poço que apresentou surgência, enquanto o maior valor de  $N_e$  foi de 43,5m, perfazendo uma média de aproximadamente 10m para a área (Gráficos 3 e 4). Em se tratando do nível dinâmico ( $N_d$ ), que é medido após teste de bombeamento do poço, foi identificado o menor valor de 2,27m, e o maior de 161,44m, perfazendo uma média de aproximadamente 43m. Com relação a vazão de estabilização (Gráfico 5), que também é tomada após o teste de bombeamento, encontrou-se como menor valor, 0,32 m<sup>3</sup>/h; o maior valor foi de 79,2 m<sup>3</sup>/h, perfazendo uma média de 11,47 m<sup>3</sup>/h de vazão pós-estabilização para a área. A Tabela 6, a seguir, resume os valores menores, maiores e a média para cada um dos parâmetros abordados anteriormente.

Tabela 6 - Valores de  $N_e$ ,  $N_d$  e  $Q$

	$N_e$ (m)	$N_d$ (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /h)
<b>Menor</b>	0	2,27	0,32
<b>Maior</b>	43,5	161,44	79,2
<b>Média</b>	9,99	42,92	11,47

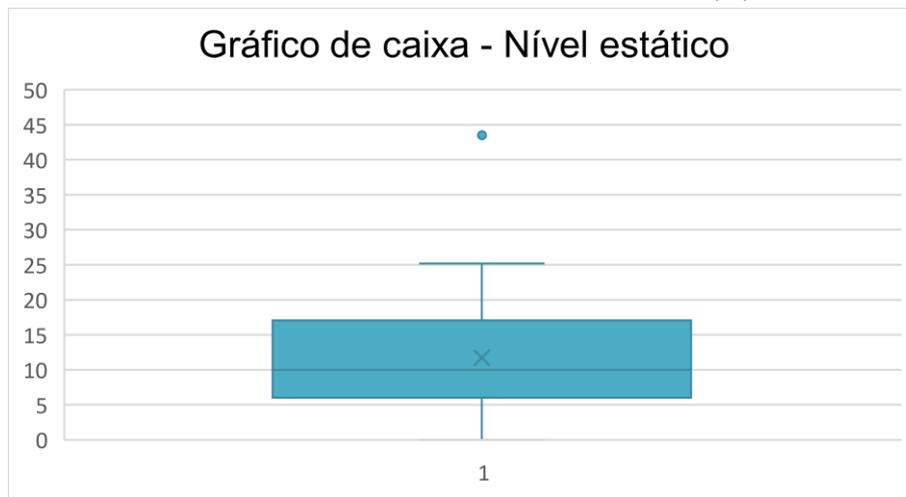
Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019).

Gráfico 3 - Valores de Ne(m).



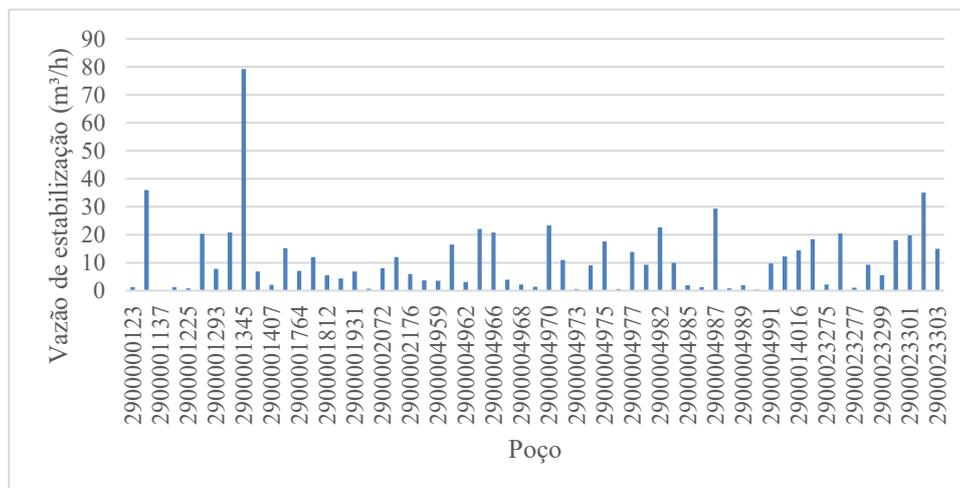
Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019). Vide Tabela 11 em Apêndice.

Gráfico 4 - Gráfico de caixa dos valores de Ne(m).



Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019).

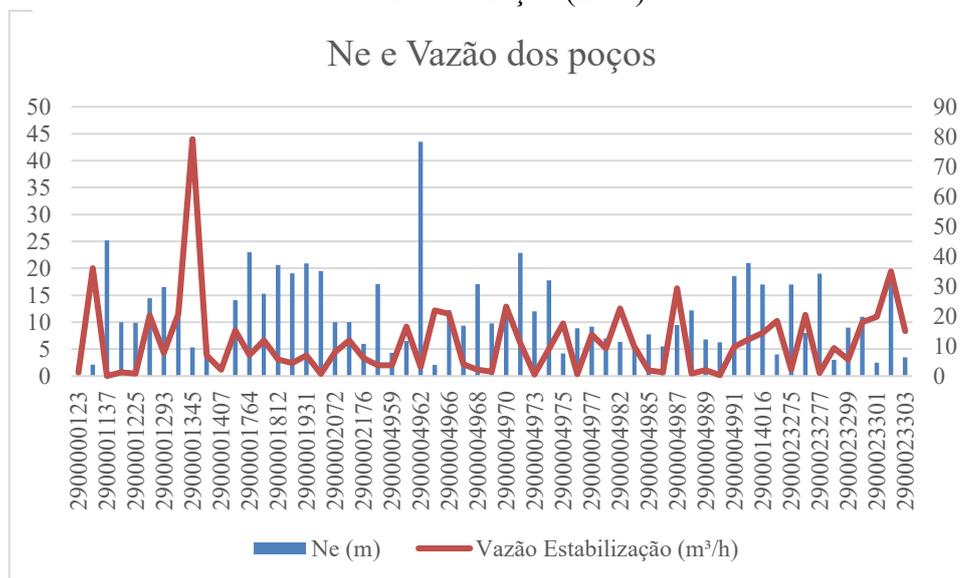
Gráfico 5 - Valores de Vazão de Estabilização (m³/h).



Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019). Vide Tabela 11 em Apêndice.

O Gráfico 6, a seguir, apresenta um comparativo entre o Ne dos poços e sua vazão de estabilização. Não é possível estabelecer uma relação direta entre o nível estático e a vazão de estabilização.

Gráfico 6 - Comparativo entre os valores de Ne(m) e Vazão de Estabilização (m³/h)

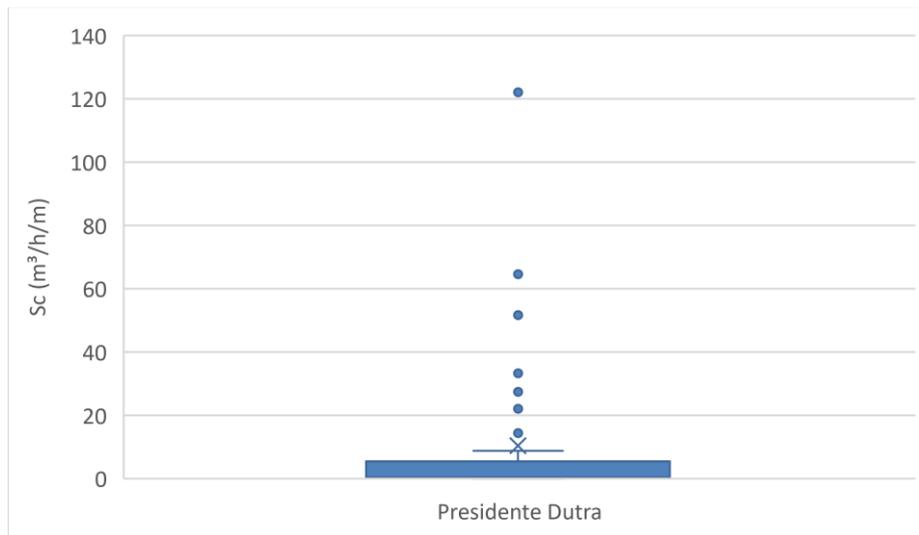


Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019). Vide Tabela 11 em Apêndice.

#### 6.4 CAPACIDADE ESPECÍFICA

Após o cálculo da capacidade específica para cada poço, como explanado no tópico dos métodos, encontrou-se como menor valor de capacidade específica aproximadamente, 0,0047 m³/h/m, enquanto o maior valor foi de 122,2 m³/h/m, perfazendo uma média de 0,34 m³/h/m (Gráfico 7).

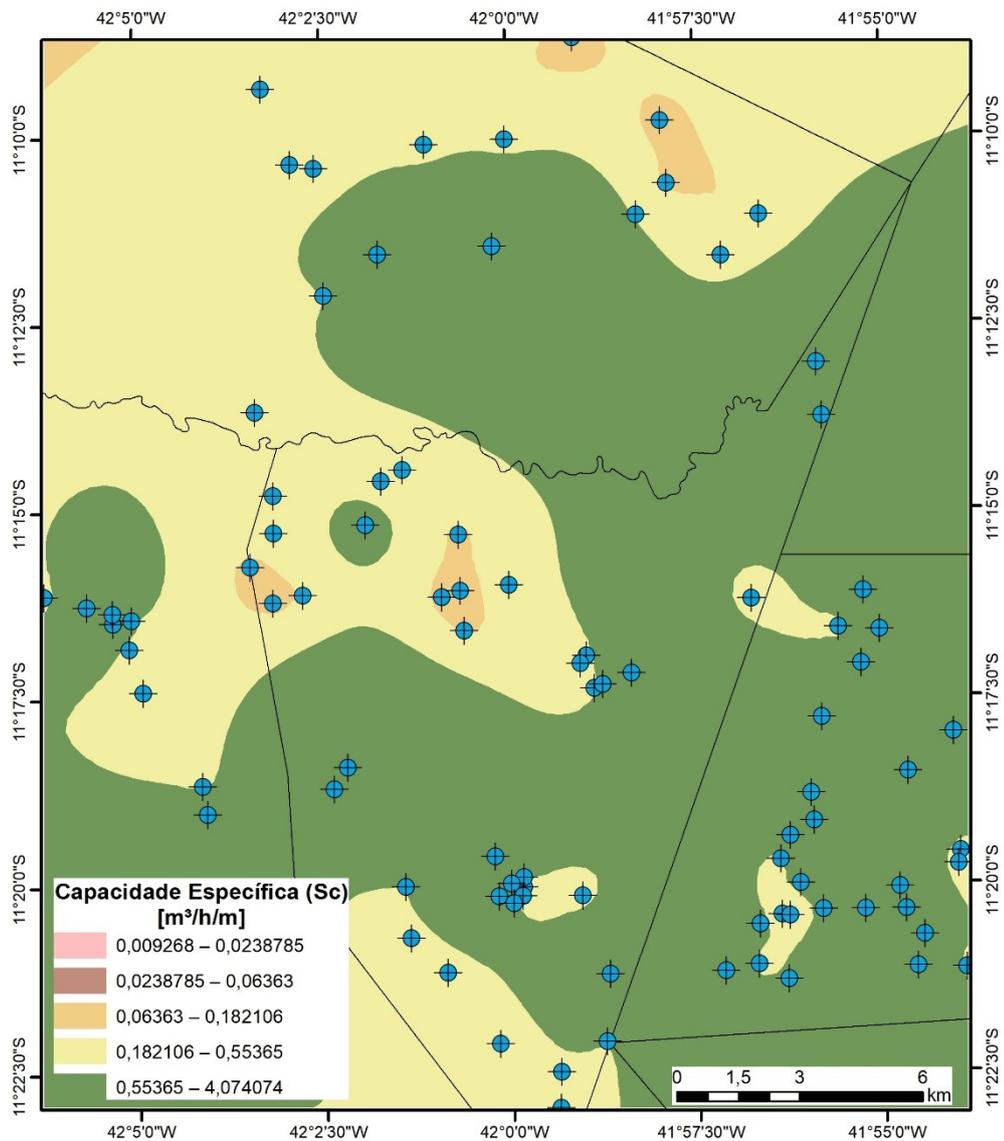
Gráfico 7 – *Box-plot* da Capacidade Específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ )



Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019).

Através do mapa do zoneamento da capacidade específica (Figura 30), é possível identificar que a porção leste e central são regiões com boa capacidade específica, em torno de 0,55 a 4,07  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

Figura 30 - Mapa de zoneamento da capacidade específica da área de estudo



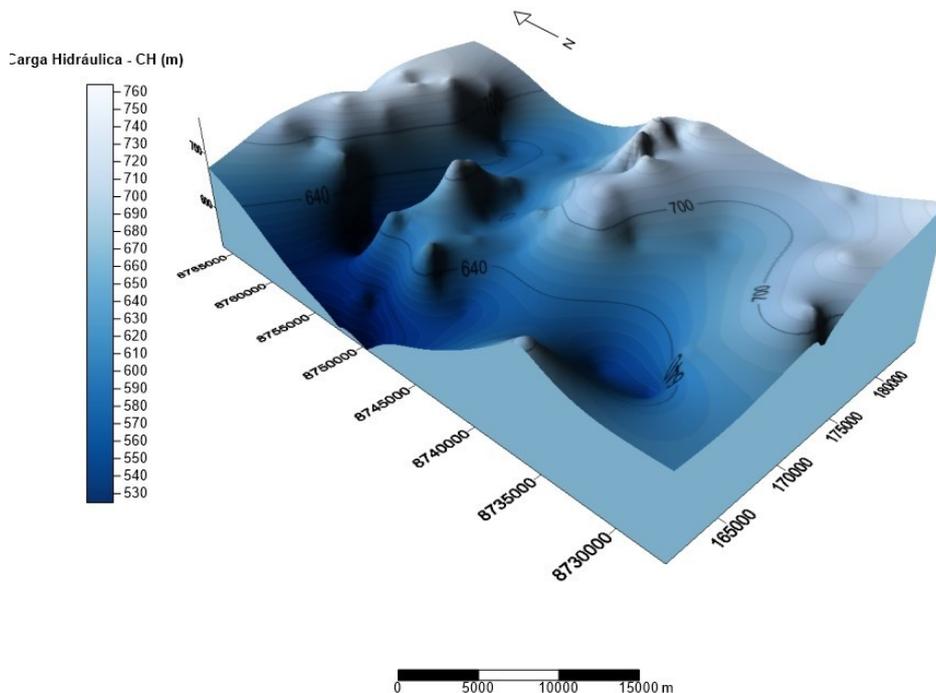
Fonte: Autoria própria, dados do CPRM/SIAGAS (2019) e IBGE (2018).

Quanto a determinação de vazões outorgáveis, segundo Campos & Correa (2013), a razão da vazão pelo rebaixamento (Capacidade específica:  $Q/s$  [m³/h/m]) pode ser utilizada como critério relativo, de forma que quando o valor for muito reduzido a vazão a ser outorgada deve ser muito inferior que a vazão do ensaio. Por outro lado, quando o valor for alto (que é comum em sistemas cársticos e intergranulares de grande transmissividade) a vazão outorgada pode ser próxima à vazão do ensaio de bombeamento.

## 6.5 FLUXO SUBTERRÂNEO

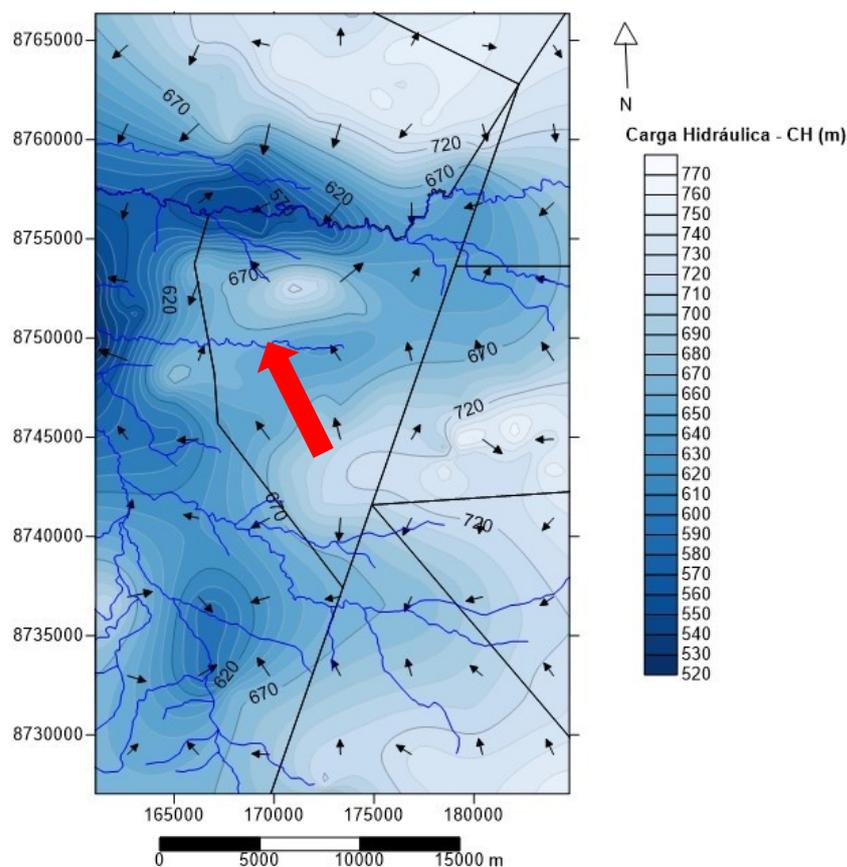
Por meio dos dados da carga hidráulica foi possível elaborar o mapa de potencial hidráulico para a área de estudo. A partir das linhas equipotenciais que foram geradas estabeleceu-se a direção do fluxo subterrâneo. O fluxo da água subterrânea é indicado por setas que divergem do ponto de maior carga hidráulica convergindo para o de menor carga hidráulica, indicando assim prováveis zonas de recarga e descarga, respectivamente (Figura 31 e Figura 32). A seta vermelha indica o sentido do fluxo predominante, que se dá de sudeste para noroeste. Vale salientar que este fluxo ocorre no sentido do fluxo das águas superficiais.

Figura 31 - Bloco diagrama da carga hidráulica da área de estudo



Fonte: Autoria própria, dados do CPRM/SIAGAS (2019) e IBGE (2018).

Figura 32 - Mapa do fluxo subterrâneo da área de estudo



Fonte: Autoria própria, dados do CPRM/SIAGAS (2019) e IBGE (2018).

## 6.6 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS

As águas subterrâneas podem ser classificadas quanto a sua composição química, e esta, reflete a interdependência do arranjo químico e mineralógico das rochas que armazenam, o clima da região em que se encontra e o tempo de interação das águas com a rocha. Realizar análises química das águas subterrâneas é importante para atestar a sua qualidade para os diversos usos, principalmente consumo humano e irrigação, e ainda verificar a necessidade de tratamento antes da sua utilização.

De acordo com o INEMA (2017a), a partir de cadastro de poços do SIAGAS/Cerb nas bacias dos rios Verde e Jacaré, as águas do aquífero cárstico Salitre são classificadas como cálcica-bicarbonatadas, seguidas de águas do tipo cálcica-cloretadas e do tipo cálcica-mistas. Esta classificação foi obtida através da análise de 193 poços que captam água do aquífero cárstico Salitre.

A partir de dados dos poços presentes no município de Presidente Dutra e entorno utilizou-se 41 amostras para classificação hidroquímica, pois continham as análises

físico-químicas e químicas dos seguintes parâmetros: Condutividade Elétrica, Qualidade da água, Sabor da água, Turbidez, Sólidos suspensos, Sólidos sedimentáveis, pH, Bicarbonato ( $HCO_3$ ), Cálcio ( $Ca$ ), Carbonato ( $CO_3$ ), Cloreto ( $Cl$ ), Dureza total, Fluoretos ( $F$ ), Magnésio ( $Mg$ ), Nitritos ( $NO_2$ ), Nitratos ( $NO_3$ ), Sílica ( $SiO_2$ ), Sulfato ( $SO_4$ ) e Sólidos Dissolvidos Totais. Apenas dois poços apresentavam análise dos elementos necessários para classificação das águas para uso na irrigação.

A Tabela 7, a seguir, apresenta os valores maiores, menores e médios dos elementos das análises químicas e físico-químicas que constam nas fichas de poços do SIAGAS.

Tabela 7 - Dados hidroquímicos das águas subterrâneas na área de estudo

<b>Elementos</b>	<b>Maior</b>	<b>Menor</b>	<b>Média</b>
$Na^+$ (mg/L)	81,25	52	66,6
$Ca^{2+}$ (mg/L)	1472	172,3	549,6
$Mg^{2+}$ (mg/L)	1201,4	54,6	310,9
$Cl^-$ (mg/L)	1242,9	22,5	330,8
$CO_3^{2-}$ (mg/L)	386,5	10	106,6
$HCO_3^-$ (mg/L)	858,9	38,2	302,7
$SO_4^{2-}$ (mg/L)	1550	0,5	279,1
CE ( $\mu S/cm$ )	7813	683	2784,5
pH	8,9	6	7,6
Turbidez (UNT)	8,5	0,1	1,54
$NO_3^-$ (mg/L)	90	0,01	15,5
Dureza Total (mg/L)	2178,7	94,5	1036,5
$F^-$ (mg/L)	8,1	0,4	2,6
$NO_2^-$ (mg/L)	45,5	0,001	7
STD (mg/L)	5304	538	1767,1
Fe Total (mg/L)	0,5	0,01	0,15
$SiO_2$ (mg/L)	115	5,5	39,4

Fonte: autor.

A Resolução CONAMA 396/2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e estabelece valores máximos permitidos para seus usos preponderantes, tais como irrigação. A portaria nº 2914/2011

dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Alguns desses valores são apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Valor Mínimo Padrão (CONAMA 396/2008) para os parâmetros físico-químicos.

<b>Parâmetros</b>	<b>VMP (CONAMA 396/2008) *irrigação</b>	<b>VMP (Portaria Min. da Saúde 2914/11)</b>	<b>Média de valores da área</b>	<b>% poços no intervalo VMP</b>
<b>pH</b>	-	6-9,5	<b>7,6</b>	-
<b>STD (Sólidos Totais Dissolvidos) (mg/L)</b>	N.E.	1000	<b>1767,1</b>	-
<b>Cloreto total (mg/L Cl)</b>	100-700	250	<b>330,8</b>	<b>68%</b>
<b>Fluoreto total (mg/L F)</b>	1	1,5	<b>2,6</b>	<b>29%</b>
<b>Ferro (mg/L Fe)</b>	5	0,3	0,15	<b>100%</b>
<b>Nitrato (mg/L N)</b>	N.E.	10	<b>15,5</b>	-
<b>Nitrito (mg/L N)</b>	1	1	<b>7</b>	<b>68%</b>
<b>Sódio (mg/L Na)</b>	N.E.	200	<b>66,6</b>	-
<b>Sulfato Total (mg/L SO4)</b>	N.E.	250	<b>279,1</b>	-

Fonte: autor, CONAMA (396/2008) VMP para uso em irrigação e Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

Cerca de 68% dos poços se enquadram no intervalo VMP da Resolução CONAMA no quesito Cloreto; enquanto apenas 29% dos poços não ultrapassam o VMP com relação ao Fluoreto; no que diz respeito ao Ferro, todos os poços encontram-se com concentração abaixo do apresentado pela resolução; já com relação ao Nitrito, cerca de 68% dos poços apresentam-se dentro do VMP da resolução. Vale ressaltar que os valores VMP apresentados na tabela anterior dizem respeito à concentração dos parâmetros em águas subterrâneas para uso na atividade de irrigação.

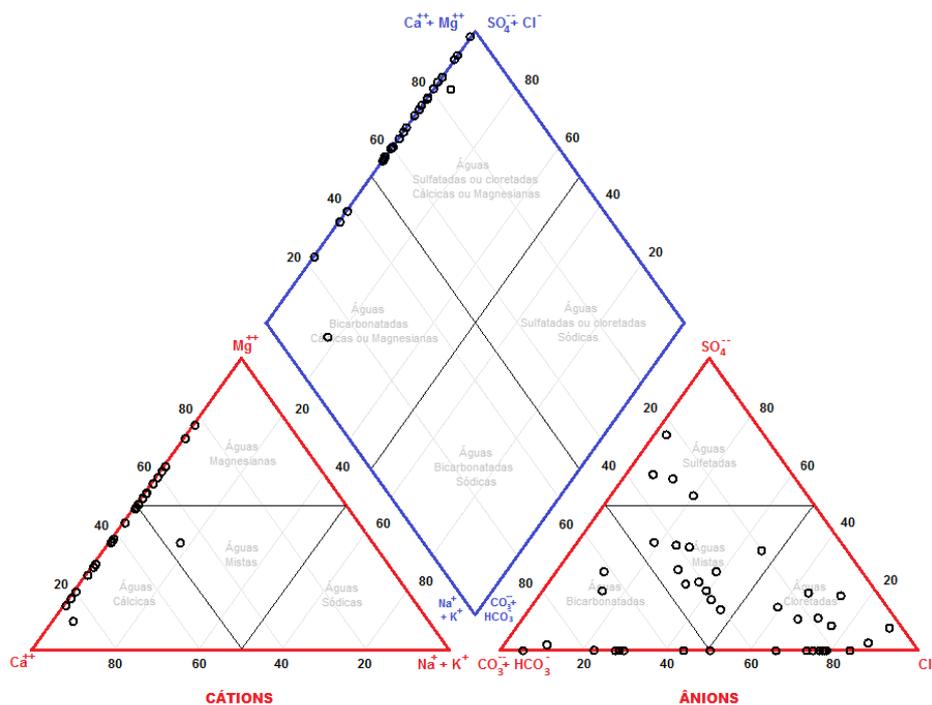
Em se tratando dos valores máximos permitidos pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, o seguinte percentual dos poços que se enquadram é: com relação

ao Cloreto, 56%; Sulfato, 67%; Nitrato, 61%; Fluoreto, 38%; Nitrito, 78%; STD, 8%; Ferro Total, 81%. Destaca-se que em ambas as comparações o percentual de poços cuja concentração de Fluoreto se enquadra no VMP é pequena, o que requer um estudo mais aprofundado da origem desse elevada concentração e cuidado ao utilizar as águas desses poços, cujos valores são altos, na atividade de irrigação e para o consumo humano.

Através do programa Qualigraf 1.1 foi possível analisar os dados disponíveis e assim, classificar as águas subterrâneas da região de estudo quanto a hidroquímica.

Um recurso interessante para comparação de grupos de águas distintos ou comparações de variações temporais quanto aos íons dominantes é o Diagrama de Piper. Este diagrama é composto por dois triângulos em sua base, sendo o da direita referente aos ânions  $SO_4^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}+HCO_3^-$ , e  $Cl^-$ , e o da esquerda referente aos cátions  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Na^++K^+$ . Para fazer a correlação dos ânions com os cátions existe um losango ao centro. A Figura 33, a seguir, apresenta o diagrama de Piper, que juntamente com a Tabela 9 permite interpretar que 20% das amostras são classificadas como cálcicas mistas, enquanto 10% como cálcicas cloretadas, 10% como magnesianas cloretadas, 7% como cálcicas sulfatadas, 7% magnesianas mistas, 5% magnesianas bicarbonatadas, e ressalta-se apenas 2% classificadas como cálcicas bicarbonatadas.

Figura 33 - Diagrama de Piper



Fonte: autor, Qualigraf.

Tabela 9 - Percentuais das amostras por classes de enquadramento

	Classes das Águas	Nº	%	Classes das Águas	Nº	%
▶	Sódicas	0	0	Cloretadas	17	41
	Cálcicas	16	39	Bicarbonatadas	9	22
	Magnesianas	10	24	Sulfatadas	4	10
	Mistas (Cátions)	1	2	Mistas (ânions)	11	27

	Classes das Águas	Nº	%	Classes das Águas	Nº	%
▶	Sódicas cloretadas	0	0	Magnesianas cloretadas	4	10
	Sódicas Bicarbonatadas	0	0	Magnesianas Bicarbonatadas	2	5
	Sódicas Sulfatadas	0	0	Magnesianas Sulfatadas	1	2
	Sódicas Mistas	0	0	Magnesianas Mistas	3	7
	Cálcicas cloretadas	4	10	cloretadas Mistas	0	0
	Cálcicas Bicarbonatadas	1	2	Bicarbonatadas Mistas	1	2
	Cálcicas Sulfatadas	3	7	Sulfatadas Mistas	0	0
	Cálcicas Mistas	8	20	Mistas	0	0

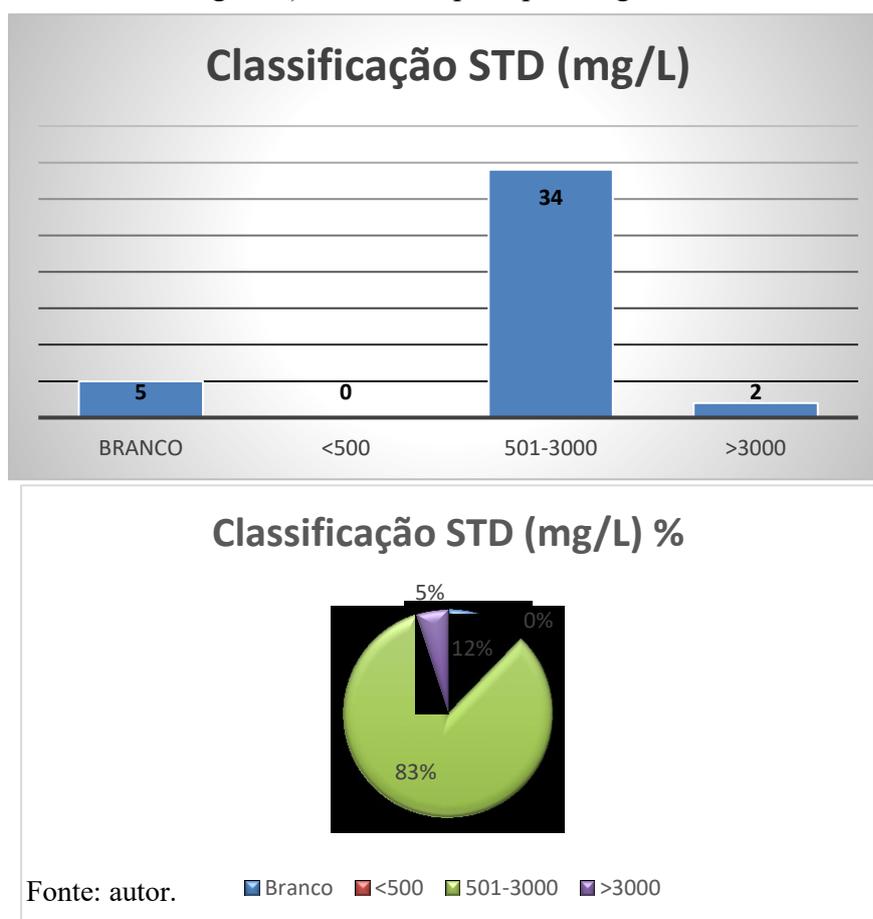
Fonte: autor, Qualigraf.

As águas também podem ser classificadas no que diz respeito aos Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Essa classificação é baseada na Resolução CONAMA 357/2005, como apresentado na Tabela 10. De acordo com a classificação, 2 poços possuem água salina, 34 possuem água salgada e nenhum poço foi classificado como água doce, 5 não possuíam valor de STD (Gráfico 8).

Tabela 10 - Valores de STD para classificação dos tipos de água - Resolução CONAMA 357/2005

Tipos de águas	STD (mg/L)
Água Doce	0-500
Água Salobra	501-3000
Água Salina	>3000

Gráfico 8 - a) Quantidade de amostras por tipo de água; b) Percentual por tipo de água



Um dos critérios mais aceitos para classificação de água para fins de irrigação foi desenvolvido pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL) (RICHARDS, 1954 *apud* OLIVEIRA *et. al*, 2017). Este método toma por base a razão de adsorção de sódio (SAR) e a condutividade elétrica (CE) da água. Para esta classificação, apenas 2 poços foram utilizados, pois continham informação de Na, Ca e Mg, utilizados para o cálculo do SAR, como mostrado na fórmula a seguir:

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{r(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}}$$

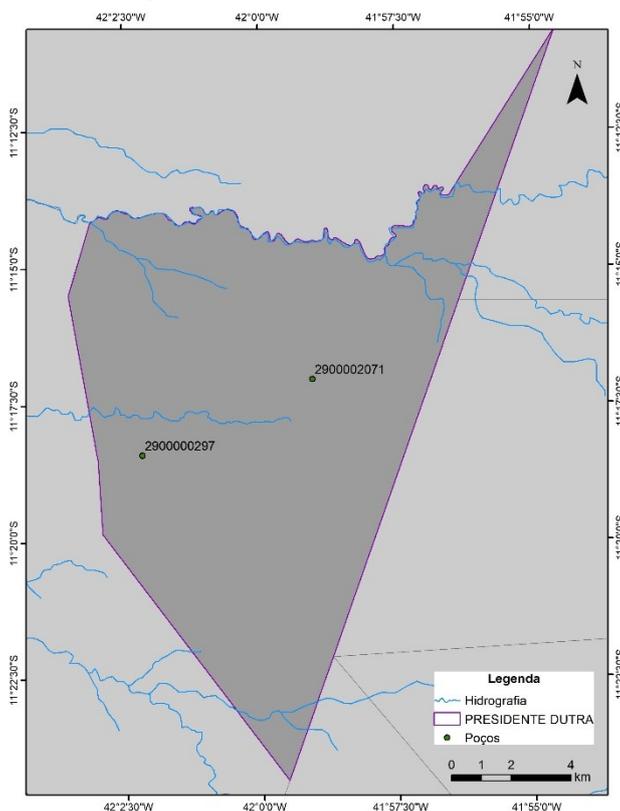
Fonte: Funceme (2014).

O poço de número 290000297 foi classificado como classe C4-S1, ou seja, risco de salinização muito alto e risco de sódio baixo. A classe C4 representa águas com muito alta salinidade, e é descrita da seguinte forma: Não é indicada para irrigação em nenhuma condição natural, com apenas alguns casos especiais. Em solos permeáveis, com drenagem adequada, a água pode ser utilizada em excesso para promover uma lixiviação considerável e cultivos que possuam muita tolerância aos sais devem ser selecionados. A

classe S1 representa águas com baixo sódio, e é descrita assim: Pode ser usada para irrigação em quase todos os solos com pouco perigo de desenvolvimento de níveis prejudiciais de sódio trocável. No entanto, cultivos que sejam sódio-sensitivos como as árvores de drupa e abacates podem acumular concentrações prejudiciais de sódio. Este poço encontra-se à oeste.

Enquanto o poço de número 2900002071 é classificado como C2-S1, possuindo então águas com risco de salinização médio e risco de sódio baixo. A classe C2 representa águas com salinidade moderada, e é descrita assim: Pode ser usada se ocorre moderada lixiviação. Plantas com tolerância moderada à sais podem crescer na maioria dos casos sem práticas especiais para controle de salinidade. A localização deste poço é à nordeste da área de estudo. A Figura 34 mostra a disposição destes poços.

Figura 34 - Poços classificados



Fonte: autor.

A construção desses diagramas de classificação requer alguns componentes químicos que, por vezes, não constam nas fichas dos poços. Portanto, qualquer deficiência na caracterização das águas pode ser advinda disto. Este fato reitera a necessidade de atualização desses dados nos portais em que estão disponíveis, como o SIAGAS, ou, a coleta em campo de amostras de água subterrânea para posterior análise química fidedigna e representativa.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, através das informações obtidas e descritas anteriormente, é possível concluir que:

- i. Quase 99% do consumo de água de Presidente Dutra é para irrigação;
- ii. O balanço hídrico da UBV.3 é de  $-0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ , ou seja, é negativo devido a demanda ser maior que a disponibilidade hídrica;
- iii. Existem cerca de 7.413,071 hectares de imóveis rurais cadastrados no SICAR;
- iv. O mapa de feições cársticas permitiu constatar que maior densidade de feições identificadas encontra-se a leste da área de estudo. Os fotolineamentos possuem direção principal aproximada E-W, enquanto a direção principal dos eixos das feições é NW-SE, o que pode estar associados ao modelo Riedel. A feição de maior eixo possui 320,57m, e a de maior área é de 29.807,97m<sup>2</sup>;
- v. De um total de 72 poços cadastrados na plataforma SIAGAS para o município de Presidente Dutra, a maior parte foi instalada no período de 1983 a 1986, contudo, sabe-se que com o crescente aumento da utilização da agricultura irrigada muitos poços vêm sendo perfurados. A maior parte dos poços apresentam nível freático próximo a superfície, enquanto o maior valor foi de 43,5 m. Com relação à vazão de estabilização, o menor valor foi de 0,32 m<sup>3</sup>/h e o maior foi de 79,2 m<sup>3</sup>/h. Um gráfico comparativo entre o nível estático e a vazão de estabilização permitiu inferir que possa haver uma relação inversamente proporcional entre esses dados.
- vi. Quanto aos valores encontrados para a capacidade específica do aquífero, verificou-se que o menor valor foi de 0,0047 m<sup>3</sup>/h/m e o maior valor foi de 122,2 m<sup>3</sup>/h. Um mapa de zoneamento da capacidade específica para o município de Presidente Dutra mostra que a porção leste e a central são regiões com boa capacidade específica, em torno de 0,55 a 4,07 m<sup>3</sup>/h/m.
- vii. De acordo com o mapa de fluxo subterrâneo da área, o sentido predominante do fluxo é de SE para NW, coincidindo com o fluxo de água superficial.
- viii. Segundo a classificação hidroquímica das águas subterrâneas de Presidente Dutra, 34 amostras foram classificadas como água salgada, 2 como água salina e nenhum como água doce. Através do diagrama de Piper, 20% das águas foram classificadas como cálcicas mistas, 10% como cálcicas cloretadas, 10% como

magnesianas cloretadas, 7% como cálcicas sulfatadas, 7% magnesianas mistas. Apenas duas amostras puderam ser classificadas quanto à qualidade para utilização na irrigação. Uma delas enquadrou-se na classificação C4-S1, ou seja, risco de salinização muito alto e risco de sódio baixo, enquanto a outra enquadrou-se como C2-S1, possuindo então águas com risco de salinização médio e risco de sódio baixo.

Tendo em vista as características da área percorridas anteriormente, a seguir, são pontuados alguns dos problemas relacionados com as águas subterrâneas que ocorrem no município de Presidente Dutra:

- i. Escassez de recursos hídricos superficiais;
- ii. Baixas taxas pluviométricas (clima semiárido: 200mm/ano a 800mm/ano);
- iii. Pouca vegetação natural (caatinga);
- iv. Balanço hídrico negativo;
- v. Evaporação -> acúmulo de sais -> desertificação (provável) -> abandono de áreas -> desastre socioeconômico;
- vi. Grande quantidade de poços em operação sem outorga;
- vii. Superexploração dos poços (vazões acima do permitido, ou deficiência no registro das vazões por não haver controle de todos os poços que operam na região);
- viii. Falta de controle e monitoramento das águas usadas para irrigação (podem lixiviar componentes de adubos ou fertilizantes e outros produtos utilizados nas plantas);
- ix. Aumento da demanda por água para atividades de irrigação, principalmente, mas também apoio no abastecimento doméstico, na zona rural.

Mediante os problemas citados anteriormente algumas sugestões para a solução imediata ou prolongada são explanadas a seguir:

- i. Cadastro dos poços da cidade, testes de bombeamento para identificação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero e assim melhor caracterizá-lo, e análises químicas para classificação e enquadramento das águas subterrâneas;

Esta é uma recomendação necessária, urgente, mas que requer tempo e pessoal especializado para realização deste cadastro. O Instituto de Meio Ambiente e Recursos

Hídricos (INEMA), no mês de março do ano de 2015, formalizou junto à Agência Nacional de Águas (ANA) a adoção do sistema de Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH40), passando a integrar a base de dados do cadastro de usuários de recursos hídricos do governo federal. Esta medida faz parte do Pacto pelas Águas – Programa Progestão, assinado entre Governo do Estado e a Agência Nacional de Águas (ANA), no ano de 2014 (INEMA, 2016).

Em julho de 2017, o INEMA iniciou o cadastro de usuários de água nas bacias dos rios Verde e Jacaré. Visitas são realizadas nas comunidades para realização de reuniões de mobilização e cadastramento de usuários de recursos hídricos que fazem captação, lançamento, barramento e outras interferências em cursos d'água ou água subterrânea. A atividade, nessa região, é realizada por meio de contrato firmado entre o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) e a empresa Ambientagro, com recursos do Swap Bahia, Banco Mundial.

Através do procedimento do cadastro torna-se possível obter informações sobre os usos e os usuários de recursos hídricos, identificando as atividades predominantes, quem são e onde se concentram. Conhecer os diversos usos dos recursos hídricos do estado possibilita a melhoria do planejamento e gestão das águas, das práticas de captação e consumo, e dos níveis e qualidade dos efluentes lançados nos mananciais, entre outras interferências (INEMA, 2017).

No caso da região de estudo, recomenda-se a continuação do cadastro e a divulgação dos dados em alguma plataforma online para conhecimento da sociedade e auxiliar em estudos futuros.

ii. Recarga artificial;

A recarga artificial de aquíferos é uma técnica hidrogeológica que consiste em introduzir água em um aquífero a uma taxa muitas vezes maior que a taxa de recarga natural com o objetivo de aumentar a disponibilidade e melhorar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

Um dos principais fatores que vão influenciar na escolha do método de recarga artificial mais adequado para determinado local está relacionado ao conhecimento do mecanismo de recarga natural. Outros fatores importantes como clima, tipo de solo e rocha, índices pluviométricos, relevo, origem da água, uso e ocupação do solo, aspectos legais e econômicos também devem ser considerados.

Considerando os tipos de aquíferos a serem recarregados, a metodologia pode variar de recarga direta por infiltração no solo, mais adequada para aquíferos livres (freáticos) ou indireta por meio de furos que atinjam o aquífero, mais adequada para os confinados profundos.

Os métodos de recarga à superfície por infiltração no solo (direta) consistem em permitir a infiltração das águas através de uma extensa superfície de contato entre a água e o solo. Os métodos indiretos de recarga consistem na introdução de água no aquífero através de furos ou poços.

A recarga artificial no Brasil é uma prática ainda pouco utilizada. Na última década algumas técnicas foram aplicadas em regiões específicas e com resultados vagamente conhecidos ou disseminados. Alguns avanços foram alcançados, com projetos acadêmicos experimentais e com a ampliação da agenda de discussões sobre gestão das águas subterrâneas (ALMEIDA, 2011). Em 2008, o Conselho Nacional dos Recursos Hídricos-CNRH publicou a Resolução 92/2008 condicionando a implantação de mecanismos de recarga artificial de aquíferos à autorização do órgão ambiental competente. Em 2013, publicou a Resolução nº 153 que estabelece critérios e diretrizes para implantação de recarga artificial de aquíferos no território brasileiro.

### iii. Barragem subterrânea;

De acordo com a Embrapa (1989), a barragem subterrânea é uma tecnologia de captação e armazenamento da água de chuva para produção de alimentos e tem sido adotada por agricultores do Semiárido brasileiro, o que contribui para a produção agropecuária familiar e minimiza os riscos da agricultura dependente de chuva. A principal função desta tecnologia é reter a água da chuva que escoar na superfície e no interior do solo, através de uma parede impermeável construída dentro da terra e que se eleva a uma altura de cerca de 50 cm acima da superfície, e deve ser instalada no sentido contrário à descida das águas.

O grande benefício da barragem subterrânea é que o terreno pode permanecer úmido de dois a cinco meses após o período de chuvas, devido a uma vazante artificial temporária provocada pela barragem, o que permite a plantação inclusive em épocas de estiagem. Constrói-se a barragem escavando-se uma vala no sentido transversal do fluxo das águas até a rocha ou camada impermeável. A vala deve ser recoberta por um plástico de polietileno com espessura 200 micra em toda sua extensão, fechando-a com a terra que

foi removida na sua abertura. A fim de eliminar o excesso de água, que porventura venha ocorrer em períodos de chuvas torrenciais, deve ser feito um sangradouro na parede da barragem.

É recomendável a construção da barragem em áreas com solos com profundidade de 1,5 a 4,5 m, com declividade suave, entre 0,4 e 2,0%, que formam ombreiras (extremidades rasas), não salinos e textura arenosa a média. O custo de uma barragem subterrânea varia de acordo com as condições locais. Em 2008, esta tecnologia foi destacada no Balanço Social da Embrapa e, em 2013, reconhecida como tecnologia social pela Fundação Banco do Brasil. Além disso, está alinhada como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), ficando, em 2018, entre as iniciativas finalistas do Prêmio ODS Brasil, na categoria "Ensino, Pesquisa e Extensão".

Esta solução tecnológica foi desenvolvida pela Embrapa em parceria com outras instituições.

- iv. Tecnologia de armazenamento eficiente, semelhante o funcionamento de uma esponja, por exemplo. Esta sugestão deve ser melhor maturada e em conjunto com profissionais da engenharia projetada e testada para verificar a exequibilidade e eficiência do método;
- v. Estudo relacionando a capacidade específica dos aquíferos, volume de água armazenado (entradas e saídas), e determinação do máximo de vazão permitido por poço;
- vi. Monitoramento da etapa anterior;
- vii. Investimento em educação e informação através da realização de palestras, seminários e workshops para toda a população de Presidente Dutra visando conscientizá-los quanto ao uso das águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS

---

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA - AGEITEC.

**Cambissolos.** Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma\\_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wtedt3n5subswf.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wtedt3n5subswf.html)>. Acesso em: 13 ago. 2018;

AGÊNCIA ESTADUAL DE DEFESA AGROPECUÁRIA DA BAHIA - ADAB. 2015.

Disponível em: <<http://www.adab.ba.gov.br/2015/10/975/Bahia-mantem-lideranca-na-producao-nacional-de-Pinha.html>>. Acesso em: 01 jun. 2018;

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Disponível em: <

<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-subterranea>> Acesso em: 12 mar. 2019;

\_\_\_\_\_. Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2017. 86 p.

\_\_\_\_\_. *HidroWeb*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 21 mai. 2019;

\_\_\_\_\_. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA, 2019.

Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usuarios-da-agua/>>. Acesso: 05 jun. 2019.

ALMEIDA, L. **Estudo da Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial para a Sustentabilidade das Águas Termais da Região de Caldas Novas- GO.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2011;

AQUINO, C. M. S; DIAS, A. A; SANTOS, F. A. Revista Formação (ONLINE) Vol. 3; n. 23, mai-ago/2016. p.248-263. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X. **ANÁLISE TEMPORAL DO NDVI DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO LONGÁ - PIAUÍ – BRASIL.** Disponível em:

<<http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/viewFile/3945/3462>>. Acesso em: 18 set. 2018;

Arquivos *Shapefile* da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Disponível em: < <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm#> >. Acesso em: 09 abr. 2019;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. Disponível em: < <http://www.abas.org/educacao.php> > Acesso em: 12 mar. 2019;

BAHIA (Estado). Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/>>. Acesso em 01 jun. 2018;

BEDMAR A.P., SILVA A.B., JARDIM F.G. & OLIVEIRA L.B. **Contribuição de diversas técnicas isotópicas no estudo do aquífero cárstico da região central da Bahia (Irecê-Iraquara)**. *Rev. Bras. Geoc.*, **10**:104-116. 1980.;

BERALDO, V. J. **Avaliação macroscópica das feições cársticas da Formação Salitre na folha de Irecê (SC.24-Y-C-I) como reservatórios para água subterrânea**. *In*: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2005;

BRANNER, J. C. **Aggraded limestone plains of the interior of Bahia and the climatic changes suggested by them**. *Geological Society of America*, n. 22, p. 187-206, 1911;

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**, Folha SD24 Salvador. Mapa de Vegetação, Geologia, Geomorfologia e Solos. Rio de Janeiro, 1981;

BRASIL. Ministério da Saúde. **Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: < [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 12 abr. 2019;

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas**. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da União,

Brasília, DF. Disponível em: <

<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2019;

BRASIL. Organização dos Estados Americanos. **Sub-projeto 1.5 - Impacto da Agricultura nos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do rio Verde/Jacaré – BA**. Análise Ambiental da Bacia e sua Zona Costeira do Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco – PAE: GEF São Francisco: Resumo Executivo do Relatório Final. Componente I. / Organização dos Estados Americanos; Fundo Mundial para o Meio Ambiente; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente et al. – Brasília, 2003. 54 p;

BRITO, A. F. S. **Estudo do Mercado da pinha produzida no Estado da Bahia, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2010. 96 f.;

CAMPOS, J. E. G. & CORREA, P. M. **Crítérios para determinação de vazões outorgáveis em mananciais subterrâneos: aplicação no Distrito Federal**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 32, n. 1, p. 23-32, 2013;

CAVALCANTI, E. S. 2018. **Construção de Barragens: como e por onde começar?** Disponível em: <<https://engenharia360.com/construcao-de-barragens-como-e-por-onde-comecar/>>. Acesso em: 08 mai. 2019;

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188p;

Climate-Data (2018). Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42825/>>. Acesso em: 12 ago. 2018;

CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO TERRITÓRIO DE IRECÊ - CDSTI. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável – PTDRS**. Coordenador Territorial Mário Augusto de Almeida Neto. Irecê, 2010;

CORDEIRO, M.C.R, PINTO, A.C.Q., RAMOS, V.H.V. **O cultivo da pinha, fruta-do-conde ou ata no Brasil. Circular técnica.** Embrapa Cerrado. Planaltina. n. 9, p 1-51. Jun. 2000. ISSN 1517-0187;

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas).** Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001. 32 pg;

COSTA, S.; SANTOS, V.; MELO, D.; SANTOS, P. Valdivia, Chile, 2017. **Evaluation of Landsat 8 and Sentinel-2A data on the correlation between geological mapping and NDVI.** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/318806783\\_Evaluation\\_of\\_Landsat\\_8\\_and\\_Sentinel-2A\\_data\\_on\\_the\\_correlation\\_between\\_geological\\_mapping\\_and\\_NDVI](https://www.researchgate.net/publication/318806783_Evaluation_of_Landsat_8_and_Sentinel-2A_data_on_the_correlation_between_geological_mapping_and_NDVI)>. Acesso em: 07 mai. 2019;

DRM-RJ – Departamento de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.drm.rj.gov.br/index.php/areas-de-atuacao/3-aguassubterraneas>> Acesso em: 12 mar. 2019;

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. Disponível em :<<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/2129/barragem-subterranea>>. Acesso em: 05 mai. 2019;

EngeSat – Soluções em imagens de satélite e geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>>. Acesso em: 07 mai. 2019;

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. **Guia do Usuário para Qualigraf.** FUNCEME/PROURB-RH. Fortaleza-Ceará, 2014;

GALVÃO, A. P. **Cultura da Pinha (*Annona squamosa L.*) no município de Presidente Dutra – BA e sua equidade.** 20ª SEMOC Ucsal – Saúde, tecnologias e desenvolvimento humano. 2016;

GASSER, R. S. **Vulnerabilidade e Hidroquímica do aquífero Cárstico Salitre no município de Cafarnaum, Bahia.** Dissertação (Mestrado em Geoquímica do Petróleo e Ambiental). 97 f. Universidade Federal da Bahia, Salvador-Bahia. 2017;

GIACOMIN G., CARVALHO M. B., SANTOS A. P., MEDEIROS N. G. & FERRAZ A. S. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS INTERPOLADORES DE MODELOS DE SUPERFÍCIES**. Revista Brasileira de Cartografia (2014) Nº 66/6: 1315-1329;

GONÇALVES, M. J. **Avaliação de risco de contaminação do aquífero fissural cárstico da região de Irecê – Bahia**. Salvador: Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004;

GONÇALVES, T. S. & LEAL, L. R. B. **Potencialidades hídricas no Aquífero Cárstico Salitre na região de Irecê, Bahia**. In: *Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 2, p. 191-199, 2018;

GUERRA, A. M. **Processos de Carstificação e Hidrogeologia do Grupo Bambuí na região de Irecê – Bahia**. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – São Paulo, 1986.132 pg;

GUIMARÃES, J. T., ALKMIM, F. F., CRUZ, S. C. P. Supergrupos Espinhaço e São Francisco. In: BARBOSA, J. S. F. (Org.). **Geologia da Bahia: Pesquisa e Atualização**. 1 ed. Salvador: CBPM e UFBA, 2012, v. 2, p. 33-83;

HIRATA R, LIMA JBV, HIRATA H. **A água como recurso**. In: Teixeira W. Decifrando a terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.449-85.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 jun. 2018;

\_\_\_\_\_. 2018. **Geomorfologia**. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/vetores/escala\\_250\\_mil/recorte\\_milionesimo](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/recorte_milionesimo)> Acesso em: 09 abr. 2019;

\_\_\_\_\_. **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5);

\_\_\_\_\_. EMBRAPA. Shape de Solos. 2001. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php)>. Acesso em: 25 abr. 2019;

\_\_\_\_\_. Shape de cobertura vegetal e uso do solo. 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 jun. 2018;

\_\_\_\_\_. 2017a. **Plano de Recursos Hídricos e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água das Bacias Hidrográficas dos Rios Verde e Jacaré**. Disponível em: <[http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/PRHVJ\\_PF03\\_R00.pdf](http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/PRHVJ_PF03_R00.pdf)>. Acesso em: 08 abr. 2019;

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. 2017b. **Sema inicia Cadastro de Usuário de Água nas bacias dos rios Verde e Jacaré**. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/2017/07/sema-inicia-cadastro-de-usuario-de-agua-nas-bacias-dos-rios-verde-e-jacare/>>. Acesso em: 13 abr. 2019;

JACOMINE, P. K. T. *et al.* **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco, estudo da Bahia**. Recife, EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1976. Brasil, SUDENE, DRN. Divisão de Recursos Renováveis, 7;

KARMANN, I. **Ciclo da água, água subterrânea e a sua ação geológica**. *In*: Teixeira, W.; Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (orgs.) 2000. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos;

LIMA, M. S. **Hidrogeologia do aquífero cárstico da região de Irecê, Bahia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto de Geociências, Colegiado de Geologia - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. 56f;

LUCIANO, R. L. **Hidroquímica e Qualidade das Águas dos Aquíferos Cársticos da Região das Bacias Hidrográficas dos rios Verde, Jacaré e Salitre – Bahia**. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA, 2007. 67 f;

MACHADO, S. O. **Pinha irrigada e desenvolvimento local em Presidente Dutra – BA**. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012. 81 f;

MapBiomias. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/atbd>>. Acesso em: 07 mai. 2019;

MAGOGA, J. **Dessalinização por Osmose Inversa das Águas de Poço do Aquífero Guarani para Ajuste aos Parâmetros de Potabilidade**. Monografia. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo - RS. 2010;

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO MATEMÁTICA NO MAPEAMENTO DE CHUVAS DO ESTADO DO MATO GROSSO**. Revista Brasileira de Geografia Física, 2011. v-4, p. 793-804;

MICROSOFT *Office Excel* para Windows 2010. Versão 2016, [S.l.]: Microsoft Corporation, 2016;

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas>> Acesso em: 12 mar. 2019;

\_\_\_\_\_. Sistema de Cadastro Ambiental Rural - SICAR. 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas>> Acesso em: 08 jun. 2019;

MOTTA JG, BECKHAUSER A, FREITAG G, PELISSER MR. 2014. **Qualidade da Água Subterrânea na Região do Médio Vale do Itajaí – SC**. UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde 2014;16(4):283-91. Disponível em: <<http://revista.pgsskroton.com.br/index.php/JHealthSci/article/viewFile/366/344>>. Acesso em: 12 abr. 2019;

MOURA, B. R. **Avaliação do uso da água em fruteiras irrigadas no Projeto Jaíba**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. 115 f;

NOSSA, T. C. B. **Avaliação da vulnerabilidade do aquífero cárstico Salitre - Bahia, através de análises hidroquímicas, isotópicas e aplicação da metodologia COP.** Tese (Doutorado) - Curso de PósGraduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2011. Salvador, 2011. 226 f;

OLIVEIRA, A.; M.; A.; A. **Perfil do sistema de produção de pinha nos polos de fruticultura, com ênfase nos aspectos fitossanitários da cultura.** Extensão Rural, DEAER – CCR – UFSM, Santa Maria, v.23, n.2, abr./jun. 2016;

OLIVEIRA, A.M.; DIAS, N.S.; FREITAS, J.J.R.; MARTINS, D.F.F.; RABELO, L. N. **Avaliação Físico-Química das Águas do Processo de Dessalinização de Poços Salobros e Salinos em Comunidades Rurais do Oeste Potiguar, In: Águas Subterrâneas (2017) 31(2):58-73.**

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/28663/18712>>.

Acesso em: 08 abr. 2019;

OLIVEIRA, A. S. **Perfil do produtor de pinha na Bahia, importância da broca-dos-frutos e eficiência de inseticidas no controle da praga.** Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2012. 99 f.;

PEDREIRA, A. J., ROCHA, A. J. D., COSTA, I. V. G., MORAIS FILHO, J. C. **Projeto Bacia de Irecê-II: relatório final.** Salvador, CPRM, 1987;

RAMOS, S.O. **Variações sazonais dos níveis hidrostáticos do aquífero cárstico da região de Irecê, Bahia: Implicações para estimativa da recarga.** Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005. 137 p. Disponível em: <[www.unb.br/ig/posg/tesesBrasil.pdf](http://www.unb.br/ig/posg/tesesBrasil.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2019;

RAMOS, S. O. *et al.* **Variação temporal do nível freático do aquífero cárstico de Irecê - Bahia: contribuição para uso e gestão das águas subterrâneas no semiárido.**

Revista Brasileira de Geociências, v. 37, n. 4, (suplemento), p. 227-233, dez. 2007.  
Disponível em: <[www.sbgeo.org.br](http://www.sbgeo.org.br)>. Acesso em: 15 maio 2019;

REBOUÇAS, A.C. **Desenvolvimento das Águas Subterrâneas no Brasil**. In: Anais do X Congresso Brasileiro de Água Subterrânea. 1998;

RESOLUÇÃO CONAMA nº 396 de 2008. **Qualidade da água**. Disponível em:  
<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 08 abr. 2019;

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **GeoSGB**. 2019. Disponível em: <  
<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso: 20 mai. 2019;

\_\_\_\_\_. Shape da Geologia da Bahia. 2014. Disponível em: <  
<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso: 20 mai. 2019;

\_\_\_\_\_. SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – SIAGAS. **Fichas de poços tubulares (2019)**. Disponível em:  
<[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em: 06 abr. 2019;

SEWRPC. 2006. “**State-of-the-Art of Water Supply Practices**”. Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SEWRPC). Technical Report N.º 43, Chapter VI - Artificial Groundwater Recharge and Management (preliminary Draft). Disponível em: <[http://www.sewrpc.org/SEWRPCFiles/Publications/TechRep/tr-043\\_water\\_supply\\_practices.pdf](http://www.sewrpc.org/SEWRPCFiles/Publications/TechRep/tr-043_water_supply_practices.pdf)>;

SILVA, A. J. C. L. P. **O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Centro-Oriental, Bahia: Sedimentologia, Estratigrafia e Tectônica**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 1994;

SILVA, A. B. **Hidrogeologia de Meios Cársticos**. 2015. Disponível em:  
<<https://pt.slideshare.net/BrunoS26/hidrogeologia-de-meios-crsticos-48697319>>. Acesso em: 12 abr. 2019;

SILVA, H. M. **Sistema de Informações Geográficas do aquífero cárstico da micro-região de Irecê, Bahia: Subsídio para a gestão integrada dos recursos hídricos das bacias dos rios Verde e Jacaré.** Dissertação (Mestrado Pós-graduação em Geoquímica e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005. 146 f;

SOMMER & SALDANHA. **Análise Temporal do Uso e Cobertura dos Solos no Município de São José dos Ausentes, Rio Grande do Sul, Brasil.** Revista Brasileira de Geografia Física. 2012 Disponível em: <[https://www.academia.edu/4954572/Análise\\_Temporal\\_do\\_Uso\\_e\\_Cobertura\\_dos\\_Solos\\_no\\_Município\\_de\\_São\\_José\\_dos\\_Ausentes\\_Rio\\_Grande\\_do\\_Sul\\_Brasil](https://www.academia.edu/4954572/Análise_Temporal_do_Uso_e_Cobertura_dos_Solos_no_Município_de_São_José_dos_Ausentes_Rio_Grande_do_Sul_Brasil)>. Acesso em: 16 set. 2018;

SOUZA, I. N. **A Produção e Comercialização da Pinha em Presidente Dutra: uma alternativa de desenvolvimento sustentável?** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura Plena em Geografia da Universidade do Estado da Bahia, Jacobina, 2008;

YAMAMOTO, J.K. Krigagem ordinária: método de amplo uso. 2016. Disponível em: <<https://geokrigagem.com.br/krigagem-ordinaria/>>. Acesso: 12 jun. 2019;

ZOBY, J. L. G. **PANORAMA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL.** In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços Feira Nacional da Água. 2008. <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23802/15867>>.

## APÊNDICE

Tabela 11 - Localização e dados dos poços

Número do Ponto	UF	Lat (Y)	Long(X)	Localidade	Natureza	Ne (m)	Nd (m)	Vazão Estabilização (m³/h)
2900000123	BA	8747832	168168,5046	GAMELEIRA	Poço tubular	2,01	49,44	1,26
2900000297	BA	8748358	168496,9957	GAMELEIRA II	Poço tubular	2,14	11,62	36
2900001141	BA	8745017	172568,6716	CAMPO FORMOSO	Poço tubular	9,99	64,71	1,3
2900001225	BA	8755692	169817,5679	AGUADINHA	Poço tubular	9,90	47,34	0,79
2900001345	BA	8746181	172101,348	RECIFE III	Poço tubular	5,32	30,27	79,2
2900001347	BA	8741626	174849,3925	MATINHA DO BRITO	Poço tubular	5,96	41,21	6,87
2900001407	BA	8751740	171345,9128	CURRALINHO	Poço tubular	0,00	161,44	2,08
2900001764	BA	8750421	174729,213	SEDE II	Poço tubular	23,00	69,4	7,05
2900001812	BA	8750327	174517,6175	SEDE IV	Poço tubular	20,65	44,6	5,5
2900001931	BA	8750705	175424,5452	SEDE VI	Poço tubular	20,90	22,73	6,87
2900002071	BA	8750938	174177,5111	SEDE III	Poço tubular	19,50	80	0,68
2900002072	BA	8751124	174327,4143	SEDE II	Poço tubular	10,00	60	7,99
2900002152	BA	8752858	172427,3754	RAMOS	Poço tubular	10,00	36	11,98
2900002176	BA	8745508	172502,8555	CAMPO FORMOSO	Poço tubular	6,00	47	5,97
2900004372	BA	8754121	166676,0796	BAIXINHA DE CENTRAL	Poço tubular	17,08	25,45	3,63
2900004959	BA	8752549	178350,5235	BAIXA VERDE II	Poço tubular	4,29	63,27	3,6
2900004960	BA	8739984	173713,1178	BELA VISTA	Poço tubular	6,50	47,2	16,48
2900004962	BA	8755410	169304,3272	CAMPOS	Poço tubular	43,50	70,5	3,06
2900004967	BA	8752591	167390,333	TAPUIOS	Poço tubular	9,38	56,64	3,88
2900004968	BA	8755044	166666,4805	ZUMBA DE BAIXO	Poço tubular	17,04	65,26	2,16
2900004969	BA	8754107	171200,1656	GAZA	Poço tubular	9,76	69,76	1,44
2900004970	BA	8745197	172202,6153	FAZENDA CAMPO FORMOSO II	Poço tubular	13,02	19,87	23,29

Continua

Continuação da tabela

2900004971	BA	8745419	172807,3241	RIACHINHO	Poço tubular	22,85	41,47	10,98
2900004973	BA	8745218	174235,9935	FAZENDA CAMPO FORMOSO	Poço tubular	12,04	64,28	0,54
2900004974	BA	8745665	172804,7929	FAZENDA CAMPO FORMOSO III	Poço tubular	17,80	44,4	9,07
2900004975	BA	8757057	180066,2537	GABRIELZINHO/BAIXAO ZEFERINO	Poço tubular	4,20	26,53	17,56
2900004976	BA	8752723	171244,7634	QUEIMADA III	Poço tubular	8,90	70,4	0,57
2900004977	BA	8754329	168920,7826	MONTE AZUL III	Poço tubular	9,15	20,09	13,86
2900004979	BA	8743288	174923,373	CURRAL DE PEDRA	Poço tubular	7,00	10	9,28
2900004985	BA	8753285	166107,9987	BRASIL	Poço tubular	7,75	129,15	1,93
2900004986	BA	8741568	172240,0871	ALTO BONITO II	Poço tubular	5,48	59,19	1,26
2900004987	BA	8758378	179931,6544	BERNALDES	Poço tubular	9,48	22,18	29,3
2900004988	BA	8752565	170790,9576	QUEIMADA II	Poço tubular	12,20	68,4	0,86
2900004989	BA	8745203	172779,1667	AGUA CLARA	Poço tubular	6,80	66,92	1,98
2900004990	BA	8742174	171323,2581	ALTO FORMOSO	Poço tubular	6,30	74,72	0,32
2900004991	BA	8745420	169923,767	BARRO BRANCO/AGUAS CLARAS	Poço tubular	18,53	55,84	9,75
2900023275	BA	8743308	170947,3335	FAZ. ALTO BONITO	Poço tubular	17,00	52	2,2
2900023277	BA	8752399	166663,636	FAZENDA BAIXINHA	Poço tubular	19,00	55	1
2900023278	BA	8740876	173734,1877	MATINHA DE BRITO	Poço tubular	3,00	21	9,317
2900023299	BA	8744160	170058,2463	FAZ ARAUJO	Poço tubular	9,00	33	5,52
2900000146	BA	8761200	172008,058	QUEIMADA DO CHICO RUFINO	Poço tubular	1,69	6,55	19,8
2900000261	BA	8764302	176106	MORRO DOS LUCIOS	Poço tubular	5,1	52,37	2,63
2900000262	BA	8761989	175522	MANDACARU	Poço tubular	4,06	28,86	11,99
2900000428	BA	8763200	167068,88	FAZENDA BOA SORTE I KM - 119	Poço tubular	7,15	46,15	9,9
2900000482	BA	8763290	167462,7	FAZENDA BOA SORTE II	Poço tubular	11,6	12,87	12
2900000486	BA	8763110	167646,84	FAZENDA BOA SORTE III	Poço tubular	8,1	67,5	0,79
2900001229	BA	8761000	169219,96	BOA SORTE	Poço tubular	3,31	7,1	6,7
2900001282	BA	8763700	170342,9	NOVA VISTA	Poço tubular	10,76	46,43	0,64
2900004363	BA	8761270	177442	MANDACARU II	Poço tubular	3	5,46	37,69
2900004369	BA	8765061	166351,35	ENVEREDADO	Poço tubular	6,15	65,17	2,26

Continua

Continuação da tabela

2900004374	BA	8759475	168412,94	TINED	Poço tubular	10	45,3	0,25
2900004376	BA	8766341	173959	MORRO DOS GREGORIOS	Poço tubular	33,74	59,36	1,65
2900004378	BA	8760995	177597	LEITE	Poço tubular	2,13	46,13	7,45
2900004379	BA	8762019	178528	MANDACARU DOS ROCHAS	Poço tubular	9,55	68,25	3,45
2900004380	BA	8758950	176068	BRINCOS	Poço tubular	6,64	7,8	32,97
2900004387	BA	8759972	167891,7	LAGOA DO MARTIM	Poço tubular	2,43	18,41	6,01
2900022513	BA	8757099	166221,26	BAHIA	Poço tubular	5,7	49,9	19,8
2900023165	BA	8762766	176273	FAZ. STA HELENA	Poço tubular	7,5	56	1,12
2900023166	BA	8763833	172314	FAZ. STA HELENA	Poço tubular	20	58	0,8
2900000529	BA	8747200	165080,27	QUIXABEIRA	Poço tubular	11	20,64	14,4
2900001142	BA	8751250	163155,74	CALDEIRAO	Poço tubular	18,87	40,11	0,58
2900005012	BA	8750177	163501,06	CALDEIRAO III	Poço tubular	9,81	57,29	4,53
2900005016	BA	8749585	161200,52	MANDACARU	Poço tubular	29	132	0,75
2900005017	BA	8751963	163209,05	CALDEIRAO II	Poço tubular	9,24	34,22	1,94
2900005025	BA	8747887	164952,75	QUIXABEIRA II	Poço tubular	13	52,4	3,6
2900005245	BA	8745301	165221,73	LAGOINHA II	Poço tubular	2,34	3,85	36
2900005247	BA	8752281	162112,91	MANDACARU II	Poço tubular	15,99	29,48	24
2900013610	BA	8751875	162754,62	FAZENDA SÍTIO BONITO	Poço tubular	7	14	13,8
2900023134	BA	8752121	162752,02	FAZ. CALDEIRÃO	Poço tubular	7	14	13,8
2900024086	BA	8752537	161078,05	PARAIBINHA DO HORÁCIO/ MANDACA	Poço tubular	44,48	86,33	0,403
2900000222	BA	8744166	180012	QUEIMADA DO IVACI	Poço tubular	14,07	14,37	9,9
2900001147	BA	8743550	179200	CHAPADINHA	Poço tubular	27	27,6	6,88
2900001194	BA	8744300	182600	QUEIMADA NOVA	Poço tubular	33,11	39,22	7
2900001214	BA	8749300	183300	FAZENDA BOA PAZ	Poço tubular	16,52	23,25	14,4
2900001729	BA	8748288	183218	LAGOA DOS PATOS II	Poço tubular	6,97	7,57	25,52
2900005077	BA	8743514	182446	FAZENDA DOIS IRMAOS	Poço tubular	26,17	37,5	15,84
2900005085	BA	8751859	180481	BAIXAO DO ZE PRETO	Poço tubular	3,95	62,33	2,34
2900005177	BA	8746711	179319	CAMBUI	Poço tubular	8,4	24	2,41

Continua

Continuação da tabela

2900005184	BA	8744814	183375	FAZENDA RIBEIRO	Poço tubular	21,02	21,37	7,92
2900005197	BA	8744925	182159	ITAPICURU II	Poço tubular	7,68	30,87	23,97
2900005198	BA	8745545	179573	ITAPICURU	Poço tubular	7,07	25,17	14,94
2900016523	BA	8745477	182002	FAZ. QUEIMADA NOVA	Poço tubular	6,5	14	13,8
2900017920	BA	8746045	183423	FAZ. DE JORGE LOPES	Poço tubular	15,4	55	0,5
2900017921	BA	8746353	183481	FAZ. CAPA BODE	Poço tubular	9	54	1,6
2900017926	BA	8749640	180078	FAZ. CAJUEIRO	Poço tubular	21,9	60	1,1
2900017928	BA	8750015	180651	FAZ. IOLANDA	Poço tubular	11,2	13,97	22,6
2900023155	BA	8747762	179824	FAZ. SOSSEGO	Poço tubular	24	27	11
2900023156	BA	8744095	182259	FAZ. TRÊS PODERES	Poço tubular	27		8
2900025547	BA	8748309	182186	FAZ. BOA ESPERANÇA	Poço tubular	15,05	23,42	17,6
2900025548	BA	8743495	183631	FAZ. PAU D'ARCO	Poço tubular	5,7	42,8	5,7
2900025554	BA	8744771	179125	FAZ. ITAPICURU	Poço tubular	9,5	48,8	3,2
2900025566	BA	8752597	180443	FAZ. AROEIRA	Poço tubular	0	1,6	18,4
2900025577	BA	8744742	179308	FAZ. ITAPICURU	Poço tubular	5,55	56,67	3,6
2900025578	BA	8744904	180126	FAZ. QUIXABEIRA	Poço tubular	3,5	47,2	2,4
2900025600	BA	8751808	181484	FAZ. CALDEIRÃO	Poço tubular	10,8	44,6	3,8
2900025610	BA	8752757	181080	BAIXÃO DO ZÉ PRETO-AR.IRRIG.II	Poço tubular	1,75	9,07	12,37
2900025621	BA	8746124	179082	ITAPICURU-FAZ.CAMBUÍ-AR.IRRIG.I	Poço tubular	6,07	42,95	10,42
2900025622	BA	8743174	179293	ITAPICURU - FAZ. BARAÚNA - AR. IRRIG.I	Poço tubular	14,18	58,6	27,31
2900025623	BA	8747086	179892	UMBUZEIRO - AR. IRRIG. I	Poço tubular	17,26	21,3	10,15
2900025626	BA	8750973	181036	BAIXÃO DO ZÉ PRETO-FAZ. VISTA ALEGRE-AR.IRRIG. I	Poço tubular	15,1	27,35	22,64
2900025690	BA	8744993	179730	ITAPICURU	Poço tubular	8,08	8,79	4,32
2900026311	BA	8744915	181158	QUEIMADA DE IVACI II	Poço tubular	28,2	33,6	21,42
2900002182	BA	8744520	178583	TOCA OU FAZENDA NOVA	Poço tubular	8	21	12,99
2900005195	BA	8743536	178562	FAZENDA NOVA	Poço tubular	7,27	69,95	12,36
2900017899	BA	8743373	177744	FAZ. NOVA	Poço tubular	8	21	12,96

Fonte: autor, CPRM/SIAGAS (2019).