



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**CLAUDIO CESAR DE AGUIAR CAJAZEIRAS**

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE E RISCO À ESCASSEZ HÍDRICA NO**  
**SEMIÁRIDO - CASO DE ESTUDO IBARETAMA/CE**

**FORTALEZA**

**2020**

CLAUDIO CESAR DE AGUIAR CAJAZEIRAS

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE E RISCO À ESCASSEZ HÍDRICA NO  
SEMIÁRIDO - CASO DE ESTUDO IBARETAMA/CE

Tese apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante e

Coorientador: Prof. Dr. Mickaelon Belchior Vasconcelos.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C139a Cajazeiras, Claudio Cesar de Aguiar.  
Análise da vulnerabilidade e risco à escassez hídrica no Semiárido - Caso de estudo Ibaretama/CE /  
Claudio Cesar de Aguiar Cajazeiras. – 2020.  
136 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Civil, Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante .

Coorientação: Prof. Dr. Mickaelon Belchior Vasconcelos.

1. Desastres naturais. 2. Seca. 3. Comunidades rurais. 4. Sistema de Informações. 5. Águas Subterrâneas. I.  
Título.

CDD 600

---

CLAUDIO CESAR DE AGUIAR CAJAZEIRAS

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE E RISCO À ESCASSEZ HÍDRICA NO  
SEMIÁRIDO - CASO DE ESTUDO IBARETAMA/CE

Tese apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Geologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: 28/02/2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. George Satander Sá Freire  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Christiano Magini  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Robério Bôto de Aguiar  
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)

A Deus, pois sem Ele nada é possível. Aos meus pais, Miguel Araújo Cajazeiras (*in memoriam*) e Maria Gêrice de Aguiar Cajazeiras, meu irmão Sergio Ricardo. A minha família: Natalia, Mariana.

## AGRADECIMENTOS

Ao orientador, professor e amigo Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante, pela sua confiança, motivação, sempre contribuindo não só na orientação, mas, como também no exemplo de bom caráter e companheirismo.

Ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em nome de Jaime Colares, Boto Aguiar, Mickaelon Vasconcelos, Valmor Freddo e a Mariana Vilas Boas, pela ajuda na liberação parcial de minhas atividades dentro da empresa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia (PPGG/UFC), aos coordenadores: Cynthia Duarte e Cesar Verissimo e ao Secretário Junior Benicio, todos muito solícitos para resolver os problemas institucionais.

Aos professores doutores do DEGEO: Ana Rita, Geraldo, Daniel Dantas, Marisete, Otaciel e Jonhson, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos membros do Laboratório de Hidrogeologia (LABHI): Rafael, pela grande ajuda, Sr Jorge, Flavio e Debora Elida (estagiária do SIAGAS).

Agradeço aos amigos Rafael Rolim, Luís Carlos, Felipe Rocha, Juliana Gonçalves, Guilherme, Alex França, Heury, Sara Pinoti, Leiliane e Idembergue pela ajuda e contribuição.

Aos professores participantes da banca examinadora: Satander, Boto, Christiano e Enéas por suas considerações e colaborações.

Aos amigos José, Alex, Rodrigo e Cleidiane por estarem presente. E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para execução deste trabalho.

Jesus respondeu: Quem beber desta água terá sede outra vez, mas quem beber da água que eu lhe der nunca mais terá sede. Pelo contrário, a água que eu lhe der se tornará nele uma fonte de água a jorrar para a vida eterna. (João 4:13,14)

## RESUMO

A seca é um fenômeno natural, provocado por um extremo climático originado pelo déficit de precipitação, que resulta na perda da capacidade de armazenamento de águas dos açudes, sendo, as áreas rurais do semiárido as mais vulneráveis e afetadas, gerando danos sociais e econômicos. Dentre as medidas mitigadoras relacionadas às secas no semiárido destacam-se o uso de águas subterrâneas, o mapeamento das áreas de risco de insegurança hídrica constitui importante instrumento para os gestores públicos nas tomadas de decisões. Neste contexto, o objetivo desta tese foi o propor e aplicar uma nova metodologia para Mapeamento das Áreas de Risco à Insegurança Hídrica (MARIH). A área piloto abrange o município de Ibaretama/CE, devido ao seu histórico extenso de eventos de secas. A mensuração de risco, de maneira geral, compreende a análise da vulnerabilidade (ausência ao acesso à água – poços tubulares) e do perigo (ocorrência da seca). Assim, tendo como Unidade Territorial de Análise (UTAs) que consiste de células de 1 x 1 km, foi analisado o conjunto de variáveis, construído a partir de indicadores socioeconômicos (habitantes, estabelecimentos agropecuários e acesso a água) e indicadores geoambientais (pluviosidade, topografia, capacidade de infiltração do solo e litologia do aquífero) sendo as UTAs classificadas quanto ao seu risco hídrico em: baixo (R1), moderado (R2), alto (R3) e muito alto (R4). Como resultado, temos que o município de Ibaretama, foi dividido em um total de 985 UTAs, sendo identificadas 342 UTAs com risco hídrico, destas 32 foram classificadas como risco alto e 22 de muito alto risco. O Aquífero Fraturado, principal manancial subterrâneo em extensão e número de poços existentes, possuindo a vazão específica média de  $0,22 \text{ m}^3 / \text{h/m}$ . Dos 105 poços tubulares cadastrados, 5 (4,00%) estão abandonados; 20 poços (16,00%) encontram-se desativados e, os 100 (80,00%) poços estão em operação. O poder público detém a posse da maioria desses poços, 92 (73,60%), a iniciativa privada 32 (25,60%). A aplicação da ferramenta MARIH se mostrou aplicável para mapear a vulnerabilidade à insegurança hídrica, sendo assegurada a aplicação do método em outros municípios. A sua execução caracteriza-se pela: i) simplicidade, o que proporciona o processo de automatização em larga escala; ii) flexibilidade, pode ser usado em áreas rurais, a partir de vários tipos de recortes, no caso foi utilizado o municipal e iii) baixo custo de execução, pois é utilizado dados de acesso público, fornecidos pelo SIAGAS/CPRM e IBGE. Através da presente metodologia, determinaram-se quais as UTAs possuem maior risco, os quais devem ser alvos de políticas públicas e medidas mitigadoras, determinando as áreas prioritárias para investimentos públicos.



**Palavras-chave:** Desastres naturais. Seca. Comunidades rurais. Sistema de Informações. Águas subterrâneas.

## ABSTRACT

Drought is a natural phenomenon, caused by an extreme climate caused by the deficit of precipitation, which results in the loss of the water storage capacity of the dams, being the rural areas of the semiarid the most vulnerable and affected, generating social and economic damages. Among the mitigating measures related to droughts in the semi-arid region, the use of groundwater stands out, the mapping of areas at risk of water insecurity is an important instrument for public managers in decision making. In this context, the objective of this thesis was to propose and apply a new methodology for Mapping Areas of Risk to Water Insecurity (MARIH). The pilot area covers the municipality of Ibaretama / CE, due to its extensive history of drought events. The measurement of risk, in general, comprises the analysis of vulnerability (lack of access to water - tubular wells) and danger (occurrence of drought). Thus, having the Territorial Analysis Unit (UTAs) that consists of cells of 1 x 1 km, the set of variables was analyzed, built from socioeconomic indicators (inhabitants, agricultural establishments and access to water) and geoenvironmental indicators (rainfall, topography, soil infiltration capacity and aquifer lithology), the UTAs being classified according to their water risk in: low (R1), moderate (R2), high (R3) and very high (R4). As a result, we have that the municipality of Ibaretama, was divided into a total of 985 UTAs, with 342 UTAs with water risk identified, of these 32 were classified as high risk and 22 of very high risk. The Fractured Aquifer, the main underground source in extension and number of existing wells, with an average specific flow of 0.22 m<sup>3</sup> / h / m. Of the 105 registered tubular wells, 5 (4.00%) are abandoned; 20 wells (16.00%) are deactivated and the 100 (80.00%) wells are in operation. The public authorities own the majority of these wells, 92 (73.60%), the private sector 32 (25.60%). The application of the MARIH tool proved to be applicable to map the vulnerability to water insecurity, with the application of the method being ensured in other municipalities. Its execution is characterized by: i) simplicity, which provides the large-scale automation process; ii) flexibility, it can be used in rural areas, from various types of cutouts, in this case the municipal one was used and iii) low execution cost, as publicly available data, provided by SIAGAS / CPRM and IBGE, is used. Through this methodology, it was determined which UTAs are at greatest risk, which should be the target of public policies and mitigation measures, determining the priority areas for public investments.

**Keywords:** Natural disasters. Dry. Rural communities. Information System. Groundwater.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Dimensões do Índice de Segurança Hídrica (ISH).....	22
Figura 2 –	Áreas com limitação hídrica no mundo.....	23
Figura 3 –	Mapa do Semiárido Brasileiro.....	24
Figura 4 –	Distribuição de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas do Estado do Ceará.....	26
Figura 5 –	Geologia simplificada do Estado do Ceará.....	27
Figura 6–	Fluxo de informação do Sistema SIAGAS.....	31
Figura 7 –	Articulação das Grades Estatísticas do Brasil.....	32
Figura 8 –	Os diferentes tipos de limites e unidades.....	33
Figura 9 –	Diferenças conceituais entre riscos e desastres naturais.....	36
Figura 10 –	Conceituação teórica de risco.....	37
Figura 11 –	Triângulo de risco.....	37
Figura 12 –	Mapeamento da escassez hídrica no mundo (Aqueduct).....	41
Figura 13 –	Localização da área de estudo – Ibaretama/CE.....	43
Figura 14 –	Mapa litológico de Ibaretama/CE.....	47
Figura 15 –	Recursos hídricos superficiais – município de Ibaretama/CE.....	49
Figura 16 –	Alguns equipamentos utilizados em campo: condutivímetro, phmetro portátil e medidor de nível.....	51
Figura 17 –	Preparando a ficha de poços.....	52
Figura 18 –	Etapas da metodologia de elaboração de Mapeamento das Áreas de Risco à Insegurança Hídrica (MARIH).....	53
Figura 19 –	Preparando a base de dados: A) em azul a área a ser recortada; B) base recortada e C) base uniformizada em 1 x 1 km - Ibaretama/CE.....	54
Figura 20 –	Ilustração indicando o critério de delimitação das áreas de risco.....	54
Figura 21 –	Mapa hidrogeológico.....	60
Figura 22 –	Distribuição espacial dos poços tubulares no Aquífero Fraturado – Ibaretama/CE.....	61
Figura 23 –	Perfil construtivo e litológico de poço tubular.....	62
Figura 24 –	Distribuição da frequência dos dados (poços tubulares - Aquífero Fraturado) – Ibaretama/CE.....	63
Figura 25 –	Aquífero Coberturas – Ibaretama/CE.....	65

Figura 26 – Aquífero Aluvionar – Ibaretama/CE.....	66
Figura 27 – Principais objetivos do levantamento dos poços de Ibaretama/CE.....	67
Figura 28 – Classes de poços segundo a produtividade hídrica – município de Ibaretama/CE.....	69
Figura 29 – Setores correspondentes aos poços tubulares com salinidade – Município de Ibaretama/CE.....	71
Figura 30 – Situação dos poços da área de pesquisa.....	71
Figura 31 – Distribuição da situação dos poços – município de Ibaretama/CE.....	72
Figura 32 – Finalidade dos poços cadastrados na área de pesquisa.....	73
Figura 33 – Classificação dos poços quanto a profundidade– Ibaretama/CE.....	74
Figura 34 – Distribuição dos poços quanto a profundidade – Ibaretama/CE.....	74
Figura 35 – Nível estático dos poços cadastrados na área de pesquisa.....	75
Figura 36 – Delimitação das UTAs de estudo – Ibaretama/CE.....	76
Figura 37 – Fatores de vulnerabilidades hídricas.....	77
Figura 38 – Atributos socioeconômico e geoambiental.....	78
Figura 39 – Cálculo da demanda hídrica necessária por UTAs.....	81
Figura 40 – Comunidades com crescimento tipo “fita” – Distrito de Ibaretama – ago/2019.....	87
Figura 41 – Classes de habitantes – Ibaretama/CE.....	88
Figura 42 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários – Ibaretama/CE.....	89
Figura 43 – Transporte de água por meio de carroça – out/2019 – Ibaretama/CE.....	90
Figura 44 – Mapa de acesso à fonte de abastecimento – Ibaretama/CE.....	91
Figura 45 – Localização dos postos pluviométricos da FUNCEME.....	93
Figura 46 – Precipitação total anual média – 1989 – 2019 – Ibaretama/CE.....	94
Figura 47 – Estações utilizadas - precipitação média (mm/ano).....	95
Figura 48 – Mapa de Declividade de Ibaretama/CE.....	97
Figura 49 – Mapa de solos – Ibaretama/CE.....	100
Figura 50 – Litologia dos Aquíferos.....	102
Figura 51 – Mapa de área de risco a insegurança hídrica (MARIH).....	105
Figura 52 – Mapa da necessidade de poços nas áreas de muito alto risco.....	106
Figura 53 – Localização da grade mapeada com o RPAS - Ibaretama, Ceará.....	107
Figura 54 – Equipes de campo, utilização de dois carros 4 x 4.....	108
Figura 55 – Preparando o Drone Phantom 4 para voo - Ibaretama, Ceará.....	108

Figura 56 – Receptor GPS, marcando pontos de controle visíveis a 100m de altura....	110
Figura 57 – Linhas de voo e pontos de controle das três etapas de aquisições.....	111
Figura 58 – Ortomosaico da área de estudo.....	113
Figura 59 – Mapa de declividade – UTA classificada como risco muito alto de insegurança hídrica.....	114
Figura 60 – Mapa de altimetria.....	115
Figura 61 – Detalhes das habitações rurais a partir de uma das 940 – Imagens aéreas – Ibaretama/CE.....	116
Figura 62 – Ausência de Articulação entre as instituições públicas.....	122

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação dos desastres naturais quanto a sua natureza.....	33
Tabela 2 –	Desastres Climatológicos (estiagem e seca).....	34
Tabela 3 –	Descrição dos paradigmas de riscos.....	38
Tabela 4 –	Tipos de sistema de abastecimento rural e sua relação com a população...	39
Tabela 5 –	Categorias de risco e escore do Aqueduct.....	40
Tabela 6 –	Distritos de Ibareta/CE.....	43
Tabela 7 –	Principais especificidades do RPAS Phantom.....	57
Tabela 8 –	Média dos principais parâmetros dos poços por aquífero – Ibareta/CE.....	59
Tabela 9 –	Classes de poços segundo a produtividade hídrica – Ibareta/CE.....	68
Tabela 10 –	Avaliação do uso da água para com o consumo humano e animal com relação a classes de STD.....	70
Tabela 11 –	Descrição dos parâmetros utilizados pelo método MARIH com seus respectivos índices de ponderação.....	78
Tabela 12 –	Demanda hídrica necessária.....	82
Tabela 13 –	Intervalos de Estabelecimentos Agropecuários e seus valores de classificação.....	82
Tabela 14 –	Acesso a água (distância do poço tubular).....	83
Tabela 15 –	Intervalos de pluviosidade e seus valores de classifica.....	83
Tabela 16 –	Intervalos de declividade e seus valores de classificação.....	84
Tabela 17 –	Tipos de solos e seus valores de classificação.....	84
Tabela 18 –	Litologia do aquífero e seus intervalos.....	85
Tabela 19 –	Classificação de Risco.....	86
Tabela 20 –	Demanda hídrica necessária - segundo as UTAs – Ibareta/CE.....	87
Tabela 21 –	Classes de habitantes segundo as UTAs – Ibareta/CE.....	89
Tabela 22 –	Vulnerabilidade: Acesso - distância da fonte (km) por UTAs– Ibareta/CE.....	90
Tabela 23 –	Intervalos de declividade e seus valores de classificação.....	96
Tabela 24 –	Classes de solo.....	98
Tabela 25 –	Parâmetros socioeconômicos e seus índices para a área de estudo.....	103
Tabela 26 –	Parâmetros geoambientais e seus índices para a área de estudo.....	104

Tabela 27 – Síntese dos parâmetros básicos para o planejamento e execução do voo...	109
Tabela 28 – Parâmetros de correção das imagens.....	112
Tabela 29 – Proposta de Classificação da situação do poço.....	118
Tabela 30 – Acordo de cooperação técnica entre CPRM e as prefeituras municipais...	120

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
ARPs	Aeronaves Remotamente Pilotadas
CEMADEM	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAD/SEDEC/MI	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastre
CEPED UFSC	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EA	Estabelecimentos Agropecuários
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPH	Índice de Pobreza Hídrica
ISH	Índice de Segurança Hídrica
LA-ICPMS	Ablação a Laser - Plasma Indutivamente Acoplado - Espectrômetro de Massa
MARIH	Mapeamento das Áreas de Risco à Insegurança Hídrica
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
ONU	Organização das Nações Unidas
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica



RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
RTC	Relatório Técnico Construtivo
RTK	Real Time Kinematic
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Sistema Alternativo Coletivo
SAI	Solução Alternativa Individual
SE	Situação de Emergência
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informações Georeferenciadas
SINIMA	Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente
SIPNRH	Sistema de Informação do Plano Nacional de Recursos Hídricos
SISAR	Sistema Integrado de Saneamento Rural
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UNISDR	Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres
UTAs	Unidades Territoriais de Análise
VMP	Valor Máximo Permitido
WRI	World Resources Institute

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.1</b>	<b><i>Objetivo Geral.....</i></b>	<b>20</b>
<b>1.1.2</b>	<b><i>Objetivos Específicos.....</i></b>	<b>20</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Segurança hídrica no Semiárido Brasileiro.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de Informação.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Unidades Territoriais de Análise – UTAs.....</i></b>	<b>31</b>
<b>2.3</b>	<b>Desastres naturais.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Risco.....</i></b>	<b>35</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Mapeamento de riscos a desastres naturais: seca e estiagem.....</i></b>	<b>39</b>
<b>3</b>	<b>ASPECTOS GEOAMBIENTAIS.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>Geologia.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.1</b>	<b><i>Rochas Proterozóicas.....</i></b>	<b>44</b>
<b>3.2.2</b>	<b><i>Depósitos Cenozóicos.....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>Recursos Hídricos.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Águas Superficiais.....</i></b>	<b>48</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Águas Subterrâneas.....</i></b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Hidrogeologia.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Integração de dados.....</i></b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>Mapeamento das áreas de risco à insegurança hídrica (MARIH).....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Primeira Etapa: Levantamento da Base de dados.....</i></b>	<b>53</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Segunda Etapa: análise dos fatores de vulnerabilidade hídrica.....</i></b>	<b>55</b>
<b>4.3</b>	<b>Mapeamento de área de risco muito alto a partir da classificação da marih: aeronaves remotamente pilotadas (ARPs).....</b>	<b>56</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Planejamento do voo.....</i></b>	<b>56</b>
<b>4.3.2</b>	<b><i>Levantamentos aerofotogramétrico e planimétrico.....</i></b>	<b>57</b>
<b>4.3.3</b>	<b><i>Processamento dos dados.....</i></b>	<b>58</b>

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1</b>	<b>Hidrogeologia local.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1.1</b>	<b><i>Situação dos poços tubulares.....</i></b>	<b>66</b>
<b>5.1.2</b>	<b><i>Diagnóstico atual da Exploração.....</i></b>	<b>66</b>
<b>5.2</b>	<b>Mapeamento das áreas de risco à insegurança hídrica (MARIH).....</b>	<b>76</b>
<b>5.2.1</b>	<b><i>Delimitação das UTAs de estudo.....</i></b>	<b>76</b>
<b>5.2.2</b>	<b><i>Análise do risco à insegurança hídrica.....</i></b>	<b>77</b>
<b>5.2.3</b>	<b><i>Resultados.....</i></b>	<b>86</b>
<b>5.2.4</b>	<b><i>Mapa de risco a insegurança hídrica (MARIH).....</i></b>	<b>103</b>
<b>6</b>	<b>USO DE ARPS (AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS) NO MAPEAMENTO DE ÁREA DE RISCO MUITO ALTO.....</b>	<b>107</b>
<b>7</b>	<b>AÇÕES PARA OTIMIZAR O USO DOS INDICADORES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ZONA RURAL.....</b>	<b>117</b>
<b>7.1</b>	<b>Fortalecimento do banco de dados de águas subterrânea.....</b>	<b>118</b>
<b>7.1.1</b>	<b><i>Proposta para melhorar a articulação institucional entre cada órgão envolvido.....</i></b>	<b>121</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>124</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>126</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A relação entre oferta e demanda de água se constitui em uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, permitindo a identificação de áreas de risco quanto a escassez hídrica, sendo informação fundamental para tomadas de decisões pelo poder público.

Uma seca significa falta de água para agricultura, para consumo humano, para os animais, acarretando danos econômicos (perda de safra e mortandade de animais), sociais (aumento do número de desemprego e a fome e em casos extremos, com a morte de pessoas) e ambientais (morte de parte da fauna e flora silvestres) (CGEE, 2016).

Estes impactos atingem, principalmente os habitantes da zona rural, onde as propriedades rurais, constituídas de pequenas unidades familiares, que possuem alta dependência do sistema produtivo agrícola. Estas comunidades rurais ocorrem espacialmente de forma dispersa, com núcleos populacionais geralmente abaixo de 50 famílias o que inviabiliza economicamente a ligação de água em rede.

Diante deste cenário de insegurança hídrica (escassez hídrica), importantes políticas públicas já foram implantadas na região buscando proporcionar à população, principalmente rural, condições de convivência com a seca. Entre as ações propostas e incentivadas pelo governo, destaca-se a política de acumulação de água em açudes, a qual é bastante difundida por todo o Estado.

Contudo, durante o período de seca, a capacidade de armazenamento de água superficial no nordeste do Brasil fica bastante reduzida, como por exemplo podemos citar o estado do Ceará, que na seca de 2011 a 2017, os açudes tiveram uma grande baixa, chegando a valores menores que 8% de armazenamento (COGERH, 2017 *apud* FRANÇA *et al.*, 2018).

Neste aspecto, é de essencial importância estudos e políticas de aproveitamento de água subterrânea na região, através de poços tubulares, como alternativa para à convivência com a seca. Neste sentido, estudos hidrogeológicos tornam-se imprescindíveis, visto que as águas subterrâneas se tornam a principal, quando não única fonte hídrica, em período de seca. Sendo assim, o passo inicial para prover o Nordeste das informações hidrogeológicas necessárias para o seu desenvolvimento é um cadastramento com trabalhos de campo, abrangendo as fontes de abastecimento existentes em toda sua extensão territorial, que além de subsidiar todos os estudos hidrogeológicos posteriores, fornecerá a diretriz básica para um aumento da oferta de água a curto prazo, através de pequenas intervenções com baixos investimentos em poços abandonados e/ou tamponados improdutivos (CPRM, 2001).

A Instrução Normativa nº 1 de 24.08.2012 (BRASIL, 2012b) do Ministério da Integração Nacional, definiu que o reconhecimento oficial de desastres é determinado pela decretação de Situação de Emergência (SE), que visa a liberação de recursos financeiros para os municípios e/ou estado lidarem com a convivência com a seca. Existe uma relação de hierarquia nas ações públicas de dependência, pois os municípios solicitam o decreto de situação de emergência ao Governo Estadual, que o “decreta” e por fim o Governo Federal “reconhece” esse decreto liberando verbas para a região (NASCIMENTO, 2018). Esta condição de colapso foi decretada (decreto de calamidade pública) em diversos municípios, principalmente no ano de 2015 (TROLEIS & SILVA, 2018).

A fim de evitar medidas emergenciais, que são bastante onerosas e paliativas como o exemplo dos carros-pipas, é necessário estudos hidrogeológico, visto que as águas subterrâneas se tornam a principal, quando não única fonte hídrica, em período de seca.

Neste contexto, torna-se, necessário o mapeamento das áreas de risco a insegurança hídrica, que permita definir as áreas prioritárias para a realização de obras estruturantes, tais como construção/recuperação de poços tubulares, uso de dessalinizadores, para impedir que ocorra a “situação de emergência” e a mesma não venham a ser “decretada”, evitando assim, o desperdício de recursos financeiros públicos com o uso de medidas paliativas, tais como a operação carro-pipa.

Apesar de ser impossível conter a ameaça desse desastre hídrico, e de ser muito oneroso a retirada dos habitantes para localidades abastecidas de água, é possível mapear e diminuir a vulnerabilidade, a partir do incremento de obras hídricas subterrâneas (poços tubulares) nas áreas de maior risco hídrico.

Foi escolhido como área piloto o município de Ibaretama/CE, que segundo IBGE (2010) possui 66% de sua população rural, que se distribuem de forma difusa, e abastecidas em parte por sistema de abastecimentos comunitários (chafarizes). Ibaretama, possui um histórico de ocorrência de secas, sendo que no intervalo de 15 anos entre 2003 a 2018, foram registrados pelo governo federal 18 Situações de Emergência (SE) provocados por estiagem (2003 a 2012) e seca (2013 a 2018) dados do site <https://s2id.mi.gov.br/>.

O objetivo desta tese foi o desenvolvimento e elaboração de uma metodologia para Mapeamento das Áreas de Risco à Insegurança Hídrica (MARIH) tendo como área piloto o município de Ibaretama/CE. A escala espaço-temporal adotada foi o período seco, mais crítico para a região semiárida, a escala espacial foi o município e sua divisão Unidade Territorial de Análise (UTAs), que consiste de células de 1 x1 km.

A aplicação da ferramenta MARIH caracteriza-se pela: i) simplicidade, o que proporciona o processo de automatização em larga escala; ii) flexibilidade, pode ser usado em áreas rurais, a partir de vários tipos de recortes, no caso foi utilizado o municipal e iii) baixo custo de execução, pois é utilizado dados de acesso público, fornecidos pelo SIAGAS/CPRM e IBGE.

## **1.1 Objetivos**

Os objetivos deste trabalho foram divididos em geral e específicos.

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Este estudo consiste em desenvolver uma metodologia de análise da vulnerabilidade e seus graus de risco à insegurança hídrica que favoreça a proposição de critérios gerais orientadores para a definição de áreas estratégicas de abastecimento, dadas às demandas e as disponibilidades hídricas subterrâneas de comunidades rurais do semiárido tendo como área piloto o município de Ibaretama/CE.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- Elaborar estudo hidrogeológico do município de Ibaretama.
- Apresentar uma metodologia, adaptando as ferramentas utilizadas na setorização de risco geológico, para Mapeamento das Áreas de Risco à insegurança hídrica.
- Utilizar ARPs (aeronaves remotamente pilotadas), para atualizar o número de habitantes das áreas de maior risco hídrico.

## **1.2 Justificativa**

A seca é um dos maiores problemas enfrentados pelas comunidades rurais do semiárido do Nordeste do Brasil. Sendo que esta população de uma forma geral é relegada a um segundo plano pelo governo, como por exemplo, temos que os estudos preferencialmente sobre abastecimento humano são voltados para o meio urbano tais como: o Atlas do Brasil de Abastecimento de Água Urbano (ANA, 2010) e Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) elaborado pela ANA (2019).

As crises hídricas, são divulgadas nas notícias de jornais, de maneira geral, com um caráter de novidade, que trazem manchetes tais como “Governo decreta emergência por conta da seca em 77 cidades”, tratando a seca como vilã, tira-se, em grande medida, a responsabilidade dos governantes para a criação de programas de convivência com a seca (NASCIMENTO, 2018).

Os mapas de risco possuem como principal objetivo apresentar aos gestores públicos e profissionais envolvidos nas fases de prevenção e pós-desastres uma ferramenta para análise, proposição de soluções técnicas e desenvolvimento de um plano de medidas estruturais para áreas suscetíveis a desastres (CPRM 2018, V4).

Conforme Plate (2002), uma das etapas fundamentais para o gerenciamento de desastres é a análise do risco, que consiste em determinar as características do perigo, analisar as vulnerabilidades e, por sua vez, determinar o risco. Nota-se, assim, que a avaliação e/ou mapeamento de risco passa por duas etapas: a análise do perigo (evento natural) e a análise da vulnerabilidade (fatores socioambientais).

A Constituição Federal (1988) em seu artigo 21, inciso XVIII, estabelece que compete a União o planejamento e defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente relacionadas aos riscos hídricos: secas (falta de chuva) e as inundações (excesso de chuva). No tocante às inundações, vários mapeamentos e manuais de risco geológicos foram elaborados (CPRM, 2018), porém o fenômeno seca, não foi contemplado até o momento.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo visa fazer uma breve contextualização dos seguintes tópicos: i) segurança hídrica no semiárido; ii) sistemas de informações hídricas e de habitantes; e iii) desastres naturais.

### 2.1 Segurança hídrica no Semiárido Brasileiro

Apesar do termo segurança hídrica ter surgido nos anos 90 (MELO e JONHSON, 2018), a gestão da água é tratada desde muito tempo, os registros mais antigos remontam ao Código de Hamurábi por volta do ano 1750 a.C. (Wikipédia), que entre outras coisas fala sobre a questão das boas práticas de irrigação (artigos 53, 55 e 56).

A Organização das Nações Unidas (ONU) conceituou *segurança hídrica* como uma situação em que cada pessoa tenha condições de acesso à água potável de maneira confiável, a um preço acessível, de tal forma que o sistema ecológico produtor desta água seja também preservado. Essa mesma conceituação ainda vem sendo utilizada pela ONU em sua Agenda Global da Água (UN-WATER, 2013 *apud* ANA, 2019). Logo, uma vez que as pessoas/populações não tenham acesso adequado à água de boa qualidade e quantidade para fins de subsistência, bem-estar humano e para o seu desenvolvimento econômico, configura-se, assim, um quadro de insegurança hídrica (BREARS, 2014 *apud* MACHADO, 2018).

As principais dimensões da água no Semiárido do Ceará são: i) substrato predominantemente cristalino e águas salobras; ii) falhas na articulação entre as instituições públicas; iii) Escassez hídrica (seca e estiagem); e iv) populações rurais difusas (Figura 1).

Figura 1 – Dimensões do Índice de Segurança Hídrica (ISH).

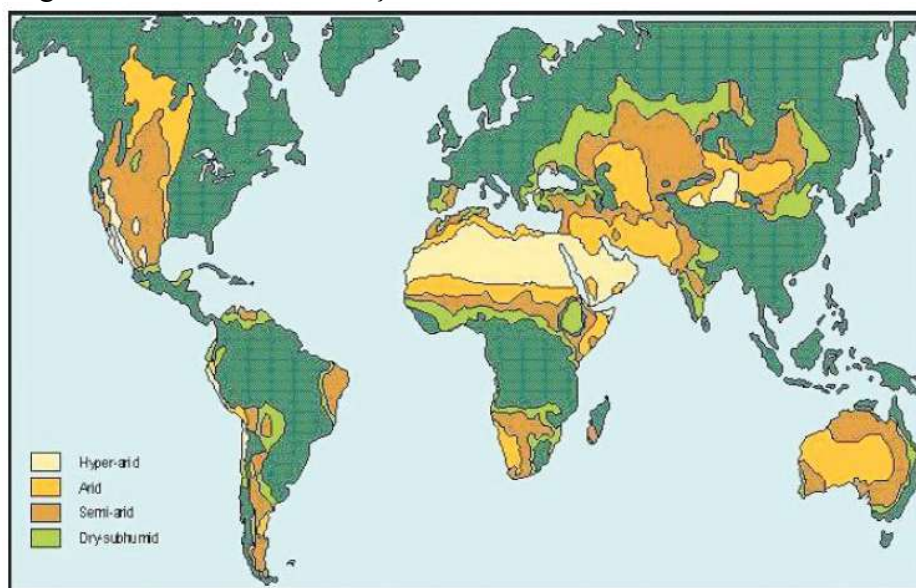


Fonte: Elaborada pelo autor.



Por definição, regiões áridas e semiáridas recebem pouca chuva e o regime pluviométrico é imprevisível (TEWARI; ARYA, 2005; MORTIMORE, 2003 *apud* VASCONCELOS, 2011), variando entre 50 e 500 mm ao ano. O fenômeno climático – seca – distribui-se nas regiões áridas e semiáridas, ocupando um terço da superfície terrestre (Figura 2), o equivalente a 4,3 bilhões de hectares, caracterizados pela baixa produtividade agrícola e o subdesenvolvimento.

Figura 2 – Áreas com limitação hídrica no mundo.



Fonte: Thomas e Middleton (1994) *apud* Vasconcelos (2011).

No Brasil, a região semiárida, ocorre por cerca de 60% da região nordeste (Figura 3).

Figura 3 – Mapa do Semiárido Brasileiro.



Fonte: IBGE (2017).

O Estado do Ceará possui 86,8% (146.889 km<sup>2</sup>) da sua área inserida no semiárido brasileiro e uma população aproximada de 5,8 milhões de pessoas (SUDENE, 2017), com 2,1 milhões residindo na zona rural (IBGE, 2010), com deficiência crítica de abastecimento e graves problemas sociais.

No Brasil, o aquífero que ocorre na rocha fraturada tem sido denominado “aquífero fissural”, “aquífero cristalino” ou “aquífero fraturado”. Neste trabalho adota-se o termo aquífero fraturado, tradução direta do termo correspondente na literatura internacional.

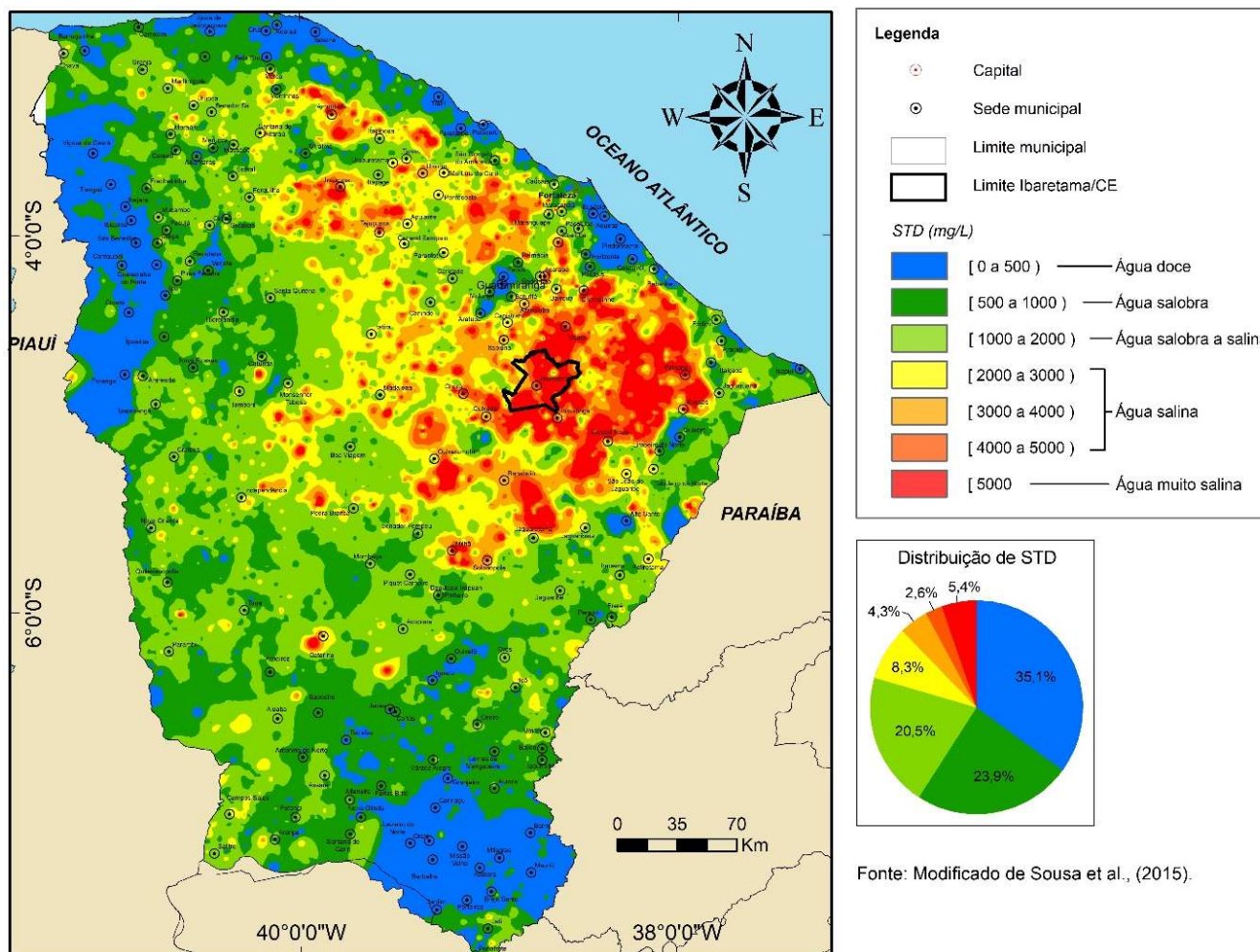
O Aquífero Fraturado é representado basicamente por granitoides, gnaisses aluminosos, granulitos, migmatitos, básicas e ultrabásicas, condicionando a ocorrência de águas subterrâneas por uma porosidade secundária representada por falhas e fraturas, o que ocasiona reservatórios descontínuos e de pequena extensão. A vazão média dos poços no cristalino é de 2 m<sup>3</sup>/h, e suas águas são geralmente mineralizadas, com valor médio de sólidos totais dissolvidos (STD) de 3000 mg/L e mediana de 1.500 mg/L (MANOEL FILHO, 2008).

O valor máximo permitido (VMP) de STD para água potável é de 1000 mg/L segundo a Portaria Consolidação N°5 do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017).

Embora os aquíferos fraturados sejam heterogêneos e anisotrópicos por natureza, Custodio e Llamas (1996) consideraram possível traçar uma superfície potenciométrica virtual indicando o sentido geral de movimento da água subterrânea, da mesma maneira Sousa *et al.*, consideraram uma distribuição virtual da distribuição de STD para o Estado do Ceará.

O mapa de distribuição de STD das águas subterrâneas do Estado do Ceará (Figura 4) revela que o Aquífero fraturado, apresenta 20,6% de suas águas subterrâneas acima do VMP, sendo que 12,5% das águas contem STD acima de 3.000 mg/L. Este mapa foi elaborado a partir da interpolação de 10.533 pontos de captação de água, extraídos do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), independentemente do tipo de aquífero e da profundidade, sendo que os valores de STD foram calculados a partir da condutividade elétrica e multiplicados pelo fator 0,65 (SOUSA *et al.* 2015).

Figura 4 – Distribuição de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas do Estado do Ceará.

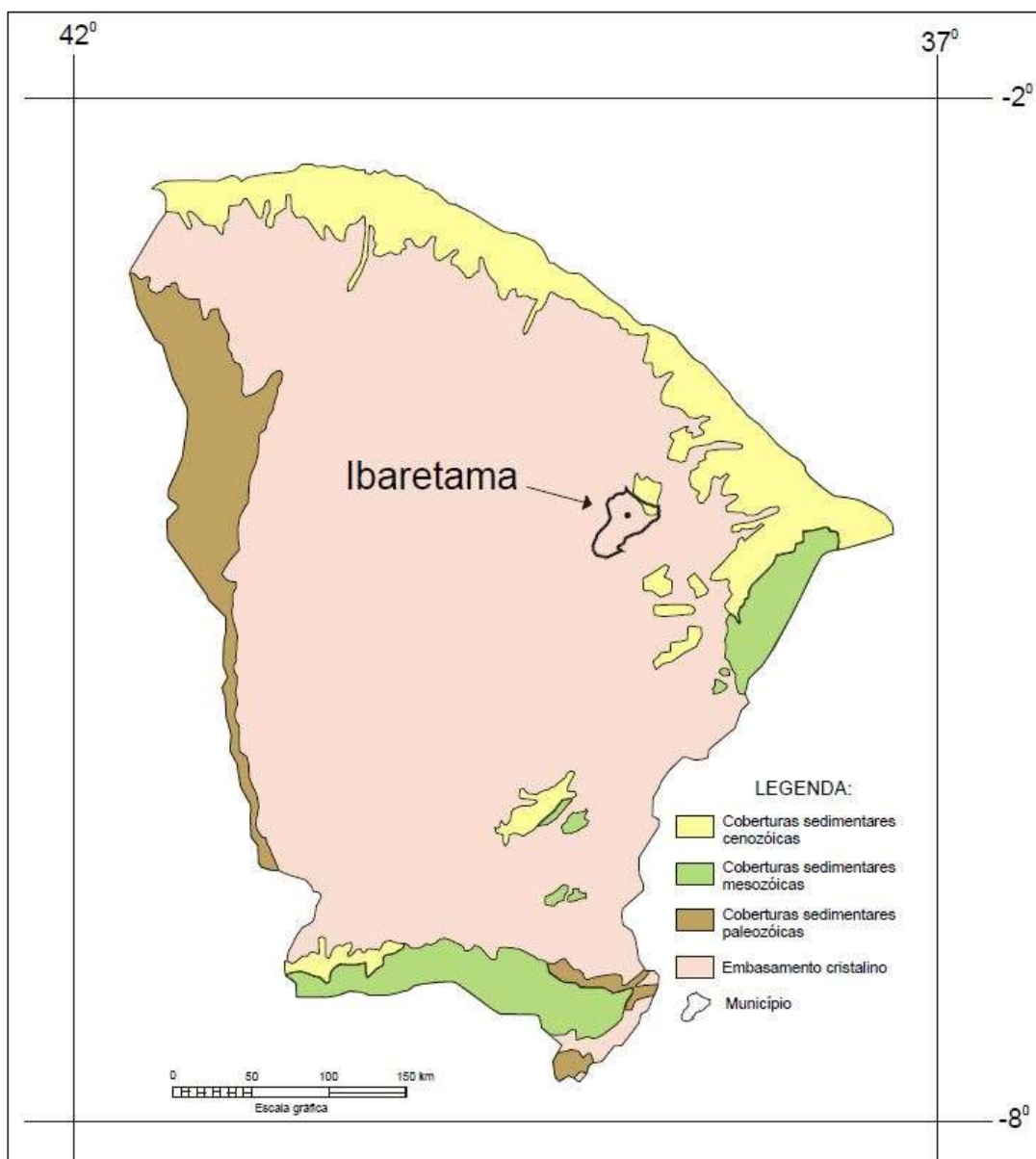


Fonte: Modificado de Sousa *et al.*, 2015.

O domínio cristalino (Figura 5) constitui cerca de 75% do território cearense (CAVALCANTE & GOMES, 2011), portanto, é ele, principalmente, que condiciona a ocorrência das águas subterrâneas no Estado. Sob este domínio, as águas acumulam-se em fraturas das rochas caracterizadas como aquíferos de baixa produtividade e de qualidade da água limitante a certos usos, embora que, para algumas populações difusas, tornam-se a única alternativa de atender suas demandas, principalmente durante seca e estiagem.

Nesse domínio, as fraturas criam uma porosidade secundária que apresenta valores de condutividade hidráulica variando, em média de 3,8 a 5,5 cm/s e porosidades muito baixas, em torno de 0,0007 e 0,0071% (MANOEL FILHO, 2008).

Figura 5 – Geologia simplificada do Estado do Ceará.



Fonte: CPRM (1998).

## 2.2 Sistemas de Informação

A informação é considerada usualmente como um conjunto de fatos e/ou dados a respeito de algo, que constituiriam o ato de informar, entendido como um processo de interação do sujeito com o mundo exterior. De acordo com a teoria da informação, enunciar uma mensagem permite a redução da incerteza sobre uma dada realidade. Nesse sentido, informar significa comunicar os fatos, tornando-os públicos, e privilegiando uma visão dos fatos como “coisas”, cujo relato isento propiciaria a percepção da realidade como ela é.

Para o gerenciamento, o primeiro passo é a caracterização dos recursos hídricos subterrâneos a necessidade de coordenação com todas as instituições federais, estaduais e municipais, além de entidades privadas envolvidas (FENSTERMAKER, 2002).

O reconhecimento/levantamento dos recursos hídricos dos municípios atingidos pelas secas deve ser continuado para dar auxílio aos gestores na tomada de decisão (CAJAZEIRAS *et al.*, 2014).

Com o cadastro de poços, é possível, a partir da sua situação e produção, conhecer a real demanda pelo uso da água, o que é fundamental para o planejamento das ações e para a implementação dos instrumentos das políticas de recursos hídricos.

A informação é um instrumento essencial para a tomada de decisões. Nesta perspectiva, representa imprescindível o conhecimento dos sistemas de informação nacionais por constituírem fator desencadeador do processo “informação-decisão-ação”, tríade que sintetiza a dinâmica de suas atividades nos diversos setores, seja na disponibilidade hídrica, seja na saúde (a partir da informação de um indício ou suspeita de caso de alguma doença ou agravo). Os principais sistemas de informação sobre a gestão hídrica subterrânea a nível da esfera federal são o SIAGAS, operado pela CPRM e, SISAGUA operado pela Secretária de Vigilância de Saúde. Sendo que os tipos de sistema de abastecimento na zona rural são geralmente alternativos, compostos por chafarizes em algumas localidades estes chafarizes são ligados em rede e geridos pelo SISAR.

- Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS

O Serviço Geológico do Brasil conta com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), que tem o objetivo de sistematizar os dados sobre a disponibilidade hídrica, possibilitando, assim, a melhor gestão.

Este é um sistema de apoio à decisão, concebido originalmente pela CPRM/SGB em 1996, para dar suporte aos estudos hidrogeológicos sob atribuição da empresa.

Vários trabalhos emergenciais para o combate à seca utilizaram como base o Banco de Dados do SIAGAS (CPRM, 1996, 1999, 2000, e 2012). Onde as informações coletadas *in loco* e consideradas mais importantes, foram: i) situação do poço; ii) localização georeferenciada; e iii) condutividade elétrica da água (CE), que indica a sua qualidade com base no total de sólidos dissolvidos.

Todavia, esta ferramenta ganhou uma dimensão nacional para subsidiar as políticas públicas relacionadas com recursos hídricos. Sendo que, em 2006, vem o reconhecimento do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que considerando

- Necessidade de padronização da informação sobre água subterrânea em uma base de dados compartilhada nacionalmente pelos órgãos gestores e usuários;

- O SIAGAS, desenvolvido e mantido pelo Serviço Geológico do Brasil, a partir de sua experiência em mapeamento e pesquisa hidrogeológica em todo o país, permite a gestão adequada da informação hidrogeológica e a sua integração com outros sistemas,

- Necessidade de integração e atuação articulada entre órgãos e entidades cujas competências se refiram aos recursos hídricos, às atividades de hidrogeologia, mineração e ao meio ambiente;

- Necessidade do fortalecimento dos Sistemas de Informações Ambientais, Hidrominerais e de Recursos Hídricos e a sua articulação visando a integração, para um melhor atendimento aos usuários e controle social dos processos de licenciamento ambiental, de pesquisa hidrogeológica, de recursos hídricos, de concessões de lavra e de outorga de direito de uso de recursos hídricos;

O CNRH, resolve aprovar as seguintes moções:

**Moção nº 38:** dirigida aos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, às Secretarias de governos estaduais responsáveis pela gestão de recursos hídricos, à Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, à Agência Nacional de Águas-ANA e aos usuários dos recursos hídricos subterrâneos, recomendando que promovam a adoção do SIAGAS como base nacional compartilhada para a armazenagem, o manuseio, o intercâmbio e a difusão de informações sobre águas subterrâneas.

**Moção nº 39:** Integração entre os sistemas: SIAGAS, Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente (SINIMA), Sistema de Recursos Hidrogeológicos do Brasil (SIGHIDRO), Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) e Sistema de Informações do Plano Nacional de Recursos Hídricos (SIPNRH).

O Serviço Geológico do Brasil é responsável por manter o SIAGAS e armazenar as informações dos poços. Nesse sentido, a CPRM faz a gestão da plataforma de cadastramento e armazenamento de dados com o objetivo de integrar os dados dos poços de domínio público e privado, além de disponibilizar ferramentas computacionais para a gestão dos dados por parte dos órgãos gestores.

Atualmente o SIAGAS administra uma base de dados com cerca de 300.000 poços – o maior acervo de dados do Brasil – e tem sido utilizado para:

- a) gestão dos recursos hídricos subterrâneos;
- b) aumento da oferta hídrica em região com elevado déficit hídrico (Nordeste) através de revitalização de poços;
- c) subsidiar a elaboração de mapas hidrogeológicos;
- d) otimizar o sistema hidrológico; e
- e) dar suporte à gestão da qualidade das águas subterrâneas.

O conteúdo do SIAGAS inclui informações sobre a vazão utilizada, situação dos poços, local de captação, denominação e localização do curso d'água, empreendimento do usuário, sua atividade ou a intervenção que pretende realizar, como derivação, captação e lançamento de efluentes.

O acervo de dados foi constituído por informações catalogadas pela própria CPRM através das seguintes fontes de relatório de poços: 1) Órgãos Gestores de recursos hídricos, através de Acordos de Cooperação Técnica; 2) cadastramentos e projetos realizados pelas Unidades Regionais da CPRM; 3) cessão de relatórios e informações de empresas privadas (Figura 6).



Figura 6 – Fluxo de informação do Sistema SIAGAS.



Fonte: Elaborada pelo autor.

SIAGAS/MODDAD WEB é um aplicativo Web onde usuários previamente cadastrados podem fazer acesso por meio de algum navegador e realizar a entrada e atualização de dados sobre poços perfurados em diferentes municípios do Brasil. Além disto, a proposta da nova plataforma SIAGAS é tornar o banco de dados mais ágil e eficiente para as pesquisas via Web, de modo a ser mais abrangente e atender aos diferentes níveis de demanda de dados por parte do usuário. Todos os dados encontram-se disponíveis no site: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/> (FREDDO; VILLAFAN, 2018).

### 2.2.1 Unidades Territoriais de Análise – UTAs

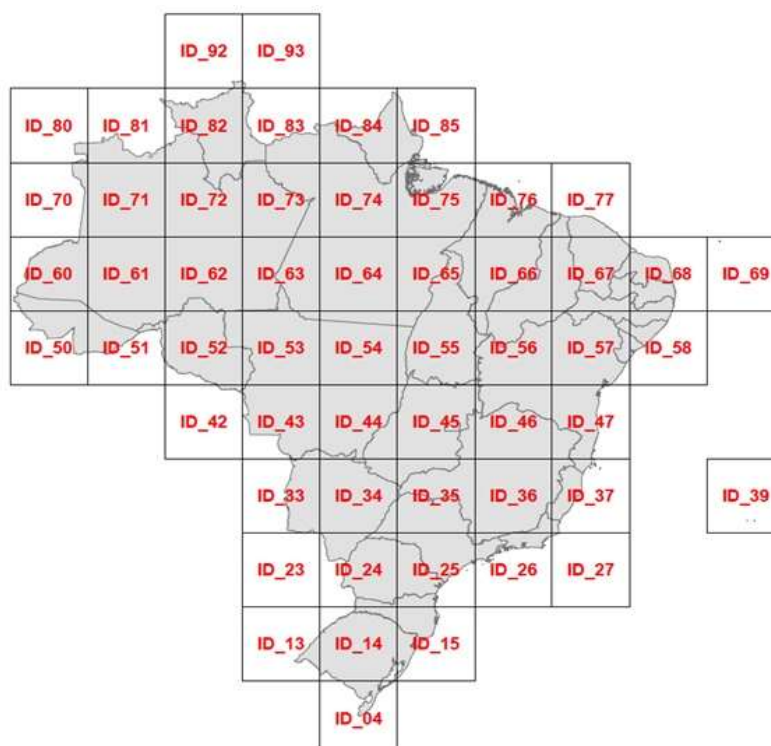
Para analisar as áreas de risco à insegurança hídrica, é fundamental definir uma unidade de análise, de acordo com as bases de dados disponíveis, que permita observar de forma integradora e que tenha representações adequadas no tempo e no espaço.

Aqui foi adotado como UTAs o recorte territorial da grade estatística (1 x 1 km) do IBGE (2010) que contém informações sobre cada um dos 85 milhões de km<sup>2</sup> do território brasileiro. A área de estudo localiza-se na Grade ID\_67.

Com base nas UTAs é possível associar a uma mesma região do espaço diferentes atributos ou fatores ambientais (físicos e socioeconômicos) que descrevem e qualificam os processos em análise: insegurança hídrica.

A Grade cobre todo o território nacional (Figura 7) e contém mais de 8.700.000 células de 1 km<sup>2</sup>. Alguns dados do Censo Demográfico 2010, como população residente e número de domicílios, já foram divulgados em grade (População Grade Estatística, 2010).

Figura 7 – Articulação das Grades Estatísticas do Brasil (IBGE, 2010).

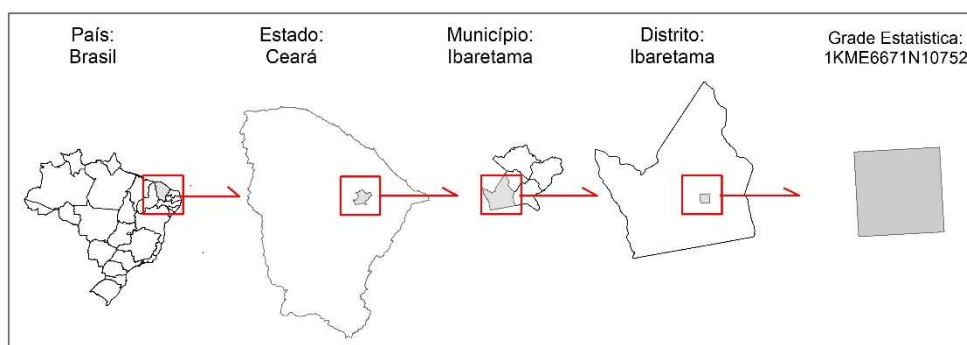


Fonte: IBGE, 2010.

De acordo com IBGE (2017) as grades estatísticas são caracterizadas por: i) a integração e a comparabilidade de dados geoespaciais e estatísticos; ii) estabilidade espaço-temporal, pois a célula passa a ser a unidade espacial básica, não sujeita a modificações como a alteração de limites administrativos e a criação de novas unidades territoriais; iii) fornece uma base de detalhamento para cada 1km<sup>2</sup>, permitindo comparar os dados ao longo do tempo e cruzá-los com outros bancos de dados estatísticos e geocientíficos, viabilizando o

acompanhamento histórico da organização e espacialização das atividades econômicas e seus impactos sobre os recursos naturais no país, quilômetro a quilômetro; v) - permite uma padronização das informações provenientes de diversas fontes. A figura 8 indica os diferentes tipos de limites.

Figura 8 – Os diferentes tipos de limites e unidades.



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 2.3 Desastres naturais

Os desastres naturais segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE (BRASIL, 2014) classificam-se em cinco grupos: geológicos (movimentos de massa, deslizamentos), hidrológicos (inundações), meteorológicos, climatológicos e biológicos (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos desastres naturais quanto a sua natureza.



<b>Categoria</b>	<b>Tipos de desastres</b>
Geológicos	- Terremoto - Movimentos de massa - Deslizamentos
Hidrológicos	- Inundações, enxurradas e alagamentos
Meteorológicos	- Ciclones - Tempestades
Climatológicos	- <b>Secas, estiagens</b>
Biológicos	- Epidemias - Infestações/pragas

Fonte: BRASIL, 2014

Os termos estiagem e seca, apesar de terem em comum os períodos prolongados de baixa ou nenhuma pluviosidade, diferenciam-se por sua intensidade de tempo, sendo, a seca

uma estiagem prolongada ocasionando grave desequilíbrio hidrológico (BRASIL, 2014). Estes termos são muitas vezes erroneamente usados como sinônimos.

Tabela 2 – Desastres Climatológicos (estiagem e seca).

<b>SUBGRUPO – SECA (Cobrade)</b>			
<b>TIPO</b>	<b>DEFINIÇÃO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>SIMBOLOGIA</b>
estiagem	Período prolongado de baixa ou nenhuma pluviosidade, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição.	14110	
seca	A seca é uma estiagem prolongada, durante o período de tempo suficiente para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico.	14120	

Fonte: Brasil, 2014.

A seca e estiagem estão inseridas no grupo climatológicos, e possuem peculiaridade própria que a difere dos demais fenômenos por ocorrer em longos períodos de tempo e possui uma abrangência espacial de escala regional (pode atingir vários municípios ao mesmo tempo).

As secas são fenômenos naturais, intensamente influenciadas pelas características geoambientais, tais como, rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. Quando estes fenômenos intensos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, resulta em danos (materiais e humanos) e prejuízos (socioeconômico) e são considerados “desastres naturais” (SILVA, 2013).

Segundo o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastre (Cenad/Sedec/MI) o desastre Seca/ Estiagem tem suas consequências tão extremas para o país quanto no caso dos desastres de Movimento de Massa e Enxurrada, mas que costuma receber menos atenção por parte da sociedade do que estes.

A seca é o fenômeno de maior ocorrência e impacto no mundo e no Brasil, não é diferente, sendo que a região Nordeste concentra quase 60% dos registros (CEPED, 2012).

Tal fenômeno climático ocorre principalmente na região semiárida do Brasil, devido a sua vulnerabilidade hídrica, as precipitações médias regionais variam entre 500 a 800 mm/ano, valores que poderiam ser considerados ainda elevados se considerarmos as precipitações médias para países europeus como a França e a Alemanha; no entanto, o balanço

hídrico é aqui altamente deficitário devido às elevadas taxas de evaporação, reflexo dos altos índices de insolação que excedem de 3.200 horas/ano (NIMER, 1989).

A insegurança hídrica, vem a tona por um período de seca, que ocasiona a diminuição parcial e em alguns casos total do volume de água armazenadas pelos açudes, barragens e lagoas.

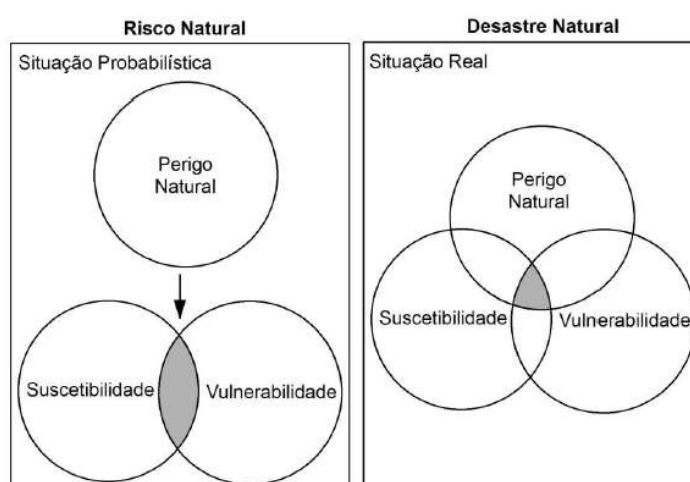
A escassez de água pode significar, tanto, a escassez de disponibilidade, devido à falta física; como a escassez de acesso, devido à incapacidade das instituições responsáveis de assegurar um suprimento regular ou infraestrutura adequada.

As comunidades rurais do semiárido têm seu abastecimento de água potável dependente quase que exclusivamente dos açudes e lagoas. Com as secas, estes recursos hídricos superficiais perdem quase que totalmente sua capacidade de reservação, gerando uma situação delicada, pela falta de alternativas para obtenção de água de qualidade aceitável. Isto traz, para o poder público, uma responsabilidade adicional no sentido de assegurar o abastecimento mínimo, mesmo em situações emergenciais.

### **2.3.1 Risco**

O perigo natural, é o evento que pode causar o dano (por exemplo a seca), este fenômeno tem probabilidade/possibilidade de gerar danos para o ser humano ou meio ambiente. Quando o dano é somente no meio ambiente, chamamos de suscetibilidade, no entanto, quando o dano pode ocorrer sobre as pessoas temos o risco, o grau de risco vai variar de acordo com as vulnerabilidades de cada região estudada. O desastre é a materialização do risco, através dos danos: econômicos, sociais e ambientais). A Figura 9 mostra as diferenças entre risco e desastre natural.

Figura 9 – Diferenças conceituais entre riscos e desastres naturais.



Fonte: Olímpio (2017).

Rosendo (2014) afirma que risco pode ser entendido como a representação de uma ameaça (perigo) que afeta os alvos e que constitui indicador de vulnerabilidade, ou seja, ao se escolher áreas do semiárido como foco de estudo de gestão de riscos, a seca no caso é o perigo (ameaça) esporádico e recorrente da escassez hídrica, ou seja, a insegurança hídrica.

Segundo o Escritório das Nações Unidas para a redução do risco de desastres (ONU/UNISDR, 2009), no processo de análise de risco estão envolvidas as etapas de avaliação dos perigos potenciais e das condições de vulnerabilidade que, juntos, podem potencialmente provocar os danos (D) que vão desde a perda de vidas, ferimentos ou outros impactos na saúde até danos sociais e/ou econômicos tais como: perda de bens e serviços, distúrbios sociais e econômicos e danos ao meio ambiente. A variável perigo (P) é o evento que causa o dano que pode ser: fenômeno, substância, atividade humana. A variável vulnerabilidade (V) define as características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou bem que a fazem suscetível aos efeitos de um perigo. O Risco (R) é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um evento e suas consequências negativas sobre uma comunidade (ONU/UNISDR, 2009), sendo expresso pela equação  $[R = P * V * D]$ .

Portanto, para o estudo do risco à insegurança hídrica envolve o estudo das vulnerabilidades, nos locais onde tenha exposição de habitantes (Figura 10).

Figura 10 – Conceituação teórica de risco.



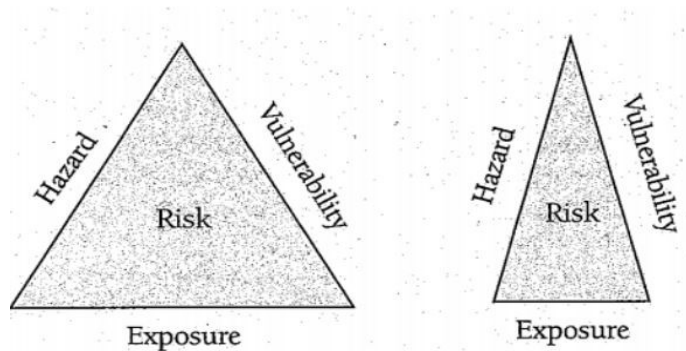
Fonte: Elaborada pelo autor.

As condições de vulnerabilidades estabelecem as áreas de risco em diferentes escalas e em diferentes temporalidades, o que coloca a questão dos desastres como um problema essencialmente socioambiental, desmistificando a ideia de um evento imponderável ou apenas de origem natural. As áreas de risco são assim reais, onde as contradições sociais apontadas como geradoras de vulnerabilidade estão estabelecidas.

Desta maneira, as áreas de risco são delimitáveis, onde se concentram grupos sociais vulneráveis e se produzem condições ambientais favoráveis ao agravamento das vulnerabilidades.

Segundo Crichton (1999) *apud* Rotava (2014) risco é a probabilidade de dano (perda), e depende de três elementos: Ameaça, Exposição e Vulnerabilidade. É possível, por exemplo, diminuir o risco reduzindo a exposição. Se pensarmos o tamanho do risco como a área do triângulo (Figura 11), então por simples geometria sabemos que a mesma depende do tamanho dos três lados. Se um dos lados é zero, o risco também será. É possível diminuir o risco reduzindo a exposição.

Figura 11 – Triângulo de risco.



Fonte: Crichton, (1999) *apud* Rotava (2014).

O número de diferentes definições para risco pode trazer dificuldades na utilização e compreensão dos mesmos quando a apresentado para a população geral (ROTAVA, 2014), na Tabela 3 são listados conceitos sobre perigo, risco, vulnerabilidades e medidas estruturantes e não estruturantes.

Tabela 3 – Descrição dos paradigmas de riscos.

<b>PARADIGMA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Perigo (Hazard)	Condição ou fenômeno com potencial para causar uma consequência desagradável dentro de um certo período de tempo (CPRM, 2018 V.6). Também é chamada de ameaça.
Risco (Risk)	É a possibilidade real de ocorrência de um perigo (evento adverso) sobre uma comunidade (por meio de danos sociais e/ou econômicas), com cenário de vulnerabilidade (CPRM, 2018).
Vulnerabilidade	É o grau de perda esperado para um elemento ou conjunto de elementos sob condição de perigo, ou seja, exposto a uma ameaça específica. Pode resultar de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, aumentando a suscetibilidade de uma comunidade (exposta às ameaças) ao impacto dos desastres (CPRM, 2018).
Medidas	Podem ser do tipo estrutural e não estrutural. As medidas estruturais são aquelas que produzem obras hídricas (poços) evitando os prejuízos decorrentes das secas. Medidas não estruturais juntas com as estruturais ou sozinhas, podem minimizar significativamente os danos com um menor custo. As medidas não estruturais consistem basicamente nos sistemas de informações hídricas, mapas de hidrogeologia e na educação da população.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A questão da demanda é fundamental para a gestão hídrica, é o fator principal, pois a partir da demanda que é possível estimar os investimentos para chegar a um tamanho de sistema que assegure satisfazer a demanda de água necessária. (FEDRIZZI, 2003).

As populações rurais além de sofrerem com as secas recorrentes, sofre com a falta de um sistema de abastecimento adequado, que atenda a demanda de forma satisfatória.



A zona rural ao contrário da zona urbana, não possui infraestruturas hídricas públicas operados por técnicos capacitados e pagos com receita, gerada pela cobrança de uma taxa mensal aos usuários das águas urbanas (taxas municipais).

O motivo principal para esta dicotomia entre rural e urbano está relacionado a magnitude de escala do sistema de abastecimento, que na zona rural é caracterizado pela baixa densidade populacional, distribuição espacial de forma dispersas de suas comunidades rurais, distância dos sistemas de abastecimentos, diferentes culturas de cada comunidade e renda dos usuários (MACHADO *et al.*, 2016).

Por tanto, a localização rural é um obstáculo significativo que os órgãos gestores (prefeitura e estado) enfrentam no cumprimento de sua responsabilidade de atender aos requisitos regulatórios de abastecimento humano, não só no Brasil como também em outras regiões do mundo como por exemplo relatados na área rural da Tasmânia na Áustria (WHELAN & WILLIS, 2007).

No Ceará, temos um modelo de gestão instalado em zonas rurais chamado: SISAR (Sistema Integrado de Saneamento Rural), este sistema preconiza um valor mínimo de 50 famílias (Tabela 4), para se tornar viável economicamente (CASTRO, 2015). Ou seja, as comunidades abaixo de 50 famílias (em torno de 200 pessoas), ficam à mercê de sistemas de abastecimento de água – SSAs (chafarizes) com água geralmente salinizadas e sem dessalinizador, sendo que “é mesmo que não ter” nas palavras ditas por uma moradora, sobre o chafariz da comunidade Pedra e Cal em Ibaretama/CE.

Tabela 4 – Tipos de sistema de abastecimento rural e sua relação com a população.

<b>Tipo de atendimento</b>	<b>Famílias</b>	<b>População (habitantes)</b>
SISAR	50 a 250	200 a 1000
CHAFARIZ	< 50	< 200

Fonte: Elaborada pelo autor.

### ***2.3.2 Mapeamento de riscos a desastres naturais: seca e estiagem***

O Mapeamento das Áreas de Risco pode atuar na prevenção do desabastecimento hídrico aos moradores ocupantes das áreas de maior risco. Para isto é necessário que haja uma criteriosa identificação da disponibilidade e a situação atual das obras de infraestrutura hídrica

e sua qualidade, visando minimizar e prevenir ao máximo a ocorrência da falta d'água. O seu objetivo é eliminar, ou pelo menos reduzir o risco de escassez hídrica.

A análise de vulnerabilidade pode contribuir com uma orientação aos tomadores de decisão na adoção de ações de preparação para a seca, uma vez que indica os aspectos e elementos que mais precisam de suporte. É importante para analisar quais áreas da bacia encontram-se mais vulneráveis e assim gerar subsídios teóricos e conceituais para a gestão eficaz destes riscos.

O *World Resources Institute* (WRI) disponibilizou uma plataforma de informações sobre riscos hídricos chamada de Aqueduct, que inclui um conjunto de ferramentas on-line e banco de dados de riscos hídricos que pode ser acessada em <https://www.wri.org/aqueduct>.

Esta plataforma de informações visa facilitar o mapeamento e a medição dos riscos globais da água e o desenvolvimento de melhores estratégias, classificando a escassez de risco em categorias (Tabela 5).

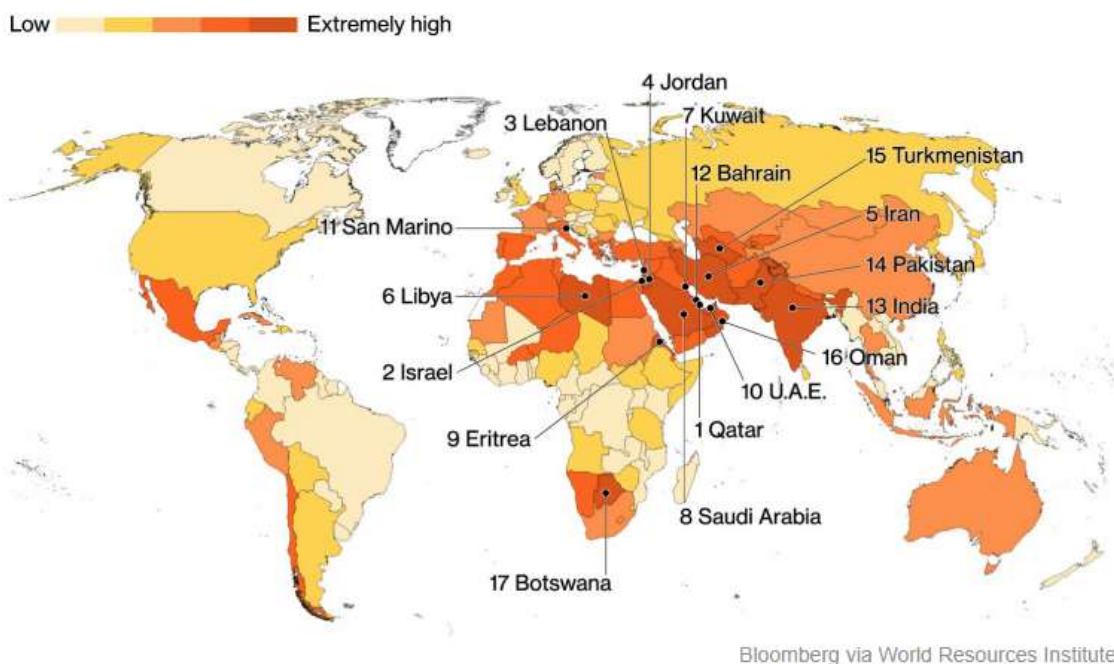
Tabela 5 – Categorias de risco e escore do Aqueduct.

<b>Valor Bruto (%)</b>	<b>Categoria de Risco</b>	<b>Score</b>
<5%	Baixo	0-1
5 – 25	Baixo-médio	1-2
25 – 50	Médio-alto	2-3
50 - 75	Alto	3-4
>75	Extremamente alto	4-5

Fonte: Gassert *et al.*, (2013).

Os dados da figura seguinte foram compilados a partir da plataforma Aqueduct 3.0 do WRI, que analisou vários modelos hidrológicos e calculou o quanto de água é retirada dos suprimentos de águas superficiais e subterrâneas disponíveis em cada região do mundo (Figura 12) em comparação com o total de água disponível.

Figura 12 – Mapeamento da escassez hídrica no mundo (Aqueduct).



Fonte: Gassert *et al.*, (2013)

Além dessa ferramenta de nível mundial, nas últimas décadas desenvolveram-se vários estudos com vistas para caracterizar os riscos da seca e os seus diversos indicadores (índices de vulnerabilidades). Olímpio (2017) realizou uma análise integrada em escala regional utilizando dados sócio econômicos e de infraestrutura e dados meteorológico para estabelecer a intensidade do risco da escassez hídrica, nos municípios do nordeste brasileiro. Rosendo (2014) aplicou uma versão adaptada do conjunto de indicadores definidos por Bhattacharya e Dass (2007) em três municípios do semiárido brasileiro.

Luna (2007) desenvolveu o Índice de Pobreza Hídrica (IPH), com o objetivo de identificar as variáveis adequadas para avaliar o impacto da escassez de água sobre a população rural do semiárido. Trolei & Silva (2018), estudando a vulnerabilidade hidrica dos municípios do Estado do Rio Grande do Norte, consideraram seis variáveis (aquíferos, condições climáticas, níveis dos reservatórios, funcionamento do sistema de adutoras, abastecimento com carropipa, situação do sistema de abastecimento urbano) a partir de uma análise integrada, classificando três graus de fragilidade utilizando a metodologia de Crepani, Medeiros, Hernandez Filho *et al.*, 2001.

### 3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

As características e os desafios da área de estudo, município de Ibaretama/CE são semelhantes aos de inúmeros outros municípios do Semiárido.

As informações que se seguem foram obtidas no Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE (2012) e no Plano Estadual dos Recursos Hídricos da Secretaria de Recursos Hídricos SRH–CE (1992).

O clima de Ibaretama é tropical quente semiárido, com temperatura média anual situa-se entre 26 a 28 °C, sendo o período chuvoso de janeiro a abril, com uma precipitação média anual de 838,1 mm (IPECE, 2012).

O relevo apresenta as formas suaves e pouco dissecadas da Depressão Sertaneja e as formas em colinas e cristas do maciço residual onde situa-se a sede do município. As altitudes variam desde inferiores a 200 até os 500 metros. Solos do tipo planossolo dominam na região, secundados pelos podzólicos. A cobertura vegetal é a típica caatinga arbustiva densa, aparecendo manchas dela mais arbórea com espécies espinhosas (floresta caducifólia espinhosa).

O município de Ibaretama apresenta um quadro geológico relativamente simples, observando-se um predomínio de rochas do embasamento cristalino de idade pré-cambriana, representadas por gnaisses e migmatitos. Sobre esse substrato repousam coberturas aluvionares, de idade quaternária, encontradas ao longo dos principais cursos d'água que drenam o município.

#### 3.1 Área de estudo

O município de Ibaretama/CE situa-se na porção nordeste do Estado do Ceará, limitando-se com os municípios de Itapiúna, Quixadá Aracoiaba e Morada Nova. Compreende uma área de 870 km<sup>2</sup>, sendo área urbana da sede com apenas 2,37 km<sup>2</sup>. O município está localizado na carta topográfica Itapiúna (Folha SB.24-X-A-IV). Está organizado em cinco distritos: Ibaretama (sede), Nova Vida, Oiticica, Pedra e Cal e Piranji (Tabela 6).

O município possui uma população de 12.292 habitantes, dos quais 75,09% se encontram na zona urbana, e 24,91% residem na zona rural, segundo os dados do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

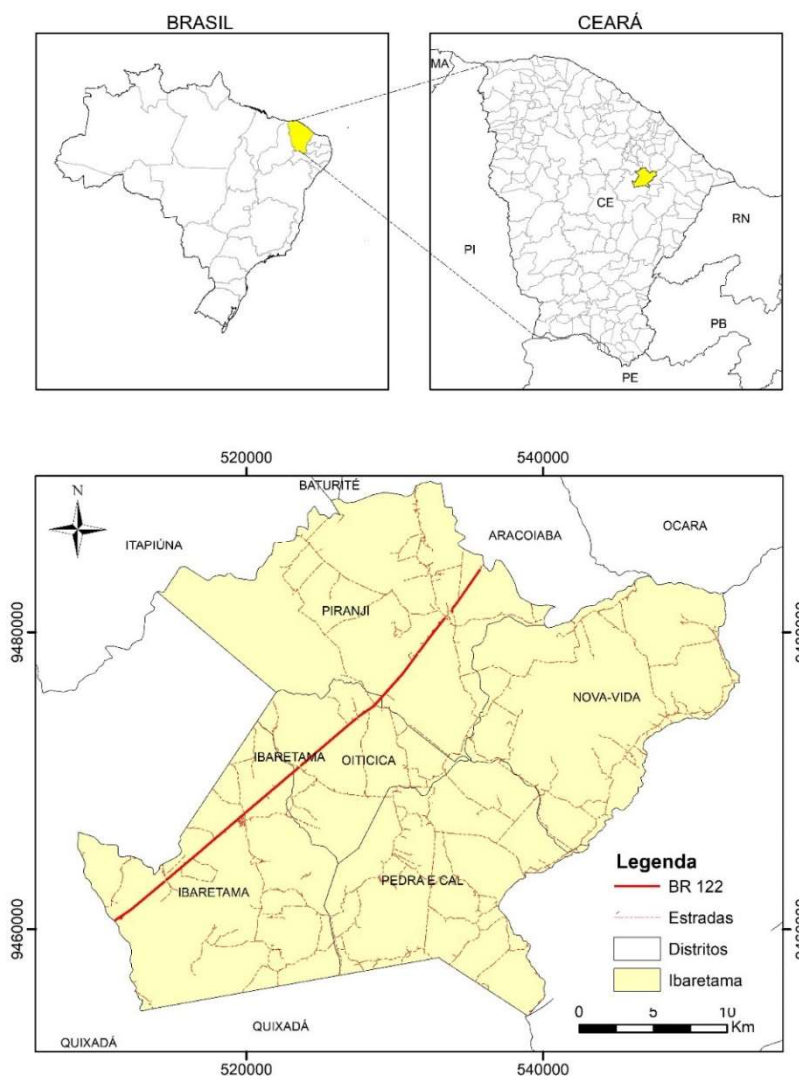
Tabela 6 – Distritos de Ibaretama/CE.

<b>Distritos</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Ibaretama	187,14
Nova Vida	198,12
Oiticica	86,28
Pedra e Cal	168,32
Piranji	236,68
<b>Total</b>	<b>877</b>

Fonte: IBGE (2010).

A partir de Fortaleza o acesso ao município pode ser feito por via terrestre, através da rodovia Fortaleza/Capistrano/Quixadá/Ibaretama (CE 60 - Rodovia do Algodão/BR 122) ou Fortaleza/Pacajus/Chorozinho/Ibaretama (BR 116/BR 122). As demais vilas, lugarejos, sítios e fazendas são acessíveis por meio de estradas estaduais, asfaltadas ou carroçáveis (Figura 13).

Figura 13 – Localização da área de estudo – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 3.2 Geologia

Para a caracterização geológica de Ibaretama, foi adotada nesta tese, as terminologias propostas pelo mapa geológico da Folha Itapiuna, elaborado por Costa & Palheta, (2017). No município de Ibaretama, destacam-se as rochas Proterozóicas (85%), seguidos pelas coberturas sedimentares e aluvioses.

### 3.2.1 Rochas Proterozóicas

A litoestratigrafia corresponde da base para o topo por rochas: i) metavulcânicas félsicas/intermediárias; e ii) gnáissicas migmatíticas do paleoproterozóico.

#### - Complexo Algodões (PP2)

Caracteriza-se por uma sequência plutono-vulcano-sedimentar metamorfizada em fácies xisto-verde a anfibolito alto, sendo que o grau metamórfico aumenta na direção N/NW. Apresenta-se como uma sequência de anfibolitos, às vezes com metaultramáficas associadas, paragneisses arcósio-grauvaquianos, quartzitos, metaconglomerados e localmente metavulcânicas intermediárias. Ocorre em pequenos núcleos isolados ao longo do centro sul da área.

#### - Ortognaisses Cipó (PP2\_gamma\_cip)

Ortognaisses acinzentados migmatíticos, granulação média a grossa, de estruturas bandada-dobradas, com diversos enclaves de rochas anfibolíticas e jazimento de rochas metamáfica-metaultramáfica do Complexo Algodões. Composições granodiorítica a tonalítica (trondhjemítica). São metaluminosos e cálcio-alcálicos de médio K, com tendência a baixo K. Ocorrem na zona leste na forma de lentes, paralela a ZCSP.

#### - Complexo São José da Macaoca

Este complexo ocorre na região central e é composto por rochas tonalito-granodiorítico (PP2\_gamma\_sjmt) e granodiorito-granítico (PP2\_gamma\_sjmg).

São formados por ortognaisses acinzentados migmatíticos, granulação média a grossa, por vezes porfiríticos, geralmente de estruturas bandada-dobradas, com lentes de rochas anfibolíticas subordinadas. São comuns feições de *minglin*. São de composições dioríticas, tonalíticas e granodioríticas, normalmente metaluminosos e cálcio-alcálicos de médio K.

- Grupo Orós - Formação Santarém (PP4os)

Representa sequência predominantemente metapelítica, com rochas quartzíticas, xistos e mármore, em fácies xisto-verde a anfibolito alto. Análise em zircões detríticos (U-Pb LA-ICPMS) de quartzito micáceo indicou uma população mais nova em torno de 1,7 Ga, interpretada como idade máxima de deposição dos sedimentos. Ocorre de forma isolada no extremo sudeste da área.

- Complexo Canindé do Ceará (PRcn1 e PRcn2)

Corresponde a migmatitos paraderivados, com fusão parcial considerável, dando origem a granitos peraluminosos como os cartografados na unidade Leucogranito Itapiúna. Também ocorre rochas gnáissicas e xistosas contendo grafita e manganês disseminados ou em lentes concentradas, rochas quartzíticas com granada-sillimanita e magnetita-sillimanita, que são associações típicas de metamorfismo de alto grau, fácies granulito. Por fim, mármore micáceos encaixados concordantemente a metatexitos bandados. Mais raramente, ortognaisses afloram no extremo noroeste e no sudeste da área, sendo composto por biotita hornblenda plagioclásio gnaiss, de composição variando de granodiorito a tonalito. Ocorre ao longo da ZCSP e em uma faixa a oeste da área.

- Complexo Ceará (PRcq)

Corresponde a uma sequência de rochas supracrustais com predomínio de biotita xistos com  $\pm$  granada,  $\pm$  sillimanita e abundante ocorrência de migmatitos paraderivados. As análises em zircões detríticos (U-Pb LA-ICPMS) revelaram idades neoproterozoicas para as unidades Independência e Quixeramobim, ambas com população de zircões mais jovens entre 800-700 Ma (idade máxima da deposição). Ocorre no sudeste da área em forma de lentes alinhadas N-S, com inflexão para oeste.

- Leucogranito Itapiúna (PR\_gamma\_li)

Representam unidades graníticas do tipo S, a sua maior ocorrência esta porção norte do município, ocorre em menor proporção no centro e ao sul. São compostos por Metaleucogranitos (anatexitos), tipo S, com granada, as vezes a duas micas e sillimanita, coloração esbranquiçado, de granulação fina a grossa, gnaissificados, alguns migmatizados. Ocorrem restitos xistosos.

- Granitóides neoproterozóicos (NP3)

Destacam-se dois principais grupos: Monzonitos Quixadá, Serrote Feio, Suíte Pedra Aguda, Granodiorito Veados e Granitoide Boqueirão, com predomínio de composição intermediária, com feições de misturas com magmas máficos, sugerindo uma componente mantélica no magmatismo. Granitoides Serra Azul e Juatama são tipicamente granitos (*sensu strictu*) com características químicas que sugerem uma fonte crustal. A serra Azul, se destaca na paisagem por sua elevada altimetria em comparação com o restante da área.

### 3.2.2 Depósitos Cenozóicos

Os depósitos cenozoicos estão representados pelos Depósitos Colúvio-Eluviais e Depósitos Aluvionares.

- Depósitos Colúvio-Eluviais (N2Q1c)

Sedimentos inconsolidados, de coloração esbranquiçada, distribuição irregular (ocorre em forma de manchas capeando o substrato cristalino), predominantemente arenosos, em alguns locais ocorrem materiais cascalhosos (seixos centimétricos) com matriz argilosa laterizada.

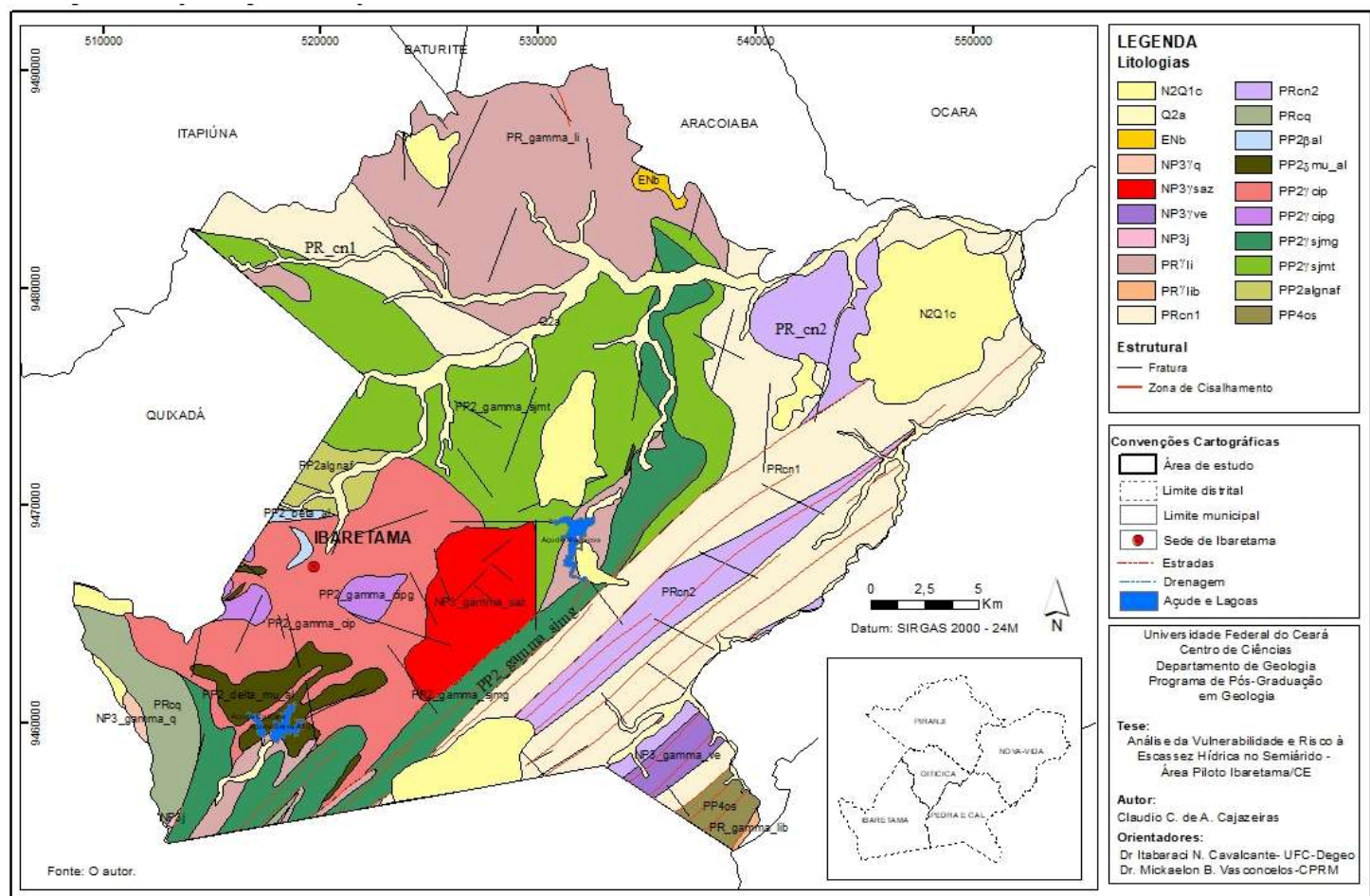
- Depósitos aluvionares (Q2a)

Constituídos principalmente de areias quartzosas e feldspáticas, conglomeráticas, cascalhos e argilas encontradas ao longo dos principais rios.

A litoloestratigrafia proposta por Costa & Palheta (2017) se encontra sumarizada na Figura 14.



Figura 14 – Mapa litológico de Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3 Recursos Hídricos

#### 3.3.1 Águas Superficiais

O município de Ibaretama contribui para a bacia hidrográfica Metropolitana e do rio Banabuiú. Como principais drenagens superficiais pode-se mencionar o rio Pirangi e os riachos dos Macacos e Santa Clara. Também merecem destaque os riachos Mororó, na divisa com Quixadá, Cavalos, na divisa com Aracoiaba, e do Feijão, na divisa com Morada Nova. Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (SRH, 1992), o nível de açudagem estimado na época era de 36 açudes, com capacidade total estimada em 8,8 hm<sup>3</sup>. Não existe nenhum reservatório expressivo dentro do território municipal (CPRM, 1998). Todos os rios e riachos são intermitentes, permanecendo secos durante a maior parte do ano.

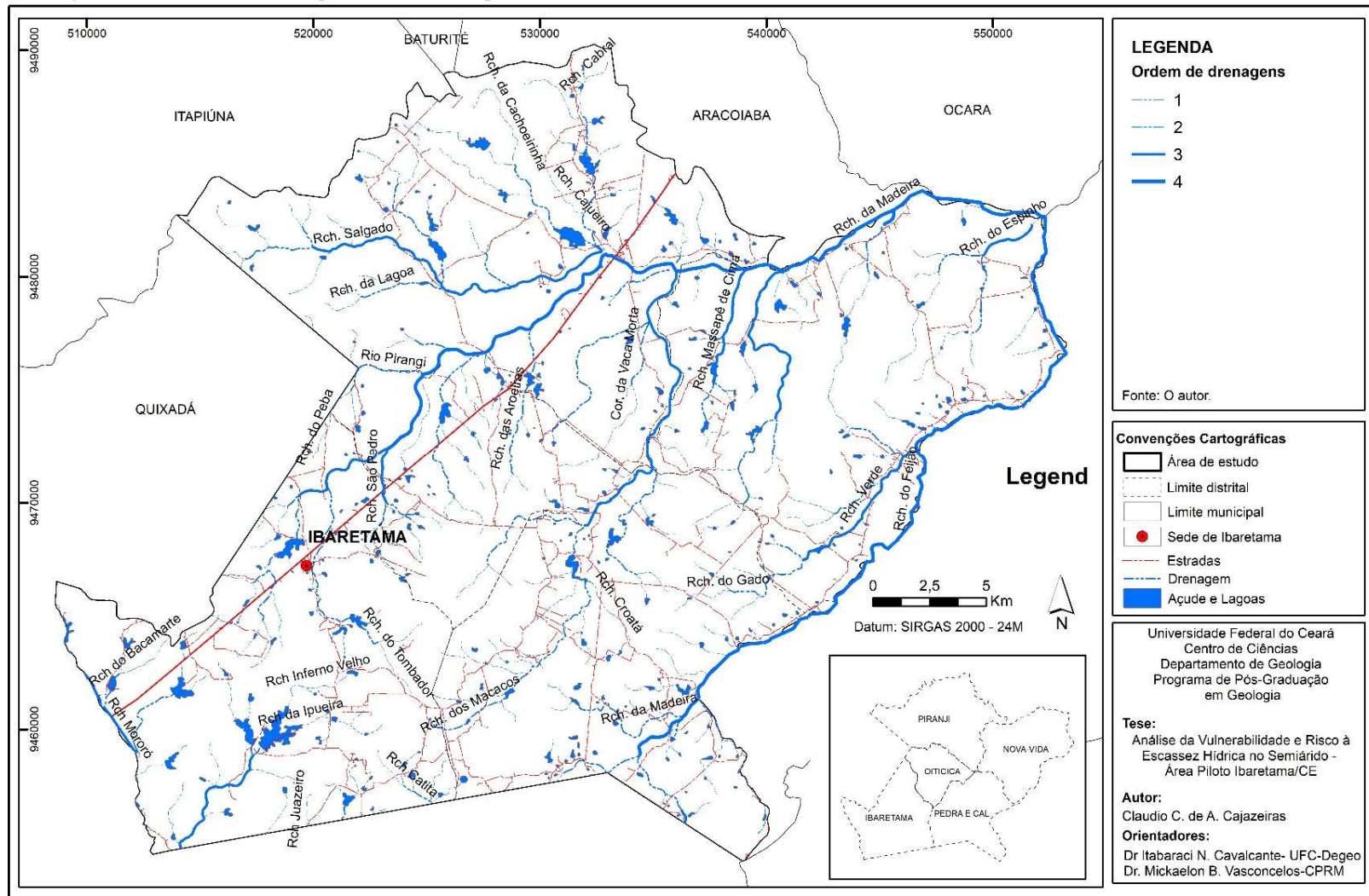
Os açudes e lagoas correspondem a uma área de 15,63 km<sup>2</sup>; o maior é o Açude dos Macacos e Serra Azul.

Uma prática corrente para garantir a oferta de água na região é a construção de reservatórios ou açudes), possibilitam liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, contribuindo, desse modo, para a garantia da oferta de água destinada a usos múltiplos (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação e indústria, entre outros).

No semiárido, durante o período de secas, os recursos hídricos superficiais (açudes) têm sua capacidade de armazenamento bastante reduzida, chegando a valores menores que 8%, como, por exemplo, no estado do Ceará durante o período de estresse hídrico de 2011 a 2017 (COGERH, 2017b *apud* FRANÇA *et al.*, 2018). Admite-se, portanto, que, durante eventos de estiagem, a disponibilidade hídrica se resume quase que exclusivamente aos recursos hídricos subterrâneos.

Apesar da rede hidrográfica ser densa (Figura 15), ela é constituída, por rios intermitentes, concentrado em 1º e 2º ordens, o que gera necessidade de captação e armazenamento de água por meio de obras hídricas (açudes, poços escavados, poços tubulares, cisternas e barragens subterrâneas).

Figura 15 – Recursos hídricos superficiais – município de Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.3.2 Águas Subterrâneas

O Estado do Ceará é composto por 75% de rochas cristalinas e 25% por rochas sedimentares. Com relação a distribuição espacial, as rochas cristalinas dominam toda a região central, parte dos extremos NW, SW e SE do estado, sendo bordejado, em partes, nas zonas limítrofes estaduais por sedimentos costeiros e rochas sedimentares da Serra da Ibiapaba no lado oeste, Serra do Araripe no Sul e Chapada do Apodi no lado leste (LEITE *et al.*, 1994)

No município de Ibareta pode-se distinguir três aquíferos hidrogeológicos distintos: Fraturado, Coberturas Indiferenciadas e Aluvionar.

#### - Aquífero Fraturado

As rochas cristalinas predominam totalmente na área e representam o que é denominado comumente de “aquífero fraturado”. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido é, na maior parte das vezes, salinizada. Essas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem.

#### - Aquífero Coberturas Indiferenciadas

São representados por sedimentos inconsolidados, de coloração esbranquiçada, distribuição irregular, predominantemente arenosos. Em alguns locais ocorrem materiais cascalhosos (seixos centimétricos) com matriz argilosa laterizada. Hidrogeologicamente ocorrem como “ilhas de água doce” vista que ocorre ao longo do aquífero fraturado, que possuem águas geralmente salobras.

#### - Aquífero Aluvionar

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas.

## 4 METODOLOGIA

A metodologia empregada para a realização desta tese, foi dividido em três etapas, com o intuito de subsidiar os objetivos propostos: i) levantamento de dados (estudos bibliográficos, revisão da literatura); ii) etapas de campo (caracterização hidrogeológica: cadastro de poços, mapeamento aéreo com aeronaves remotamente pilotadas (ARP); iii) integração dos dados: elaboração das bases temáticas; mapeamento das áreas de risco à insegurança hídrica com indicação de áreas para construção de poços.

### 4.1 Hidrogeologia

Nesta etapa foi realizada a caracterização hidrogeológica, a partir da atualização do bando de dados do SIAGAS, com duas campanhas de campo, a primeira com 7 dias e a segunda com 10 dias, com o intuito de atualizar a situação dos poços, cadastrar novos poços e realizar medidas de condutividade elétrica, de nível estático e quando possível medido a profundidade dos poços. Foram analisados/atualizados a situação atual das obras de captação e finalidade e uso das águas subterrâneas na base de poços tubulares do Siagas, totalizando uma amostra de 105 poços.

Os materiais utilizados em campo foram: caderneta de campo, *Global Positioning System* (GPS), máquina fotográfica, condutivímetro e pHmetro portátil (Figura 16)

Figura 16 – Alguns equipamentos utilizados em campo: condutivímetro, phmetro portátil e medidor de nível.

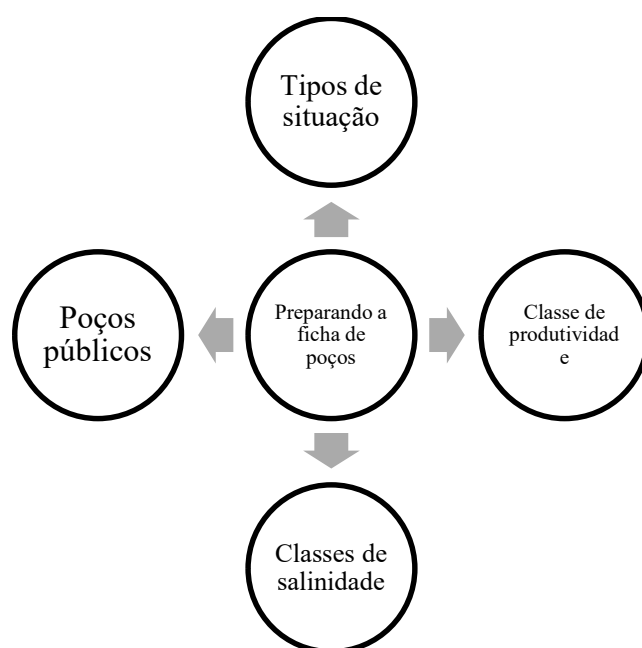


Fonte: Elaborada pelo autor.

O município de Ibareta, possui uma grande extensão, por tanto, para uma melhor logística de campo, as fichas dos poços, foram organizados por distritos, em ordem crescente do número do SIAGAS (visando facilitar encontrar o poço na lista).

Elaboração da ficha de poços levando em consideração a situação atual destes, classificando-os quanto a produtividade, se são poços públicos ou privados e de acordo com a salinidade das águas, utilizando-se dos valores de sólidos totais dissolvidos (STD) para esta classificação (Figura 17).

Figura 17 – Preparando a ficha de poços.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.1.1 Integração de dados

Os mapas temáticos foram elaborados em plataforma unificada de Sistema de Informações Georeferenciadas (SIG), em coordenadas Sistema *Universal Transverso de Mercator* (UTM), utilizando o sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil desde 2015 que é o *Datum Horizontal Sistema de Referência Geocêntrica para as Américas 2000* (SIRGAS 2000) e fuso 24M.

A integralização de todas as informações foi constituída no *software ArcGis 10.2* (ESRI, 2012).

## 4.2 Mapeamento das áreas de risco à insegurança hídrica (MARIH)

O processo metodológico foi baseado no mapeamento de risco geológico utilizados pela CPRM (2018). Utilizou-se a associação espacial dos seguintes fatores de vulnerabilidade hídrica, classificados em:

- Critérios socioeconômicos (demanda hídrica necessária, estabelecimentos agropecuários, acesso a água);
- Critérios geoambientais (precipitação, topografia, solo, litologia do aquífero).

A metodologia proposta foi dividida em duas etapas: i) levantamento da base de dados e ii) Análise do risco. Estas etapas estão detalhadas na Figura 18.

Figura 18 – Etapas da metodologia de elaboração de Mapeamento das Áreas de Risco à Insegurança Hídrica (MARIH).

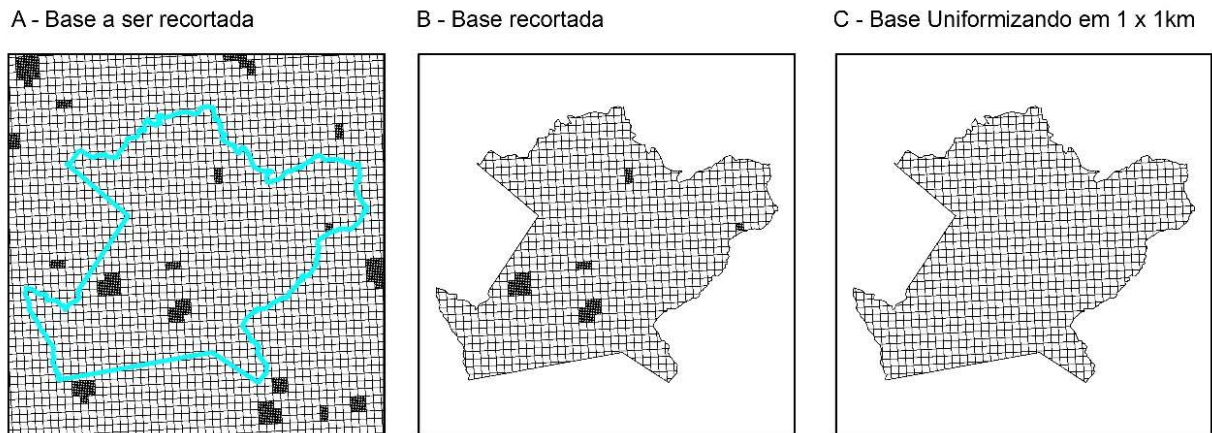
<b>Primeira Etapa</b>	Área de estudo	- Delimitação da área de interesse
	Levantamento da Base de dados	- Base Cartográfica (Pluviosidade, Topografia, Solo, Litologia do aquífero)
		- Base de Poços (SIAGAS, 2020)
		- População (Grade Estatística do IBGE, 2010) - Estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2017)
<b>Segunda Etapa</b>	Análise do Risco	Escritório/Campo

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 4.2.1 Primeira Etapa: Levantamento da Base de dados

As unidades territoriais de Análises (UTAs) em seu arquivo bruto possuem áreas de 1 x 1 km e de 200 x 200 m, sendo necessário realizar a delimitação do arquivo das UTAs para os limites do município de Ibaretama/CE, e para homogeneizar, todas elas foram transformadas para 1 x 1 km (Figura 19).

Figura 19 – Preparando a base de dados: A) em azul a área a ser recortada; B) base recortada e C) base uniformizada em 1 x 1 km - Ibaretama/CE.

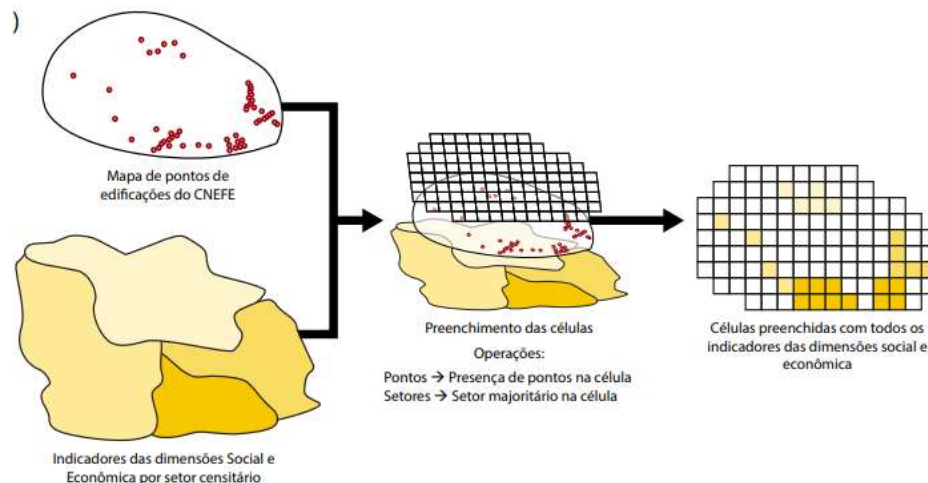


Fonte: Elaborada pelo autor.

- **Preparando a área de análise de risco**

Para uma área ser considerada de risco é necessário a possibilidade do perigo (no caso aqui a seca), atingir os habitantes, portanto como área de risco foram consideradas todas as UTAs que possuem habitantes e dados de estabelecimentos agropecuários. A Figura 20 mostra o uso das UTAs e sua relação com as variáveis de ponto e setores.

Figura 20 – Ilustração indicando o critério de delimitação das áreas de risco.



Fonte: Siani, 2016 <[http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Sacha\\_iSAM\\_dissertacaoSER\\_13Ago2016.pdf](http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Sacha_iSAM_dissertacaoSER_13Ago2016.pdf)>.

O levantamento *in situ* de dados primários sobre populações humanas são muitas vezes inviabilizados pela falta de recursos financeiros e tempo (SIANI, 2016), o mesmo se estende para o levantamento de dados de estabelecimentos agropecuários e de fontes de abastecimento de água.



No âmbito nacional, a principal fonte de informação hidrogeológica é o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que faz a gestão da plataforma de cadastro e armazenamento de dados de poços, denominado de Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

No Brasil, a fonte de dados sobre a população humana e estabelecimentos agropecuários passíveis de serem analisados em espaços geográficos reduzidos, é o Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que reúne informações sobre a população brasileira em um intervalo de dez anos. A última atualização foi o Censo de 2010, sendo que o último Censo Agropecuário foi em 2017.

Portanto, foram utilizados estes dados secundários como valores estimados de demanda e disponibilidade hídrica, servindo de base para a metodologia, objetivando um mapeamento preliminar e se baseia no princípio da fácil aplicabilidade.

O levantamento da base cartográfica consiste na coleta de todas as representações gráficas disponíveis. Os materiais podem estar tanto em formato digital como impresso. No caso dos dados em formato impresso, recomenda-se a digitalização do material para a devida integração ao Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A base de dados geoambientais são compostas por mapas de solo, hidrogeologia, declividade, pluviosidade.

Os dados fornecidos pelo banco de dados do SIAGAS foram as vazões dos poços tubulares em uso. Do IBGE foram obtidos os dados de população e de estabelecimentos agropecuários.

#### ***4.2.2 Segunda Etapa: análise dos fatores de vulnerabilidade hídrica***

Segundo Troleis & Silva (2018), a vulnerabilidade hídrica, se caracterizam pelo conjunto dos recursos naturais e estruturas físicas cujos recursos e estruturas não oferecem a segurança hídrica para o pleno desenvolvimento de uma determinada população.

O conceito de vulnerabilidade abrange distintos fatores e processos que refletem a suscetibilidade, a predisposição e as condições que favorecem ou facilitam que aconteça a perda ou desastre frente a uma ameaça (perigo). Ela varia de acordo com o tempo, a localização geográfica, as condições sociais, econômicas, infraestruturais e ambientais de cada lugar. O conceito de risco entretanto é o potencial que uma risco a que está exposta uma população de sofrer danos por um desastre natural.

O conceito de risco hídrico a ser adotado neste trabalho tem como ponto de partida a insegurança hídrica das comunidades rurais, provocada pelo evento seca na região semiárida, sendo analisados as dimensões geoambientais e socioeconômica.

Para a quantificação do número de habitantes foi utilizado o Censo IBGE (2010) e para a taxa de consumo per capita para as necessidades humanas básicas de água para o consumo, limpeza, culinária foi aqui adotado o valor de referência da ANA (2010), para zona rural que é de 100L.hab.dia.

E como oferta de água, a vazão dos poços tubulares em uso, pois considera-se uma situação de seca, onde os recursos hídricos superficiais são aqui considerados nulos.

Para a construção do **MARIH**: A primeira etapa foi definir um modelo conceitual com duas dimensões: socioeconômico (demanda hídrica) e geoambiental (pluviosidade, topografia, solo e aquífero) com objetivo de analisar o risco hídrico da população rural. A segunda etapa lidou com a produção dos indicadores da dimensão social, cujas estatísticas foram obtidas a partir do Censo demográfico de 2010, e que envolve a compatibilização espacial das malhas censitárias, o tratamento dos indicadores em pequenas áreas. A quarta etapa, para integrar dados geoambientais e de demanda hídrica, foram definidos procedimentos de integração de bases de dados heterogêneas. Por fim, na quinta etapa foi realizado o cálculo e proposta uma representação gráfica para os indicadores compostos.

### **4.3 Mapeamento de área de risco muito alto a partir da classificação da marih: aeronaves remotamente pilotadas (ARPs)**

A metodologia do trabalho envolveu o levantamento aerofotogramétrico e análise dos produtos gerados MDT, visando as áreas mais favoráveis para locação dos poços tubulares. A seguir, serão explanadas cada etapa e os materiais utilizados.

#### ***4.3.1 Planejamento do voo***

Baseado em Silva (2015), o planejamento do voo incluiu a definição do alvo a ser sobrevoado, observação das condições necessárias para a execução do voo e autorização dos órgãos competentes.

Consistiu na delimitação da área alvo solicitada, averiguação prévia das restrições legais, consulta do espaço aéreo, condições climáticas, estudo relativo do relevo (Cartas da SUDENE em escala de 1:100.000). Após a verificação dos fatores limitantes, procedeu-se com

a construção do plano de voo, que considerou a altura máxima de operação, velocidade limite, aquisição da imagem e características do pixel.

#### 4.3.2 Levantamentos aerofotogramétrico e planimétrico

Este levantamento foi dividido em levantamento aerofotogramétrico e levantamento planimétrico. Onde se faz uso de duas tecnologias de precisão, para obtenção dos registros cartográficos locais. A primeira consiste no uso RPAS, dentro das normas e orientações ditadas pelos instrumentos legais definidos pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), para obtenção do registro fotográfico aéreo. A segunda é o uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS) de precisão munido do sistema RTK (*Real Time Kinematic*), para georreferenciamento/correção dos erros cartográficos nas imagens, por meio de pontos de controle coletados em solo e pontos de checagem.

Vale frisar que para realização deste trabalho não foi necessário o desmate ou qualquer intervenção danosa, o método utilizado consiste na avaliação da área sem qualquer agressão ao meio ambiente.

Para a realização do voo e aquisição das fotografias aéreas foi utilizado o Phantom 4 produzido pela DJI, uma das maiores fabricantes de drones no mundo, garantindo segurança nas decolagens e nos pousos por serem executados de maneira automatizada, suas principais especificidades estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Principais especificidades do RPAS Phantom 4.

Câmera	Rádio com distância máxima de transmissão	Peso	Tamanho máximo de cada foto	Tempo Max de voo
12 Mpixels	5 km	1380g	4000 x 3000 pixels	28 min

Fonte: DJI, 2017.

O levantamento planialtimétrico com uso de GPS Geodésico aplicado, praticamente, para todas as fases de aquisições de dados descritos anteriormente, foi fundamental para o aumento das precisões dos produtos finais e para a integração dos dados. Aqui, serão descritos os motivos de uso para cada etapa de aquisição e os métodos empregados de posicionamento planialtimétrico.

A grande maioria dos Drones possui em seu sistema embarcado um Gps de Navegação, que é responsável por executar a missão programada em laboratório e gravar a posição onde cada imagem foi tomada, porém, a precisão de um GPS de Navegação é em torno de 5 a 10 metros, isto quer dizer, que um ponto coletado por este Gps quando verificado no terreno pode estar em um raio de 5 a 10 metros, ou seja, possui um erro de 5 a 10 metros em relação ao terreno. Daí, entra a função dos pontos de controle para aumentar a acurácia do mapeamento e integrar os dados das aquisições anteriores em uma mesma plataforma baseado no nível médio dos mares. Nesta aquisição, utilizou-se o método de posicionamento relativo cinemático.

Para os dados planialtimétricos obtidos em conjunto com os levantamentos descritos anteriormente, utilizou-se receptor L1/L2 geodésico, modelo Hiper GGD, marca Topcon, coletando dados pelo método de posicionamento estático.

#### **4.3.3 Processamento dos dados**

Esse estágio da pesquisa contou com o software Agisof PhotoScan para geração de dados 3D a partir do processamento fotogramétrico das imagens geradas pelo VANT. Inicialmente, fez-se uma avaliação dos dados coletados observando a qualidade das imagens, se toda a trilha do voo foi gravada e se houve perda no recobrimento lateral das fotografias. Através da ferramenta Fluxo de Trabalho, pôde-se seguir etapas básicas, sendo elas:

i) Calibração e otimização da câmera; ii) Alinhamento das fotografias; iii) Geração da nuvem de pontos (x, y, z) pelas medições de similaridade entre as imagens sobrepostas; iv) Densificação e classificação da nuvem de pontos; v) Geração do MDE; vi) Geração do ortomosaico; vii) Análise da qualidade dos produtos gerados; e viii) exportação dos produtos.

O software utilizado para processamento digital das imagens colhidas através dos voos com RPAS (Drone) foi o AGISOFT PHOTOSCAN™, que é um software fotogramétrico stand-alone para geração automática de nuvens de pontos densos, modelos texturizados, ortomosaicos georreferenciados, modelo digital de superfície e modelo digital de terreno.

Baseado na tecnologia *state-of-the-art* desenvolvido pela AGISOFT, esse *software* permite processamento, e, ao mesmo tempo, resultados precisos. Todos os produtos e peças técnicas foram gerados utilizando o *Datum* Horizontal SIRGAS 2000 e o *Datum* vertical corrigido para cotas ortométricas usando o software MAPGEO2015™ do IBGE.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões acerca dos temas hidrogeologia e mapeamento das áreas de risco à insegurança hídrica.

### 5.1 Hidrogeologia local

Para a elaboração do mapa de hidrogeologia foi utilizado como base o mapa litológico da Folha Itapiúna (COSTA e PALHETA, 2017), elaborados, pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e para a caracterização dos aquíferos foram analisados 105 dados de poços do SIAGAS (2020).

Os aquíferos (Figura 21) existentes para o armazenamento das águas subterrâneas em Ibaretama/CE são os: Aluvionar (49,79 km<sup>2</sup>), Coberturas Indiferenciadas (81,75 km<sup>2</sup>) e o Fraturado (745,01 km<sup>2</sup>) que representa 85% do total da área. Os parâmetros médios para cada aquífero foram obtidos a partir dos perfis de poços (Tabela 8).

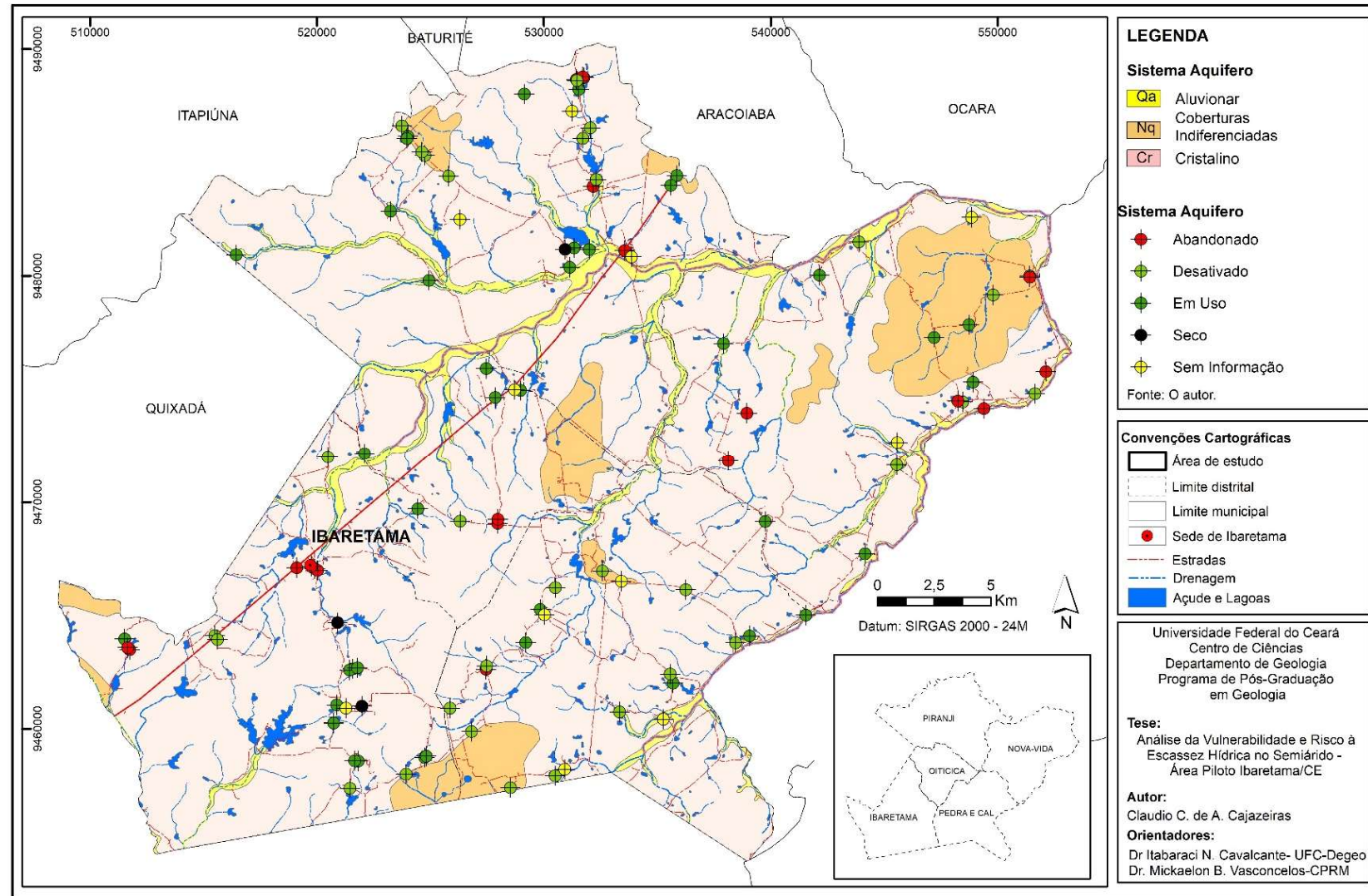
Tabela 8 – Média dos principais parâmetros dos poços por aquífero – Ibaretama/CE.

<b>Parâmetros médios</b>	<b>Aquífero Aluvionar</b>	<b>Aquífero Coberturas ind.</b>	<b>Aquífero Fraturado</b>
Profundidade dos poços (m)	8 (1)	57,1(10)	60,8 (64)
Nível estático (m)	-	9,88 (6)	9,4 (20)
Nível dinâmico (m)	-	48,51(3)	43,8 (20)
Vazão específica (m <sup>3</sup> /h/m)	-	0,04 (3)	0,22 (27)
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	-	4,2 (10)	2,6 (74)
STD (mg/L)	2960	3.747 (7)	4.785 (55)
Nº total de poços	1	11	87
Área de ocorrência (km <sup>2</sup> )	49,79	81,75	754,01

Fonte: Elaborada pelo autor.

OBS: Entre parêntesis, o número de poços de cada parâmetro.

Figura 21 – Mapa hidrogeológico.



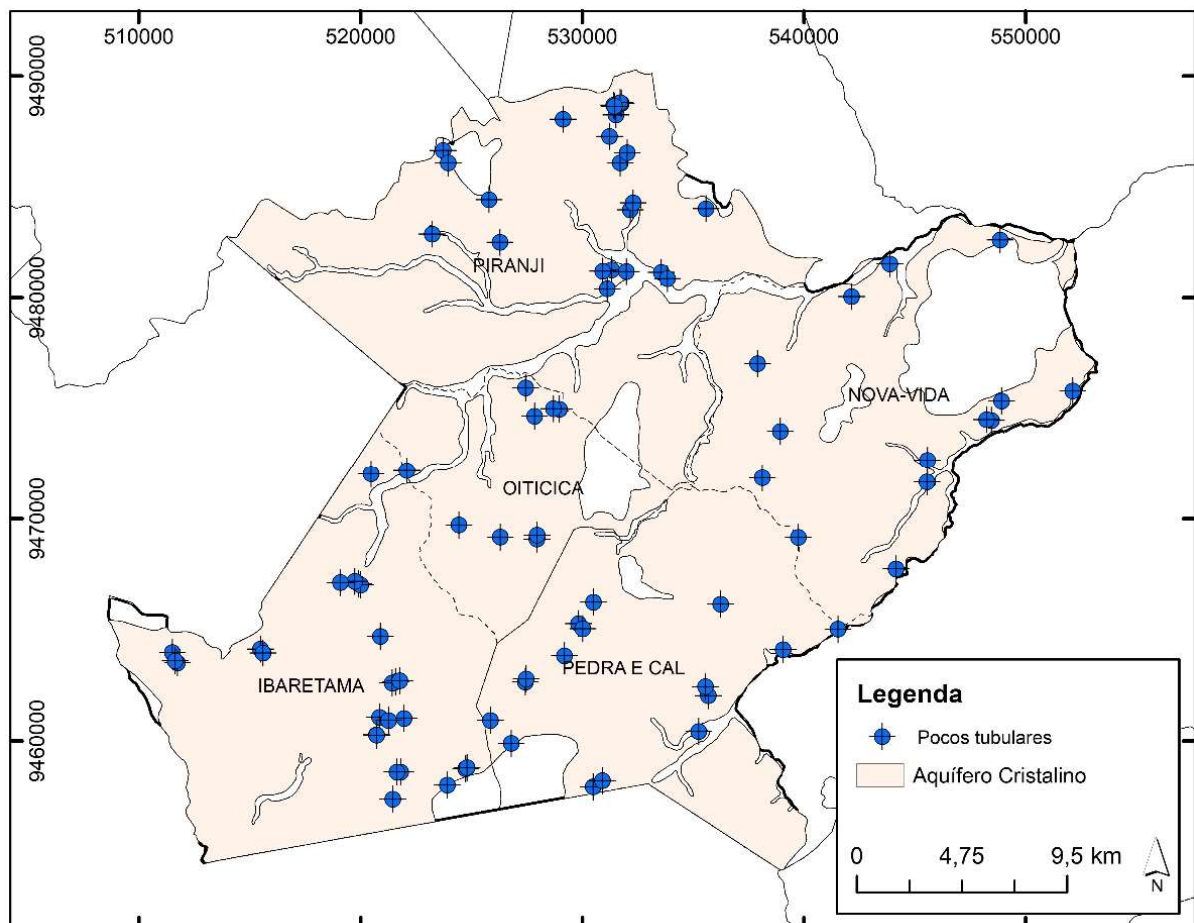
Fonte: Elaborada pelo autor.

### ➤ Aquífero Fraturado

No município de Ibareta ma o Aquífero Fraturado ocupa a maior extensão territorial, com 85% do total da área (Figura 22). Os terrenos cristalinos ocupam cerca de 745,01 km<sup>2</sup>, distribuindo-se por toda o município. São representados por diversos tipos de rochas, que inclui gnaisses, xistos, granitos, de idade pré-cambriana (superior a 540 Ma).

A recarga neste meio hidrogeológico é realizada através de precipitação pluviométrica e por infiltração indireta, por intermédio dos sedimentos aluvionares que retêm essas águas até que ocorra a infiltração nas fraturas abertas, funcionando assim como um aquífero de transferência. O armazenamento e o fluxo também podem ocorrer ao longo das fraturas conectadas a rede de drenagem.

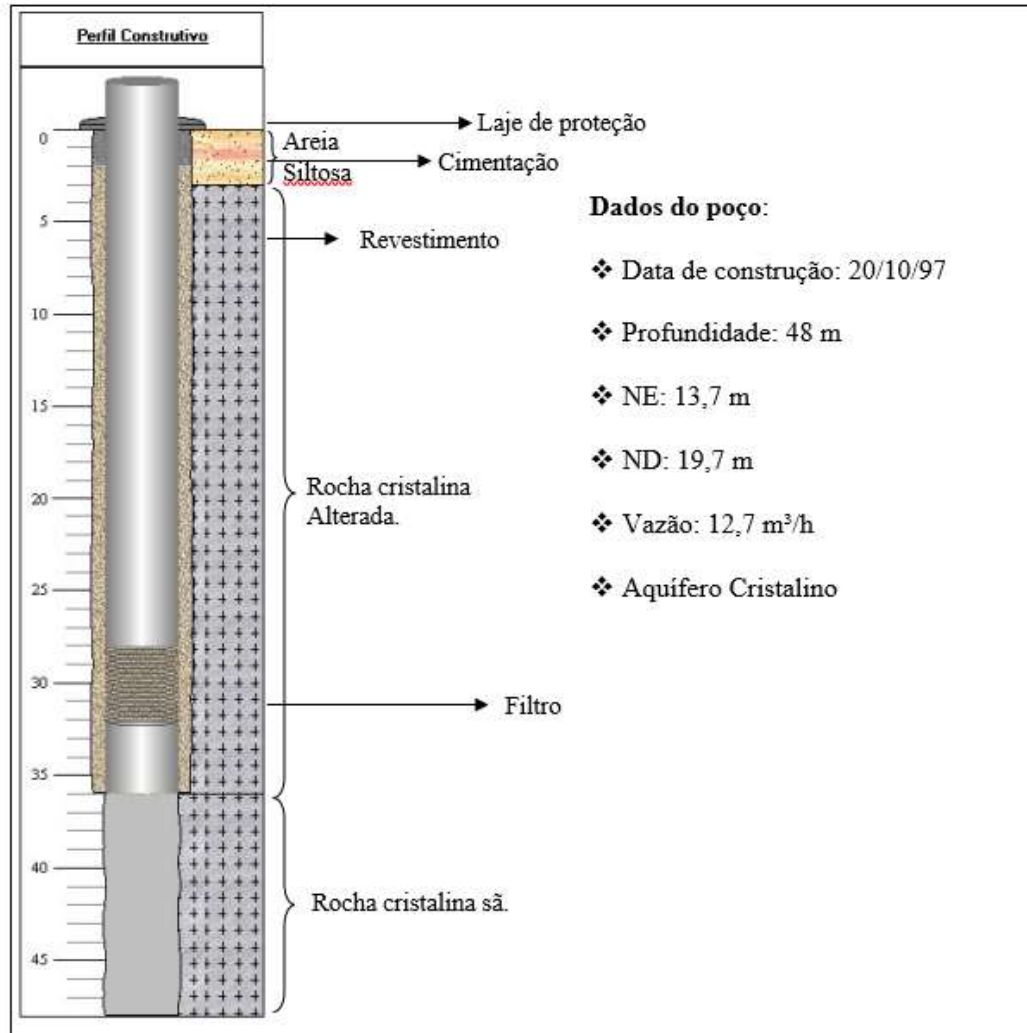
Figura 22 – Distribuição espacial dos poços tubulares no Aquífero Fraturado – Ibareta ma/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura abaixo mostra um perfil construtivo/litológico padrão dos poços no aquífero fraturado, representado pelo poço Siagas nº 2300008944 (Figura 23).

Figura 23 – Perfil construtivo e litológico de poço tubular.

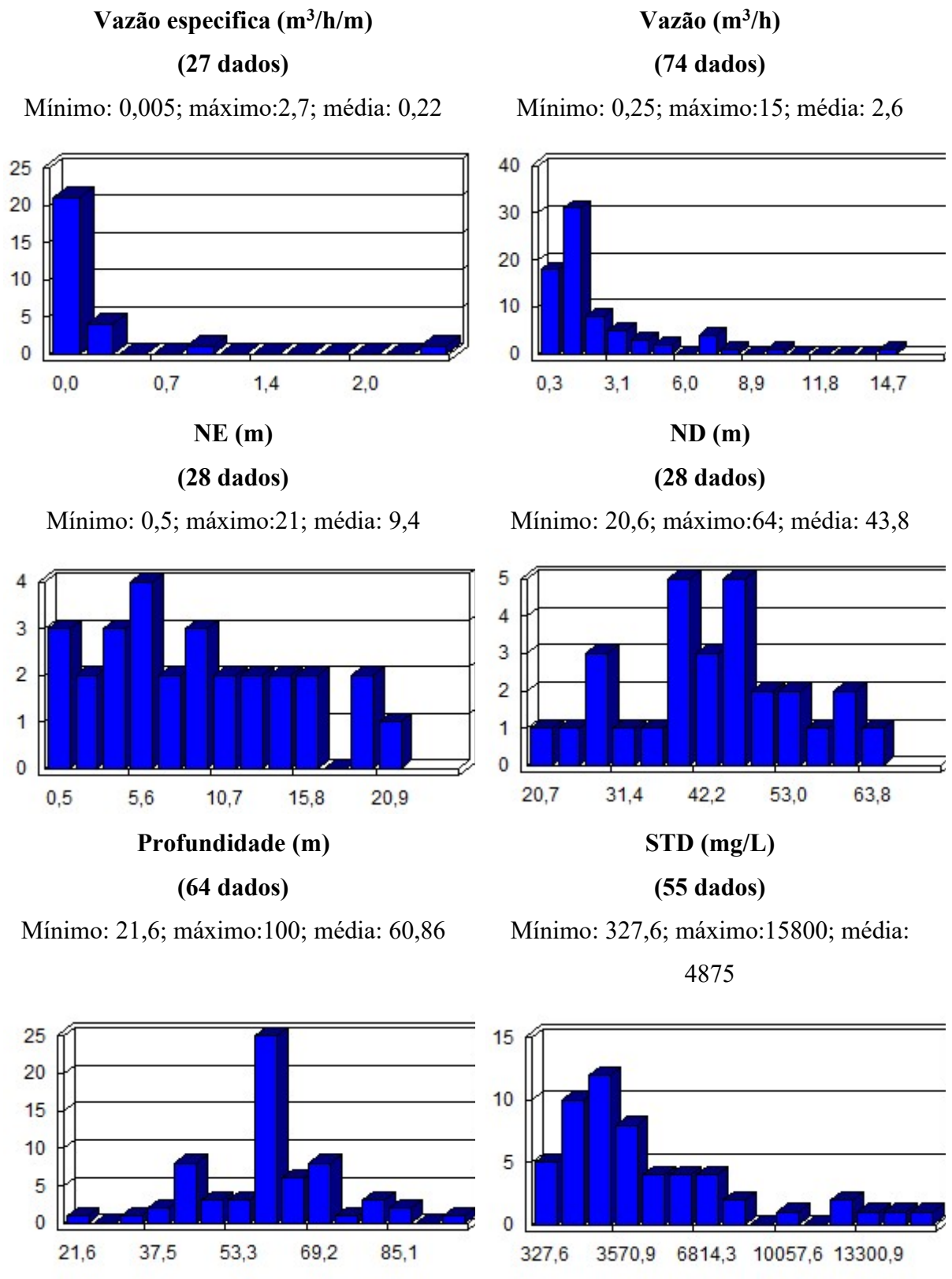


Fonte: SIAGAS, 2020.

A análise estatística dos principais parâmetros, abrangendo um total 87 poços do cristalino (Figura 24), indica vazão específica média de 0,22 m<sup>3</sup> /h/m. A vazão específica máxima é 2,7 m<sup>3</sup> /h/m e a mínima é de 0,005 m<sup>3</sup> /h/m, indicando uma grande variação desse parâmetro no conjunto analisado, que é resultado da heterogeneidade e anisotropia dos sistemas aquíferos fraturados. A vazão de captação média é de 2,6 m<sup>3</sup> /h, com valor máximo de 15 m<sup>3</sup> /h. Em relação à profundidade, os resultados da média é 60,8 m, sendo que a perfuração mais profunda foi de 100 metros. Quando a salinidade máxima de 15.800 mg/L com média de 4.875 mg/L.



Figura 24 – Distribuição da frequência dos dados (poços tubulares - Aquífero Fraturado) – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A vazão média  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , deste aquífero permite o abastecimento hídrico de uma população de 200 habitantes. Sendo, portanto, de uso estratégico no que tange minimizar a vulnerabilidade do risco dos danos provocados por seca e estiagem nas comunidades rurais. Uma ressalva é que se torna necessário, considerar o uso de dessalinizadores, pois a média dos sólidos totais dissolvidos é de  $4875 \text{ mg/l}$ , sendo quase cinco vezes maior que o valor máximo permitido (VMP) para consumo humano.

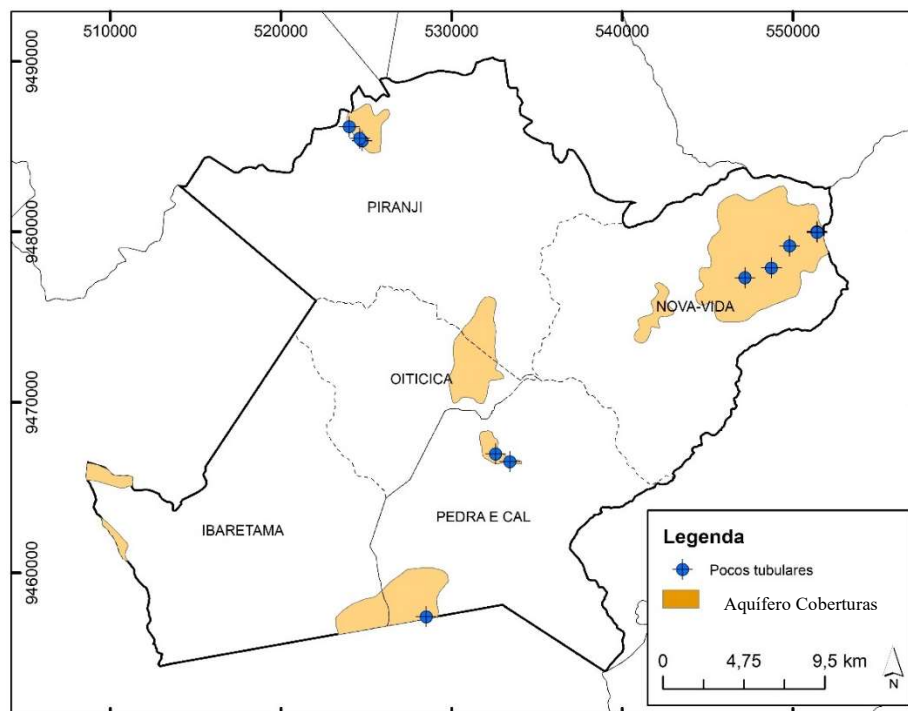
#### ➤ **Aquífero Coberturas**

De acordo com o SIAGAS (2020), existem 11 poços cadastrados (Figura 25). Recomenda o estudo geofísico do Sistema Aquífero Coberturas, que ocorre ao norte do distrito de Nova Vida, local que este sistema funciona como uma “ilha de água doce” pois o mesmo possui o melhor poço (SIAGAS Nº 2300025663) do município, com o menor valor de STD apenas,  $312 \text{ mg/l}$  e uma vazão de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ , portanto com potencial para construir uma bateria de poços para abastecer a região do seu entorno.

O tratamento estatístico dos valores de profundidade dos poços perfurados revela uma profundidade média de  $57 \text{ m}$  (variando de  $10\text{m}$  a  $70\text{m}$ ). As vazões dos poços nestes terrenos situam-se, de maneira geral, entre  $2$  e  $4 \text{ m}^3/\text{h}$ , com média de  $4,2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

No tocante à qualidade da água, 5 poços mostram STD médio de  $2.747\text{mg/l}$ , o que limita, em grande parte, o seu uso para o consumo humano.

Figura 25 –Aquífero Coberturas – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

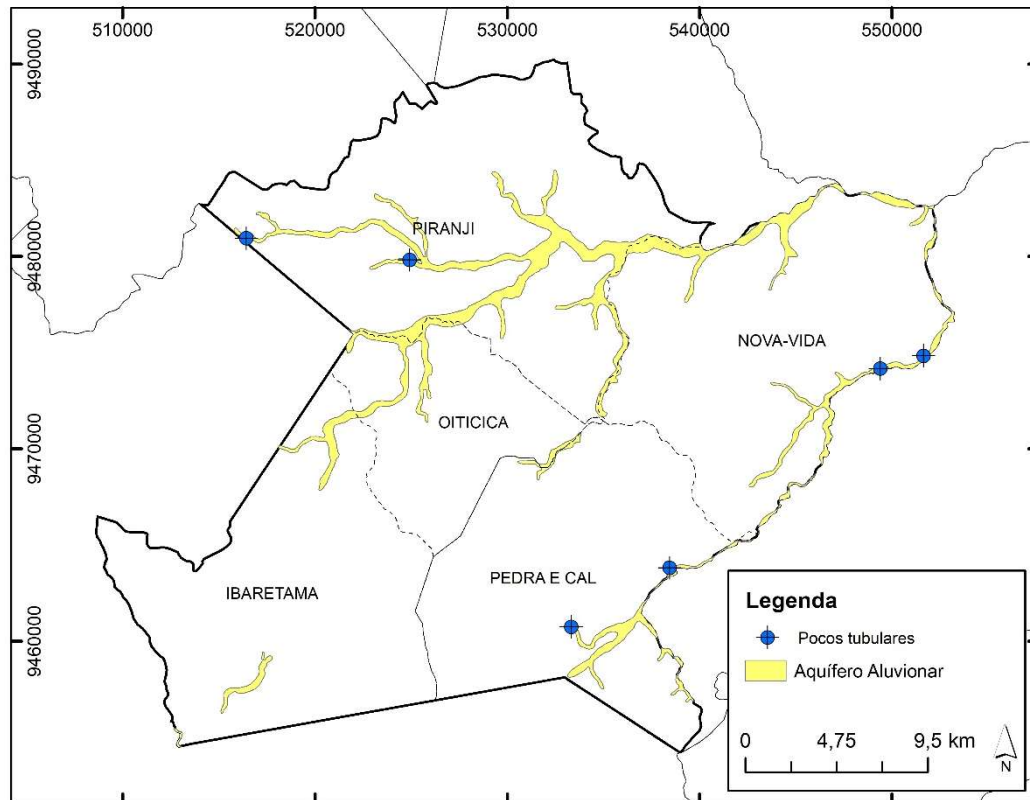
### ➤ Aquífero Aluvionar

Comporta-se como um aquífero livre, que ocorre margeando as calhas dos rios e riachos que drenam a região. Os sedimentos aluvionares são permeáveis, de pequena e média espessura. São constituídas de areias de granulometria fina a média, com algumas intercalações de níveis argilosos, passando a granulometria média a grossa em pontos localizados na calha dos.

A recarga desse aquífero se faz por infiltração pluvial direta sobre as áreas aflorantes e por drenagem influente, que no período de estiagem, passa a funcionar como exutórios. Este sistema ocorre em faixas de largura entre 50 até 750 m ao longo do leito de rios Piranji.

No município de Ibaretama as aluviões ocupam 49,79 km<sup>2</sup>, representando apenas 5,7% do total (Figura 26), ocorrem de modo restrito, com larguras e espessuras variáveis. Apesar de existirem seis poços plotados, existe apenas um poço com perfil que apresenta STD de 2.960 mg/L, e espessura de 8 metros sem informação sobre vazão. Os outros cinco captam água do aquífero cristalino, possuem profundidades de 40 a 80 metros.

Figura 26 – Aquífero Aluvionar – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

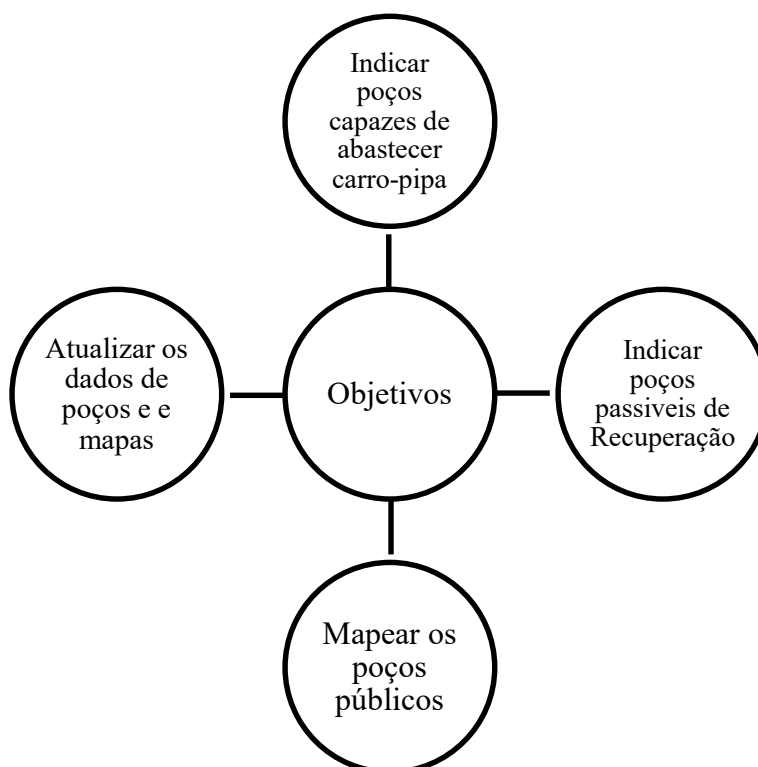
### 5.1.1 Situação dos poços tubulares

Durante as duas campanhas de campo que duraram 17 dias, realizada no mês de novembro de 2018 onde foram cadastrados 25 novos poços e analisados a condutividade e atualização da situação de 55 poços tubulares no município de Ibaretama/CE.

### 5.1.2 Diagnóstico atual da Exploração

De acordo com o cadastro de poços disponibilizado pelo SIAGAS (2020), existem 105 poços cadastrados na área de pesquisa, onde é possível atualizar a base de dados e identificar os poços públicos para abastecer carro-pipa, poços passíveis de recuperação (Figura 27):

Figura 27 – Principais objetivos do levantamento dos poços de Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### ➤ Produtividade dos poços

A produtividade dos poços do semiárido é bem diferente do restante do país, pois suas vazões tendem em geral a ter valores abaixo de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , portanto se torna inviável adotar os valores do Manual de Cartografia Hidrogeológica da CPRM (Diniz *et al.*, 2014), pois o range deste manual considera como vazão alta vazões acima de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , o que é totalmente discrepante para a realidade local.

A classificação da produtividade (Tabela 9) aqui foi proposta foi realizada a partir da análise de 84 poços, com dados de vazão uma classificação da produtividade dos poços em quatro classes de acordo com a realidade do semiárido a saber:

- 1) Alta - vazão acima de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- 2) Moderada - vazão de 2 a  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- 3) Baixa (vazão 0,5 a  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e
- 4) Pouco produtiva - vazão de 0,2 a  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Tabela 9 – Classes de poços segundo a produtividade hídrica – Ibaretama/CE.

Classe	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Produtividade	Num de poços	%
(1)	>> 5	<b>Alta:</b> fornecimento de água para ligação em rede (SISAR) e em períodos de seca para o abastecimento de carro pipas.	12	14,3
(2)	2 a 5	<b>Moderada:</b> fornecimento de água para sistema de abastecimento de água (SSA) – chafarizes.	23	27,3
(3)	0,5 a 2	<b>Baixa:</b> fornecimento de chafarizes em pequenas comunidades.	40	27,6
(4)	0,2 a 0,5	<b>Pouco produtiva:</b> abastecimento restrito ao uso de cata-vento.	9	10,7
Total			84	100

Fonte: Elaborada pelo autor.

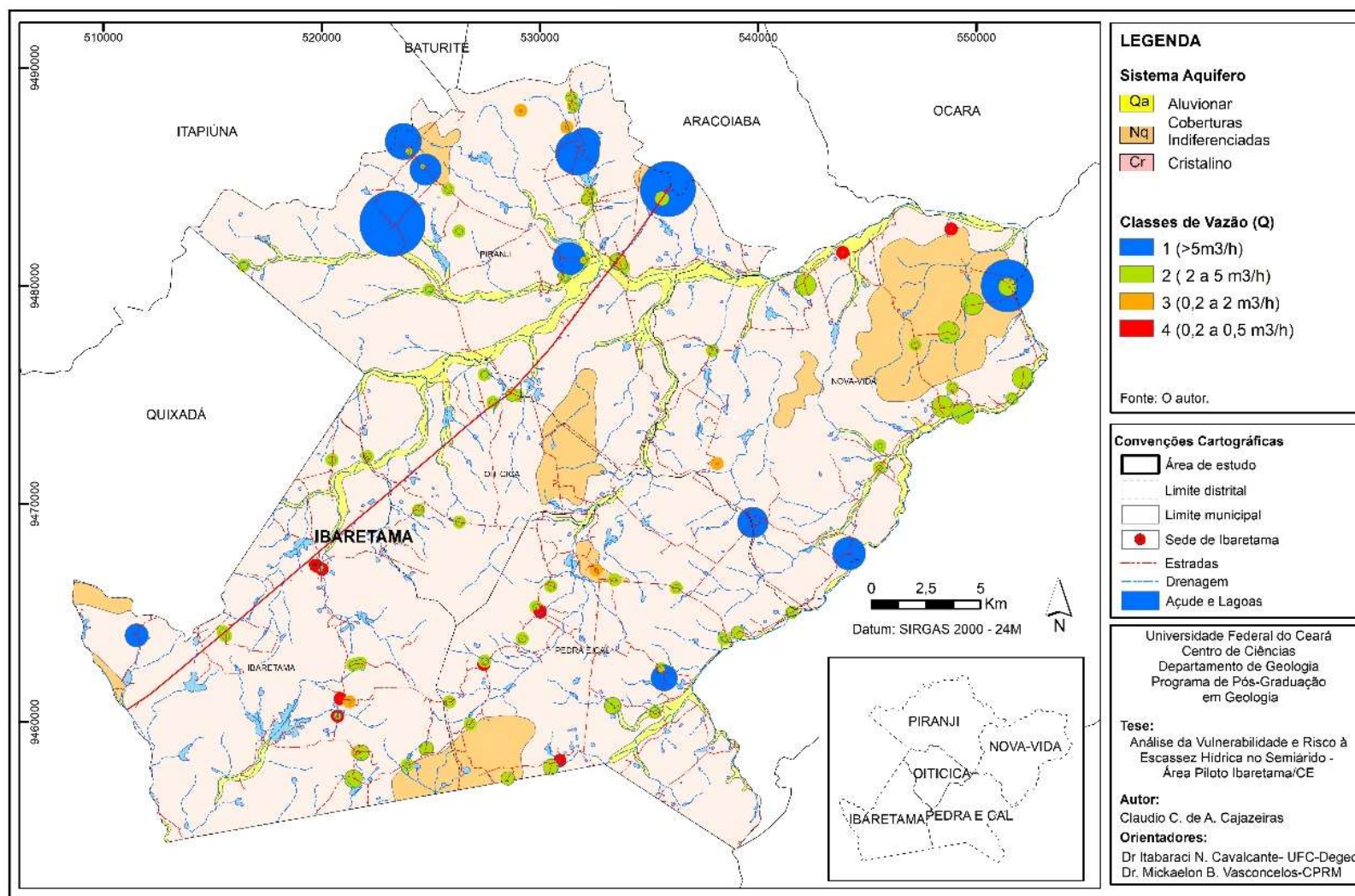
Poços que apresentam vazão de até 0,2 l/h, são considerados não produtivos (secos) em função da vazão mínima aceitável pelos órgãos oficiais do Estado do Ceará (LEITE *et al.*, 1994). Poços com vazões abaixo de 0,5 m<sup>3</sup>/h, inviabiliza o uso de motobomba, sendo recomendado o uso de cata-vento.

Dos 84 poços, apenas 12 possuem vazões acima de 5 m<sup>3</sup>/h e suprem majoritariamente a demanda hídrica da zona rural.

O maior número de poços 40 (27,6%) se concentram na classe 3 (vazão entre 0,5 a 2 m<sup>3</sup>/h), distribuindo-se ao longo de todo município, as maiores vazões (classe 1) ocorrem na porção norte observa-se que, 16 poços pertencem a classe 4, com vazões que variam de 0,2 a 1 m<sup>3</sup>/h; 33 poços pertencem a **classe 3, com vazões que variam de  $\geq 1$  a 2 m<sup>3</sup>/h**; 23 poços pertencem a classe 2, com vazões que variam de  $\geq 2$  a 5 m<sup>3</sup>/h; e 12 poços (14,3%) pertencem a classe 1 (vazões acima de 5 m<sup>3</sup>/h), este concentram-se nos distritos de Pirangi, (a oeste da BR-122) e no distrito de Nova Vida.

O mapa de classes de produtividade de poços (Figura 28), mostra que os poços com maiores vazões (acima de 5 m<sup>3</sup>/h) ocorrem do lado leste do rio Pirangi e sobre as coberturas indiferenciadas, as classes de menores vazões se distribuem por todo o restante do município.

Figura 28 – Classes de poços segundo a produtividade hídrica – município de Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

➤ Salinidade e usos da água

Na maioria das águas subterrâneas naturais, a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator, que varia de 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa do STD (FEITOSA, 2008). Aqui foi adotado o valor usado pelo programa *Qualigraf*, (FUNCEME, 2017), que utiliza o fator 0,65, considerado aceitável para uma região de clima quente.

A qualidade das águas está relacionada com a salinidade, este pode ser medido através dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD). O valor máximo permitido (VMP) de STD para água potável é de 1000 mg/L, segundo a Portaria Consolidação N°5 do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2017). Estes elevados valores de STD, indica o uso de dessalinizadores.

A salinidade é um importante fator para a determinação dos potenciais usos da água, tal como a potabilidade para humanos, animais ou mesmo para agricultura. Aqui é adotado seis faixas de STD (Tabela 10 e Figura 29), buscando relacionar estes valores com os limites para o consumo humano e animal. As classes de 1000 a 5000 mg/L concentram a maior parte da salinidade com 41 poços (61,1%), sendo que a 62 poços (92,6%) apresentam valor acima do máximo permitido (VMP).

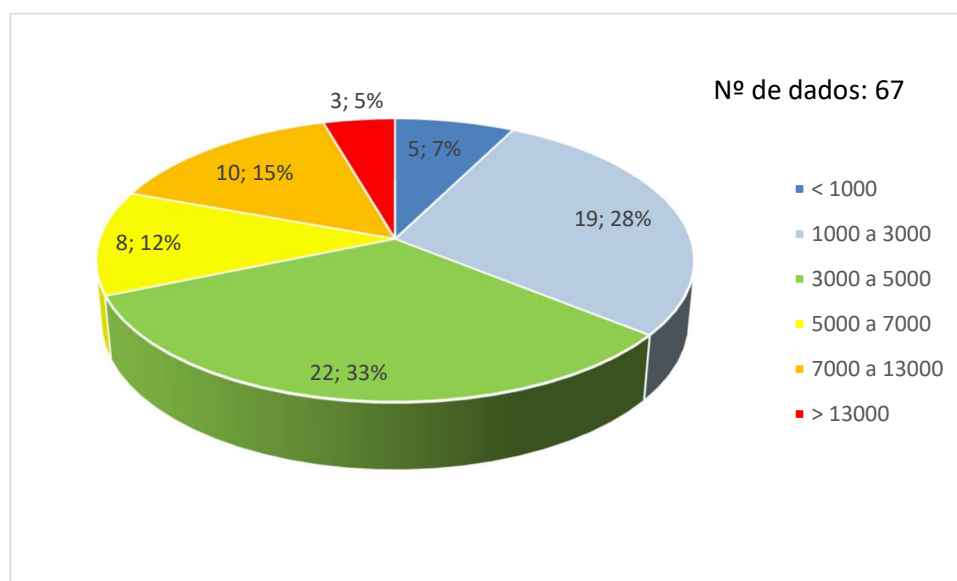
Tabela 10 – Avaliação do uso da água para com o consumo humano e animal com relação a classes de STD.

Classe	STD (mg/L)	Tipo de Consumo Humano e Animal <sup>2</sup>	Num de poços	%
1)	< 1000	Humano	5	7,4
2)	1000 – 3000	2860 – Aves	19	28,3
3)	3000-5000	4220 – Suíno	22	32,8
4)	5000–7000	6435 – Cavalo 7160 – Gado (leite)	8	12
5)	7000 – 13000	10000 – Gado (corte) 12900 - Carneiro	10	14,9
6)	> 13000	Não indicado	3	4,5
Total			67	100

Fonte: 1- Thorner & Perterson, 1985; 2 - Mackee & Wolf, 1966 *apud* CPRM, 2003.



Figura 29 – Setores correspondentes aos poços tubulares com salinidade – Município de Ibaretama/CE.

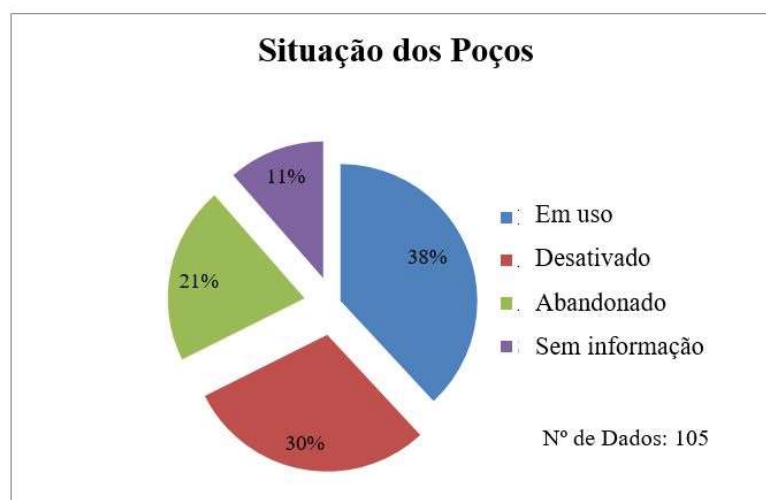


Fonte: Elaborada pelo autor.

#### ➤ Situação dos poços

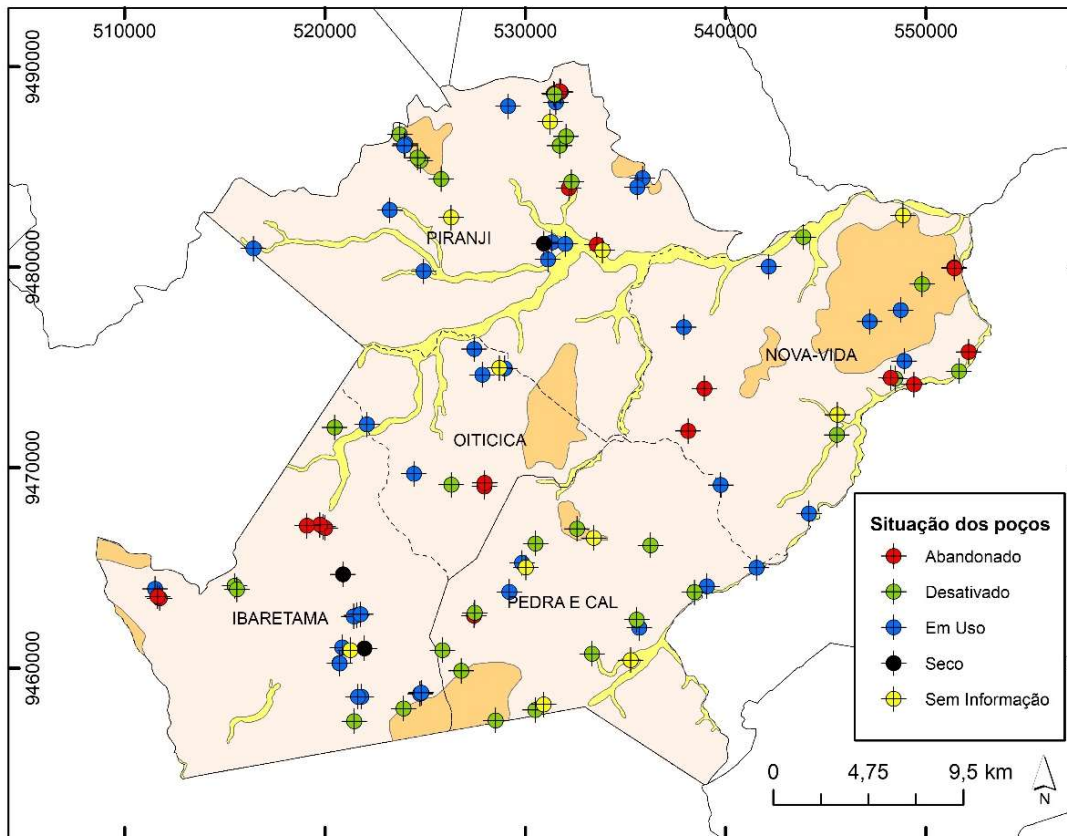
Quanto ao diagnóstico da situação dos poços (Figura 30), foi possível identificar que: dos 105 poços cadastrados na área, 40 (38%) encontra-se em uso; 31 (30%) desativados; 22 (21%) abandonados e 12 (11%) não apresentam informações quanto a sua situação. A distribuição desses poços é mostrada na Figura 31.

Figura 30 – Situação dos poços da área de pesquisa.



Fonte: Dados do SIAGAS, 2020.

Figura 31 – Distribuição da situação dos poços – município de Ibaretama/CE.

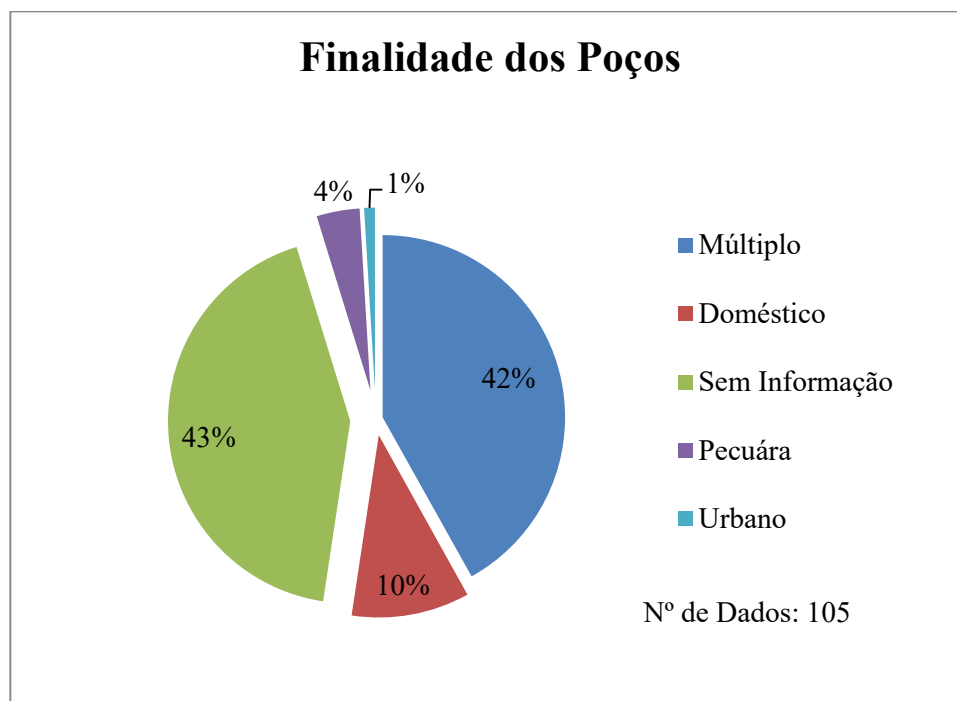


Fonte: Elaborada pelo autor.

#### ➤ Finalidade das obras de captação

Com relação a finalidade dos poços cadastrados na área, observou-se que 44 (42%) são destinados ao uso múltiplo, que inclui atividades domésticas e agropecuária; 11 (10%) para uso doméstico; 4 (4%) para uso na pecuária; 1 (1%) para o uso urbano e 45 (43%) dos poços não apresentam informações quanto a sua finalidade (Figura 32).

Figura 32 – Finalidade dos poços cadastrados na área de pesquisa.



Fonte: SIAGAS, 2020.

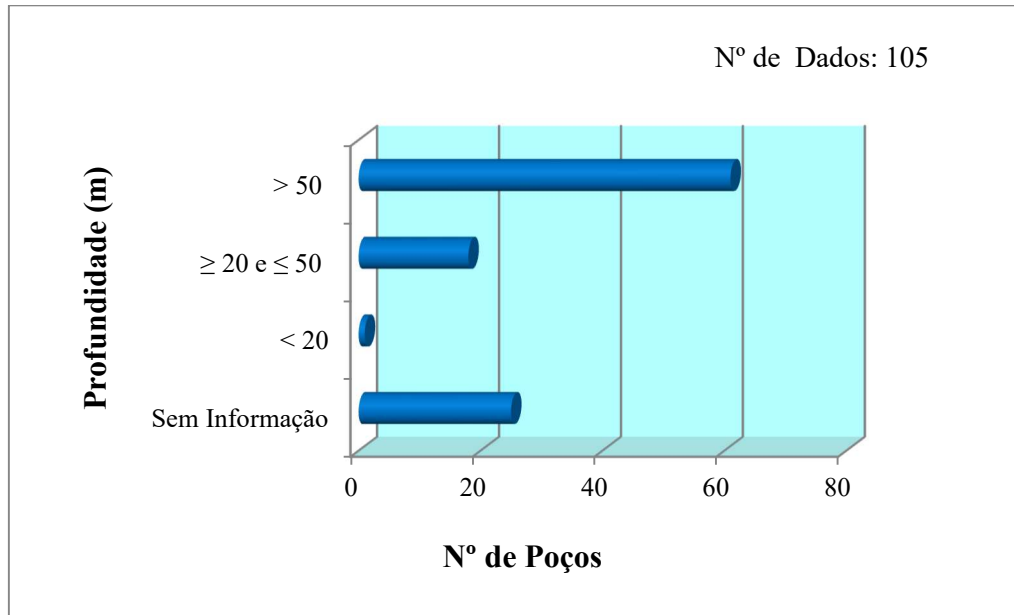
#### ➤ Profundidade dos poços

A classificação dos poços quanto à sua profundidade foi realizada com base no Artigo 4º do Decreto nº 23.068 de 11/02/1994 da Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (CEARÁ, 2020).

Avaliando-se os 79 poços com informações sobre profundidade, observou-se que apenas 1 poço (poço amazonas) apresenta profundidade inferior a 20 metros, sendo classificado como poço raso; 18 poços possuem profundidades entre 20 e 50 metros, sendo classificados como mediantemente profundos; 61 poços possuem profundidades superiores a 50 metros, sendo classificados como poços profundos e 26 poços não apresentam informações quanto sua profundidade (Figura 33) e sua distribuição espacial (Figura 34). No município não ocorre poços com profundidade maior que os 100 metros, isto deve-se ao conceito da redução da permeabilidade (compressão das fraturas) com a profundidade (Davis & Turc, 1964).

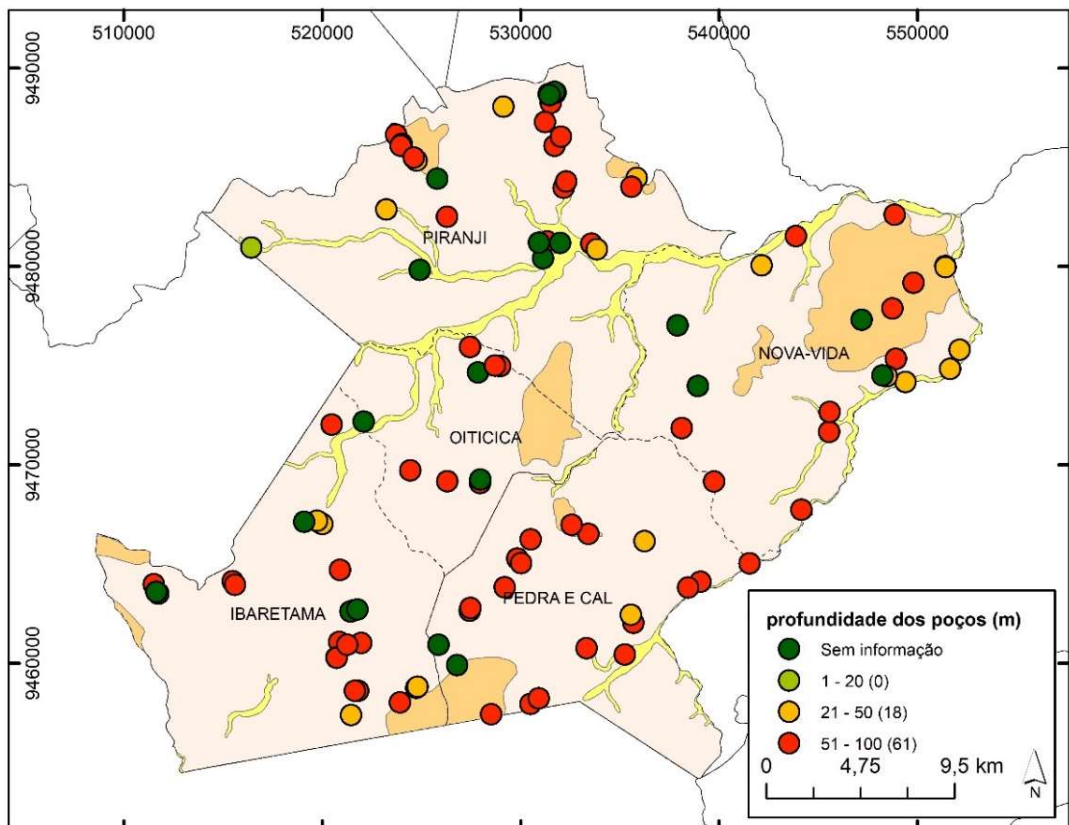
A profundidade de um poço nem sempre é diretamente proporcional à sua vazão; ou seja, aprofundar a perfuração para a construção de um poço tubular não significa, necessariamente, encontrar mais água em profundidade (CAVALCANTE & GOMES, 2011).

Figura 33 – Classificação dos poços quanto a profundidade– Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 34 – Distribuição dos poços quanto a profundidade – Ibaretama/CE.



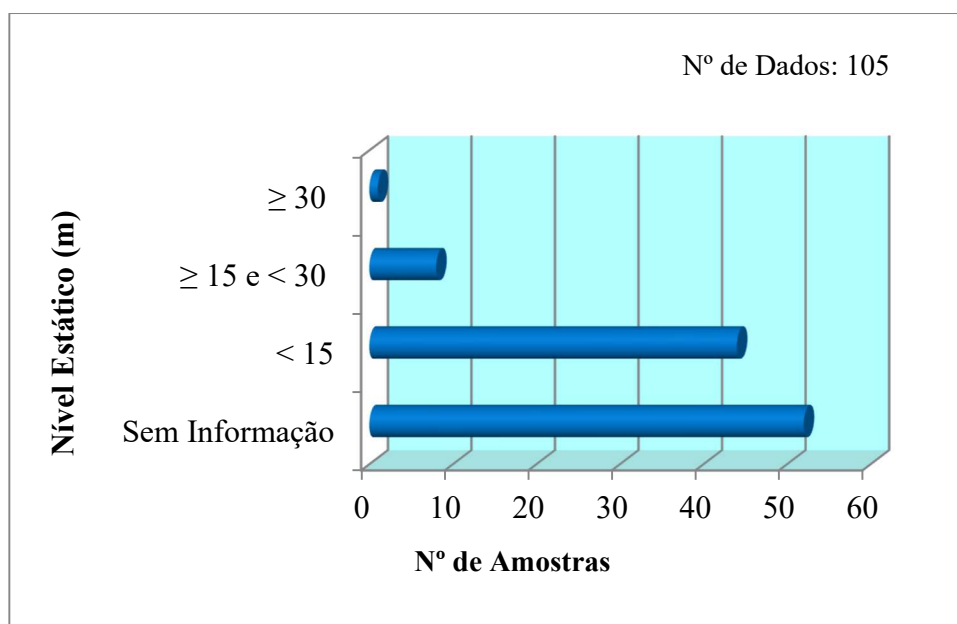
Fonte: SIAGAS, 2020.

➤ Nível estático dos poços

De acordo com Cavalcante & Gomes (2011), as águas subterrâneas somente são visíveis no momento em que são captadas pelos poços, jorram dos poços artesianos (jorrantes) ou migram das diferentes e diversas fontes hídricas naturais. A profundidade em que se encontram geralmente reflete seu nível estático natural, nível hidrostático ou nível d'água, e que pode ser raso (freático) (profundidade do nível estático inferior a 15 m), medianamente profundo (profundidade do nível estático entre 15 m e 30 m) ou profundo (profundidade do nível estático superior a 30 m).

Na área de pesquisa, observa-se que, 44 poços apresentam nível estático a profundidades inferiores a 15 metros, 8 poços apresentam nível estático entre 15 e 30 metros, 1 (um) poço apresentou profundidade igual a 30 metros e 52 poços não apresentam informações quanto a profundidade do nível estático (Figura 35).

Figura 35 – Nível estático dos poços cadastrados na área de pesquisa.



Fonte: SIAGAS, 2020.

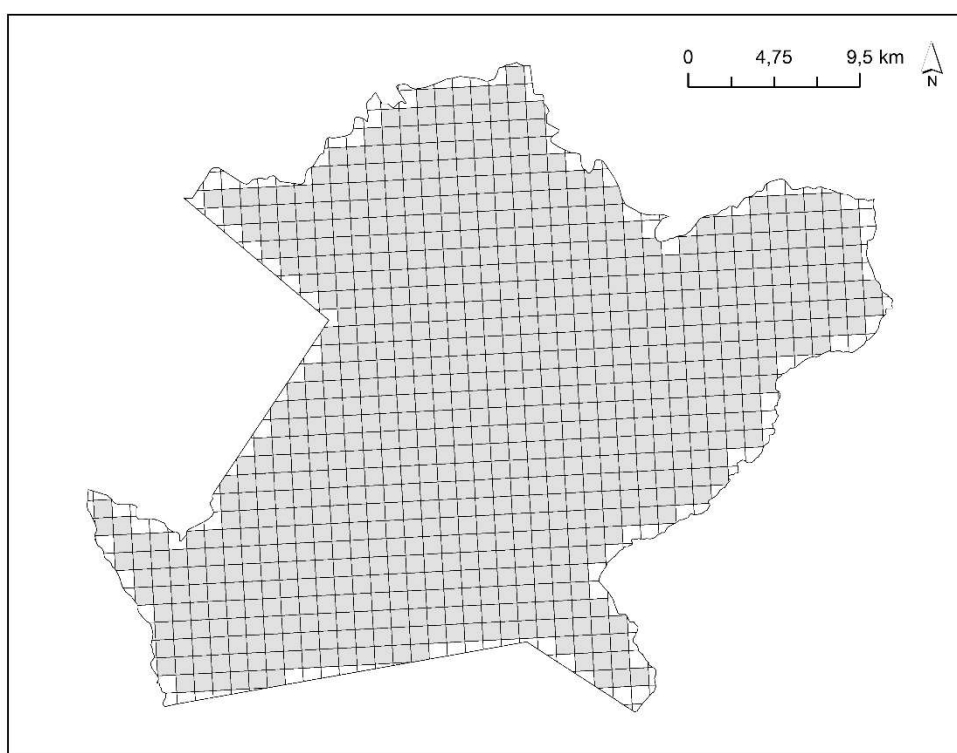
## 5.2 Mapeamento das áreas de risco à insegurança hídrica (MARIH)

Os resultados da aplicação da metodologia, serão aqui apresentados.

### 5.2.1 Delimitação das UTAs de estudo

Foram analisadas 985 UTAs do município de Ibaretama, (Figura 36).

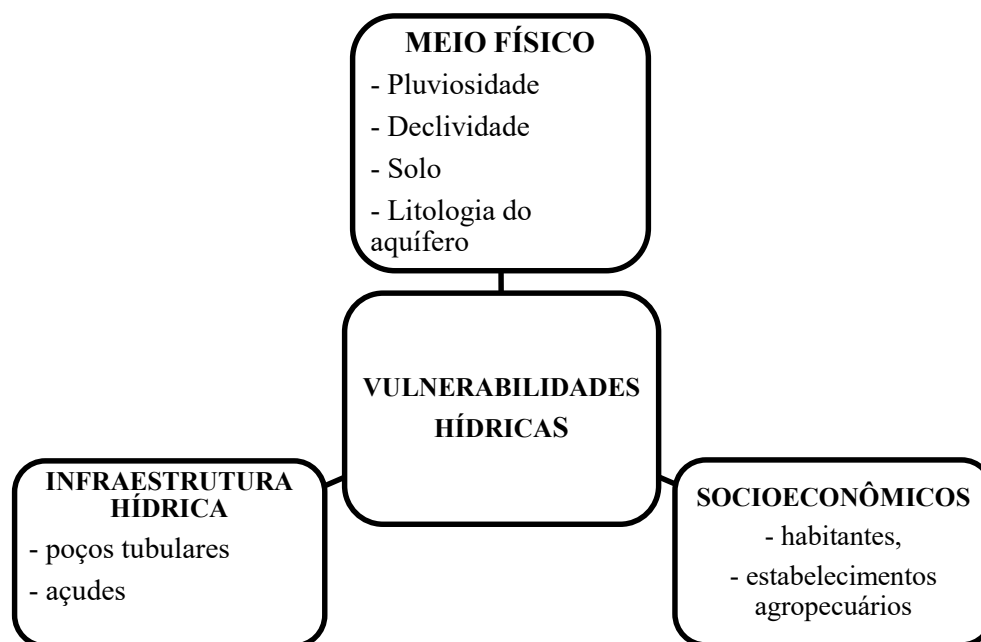
Figura 36 – Delimitação das UTAs de estudo – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Basicamente, a compreensão da vulnerabilidade aos perigos naturais envolve a análise de dois componentes, são eles: socioeconômico (habitantes, estabelecimentos agropecuários e acesso) e geoambientais (pluviosidade, topografia, solos e litologia do aquífero), resistência (oferta hídrica dos poços tubulares) (Figura 37).

Figura 37 – Fatores de vulnerabilidades hídricas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A disponibilidade hídrica (ou oferta) adotada neste trabalho foi a subterrânea, a partir dos dados de vazão média diária dos poços tubulares em uso localizado no município de Ibareta.

Para a estimativa das demandas para atendimento rural foi utilizado a taxa per capita de 100 L/hab/dia sugerido em ANA (2010). As populações foram obtidas no censo demográfico realizado no ano de 2010 (IBGE, 2014a)

### ***5.2.2 Análise do risco à insegurança hídrica***

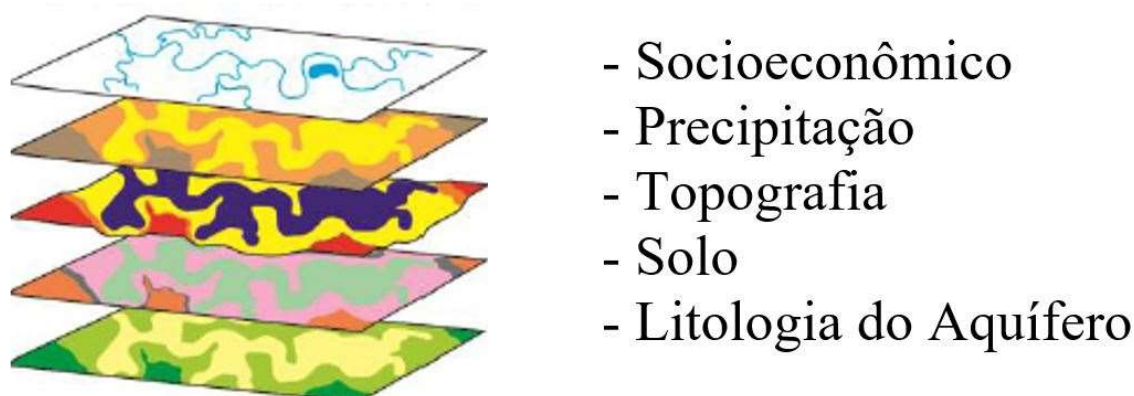
Foram empregados fatores que incorporam características físicas importantes relacionados com o risco de insegurança hídrica (demanda maior que a oferta).

Os fatores utilizados foram divididos em:

- i) Aspectos socioeconômicos (número de habitantes e estabelecimentos agropecuários e acesso (distâncias dos poços)
- ii) Aspectos geoambientais (precipitação, topografia, tipo de solo, litologia do aquífero).

Grande parte dos dados possuem características de espacialidade como mostrada na Figura 38, permitindo o uso de ferramentas de SIG.

Figura 38 – Atributos socioeconômico e geoambiental.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para cada variável, são atribuídos pesos que podem variar de 1 a 5 de acordo com o grau de significância de cada parâmetro (Tabela 11). Estes parâmetros são posteriormente multiplicados por valores de 1 a 10 de acordo com sua faixa de classificação, ou seja, o valor 1 corresponde à vulnerabilidade mínima e o valor 10, indica a máxima.

Tabela 11 – Descrição dos parâmetros utilizados pelo método MARIH com seus respectivos índices de ponderação.

<b>Categoria</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Sigla</b>	<b>Índice de ponderação (p)</b>
Socioeconômico	Demanda hídrica necessária	Dp	10
	Estabelecimentos agropecuários	Ep	5
	Acesso	Ap	2
Geoambiental	Pluviosidade	Pp	5
	Topografia	Tp	4
	Solo	Sp	5
	Litologia do aquífero	Lp	4

Fonte: Elaborada pelo autor.

### ➤ **Categoria socioeconômica e de infraestrutura hídrica**

A caracterização das condições demográficas, sociais e econômicas de um dado território, bem como o acesso e a disponibilidade de infraestruturas são instrumentos fundamentais para avaliar o nível de vulnerabilidade de um sistema social. Com estas informações é possível estimar o quanto uma comunidade está exposta a um evento adverso, natural ou não, assim como indica a sua capacidade de resposta e de adaptação ao ser impactada (OLIMPIO, 2017).



A categoria socioeconômica define a área de risco, na qual possa ocorrer danos sociais (aumento do desemprego, fome, doenças e em casos extremos, morte de pessoas) e econômicos (perda de safra e mortandade de animais). Este é dividido em duas categorias: Demanda hídrica, obtidos a partir do número de habitantes, de estabelecimentos agropecuários e acesso (distância dos poços da comunidade).

Para a efetivação desta etapa foram coletados os dados provenientes do censo demográfico de 2010 e do censo agropecuário de 2017, ambos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Também foram empregados os dados de poços tubulares disponibilizados pelo Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2020), do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Os intervalos de classes foram definidos pelo método do “Quebra Natural” (*Natural Breaks*) este método ajusta os limites das classes de acordo com a distribuição dos dados, identificando pontos de quebra entre as classes, utilizando uma análise estatística que se baseia na variabilidade dos dados, que minimiza a soma da variância dentro de cada uma das classes. Este método encontra agrupamentos e padrões inerentes aos dados, diferenciando áreas entre si (SALLUN *et al.*, 2007).

#### ➤ **População atendida *per capita***

É obtida pelo cruzamento dos dados de oferta e demanda de água e se constitui em uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, permitindo a identificação de áreas de risco quanto a insegurança hídrica, sendo informação fundamental para tomadas de decisões pelo poder público.

Os valores de disponibilidade hídrica *per capita* consultados na referida base de dados, resultam do balanço hídrico entre a oferta hídrica (somatório das vazões dos poços em uso) em cada UTAs, disponíveis no SIAGAS e da demanda hídrica (populações aferidas no Censo 2010, IBGE, 2010).

$$\text{PopA} = \text{Oferta}/\text{Pop}$$

[Equação 1]

Onde:

PopA = número de habitantes atendidos (l/hab/dia)

Oferta =  $\sum Q \times T_b$

$\sum Q$  = somatório das vazões dos poços (l/h)

$T_b$  = tempo de bombeamento (horas por dia) foi adotado de 8 horas/dia;

Pop = número de habitantes

➤ **Demanda hídrica necessária *per capita***

A estimativa das demandas relativas ao uso para abastecimento humano de água tem por objetivo subsidiar os estudos técnicos que visam manter atualizado o balanço entre a demanda e a disponibilidade dos recursos hídricos.

Para o cálculo da demanda hídrica humana são precisos basicamente dois dados: quantidade de habitantes e a taxa de consumo.

A demanda hídrica necessária, foi obtida a partir da diferença entre a disponibilidade total (vazão média dos poços) subtraído da demanda hídrica (multiplicação do número de habitantes por 100 l, valor este adotado como demanda mínima para abastecimento humano (ANA, 2010)).

$$D_n = \sum (Pop - PopA) \quad \text{[Equação 2]}$$

Onde:

$D_n$  = demanda necessária

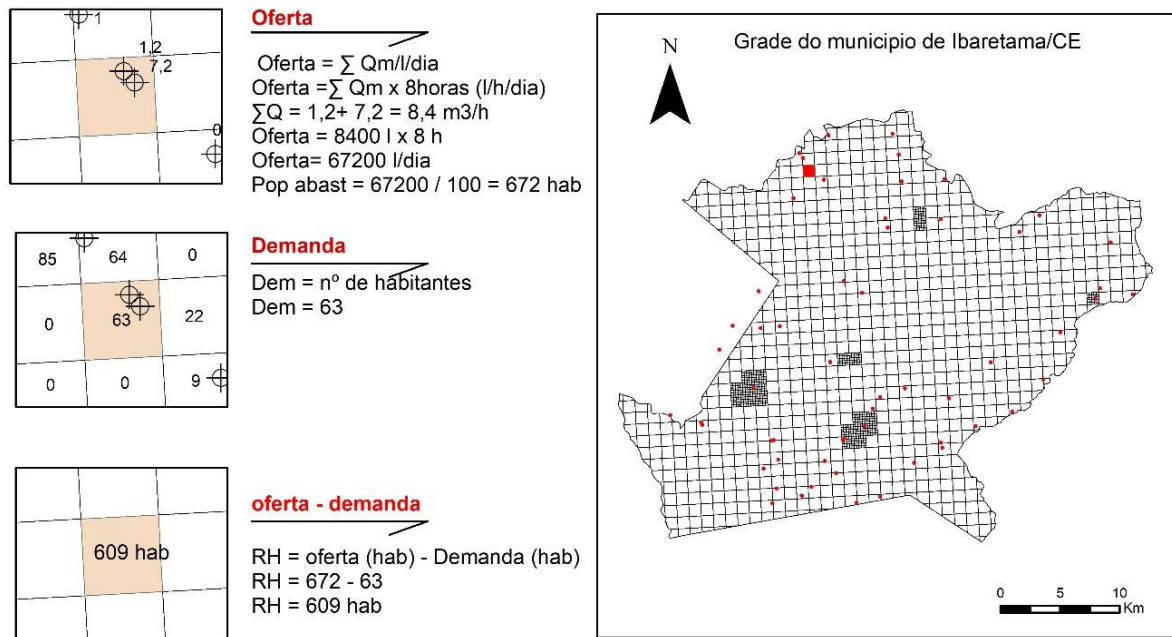
$Pop$  = número de habitantes

$PopA$  = número de habitantes atendidos

O cálculo da demanda necessária é importante para a definição das áreas de risco e, portanto, da quantidade de vazão necessária, o que pode indicar a quantidade de poços necessários para suprir esta demanda.

No exemplo da Figura 39 a UTA possui dois poços com vazões de 1,2 e 7,2 m<sup>3</sup>/h, respectivamente, essas vazões são somadas, e multiplicado por 8, (considerado o bombeamento diário de 8 horas), o resultado é dividido pelo valor per capita (100 litros), tem-se portanto o número de habitantes que pode ser abastecido por esta oferta, no caso 672 habitantes. O próximo passo é subtrair esse valor por 63 que é número de habitantes da UTA em questão, ficando UTA: 672 – 63 = 609, portanto neste caso esta UTA apresenta a capacidade de abastecer 609 pessoas/dia ou seja, possui 60.900 l/dia.

Figura 39 – Cálculo da demanda hídrica necessária por UTAs.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A baixa cobertura de abastecimento hídrico (áreas de risco hídrico), de um local está fortemente ligada a magnitude da escala populacional, ou seja, do número de pessoas. Comunidades pequenas (menor que 200 habitantes) inviabilizam o rateio dos custos de operação e manutenção das soluções coletivas, tais como o Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). Para as comunidades pequenas é indicado o uso de Sistema de Abastecimento Comunitário (chafariz).

A demanda hídrica necessária (D) é um parâmetro que define a necessidade hídrica por cada UTA. Quanto maior o número de habitantes não atendidos (Tabela 12) por águas subterrâneas maior a possibilidade de escassez hídrica durante uma seca, visto que as capacidades de armazenamento dos recursos hídricos superficiais tendem diminuir consideravelmente. Sendo definido pela diferença entre o número de habitantes e número de habitantes não atendidos. Possui, portanto, o maior peso entre todos os parâmetros.

Tabela 12 – Demanda hídrica necessária.

<b>Habitantes</b>	<b>Valor</b>
> 5	1
6 – 10	2
11 – 20	3
21 - 50	4
51 - 100	5
101- 200	7
> 200	9

Fonte: Elaborada pelo autor.

### ➤ Estabelecimentos agropecuários

Os dados sobre os estabelecimentos agropecuários, representa uma unidade agrícola, que pode abranger um ou vários imóveis rurais. Este tipo de estabelecimento abrange toda unidade de produção ou exploração dedicada, total ou parcialmente, a atividades agropecuárias, florestais e aquícolas. Os dados extraídos do IBGE (2017), não fazem distinção quanto ao porte (tamanho), tipo ou área apenas indica o local. Portanto este fator foi ponderado quanto a quantidade de estabelecimento, ou seja, quanto maior o número de estabelecimentos agropecuário, maior a demanda de água (Tabela 13).

Tabela 13 – Intervalos de Estabelecimentos Agropecuários e seus valores de classificação.

<b>Estabelecimentos agropecuário</b>	<b>Valor</b>
< 4	1
4 – 8	3
8 – 12	5
12 – 20	7
> 20	8

Fonte: Elaborada pelo autor.

### ➤ Acesso a água distância do poço tubular

O acesso a água (Tabela 14) quanto a sua distância da moradia é um componente importante a ser levado em consideração, pois quanto maior a distância maior a dificuldade para se conseguir água.

A ONU, recomenda que a fonte de água deve estar localizada a uma distância máxima de 1km da moradia (OHCHR; UN-HABITAT; WHO, 2010 *apud* MACHADO *et al.*, 2016). Para verificação das UTAs mais problemáticas quanto ao abastecimento, foram locados no mapa os pontos de oferta (poços tubulares em uso) e os de demanda (habitantes e

estabelecimentos agropecuários), compilados respectivamente do SIAGAS (2020) e IBGE (2010, 2017).

Tabela 14 – Acesso a água (distância do poço tubular).

<b>Acesso a água (km)</b>	<b>Valor</b>
Distância menor que 1km	1
Distância maior do que 1km	4

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### ➤ **Categoria geoambiental**

Os intervalos de classes de solo, topografia e litologia do aquífero foram adotadas de Aller *et al.*, 1987.

#### ➤ **Pluviosidade**

A pluviosidade é um importante parâmetro quando se trata de seca, pois a ausência da mesma em períodos prolongados que define este evento. Quanto menor a pluviosidade menor será a capacidade do armazenamento das águas, principalmente das superficiais, que sofrem a ação intensa das evaporações.

Considerando que precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm é um dos critérios para delimitação do semiárido (SUDENE, 2017), esse valor 800 mm/anual foi adotado como referência para as classes de pluviosidade contidos na Tabela 15.

Tabela 15 – Intervalos de pluviosidade e seus valores de classificação.

<b>Precipitação (P)</b>	
<b>Ppt (mm/ano)</b>	<b>Valor (v)</b>
< 600	1
600 – 640	2
640 – 680	4
680 – 720	6
720 – 760	8
760 – 800	9
> 800	10

Fonte: Elaborada pelo autor.

➤ **Declividade (D)**

A declividade (T) de um terreno é responsável pela variação da velocidade e direção de fluxo superficial, podendo indiretamente pode indicar os locais de maior infiltração. Este parâmetro é classificado por meio de porcentagens que definem a declividade do terreno (Tabela 16). Quanto menor a declividade, maior será o tempo de permanência da água e maior a chance de infiltração. Por outro lado, com a situação inversa, haverá um menor tempo de subsidência da água sobre a superfície e uma menor probabilidade de infiltração.

Tabela 16 – Intervalos de declividade e seus valores de classificação.

<b>Declividade (D)</b>	
<b>Intervalo de Valores (%)</b>	<b>Valor (v)</b>
<b>0-2</b>	10
<b>2-6</b>	9
<b>6-12</b>	5
<b>12-18</b>	3
<b>&gt;18</b>	1

Fonte: ALLER *et al.*, 1987.

➤ **Solo (S)**

O solo (S) é a parte que recobre o aquífero, podendo ser de origem da própria rocha adjacente ou, por processos de erosão, ter sido transportado e depositado em outra região. Assim como a litologia, o solo pode ser um agente de contribuição de infiltração da água, por sua espessura (Tabela 17).

Tabela 17 – Tipos de solos e seus valores de classificação.

<b>Tipo de Solo (S)</b>	
<b>Tipo de Solo</b>	<b>Valor (r)</b>
<b>Argila não expansiva e não agregada</b>	1
<b>Orgânico</b>	2
<b>Marga argilosa</b>	3
<b>Marga siltosa</b>	4
<b>Marga</b>	5
<b>Marga arenosa</b>	6
<b>Argila expansiva e agregada</b>	7
<b>Turfa</b>	8
<b>Areia</b>	9
<b>Cascalho</b>	10
<b>Solos pouco espessos ou ausentes</b>	10

Fonte: ALLER *et al.*, 1987.

### ➤ Litologia do Aquífero

A composição da litologia (L) de um aquífero, pode ser a responsável pela capacidade de armazenamento das precipitações. Em determinados casos, essa ação pode ser diminuída ou anulada com a ausência de fraturas. De acordo com as características litológicas do aquífero (Tabela 18).

Tabela 18 – Litologia do aquífero e seus intervalos.

Litologia (L)	
Litologia	Valor (v)
Argilas, margas e siltes	2
Rochas ígneas e metamórficas	3
Rochas ígneas e metamórficas alteradas	4
Intercalações de arenitos, argilas e calcários	6
Arenitos maciços	6
Calcários maciços	6
Areias, cascalhos e conglomerados	8
Vulcânicas	9
Calcários cársticos	2

Fonte: ALLER *et al.*, 1987.

Por fim, o índice da vulnerabilidade é obtido a partir da soma ponderada entre os produtos dos sete parâmetros (Equação 3).

Índice de vulnerabilidade MARIH:

$$Dv.Dp + Ev.Ep + Av.Ap + Pv.Pp + Dev.Dep + Sv.Sp + Lv.Lp \quad \text{[Equação 3]}$$

Onde:

v = valor; p = peso

D = demanda habitantes; E = estabelecimentos agropecuários; A = acesso a água;

P = precipitação; De = declividade; S = solo e L = litologia do aquífero.

O resultado desta equação, para o índice de classificação MARIH, pode variar entre os valores mínimos e máximos de 14 e 153 respectivamente (Tabela 19), quando todos os parâmetros forem submetidos a valores de classificação 1 ou 10 respectivamente.

Tabela 19 – Classificação de Risco.

<b>Classificação de Risco</b>	
<b>Índices de vulnerabilidade</b>	<b>Risco</b>
<50	R1 – Risco baixo
66-90	R2 – Risco médio
91-115	R3 – Risco alto
> 115	R4 – Risco muito alto

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesta etapa foi realizada o cruzamento entre as shapefiles de vulnerabilidade analisadas. Este procedimento tem por objetivo identificar o grau de risco das UTAs.

### **5.2.3 Resultados**

Os resultados foram analisados tanto no aspecto socioeconômico (demanda hídrica necessária, estabelecimentos agropecuários, acesso a água), como no aspecto geoambiental (pluviosidade, topografia, solos e litologia do aquífero).

O território de Ibaretama/CE, com extensão de 877,25 km<sup>2</sup> está organizado em cinco distritos, e um total de 890 unidades territoriais de análise (UTAs), que abrigam 12.922 habitantes segundo o CENSO (IBGE, 2010).

Aspectos socioeconômicos

➤ Demanda hídrica necessária

Das 985 unidades territorial de análise (UTAs) apenas 345 (35%) apresentam habitantes. A distribuição da população ocorre de maneira difusa com 283 UTAs (81,5%), totalizam populações abaixo de 50 habitantes por km<sup>2</sup>, representando 4198 pessoas (32,2%). Os dados da Tabela 20 foram obtidos a partir da diferença entre a disponibilidade total (vazão média dos poços) subtraído da demanda hídrica.



Tabela 20 – Demanda hídrica necessária - segundo as UTAs – Ibaretama/CE.

Classes de Pop (num. habitantes)	População	UTAs	
		Num de UTAs	% UTAs
1 – 5	237	75	22
6 – 10	497	64	8,5
11 – 20	975	65	9
21 – 50	2489	79	22
51 – 100	2743	41	12
101 – 200	1934	15	4,5
201 - 2213	4155	6	2
<b>TOTAL</b>	<b>13030</b>	<b>345</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

As comunidades de Ibaretama são geralmente pequenas, com distribuição espacial de forma dispersas por áreas relativamente grandes. A observação da distribuição das comunidades, revela que as mesmas possuem um crescimento do tipo de fita, ocorrendo longitudinalmente ao longo das estradas carroçáveis (Figura 40).

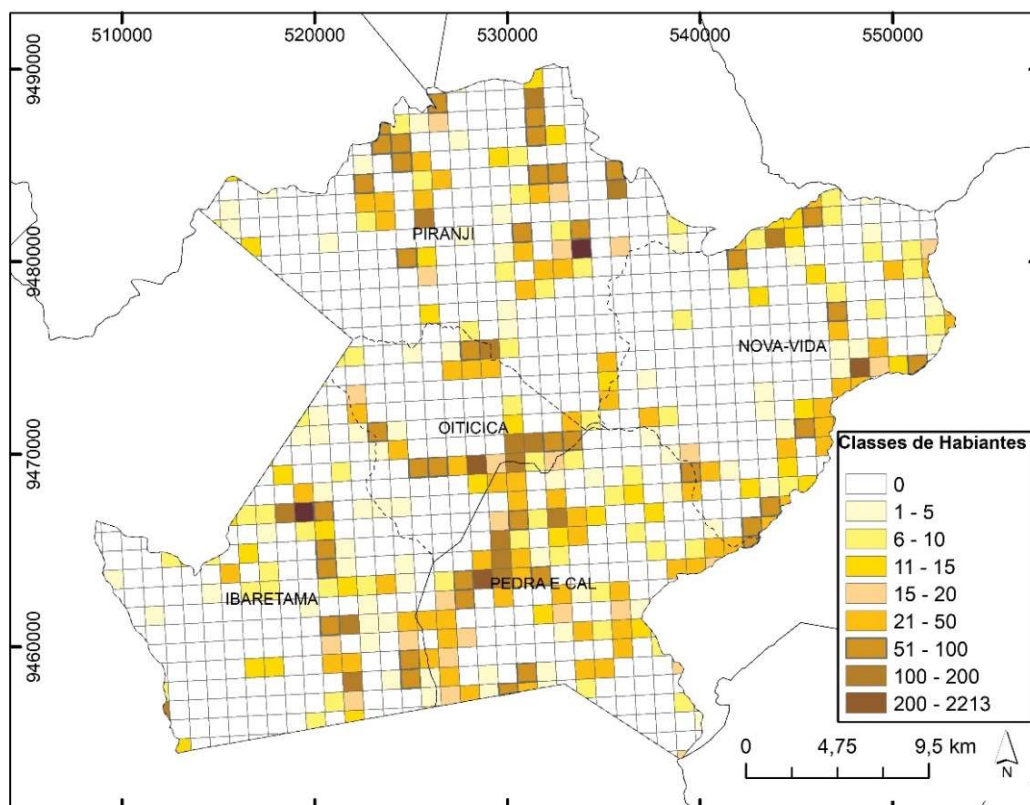
Figura 40 – Comunidades com crescimento tipo “fita” – Distrito de Ibaretama – ago/2019.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 41 mostra a distribuição espacial da demanda hídrica, esta distribuição de forma difusa, dificulta o uso de sistema de abastecimentos em rede.

Figura 41 – Classes de habitantes – Ibareta/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A zona rural do município de Ibareta é abastecida por 72 poços em uso, que integram apenas 72 UTAs das 985 UTAs.

#### ➤ Demanda Agropecuária

A partir da análise do Censo Agropecuário 2017 foi verificado que o município de Ibareta possui 1419 estabelecimentos agropecuários (EA), distribuídos em 304 UTAs (Figura 42), tendo como principal uso da água para irrigação das lavouras temporárias de milho (61 ha) e feijão (1616 ha), apenas uma pequena parcela é utilizada para os animais e para o abastecimento da zona rural. Estes estabelecimentos foram classificados em cinco classes (Tabela 21).

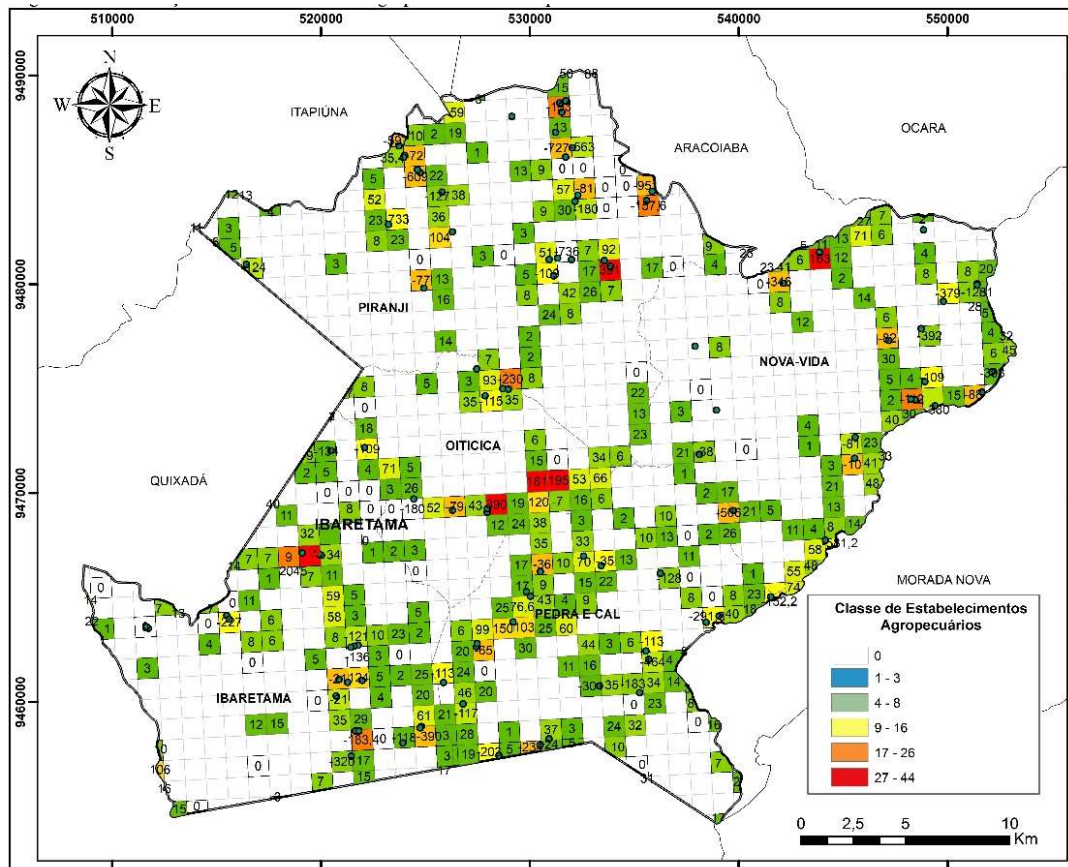
A classe que mais se destaca com 384 estabelecimentos agropecuários (EA) é a faixa de 9 a 16.

Tabela 21 – Classes de habitantes segundo as UTAs – Ibaretama/CE.

Classes de Estabelecimentos	Pop	Num de UTAs
<b>Agropecuários</b>		
1 – 3	305	192
4 – 8	343	63
9 – 16	384	33
17 – 26	272	13
27 – 44	115	3
<b>TOTAL</b>	<b>1419</b>	<b>304</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 42 – Distribuição dos Estabelecimentos Agropecuários – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

➤ Acesso a água

O sertanejo muitas vezes utiliza-se de sistema rudimentar (carroça) para transportar água e precisar percorrer vários quilômetros (Figura 43).

Figura 43 – Transporte de água por meio de carroça – out/2019 – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando a distância da fonte de abastecimento temos que no município de Ibaretama/CE das 342 UTAs com habitantes, existem 211 UTAs (62%), com acesso dentro do limite recomendado pela ONU, sendo que 2409 habitantes distribuídos em 131 UTAs (38%) situam-se a mais de 1 km (Tabela 22).

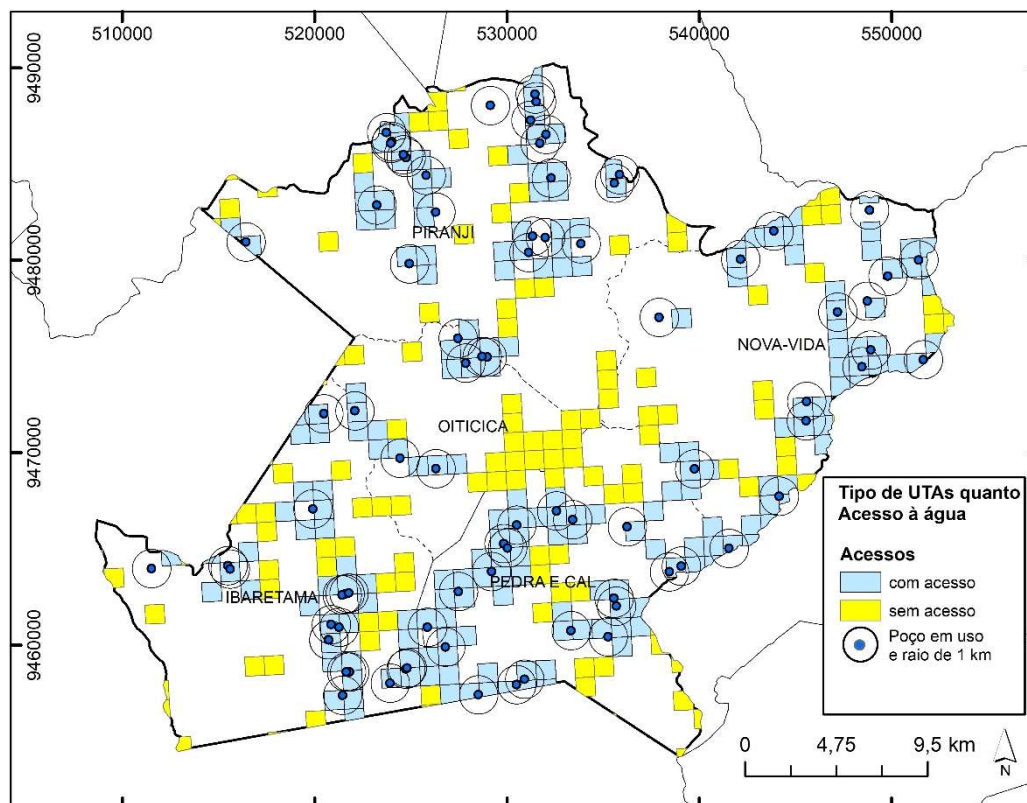
Tabela 22 – Vulnerabilidade: Acesso - distância da fonte (km) por UTAs– Ibaretama/CE.

<b>Distância da fonte (km)</b>	<b>Num de Habitantes</b>	<b>Num de UTAs</b>	<b>% UTAs</b>
Até 1 km	7149	211	62
> 1km	2409	131	38
<b>Total</b>		<b>342</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 44 mostra a distribuição das UTAs quanto a fonte hídrica (poço tubular).

Figura 44 – Mapa de acesso à fonte de abastecimento - Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### ➤ Aspectos geoambientais

Os desastres naturais têm a particularidade de relacionar-se com a superfície terrestre, seja ela em estado original, seja alterada pelo uso. Veja-se o exemplo da seca. Sabe-se que este perigo é dependente das condições físicas de um terreno (declividade, espessura do manto de alteração, comportamento da precipitação). Neste sentido, as características do espaço natural podem intensificar ou não a ocorrência e a magnitude de um evento potencialmente danoso.

Para representar a dinâmica dos fatores de vulnerabilidade hídrica de Ibaretama/CE e, assim, obter as estatísticas que constituem a dimensão Geoambiental, os diversos temas desta dimensão, foram obtidos de levantamento de dados elaborados a partir de trabalhos já efetuados como o mapas de solo realizado por Embrapa (2008), e análise de dados com a elaboração de novos mapas tais como o mapa de declividade elaborado a partir do MDE, mapa de sistema aquíferos elaborado a partir do mapa de geologia (CPRM,2014), mapa de pluviosidade foi

elaborado a partir de uma série de 29 anos 1989 a 2018, distribuídos em seis estações pluviométricas.

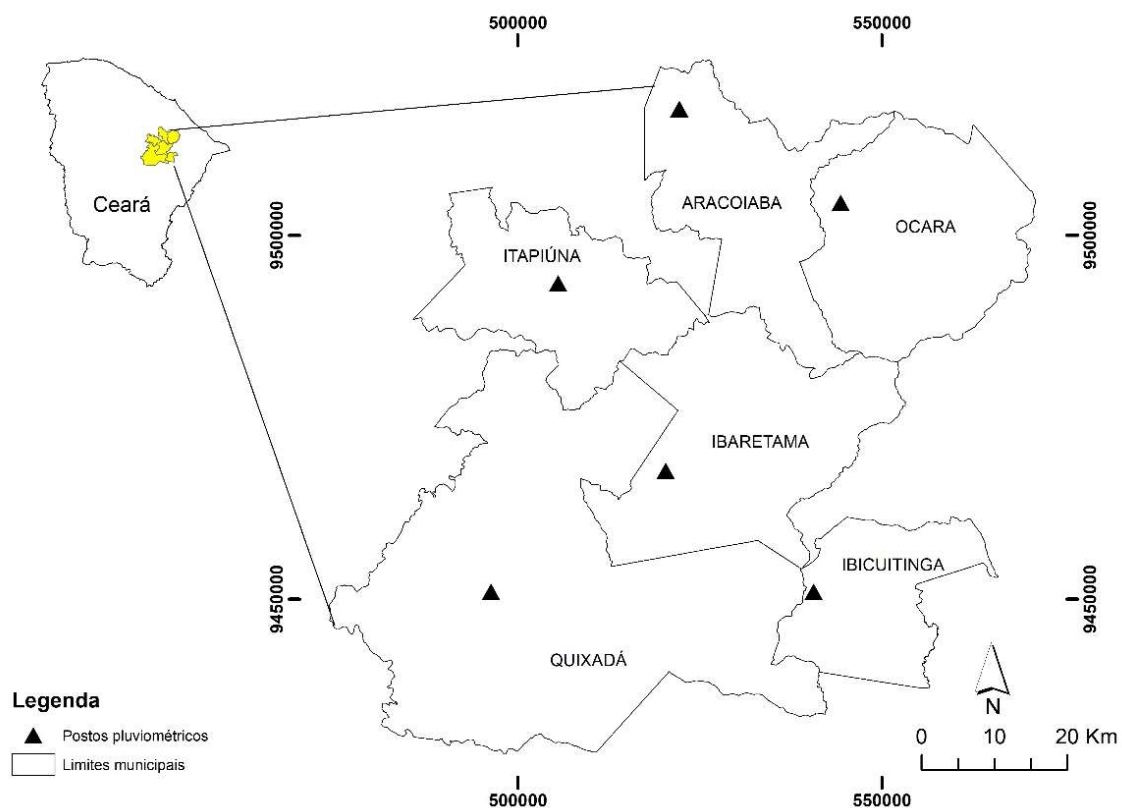
Os indicadores da dimensão geoambiental refletem a importância das classes quanto a sua vulnerabilidade para a conservação dos recursos hídricos, e são traduzidas por métricas obtidas a partir de pesos, calculadas para cada UTAs (unidade territorial de análise) composta por células regulares de  $1000 \times 1000$  m (células).

A dimensão geoambiental diz respeito, essencialmente, aos processos e dinâmicas que tem relação direta com as águas subterrâneas. Estes processos associam-se diretamente à vulnerabilidade hídrica, para a manutenção da qualidade de vida e bem-estar das populações humanas. Esta dimensão parte do pressuposto que a composição e configuração da paisagem estão associadas à manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos.

#### ➤ Pluviometria

Ao tratar-se dos procedimentos técnicos operacionais que resultaram no mapa pluviométrico e em suas respectivas informações, primeiramente foi identificado os postos pluviométricos disponibilizados pela FUNCEME, assim, no município de Ibareta possui três postos pluviométricos, no entanto, apenas o posto da sede municipal apresentou dados consistentes. Já os outros postos, correspondem aos municípios limítrofes a Ibareta, são eles: Aracoiaba, Itapiúna e Ocara, municípios pertencentes a região de planejamento Maciço de Baturité e os municípios de Ibicuitinga e Quixadá, localizados na região do Sertão Central (Figura 45).

Figura 45 – Localização dos postos pluviométricos da FUNCEME.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A precipitação média anual foi determinada a partir do mapa de isoietas, elaborado para Ibaretama/CE, através da interpolação com o método do Inverso do Quadrado a Distância (IDW) das Normais de Precipitação Total.

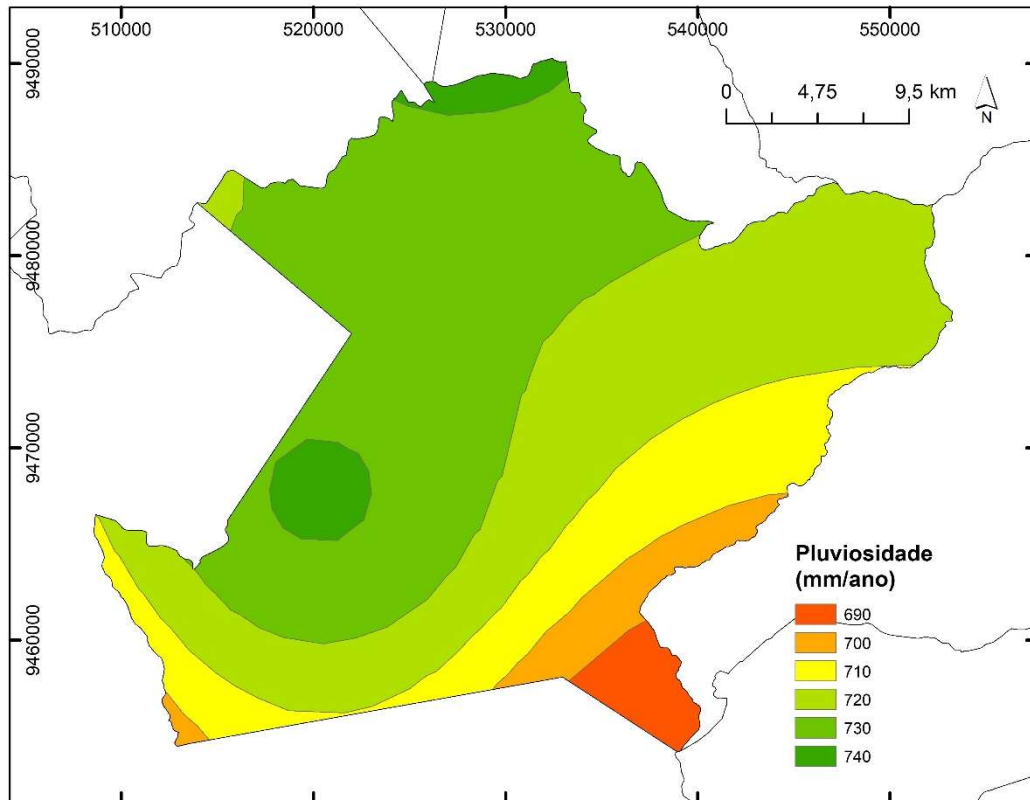
Além da quantificação e interpretação dos postos acima apresentados, foi necessário tabular a média pluviométrica dos municípios ao longo da série histórica dos últimos trinta anos. Assim, fez-se espacializar, no Mapa 6, a média pluviométrica aproximada dos anos de 1989 a 2019.

A partir dos valores pontuais, foi realizada a interpolação através do software ArcGis 10.2, extensão *Spatial Analyst*, módulo *Topo to Raster*. O módulo Topo to Raster foi escolhido por utilizar uma técnica de interpolação por diferenças finitas, que combina a eficiência de uma interpolação local (por exemplo, o método do Inverso do Quadrado da Distância), com métodos de interpolação global que utilizam uma superfície de continuidade, como o interpolador Kriging (McCOY & JOHNSTON, 2002). Os arquivos de saída são no formato de imagens raster.

Foi realizado a análise a partir dos dados da FUNCEME em 30 anos que gerou a Figura 46, mostra que o município quanto aos valores de baixa amplitude de valores (50 mm),

e pouca variação espacial de com máximas de 720mm/ano na porção oeste e mínimas de 690 mm no lado leste com 690 mm/ano. Convém destacar que a topografia condiciona a pluviosidade, pois as maiores pluviosidades (740mm) ocorrem ao longo da Serra Azul.

Figura 46 – Precipitação total anual média – 1989 – 2019 – Ibaretama/CE.

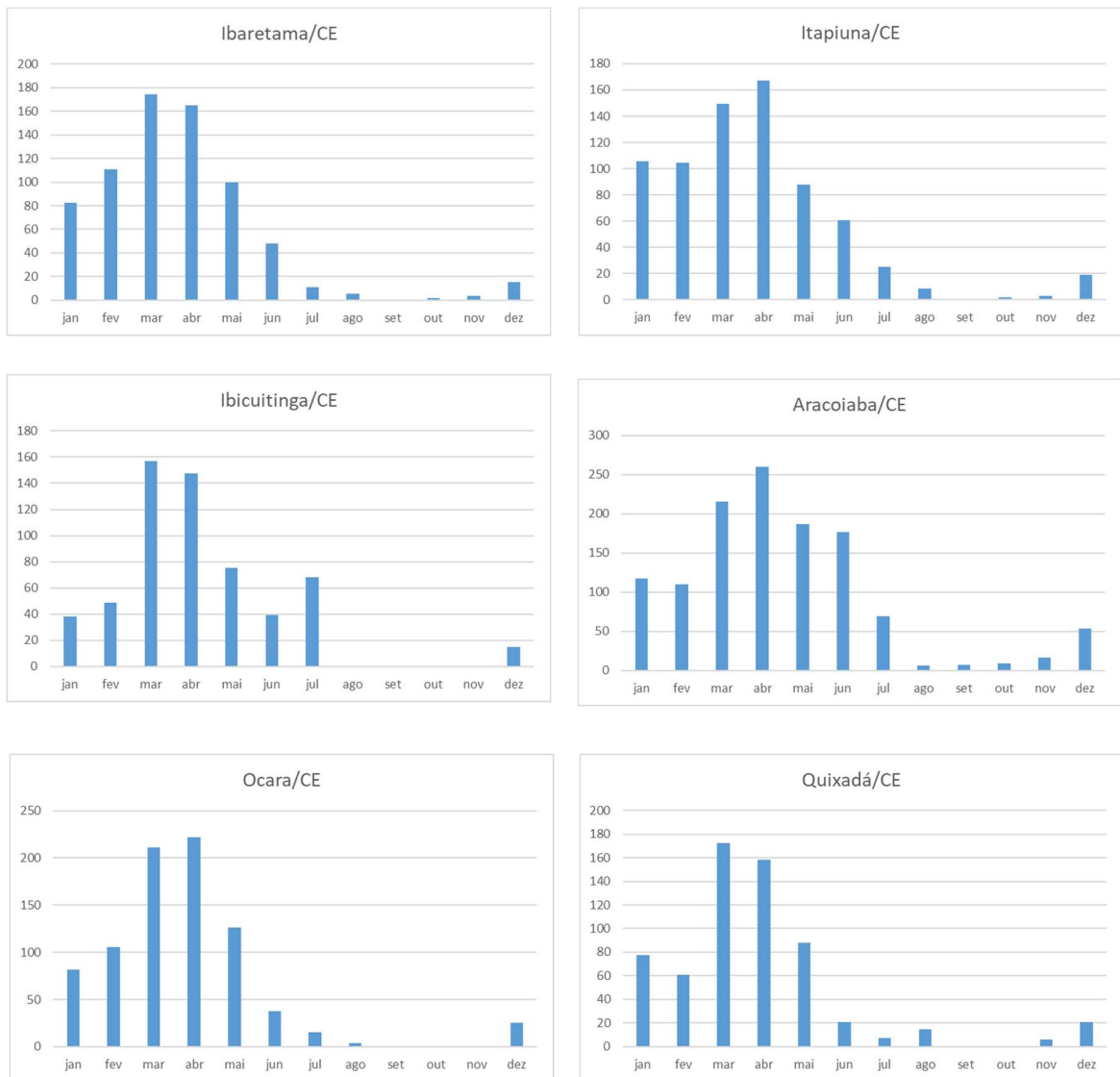


Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 47 mostra os gráficos da precipitação média anual, das seis estações utilizadas no estudo, o município de Aracoiaba apresenta as maiores médias mensais de precipitações com 260 mm no mês abril, o município com as menores média é o do município de Itapiúna.



Figura 47 – Estações utilizadas - precipitação média (mm/ano).



Fonte: Elaborada pelo autor.

### ➤ Declividade

A declividade é um fator preponderante na determinação dos processos de infiltração, uma maior declividade aumenta a velocidade de escoamento superficial da água, diminuindo a possibilidade de infiltração, já em declividade menor a água escoava numa velocidade menor, favorecendo a infiltração (KARMANN, 2000).

Para a modelagem foi adotado as classes de declividades do modelo DRASTIC (*United States Protection Agency apud Rolim, 2017*), que classifica em 5 classes (0 a 2%, 2 a 6%, 6 a 12%, 12 a 18% e acima de 18%) (Tabela 23).

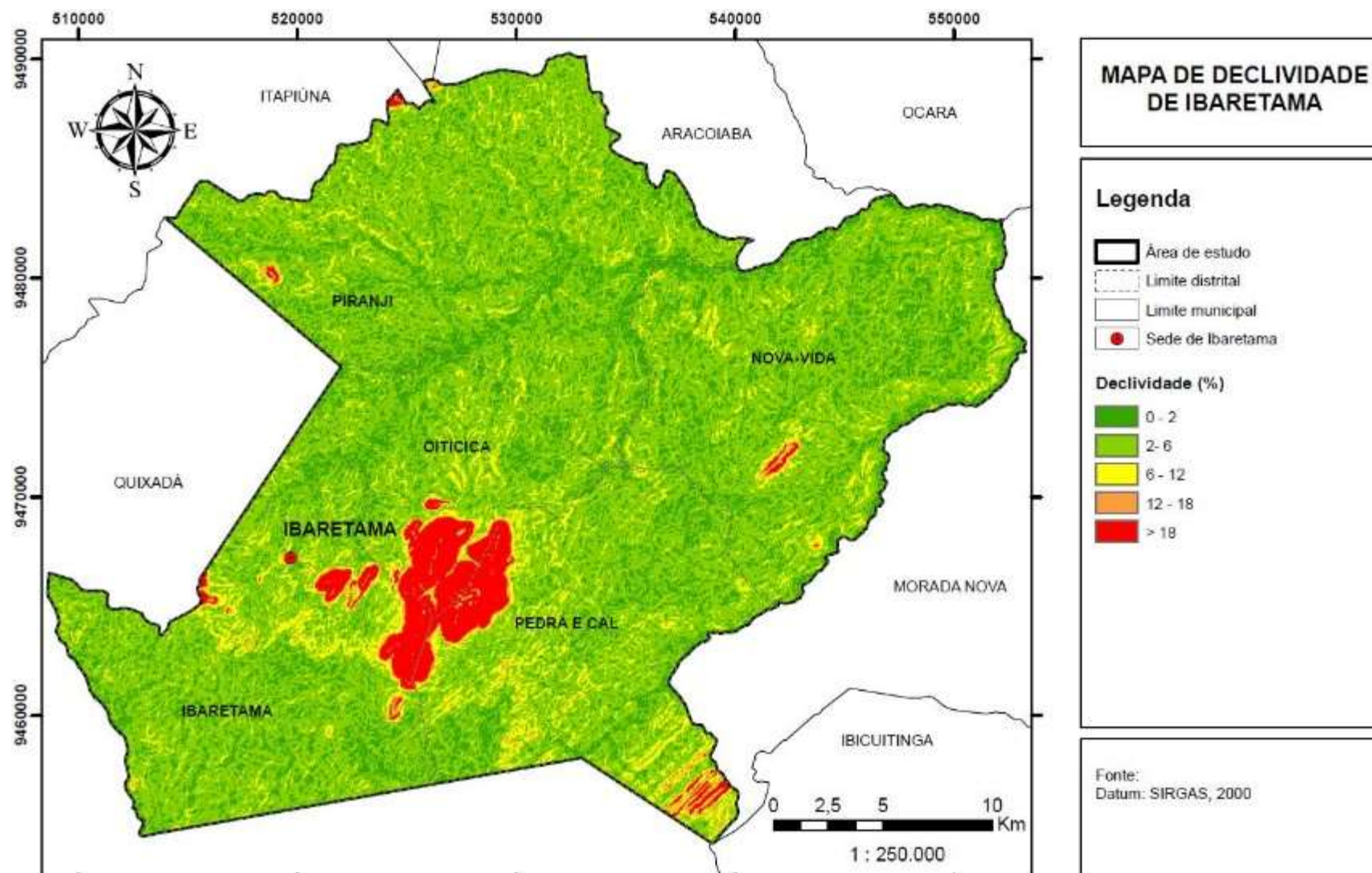
Tabela 23 – Intervalos de declividade e seus valores de classificação.

<b>Classes de declividade (%)</b>	<b>Valor (v)</b>
0 a 2	1
2 a 6	3
6 a 12	5
12 a 18	9
Acima de 18	10

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* 1987.

O mapa de declividade (Figura 48) foi executado a partir do modelo digital de terreno (MDT), gerado no *Arc Gis* 10.2.

Figura 48 – Mapa de Declividade de Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

➤ **Pedologia**

A presença de uma cobertura de solos ou sedimentar sobre as rochas cristalinas favorece o processo de infiltração das águas meteóricas, quanto maior a espessura e textura permeável, melhores as condições de infiltração (BARRETO *et al.*, 2001). O mapa de solos produzido pelo RADAMBRASIL V.23(1981) e de Sousa e Ximenes (2013) foi adotado na modelagem. As cores (RGB) do manual técnico de pedologia do IBGE (2007).

Os solos do município de Ibaretama são formados predominantemente por Argissolos (67%), sendo ora vermelho-amarelo eutrófico (34%), ora vermelho eutrófico (33%), possui parcelas menores de Neossolos, Planossolos e Luvisolos; como representados na Figura 49.

As cinco classes de uso do solo (Tabela 24) podem exercer influência no comportamento hidrogeológico, principalmente no tocante às condições de recarga (permeabilidade da superfície). A classe área urbana apresenta relação desfavorável pois as construções e pavimentações impermeabilizam o solo, dificultando a recarga. As áreas onde ocorrem solo exposto podem apresentar diminuição na permeabilidade do terreno. Já as classes campo e mata nativa são benéficas à ocorrência de água subterrânea pois protegem o solo e retêm parte da água da chuva, contribuindo para a infiltração no solo. Os Luvisolos (T) e planossolos (S) são solos incipientes (menos desenvolvidos)

Tabela 24 – Classes de solo.

<b>Solo</b>	
<b>Classe de solos</b>	<b>Valor (v)</b>
Planossolo Háptico	7
Argissolo Vermelho-amarelo	5
Argissolo vermelho	4
Luvisolo	3
Neossolo	2

Fonte: Radam Brasil,1981.

**Argissolos** - Os solos desta classe têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características (IBGE, 2007). São juntamente com os Planossolos, os solos mais expressivos de Ibaretama, sendo verificados em praticamente todas as regiões.

Os Argissolos recobrem a Depressão Sertaneja próximo ao sopé do maciço residual. Encontram-se sobrepostos aos gnaisses da Unidade Canindé e recebem material erodido do

sienogranito da Serra Azul (Granitos Brasileiros). Os solos são vermelhos, profundos, possuem Horizonte B textural rico em argila. Possui boa fertilidade natural, o que caracteriza-o como Eutrófico e é explorado para culturas de subsistência, como feijão e milho.

**Luvissolos** (antigo Bruno Não Cálculo) são solos de profundidade mediana, a mineralogia das argilas condiciona certo fedilamento em alguns perfis no período seco (gretas de contração), sua principal utilização é como pecuária extensiva (IBGE, 2007). Ocorre em forma de pequenas manchas distribuídas a oeste do limite municipal de Ibaretama.

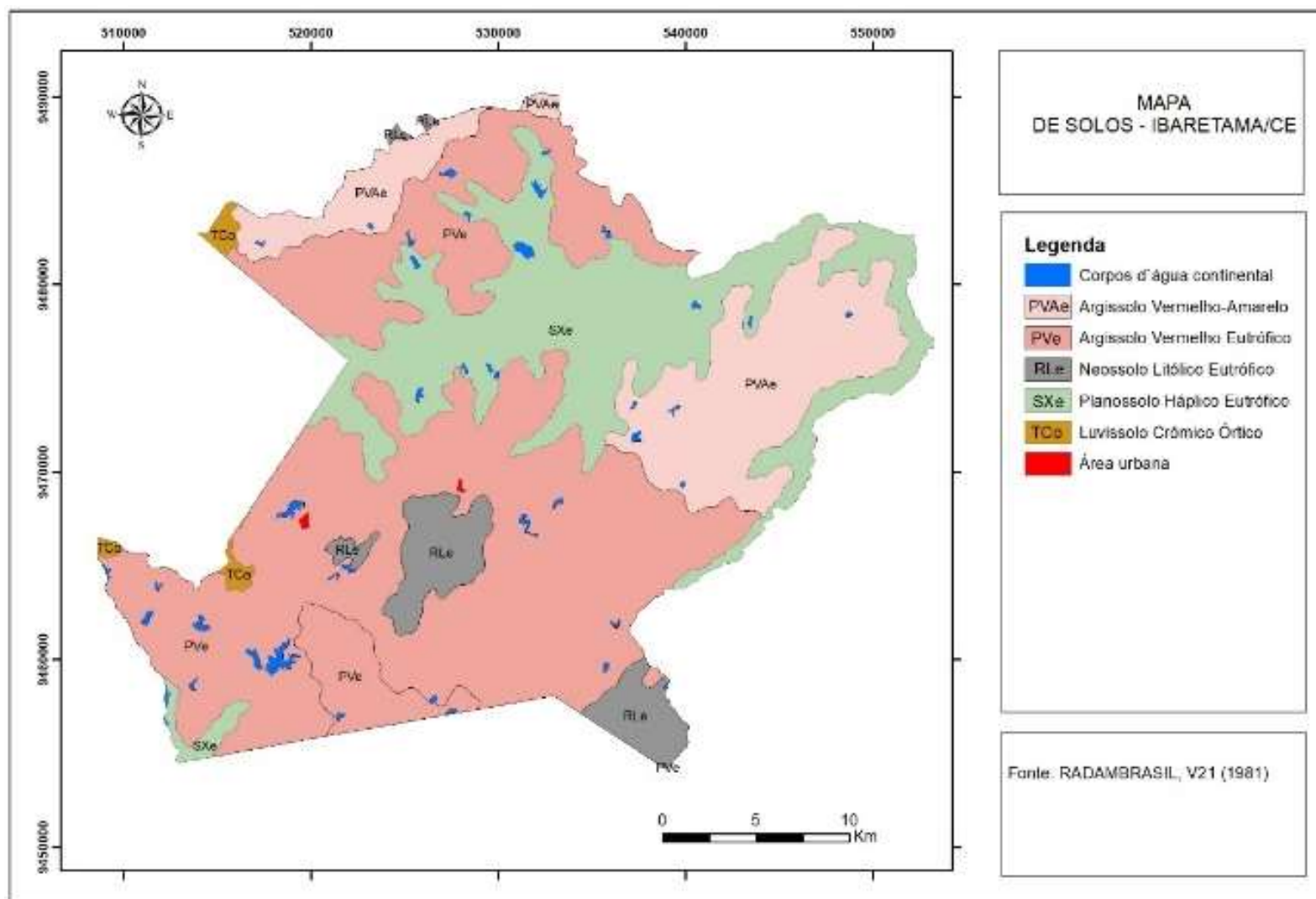
Os Luvissolos são visualizados na Depressão Sertaneja, em relevos planos ondulados, sobre os gnaisses da Unidade Acopiara. São pretos, rasos e apresenta Horizonte B textural com argila. Possuem boa fertilidade natural e é explorado para a agricultura e pastagem.

**Neossolos litólicos**, são solos pedregosos constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso (menos de 30 cm de espessura) (IBGE, 2007). Distribui-se nos maciços residuais localmente representados pela Serra Azul e a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu.

Os Neossolos litólicos são eutróficos ou distróficos, ocorrem sobrejacente ao quartzito, xisto e granito. O solo que recobre o quartzito é vermelho, fino a médio, espesso e localiza-se em regiões planas e nas vertentes das cristas. Constitui-se de quartzo e argilominerais. O solo sobre o xisto é médio a grosso, mais espesso e desenvolvido, composto por mica aluminosa, quartzo e argilominerais. O solo sobreposto ao granito é médio a grosso, pouco espesso e encontra-se nas encostas do maciço residual, possui textura arenosa rica em quartzo, feldspato e mica.

**Planossolos** - Compreendem solos minerais, imperfeitamente ou maldrenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado e geralmente com acentuada concentração de argila, com permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo por vezes um horizonte “pã”, que é responsável pela detenção do lençol d’água sobreposto (suspensão), de existência periódica e presença variável durante o ano (IBGE, 2007). Ocorrem bordejando os principais rios do município.

Figura 49 – Mapa de solos – Ibaretama/CE.



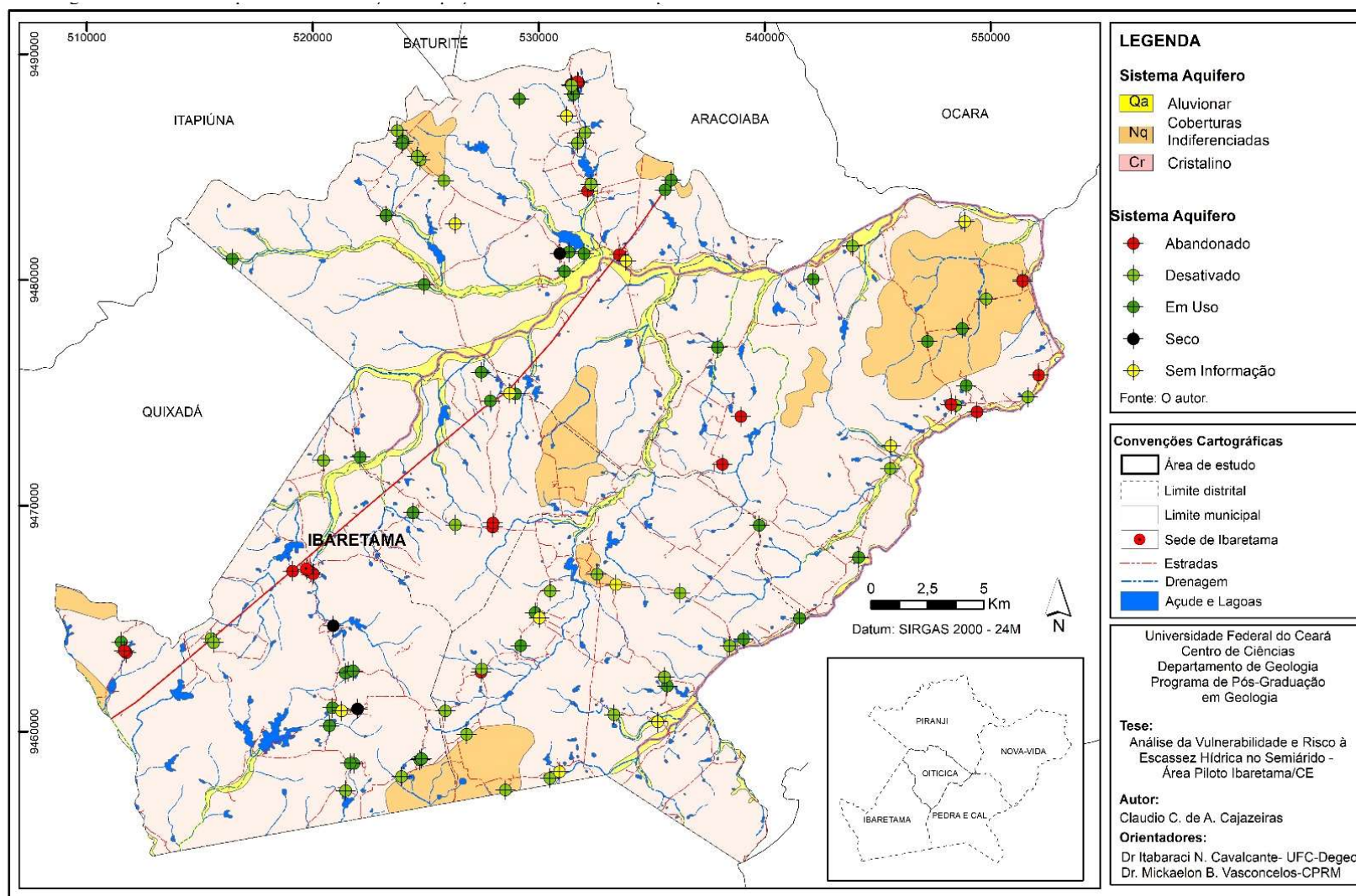
Fonte: Elaborada pelo autor.

➤ Litologia do aquífero

O município de Ibareta hidrológicamente, possui três sistemas aquíferos: Cristalino, Coberturas e aluvionar (este item foi abordado com mais detalhe no capítulo 5.1).

Adotando a classificação de Aller *et al.*, (1987), podemos dizer que o cristalino se enquadra em rochas ígneas e metamórficas com valor 3, as coberturas e o aluvionar enquadram-se na litologia: areias, cascalhos e conglomerados peso 8 (Figura 50).

Figura 50 – Litologia dos Aquíferos.



Fonte: Elaborada pelo autor.



### 5.2.4 Mapa de Risco à Insegurança Hídrica (MARIH)

Os resultados obtidos, referentes aos parâmetros socioeconômicos e geoambientais, descrito ao longo dos itens 5.23 e resumido nas Tabelas 25 (socioeconômicos) e 26 (geoambientais), foram integrados a partir da Equação 3, observada no item 5.2.2.

Tabela 25 – Parâmetros socioeconômicos e seus índices para a área de estudo.

<b>Demanda hídrica necessária (peso = 10)</b>		
<b>Demanda hídrica necessária</b>	<b>valor (v)</b>	<b>índice = v x p</b>
1 – 5	1	10
6 – 10	2	20
11 – 20	3	30
21 – 50	4	40
51 – 100	5	50
100 – 200	7	70
> 200	9	90
<b>Estabelecimento agropecuário (peso =5)</b>		
<b>Estabelecimento agropecuário</b>	<b>valor (v)</b>	<b>índice = v x p</b>
<3	1	5
4 a 8	3	15
9 -16	5	25
17 -28	7	35
27 – 44	8	45
<b>Acesso a água (peso =2)</b>		
<b>Acesso a água</b>	<b>valor (v)</b>	<b>índice = v x p</b>
até 1 km	1	2
> 1 km	4	8

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 26 – Parâmetros geoambientais e seus índices para a área de estudo.

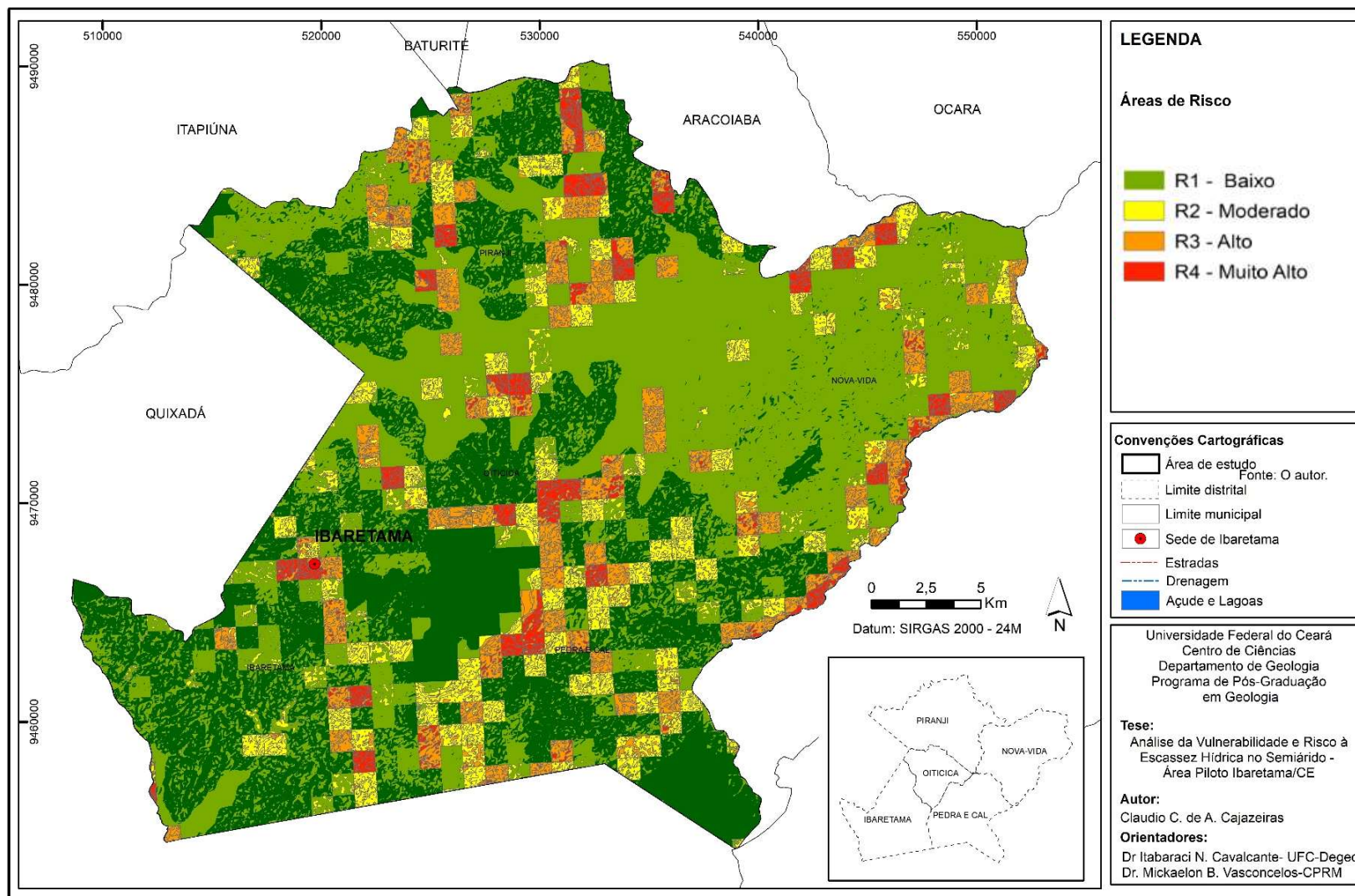
<b>Pluviosidade (peso = 5)</b>		
<b>Pluviosidade (mm/ano)</b>	<b>valor (v)</b>	<b>índice = v x p</b>
< 600	1	5
600 – 640	2	10
640 – 680	4	20
680 – 720	6	30
720 – 760	8	40
760 – 800	9	45
> 800	10	50
<b>Topografia (peso = 4)</b>		
<b>Declividade (%)</b>	<b>valor (v)</b>	<b>índice = v x p</b>
plano (0-2)	7	28
suave (2-5)	5	20
ondulado (5-10)	3	12
montanhoso (>10)	2	8
> 18	1	4
<b>Solo (peso = 5)</b>		
<b>Solo</b>	<b>valor (v)</b>	<b>índice = v x p</b>
planossolo	7	35
argilo vermelho-amarelo	5	25
argilo vermelho	4	20
luvissolo	3	15
neossolo	2	10
área urbana	1	5
Água	1	5
<b>Litologia do Aquífero (peso = 8)</b>		
<b>Litologia do Aquífero</b>	<b>valor (v)</b>	<b>índice = v x p</b>
Aluvionar	9	72
Coberturas	8	64
Cristalino	3	24

Fonte: Elaborada pelo autor.

As células foram então classificadas em quatro níveis de risco hídrico: baixo, moderado, alto e muito alto (Figura 51).

Temos que foram analisados 342 UTAs, sendo a grande maioria de baixo risco 15% (284), 21% (31) de moderado risco, 14% (14) de alto risco e 13 (13) de muito alto risco.

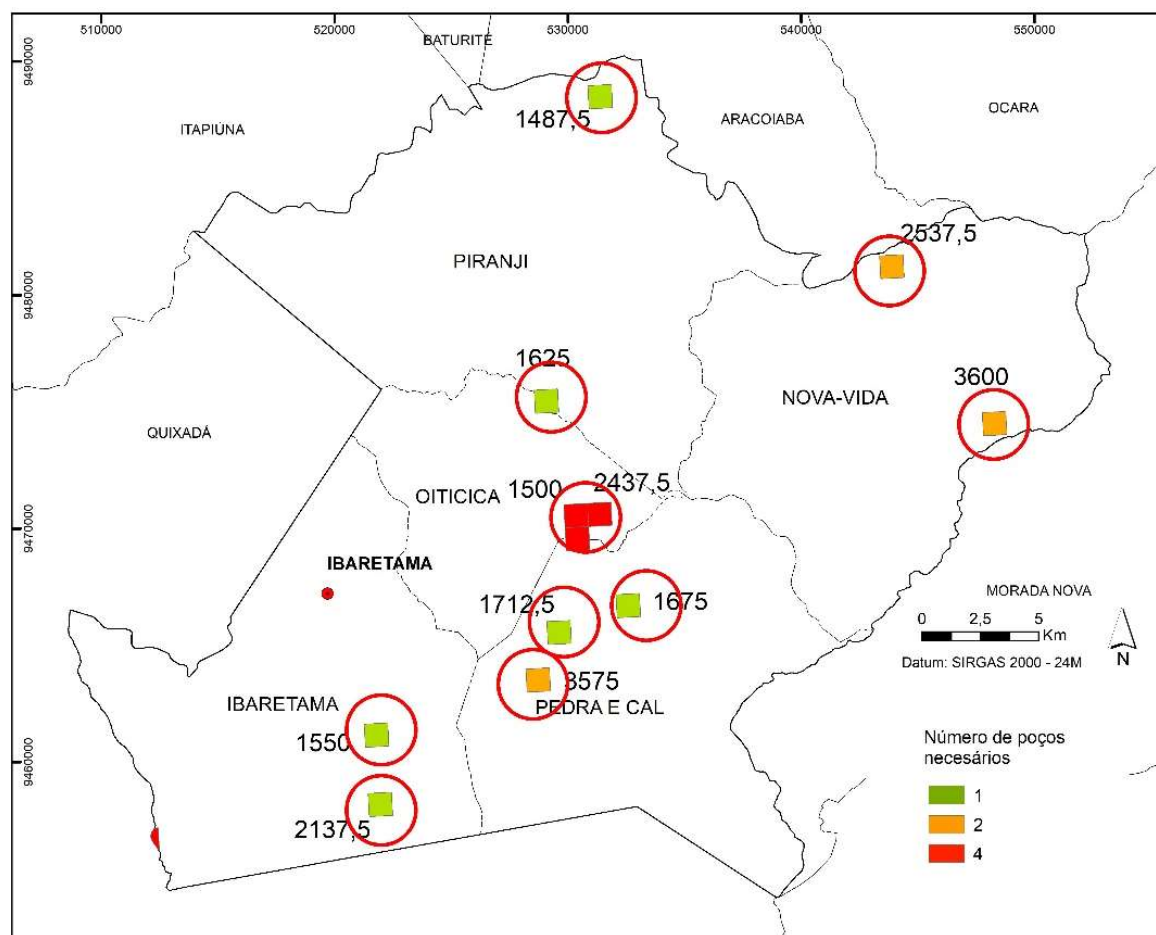
Figura 51 – Mapa de área de risco a insegurança hídrica (MARIH).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando o valor médio de vazão de  $2,6 \text{ m}^3/\text{h}$  (item 5.1) e a vazão demanda de cada UTA de risco muito alto (Figura 52), foi obtido a informação do número de poços tubulares necessários, com a seguinte distribuição 4 poços (distrito de Nova Vida), 2 (Piranji), 4 (Oiticica), 2 (Ibaretama), 4 (Pedra e Cal).

Figura 52 – Mapa da necessidade de poços nas áreas de muito alto risco.

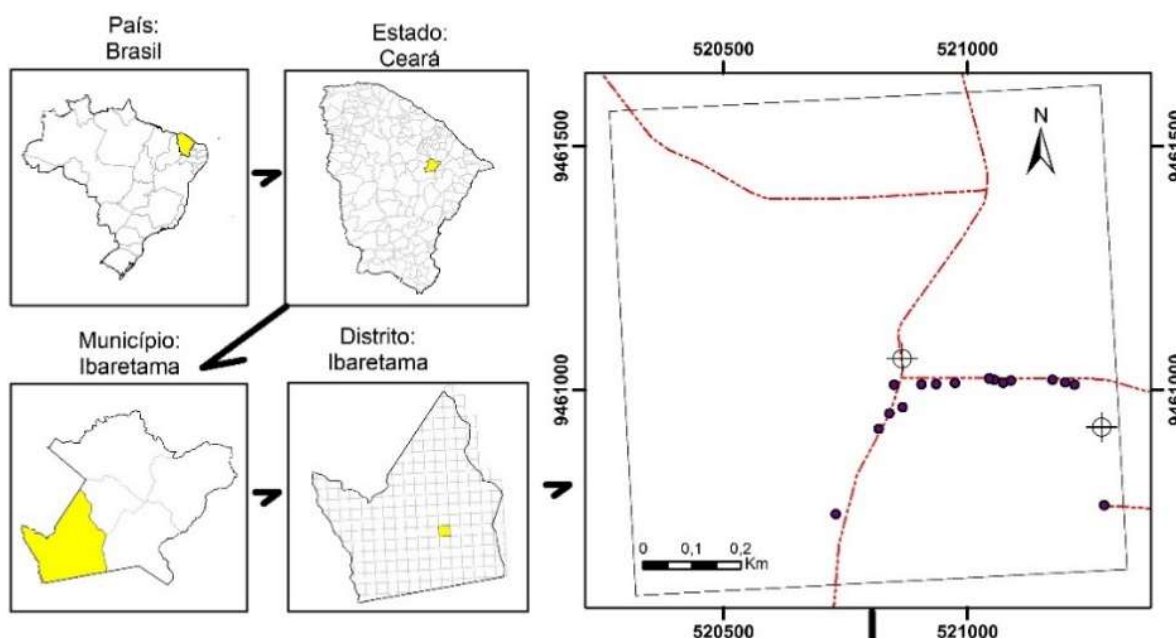


## 6 USO DE ARPS (AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS) NO MAPEAMENTO DE ÁREA DE RISCO MUITO ALTO

Nesse capítulo, buscou-se avaliar o potencial de utilização de produtos de imagens aéreas obtidas por Aeronave Remotamente Pilotada – RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*), visando a atualização do número de habitantes e de poços tubulares, bem como a elaboração de mapa de declividade e de altimetria, visando com isto dar subsídios ao mapeamento de detalhe das áreas de risco muito alto (R4) já discutidos no item 5.2 (Mapeamento das áreas de risco).

A área está localizada, no distrito de Ibaretama, e possui 100 hectares (malha de 1 x 1 km<sup>2</sup>) distante 15 quilômetros da sede municipal de Ibaretama, norte do Estado do Ceará (Figura 53).

Figura 53 – Localização da grade mapeada com o RPAS - Ibaretama, Ceará.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O trabalho de campo foi realizado no dia 29 de março de 2019, por duas equipes (Figura 54), e constou inicialmente do reconhecimento do local estudado, visita e seleção previa dos locais para marcação dos pontos controle e checagem, também, seleção dos locais de decolagem, e quando necessário, pequenas correções dos planos de voo.

Figura 54 – Equipes de campo, utilização de dois carros 4 x 4.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a preparação do plano de voo procedeu-se com a revisão do equipamento e manutenção preventiva dos mesmos, armazenamento das informações e das missões planejadas.

O planejamento e execução de voo (Figura 55) foi realizado no aplicativo de mapeamento aéreo chamado Dronedeploy disponível para sistema IOS e Android. Este aplicativo permite ao usuário planejar o voo pela inserção de waypoints, tendo em vista as seguintes informações: altitude de voo, velocidade, tempo de voo, captura das fotos, sobreposição das imagens, entre outros parâmetros.

Figura 55 – Preparando o Drone Phantom 4 para voo - Ibaretama, Ceará.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O Phantom 4 pode operar com velocidade do vento em até 35,40 km/h, porém não é indicado voar próximo deste valor. O aconselhado, para uma melhor margem de segurança, seria voar até velocidade de 25 km/h. Por isso, a importância de medir a velocidade máxima do vento e a sua direção através de um Anemômetro. Vale ressaltar, que as linhas de voo têm que se sobrepor, pelo menos em parte, umas sobre as outras para que o programa de processamento possa integrar os dois voos. Na Tabela 27 encontra-se a síntese dos parâmetros básicos para o planejamento e execução dos dois voos.

Tabela 27 – Síntese dos parâmetros básicos para o planejamento e execução de voo.

<b>Parâmetro</b>	<b>Voo 1</b>	<b>Voo 2</b>	<b>Total</b>	<b>Voo1</b>	<b>Voo2</b>	<b>Voo 3</b>	<b>Total</b>
Velocidade máxima				15 m/s			
Tempo de voo estimado				20	20	20	60 min
Altitude				100	100	100	
Área total				33 ha	33ha	33ha	100 ha
Linhas de voo				N-S	N-S	N-S	
Recobrimento lateral				65	65	65	
Recobrimento longitudinal				80	80	80	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o reconhecimento, procedeu-se imediatamente com a instalação da “base” do GPS Geodésico e a montagem do sistema e logo após a configuração, e teste do sistema, percorreu-se a área para instalação dos pontos de controle e aquisição dos dados de GPS local.

Para marcação dos pontos de controle foi utilizado o GPS Geodésico Topcon possui as características necessárias para aquisição de dados com qualidade. Em termos de praticidade na aquisição, se utiliza um tripé para fixar a haste do receptor com uma altura fixa de 2 metros e mais o adaptador de conexão entre a haste e o receptor chamado de fundo de desengate rápido, com medida de 0,5cm (Figura 56). Portanto, a altura total da antena receptora à superfície é de 2,05m (parâmetro importante para a determinação precisa de altitude ortométrica).

Figura 56 – Receptor GPS, marcando pontos de controle visíveis a 100m de altura.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A instalação do ponto de controle envolve na seleção de locais facilmente visíveis de modo a priorizar a acurácia e facilitar a identificação no processo de correção cartográfica. Fez-se uso de sete (07) pontos de controle espalhados espacialmente pela área, tendo cuidado de obter leitura de ponto topograficamente discrepantes, em relação ao relevo da superfície estudada.

Como alvos do ponto de controle empregou-se sinalizações desenhados com auxílio de cal na forma de círculo medindo 50 cm x 50 cm aproximadamente. A distribuição dos pontos de apoio seguiu um padrão regular aproximado de modo a envolver toda a região de estudo.

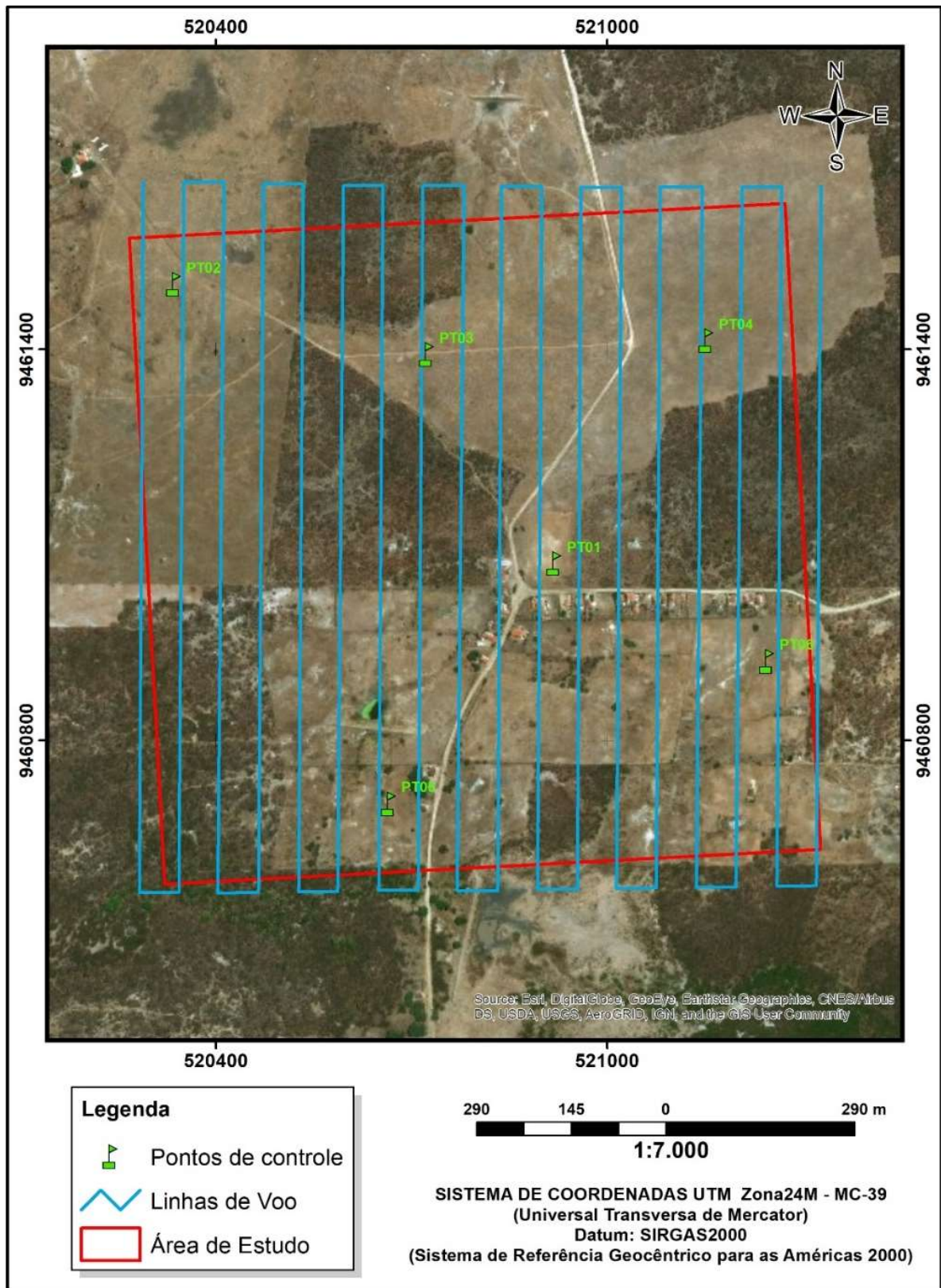
Estes são pontos foto identificáveis, ou seja, são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno, sendo alvos de referência no solo para serem utilizados no pós-processamento das imagens aumentando a acurácia dos produtos finais, tais como: o ortomosaico e o Modelo Digital de Terreno (MDT).

Para decolagem selecionou-se locais estratégicos para que o equipamento RPAS pudesse apresentar melhor aproveitamento das baterias. Procedeu-se com a montagem do equipamento e configuração e, logo após, decolagem para aquisição dos dados de imagem. Vale salientar que estas imagens apresentam basicamente o georreferenciamento do equipamento, com GPS do tipo navegação, porém o erro é de ordem métrica.

Como característica de voo, decolou-se em relevo médio e o equipamento teve operação em uma altitude média de voo obedecendo os 100 metros, a uma velocidade média de 12 m/s. A direção de voo foi de acordo com a orientação média dos ventos, tendo sentido Norte-Sul, tendo sobreposição nas imagens na lateral de 70% e frontal de 80%, tentando garantir a qualidade da aquisição e sobreposição de imagens (Figura 57).



Figura 57 – Linhas de voo e pontos de controle das três etapas de aquisições.



Fonte: Elaborada pelo autor.

➤ Processamento de dados

A partir do processamento fotogramétrico das imagens áreas foram elaborados o ortomosaico e modelo digital de elevação (MDE).

➤ Ortomosaico

Ao final obteve-se o total de 940 imagens cobrindo cerca de 138.0 hectares, que foram gerados nuvem esparsa de 1.429.386,0 de pontos e uma nuvem densa contendo 23.988.128,0 de pontos com a aplicação de procedimentos de análise no software dos valores de pixel e conversão para pontos.

Essa nuvem de pontos foi submetida ao procedimento de georreferenciamento pelos pontos geodésicos processados e corrigidos. O tempo total de processamento foi de cerca de doze horas (12h), e após um total de oito horas (8h) de classificação e refinamento dos dados.

Quanto aos parâmetros (Tabela 28) de correção das imagens pelos pontos de controle, obtivemos erros da ordem do centímetro.

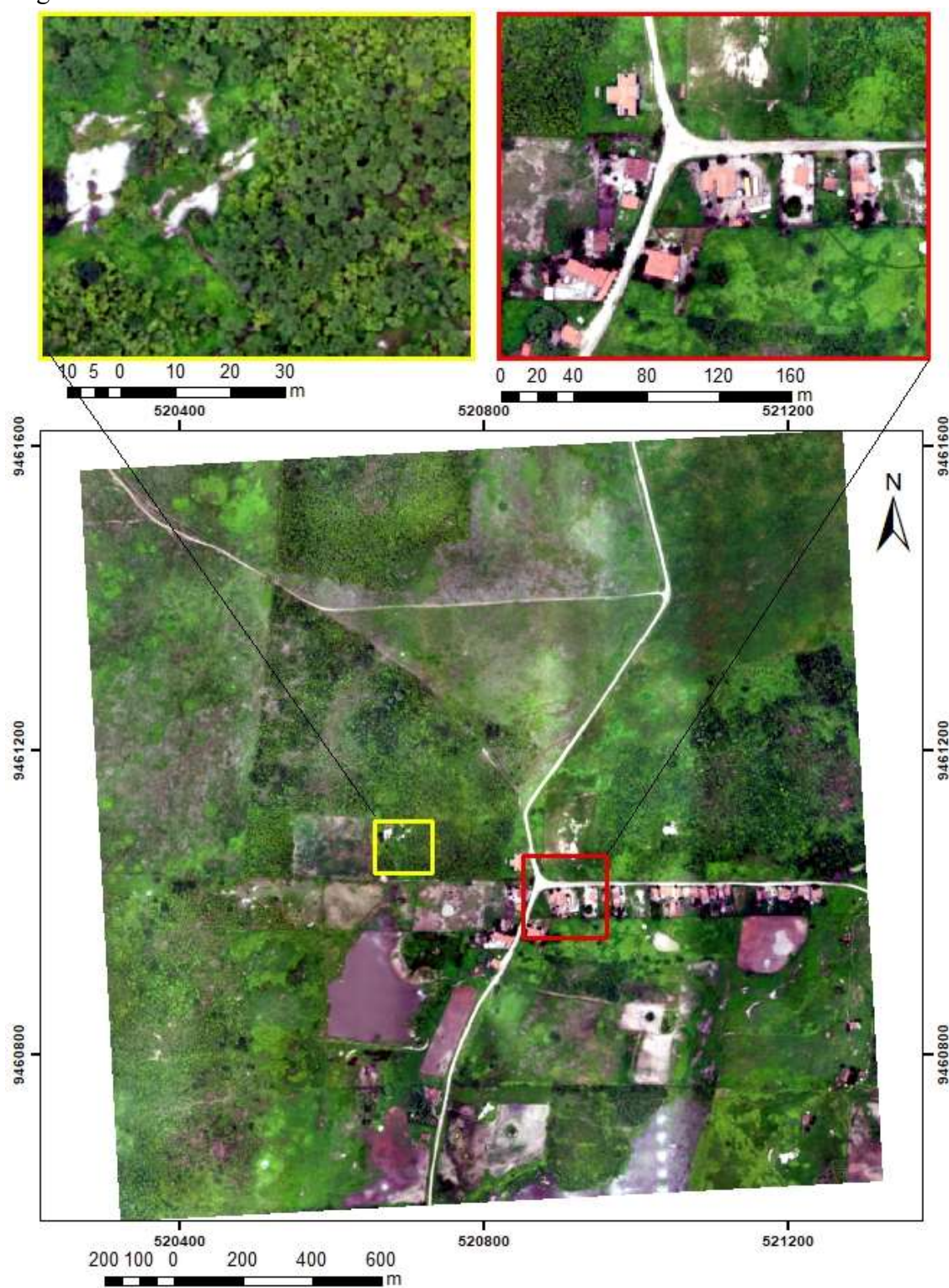
Tabela 28 – Parâmetros de correção das imagens.

<b>Rótulo</b>	<b>X error (cm)</b>	<b>Y error (cm)</b>	<b>Z error (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagem (pix)</b>
PT01	-4.57991	1.63293	-2.78636	5.60409	0.344 (4)
PT02	-0.114189	0.0467735	-0.0710203	0.142375	0.193 (14)
PT03	1.24006	-0.465291	0.349989	1.36994	0.144 (15)
PT04	0.5733	0.0829998	-0.216565	0.618435	0.073 (15)
PT05	0.979443	-0.161234	-0.0745722	0.995422	0.153 (17)
PT06	0.873307	-0.253817	0.307403	0.959993	0.215 (10)
<b>Total</b>	<b>2.0239</b>	<b>0.705037</b>	<b>1.15746</b>	<b>2.43577</b>	<b>0.173</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

O ortomosaico que é a representação cartográfica das 940 imagens, permite uma visualização completa da área mapeada com o RPA (Figura 58), teve resolução 3,39 cm/pixel.

Figura 58 – Ortomosaico da área do sobrevoo.



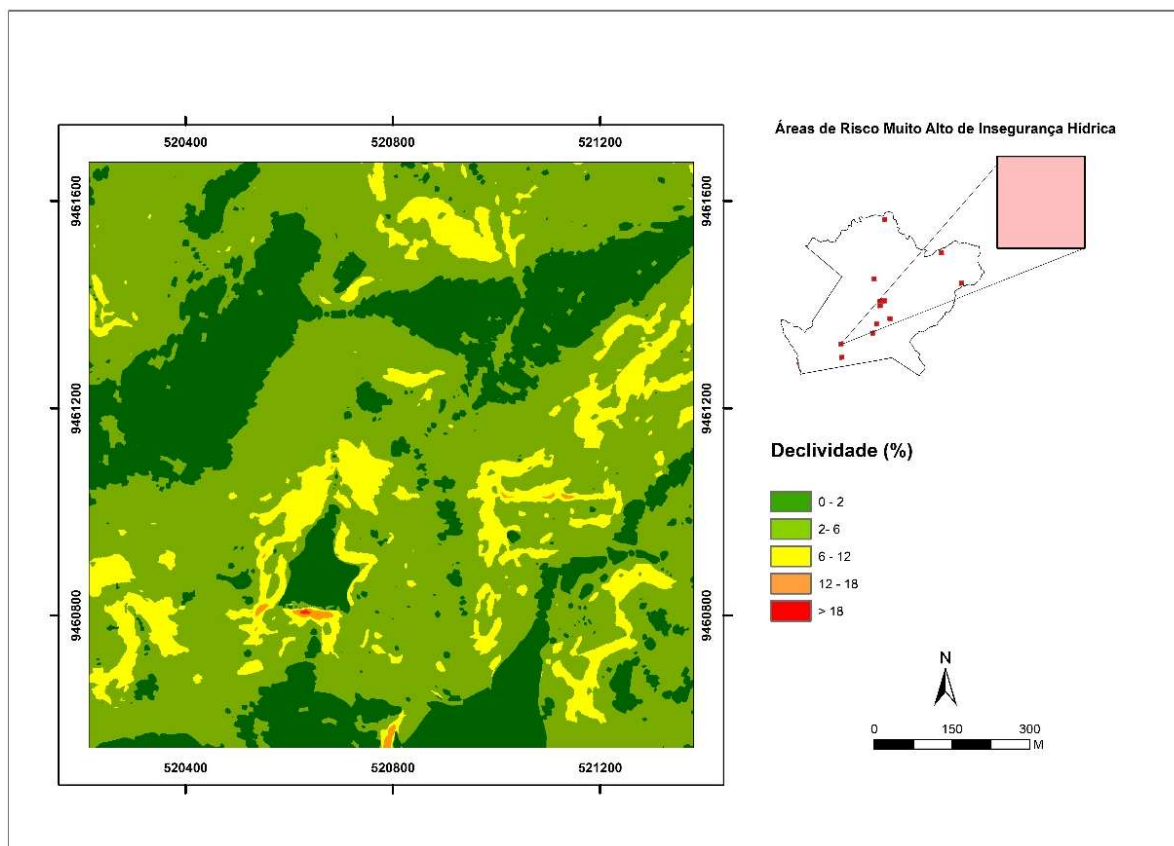
Fonte: Elaborada pelo autor.

➤ Modelo digital de elevação (MDE)

A partir do MDE, foram gerados o mapa de topografia (declividade) e altimetria utilizando o software ArcGis 10.2.

O mapa de declividade (Figura 59), mostra que esta unidade territorial de análise (UTA) possui baixo grau de declividade, com 95% concentrada na classe de declividade que vai de 2 a 6%. O que favorece a infiltração de água.

Figura 59 – Mapa de declividade – UTA classificada como risco muito alto de insegurança hídrica.

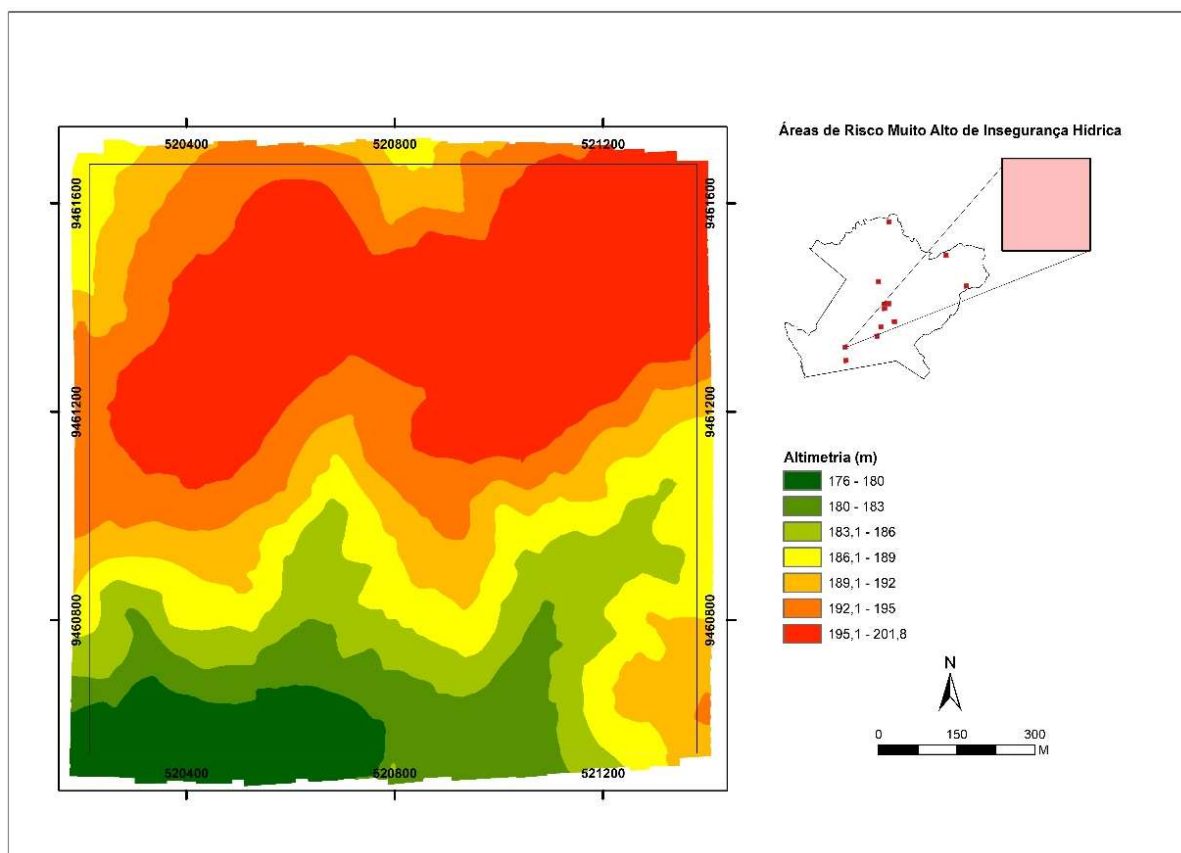


Fonte: Elaborada pelo autor.

Analisando o mapa de altimetria (Figura 60), observa-se que as menores altitudes ocorrem na região sul, aumentando em direção ao norte. A altimetria varia de 176 m a 201,8 m.

As regiões de cotas mais elevadas foram consideradas como áreas propícias à recarga de água subterrânea enquanto as de cotas mais baixas foram consideradas como propícias à descarga.

Figura 60 – Mapa de altimetria.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da análise de 940 imagens áreas (Figura 61) de alta resolução (3,39 cm) foi possível fazer a atualização do número de habitantes, nesta UTAs, considerando que cada imóvel é ocupado por 4 pessoas foram, que passou de 83 para 105 habitantes, como também foi feito, a atualização do número de poços tubulares em campo que passou de um para dois.

Figura 61 – Detalhes das habitações rurais a partir de uma das 940 -  
Imagens aéreas – Ibaretama/CE.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## **7 AÇÕES PARA OTIMIZAR O USO DOS INDICADORES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ZONA RURAL**

A zona rural brasileira tem recebido várias ações das políticas públicas para implantação de sistemas de abastecimento de água, porém estas iniciativas são geralmente descontinuadas, gerando frustrações nas comunidades e vultosas perdas de recursos públicos. Raramente as comunidades participam da concepção, implantação e avaliação desses sistemas (CASTRO, 2015). Apesar da seca/estiagens serem eventos cíclicos, muitas vezes os órgãos só são acionados em situações de calamidade pública.

No semiárido brasileiro os atores mais vulneráveis a escassez hídrica são as populações rurais difusas, que estão expostas a recorrentes secas, com infraestrutura hídrica caracterizada por açudes que secam na seca e por chafarizes (poços) que na sua grande maioria possuem água salobras.

O sistema de informações de águas subterrâneas (SIAGAS) é o repositório nacional dos dados (vazão, perfuração, qualidade das águas entre outros), com distribuição geográfica e situação de poços tubulares do Brasil.

A informação hídrica contida em um banco de dados de poços tubulares, permite identificar a distribuição espacial, quantidade de poços e a situação atual dos poços tubulares que compõem o sistema de águas coletivo (SAC), é o primeiro passo otimizar o uso das águas subterrâneas, pois revela onde e quais os poços podem ser revitalizados. Por ser uma informação temporal, normalmente está desatualizada, já que é muito difícil a atualização constante em campo dessa informação nos milhares de poços.

Este conhecimento mais detalhado da realidade de cada município possibilitará o poder público a tomar as melhores decisões sobre quais são as áreas de maior risco ao desabastecimento e, portanto, prioritárias para ações estruturantes (perfuração de novos poços e/ou restauração de poços). O planejamento inadequado causa dificuldades de ordem técnica na implementação e locação dos poços tubulares.

Atualmente as decisões de priorização de investimentos ocorrem no âmbito interno de cada órgão público executor (SRH, DNOCS, FUNASA, EXÉRCITO, DEFESA CIVIL, entre outros), a falta de critérios uniformizados prejudica as ações de promoção da segurança hídrica, em especial na Região Nordeste.

Dentre as diversas instituições federais envolvidas direta ou indiretamente com temática da escassez hídrica podemos citar: a FUNASA (responsável pelo abastecimento de água das populações abaixo de 50 mil habitantes; DNOCS (tem vasta experiência na construção

de açudes e perfuração de poços); CPRM (detém o sistema de informações de águas subterrâneas, realizando diversos estudos neste tema); Exército brasileiro (responsável por ações emergências tais como: operação carro pipa e perfuração de poços), e as secretarias estaduais de recursos hídricos (SRH), no caso do estado do Ceará é a SOHIDRA, que vem ao longo dos anos aumentado a disponibilidade hídrica com a construção de poços tubulares.

Por tanto, o principal problema que o poder público enfrenta para enfrentar a escassez hídrica não são os recursos financeiros e sim a falta de articulação entre os órgãos e a falta de informação atualizada dos poços tubulares, pois o conhecimento da localização geográfica e seu uso atual, permite o uso de critérios para a escolha das demandas e construção de novos poços.

Dentro deste contexto é proposto a seguir medidas para melhorar o uso dos indicadores dos recursos hídricos subterrâneos na zona rural são: i) fortalecimento do banco de dados de águas subterrâneas; ii) aumentar a articulação institucional; e iii) definição de critérios técnicos na escolha das comunidades.

## 7.1 Fortalecimento do banco de dados de águas subterrâneas

Aqui é proposto algumas melhorias SIAGAS a saber: i) mudança na nomenclatura da situação dos poços, ii) criação de protocolo digital; iii) otimização da atualização dos dados; iv) exigir a obrigação de cadastramento no SIAGAS.

### i) Mudança na nomenclatura da situação dos poços

Quanto à situação dos poços, no SIAGAS existem 11 tipos: abandonado, bombeando, colmatado, equipado, fechado, não instalado, não utilizável, obstruído, parado, precário e seco.

Visando evitar possível problemas de interpretação metodológica, torna-se necessário o agrupamento destas situações em quatro grupos principais: i) Ativo; ii) Desativado e iii) Abandonado e iv) Seco (Tabela 29).

Tabela 29 – Proposta de Classificação da situação do poço.

Classe	Situação do poço	Motivo
(1)	Ativo	Funcionando
(2)	Desativado	Não instalado
		Quebra de moto-bomba, Falta de energia
(3)	Abandonado	Obstruído, colmatado
(4)	Seco	Improdutivo

Fonte: Elaborada pelo autor.



**Ativo:** Quando o poço estiver funcionando.

**Desativado:** São os poços passíveis de recuperação, que se enquadram na situação de não instalado e tenha a condição de ser, ou quando o poço estiver instalado, porém paralisado por algum motivo técnico-construtivo (não equipados; por falta ou quebra de equipamento e/ou ausência de energia elétrica, ou ainda por uso de fonte alternativa) ou por motivos hidrogeológicos (alta salinidade e/ou baixa vazão).

**Abandonado:** Quando o poço não tiver mais solução para retirada de água, ou seja, são os poços improdutivos. Inclui os colmatados (entulhados por pedaços de pau, pedra), obstruído (soterrado, ou seja, entupido por desmoronamento das paredes dos poços, ou mesmo destruído e retirado a tubulação), não utilizável, fechado (cimentado e vedado completamente por cimento, ou soterrado, ou seja, entupido), abandonado, precário. Todos estes poços não são viáveis economicamente, sendo potenciais vetores de contaminação do aquífero.

**Seco/improdutivo** – são os poços improdutivos, esta informação é importante para conhecer a situação hidrogeológica.

## **ii) Aumento da informação de produtividade**

O dado sobre a vazão de exploração do poço é de suma importância pois este é o indicador de oferta hídrica, este dado é obtido a partir do teste de bombeamento, que é um dos elementos obrigatórios do relatório técnico construtivo (RTC) segundo ABNT 12.244/1992.

Os órgãos públicos geralmente contratam os perfuradores de poços, que por muitas vezes não entregam os relatórios técnico construtivo de poços.

A fim de evitar a perda dessa importante informação propomos que um dos requisitos para pagamento das empresas que prestam serviço de construção de poços para órgãos públicos, seja a apresentação do RTC para o SIAGAS, dentro do prazo máximo de 3 meses após a conclusão da obra.

Este tipo de obrigação da entrega do relatório do poço ao Serviço Geológico, a exemplo em outros países mais desenvolvidos como a Suécia, já ocorre desde 1985 (RIKSDAGEN, 1985).

Uma outra opção seria o uso do Protocolo Digital, onde os órgãos públicos (FUNASA, DNOCS, EXÉRCITO, dentre outros) exijam dos contratados a cópia do Protocolo Digital.

O protocolo digital é um canal para envio de documentos digitais (relatórios) executado diretamente por usuário externo previamente cadastrado, a fim de formar novo processo ou compor processo já existente.

Está sendo utilizado por vários órgãos públicos como por exemplo: a Agência Nacional de Mineração (ANM), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A apresentação do relatório do poço via protocolo digital iria otimizar essa informação no banco de dados do SIAGAS.

### iii) Atualização da situação atual dos poços

A Situação atual dos poços é um dos dados mais importantes, pois revela quais poços podem ser revitalizados. Por ser uma informação temporal, está na sua grande maioria das vezes desatualizada, já que é muito difícil a atualização constante em campo dessa informação nos milhares de poços.

Visando a atualização desse dado, é recomendado a realização de termo de cooperação técnica entre a CPRM (detentora do SIAGAS) e as diversas prefeituras, com definições do acordo na Tabela 30.

Tabela 30 – Acordo de cooperação técnica entre CPRM e as prefeituras municipais.

<b>CPRM</b>	<b>PREFEITURA</b>
- Levantamento dos dados	- Disponibilizar os agentes de saúde para auxiliar na coleta de dados
- Comunicar a prefeitura o início dos trabalhos	- Disponibilizar um colaborador, com conhecimento da área rural, para acompanhar o levantamento e auxiliar a logística
- Capacitar os agentes de saúde	
- Publicar os dados no SIAGAS	
- Elaboração de Mapas de Áreas Risco a Insegurança Hídrica (MARIH)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta proposta com o intuito de fomentar a informação hídrica subterrânea caberia ao Serviço Geológico o treinamento dos colaboradores da prefeitura municipal que podem ser agentes de saúde, de endemias, da defesa civil, agropecuários entre outros.

Estes colaboradores manteriam atualizada a situação dos poços tubulares (em uso, abandonado temporário (não instalado), abandonado permanente) provenientes do banco de dados do SIAGAS.

Existem pelo menos cinco motivos que indicam o Agente Comunitário de Saúde (ACS) como o profissional mais indicado para auxiliar na coleta de dados da situação atual dos poços com a identificação e cadastro de novos Sistemas de Abastecimentos Comunitários (SAC).

**A. Independência política:** A contratação de ACS se dá por meio de processo seletivo público, fato esse muito importante já que minimiza as Interferências político partidária e, por tanto descontinuidade nas ações.

**B. Conhecimento do território:** Atuação em microárea geográfica, ou seja, trabalham em uma área de abrangência limitada da região rural e inclui o conhecimento do território (situação de moradia e saneamento, destino do lixo, tipo de abastecimento de água).

**C. Membro da comunidade:** Moram onde trabalham, possui um envolvimento pessoal é quem está mais próximo dos problemas que afetam a comunidade.

**D. Apto ao desempenho de novas atribuições:** Esta atribuição de “realizar outras ações e atividades a serem definidas de acordo com as prioridades locais” se enquadra no inciso XVIII da Portaria nº 2.488 de 2011.

**E. Conhecimento das situações-problemas relacionados ao saneamento básico:** ao identificar ou tomar conhecimento da situação-problema hídrico (revitalização dos sistemas alternativos de abastecimento de água, parâmetros de portabilidade) encaminha as demandas a unidade de saúde para uma avaliação mais detalhada.

### ***7.1.1 Proposta para melhorar a articulação institucional entre cada órgão envolvido***

A definição inequívoca sobre quem tem os direitos de decisão, a definição das estruturas de autoridade com suas respectivas responsabilidades, a forma como as decisões sobre os processos e procedimentos devem ser tomados, são fundamentais para o sucesso dos empreendimentos previstos (PEIXINHO; DINIZ, 2019).

Tendo em vista a dominialidade sobre as águas subterrâneas, de competência de cada Estado beneficiado, estes deverão obrigatoriamente fazer parte do grupo de governança, juntamente com os municípios nos quais serão realizadas as intervenções (PEIXINHO; DINIZ, 2019).

Apesar de existir uma multiplicidade de atores e de ações nas promoções da segurança hídrica subterrânea (construção/reabilitação de poços tubulares) não existe uma efetiva COORDENAÇÃO CENTRAL dos órgãos envolvidos, com critérios uniformizados, isto poderia evitar a sobreposição, duplicação ou lacuna / aumento de desigualdades regionais (Figura 62).

Figura 62 – Ausência de Articulação entre as instituições públicas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Visando uma melhor gestão integrada na aplicação destes recursos financeiros, sugerimos uma efetiva COORDENAÇÃO CENTRAL, seja efetuada por órgão que possua expertise em águas subterrâneas e que detenha o gerenciamento do banco de dados nacional ou estadual de poços.

Ao órgão com a coordenação central caberia a atribuição de estudos hidrogeológicos, a partir dos dados do SIAGAS, com o mapeamento de risco das áreas de insegurança hídrica (MARIH).

Resumindo temos que para otimizar o uso das águas subterrâneas é sugerido as seguintes etapas: i) escolha das comunidades; definição da demanda para cada órgão; iii) comunicado as prefeituras; iv) construção dos poços; v) cadastro do relatório dos poços.

**Etapa 1 - Escolhas das comunidades:** Como critérios de elegibilidade temos os municípios com população de até 50 mil habitantes e em situação de emergência (SE). Como critérios de priorização os municípios que se enquadrem nas seguintes situações: Município com levantamento dos dados atualizados (cadastro das obras hídricas e a situação dos poços atualizadas) e inseridas no banco de dados do SIAGAS.

**Etapa 2 – Definição da demanda para cada órgão:** A coordenação técnica repassa a relação municipal com as comunidades escolhidas, com a demanda do número de poços a serem construído. Esta informação é repassada para cada coordenação técnica dos órgãos federais

(DNOCS, FUNASA e Exército) e estaduais (SOHIDRA por exemplo no estado do Ceará). Onde é definido qual órgão e em qual região irá atuar, evitando assim uma sobreposição de ações em detrimento de áreas sem ações.

**Etapa 3 – Comunicado às prefeituras:** Após revisão da seleção das comunidades entre cada instituição, um novo comunicado desta vez as prefeituras com a lista com o número de poços que serão construídos, contendo o nome da comunidade. Esta etapa visa dar aos gestores municipais acesso a esta informação e que venha a responsabiliza-se pela sustentabilidade destas obras por meio de ações estruturantes e empoderamento da comunidade. No caso, vale ressaltar que esta comunicação às prefeituras não tem caráter de pedido de autorização ou de licença.

**Etapa 4 – Construção dos poços:** poços construídos respeitando as normas técnicas e com fiscalização realizada pelo órgão central.

**Etapa 5– Cadastro do relatório dos poços no SIAGAS:** após a construção dos poços deve ser obrigatoriamente enviado Relatório de Poços para as prefeituras e para o Banco de dados hidrogeológico (SIAGAS/CPRM), contendo no mínimo localização (coordenadas geográficas), perfil litológico, teste de vazão e análise físico-química (caso tenha), no prazo máximo de 3 meses após a construção dos poços. Recomenda-se ainda que este item passe a ser um condicionante para o pagamento da empresa contratante.

## 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A insegurança hídrica em Ibaretama, está intrinsecamente ligada às comunidades rurais, sua distribuição de forma difusa, e a falta de poços tubulares (chafarizes) contribuem para maximizar os efeitos produzidos pelas secas e estiagens. Por isso, faz-se imprescindível a informação da origem e do modelo de ocupação para compreender as áreas de maior risco hídrico no município.

O principal aquífero de Ibaretama, em extensão e número de poços existentes, é o Aquífero Fraturado, constituído pelas rochas metamórficas e ígneas. Considerando-se a totalidade de poços inseridos no Aquífero Fraturado, a vazão específica média dessa unidade é de 0,22 m<sup>3</sup>/h/m. Foi verificada uma grande variação desse parâmetro nos dados disponíveis, resultante da heterogeneidade e anisotropia desse sistema, cuja circulação e acúmulo de água está condicionada a ocorrência de fraturas abertas.

O gerenciamento das áreas de risco à insegurança hídrica, inclui a integração de conceitos variados na área social, política e financeira, considerando que o processo de decreto de emergência é sempre muito oneroso e nem sempre eficaz, razão pela qual, deve-se tratar a causa e não os seus efeitos.

Sendo assim é recomendável o aumento da oferta de água subterrânea (através da captação de poços tubulares), do que investido um elevado montante de recursos financeiros com medidas paliativas (carro-pipa) que apenas reduzem o efeito potencial do perigo, mas o nível de risco continua o mesmo.

Trinta e duas UTAs foram classificadas como risco alto devido à grande quantidade e densidade populacional e intensa atividade agropecuária, enquanto que 22 UTAs foram classificadas com risco muito alto por apresentar grande demanda hídrica.

Dos 105 poços tubulares cadastrados, 5 (4,00%) não mereceram a devida atenção por se encontrarem obstruídos não recuperáveis; 20 poços (16,00%) encontram-se desativados ou por instalar e, os 100 (80,00%) poços restantes em funcionamento. O poder público detém a posse da maioria desses poços, 92 (73,60%), a iniciativa privada 32 (25,60%).

A partir desse estudo verificou-se que um terço da população de Ibaretama vive em áreas com déficit de água, ou seja, de falta de abastecimento hídrico este problema impede o desenvolvimento socioeconômico da região. A carência de instalações suficientes de abastecimento de água para as populações, somente 35% da população possui abastecimento.

A ferramenta de mapeamento de riscos, permite conhecer o cenário de risco de insegurança hídrica, dando subsídios para a sociedade civil organizada, atuar de forma oportuna

através de medidas estruturais (recuperação e ou construção de poços) é essencial para reduzir os danos sobre a população.

Os resultados obtidos através do modelo MARIH foram considerados eficazes e condizentes com as informações acerca da realidade quantificada na área de estudo. O modelo apresentado se aplica no semiárido brasileiro desde que haja informação para alimentar os indicadores a partir dos índices elaborados.

#### RECOMENDAÇÕES

Realizar análise dos setores industriais mais ativos na região a ser estudada a fim de encontrar relação da atividade industrial com o uso do recurso água antes de inferir sua importância na sensibilidade à seca;

Adicionar ao método da exposição dados absolutos do volume precipitado, além da variabilidade de chuva.

Recomenda o estudo geofísico do Sistema Aquífero Coberturas, com potencial para construir uma bateria de poços para abastecer a região do seu entorno.

Os municípios que são atingidos pela seca, possuem várias comunidades rurais isoladas e distantes umas das outras, sendo que cada comunidade é atendida por um Agente de Saúde. Propomos que este mesmo agente de saúde seja também um facilitador junto ao Sistema de Informações de Águas subterrâneas (SIAGAS), mantendo atualizado a situação dos poços neste sistema.

A princípio, todos municípios do semiárido deveria ter, no escopo de seus planos de defesa civil, o uso da ferramenta MARIH, como estratégia para reduzir os riscos de insegurança hídrica. A exemplo do que já ocorre com o mapeamento das áreas de risco geológico (inundações, enchentes, deslizamentos entre outros).

Fazer uma gestão hídrica com o foco nas prefeituras, que são as mais próximas das realidades locais, pois se um projeto fica longe da classe política, ele poderá marginalizar e não levar as mudanças esperadas na realidade brasileira. A divisão territorial do município é feita por distritos, que por sua vez se ramificam em comunidades.

- Adotar o método MARIH, para a análise dos pedidos de poços no estado do Ceará, baseado em estudos de vazão dos poços (sua distribuição espacial), salinidade e pessoas beneficiadas.

Recomenda-se ainda que nos poços de alta vazão e baixa qualidade de água instale-se dessalinizadores.

## REFERÊNCIAS

- ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. São Paulo. Disponível em: <https://www.abas.org/>. Acesso em: nov. 2014.
- AB'SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos Avançados**, v. 13, n. 36, p. 7-59, São Paulo. 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v13n36/v13n36a02.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHER, J.; PETTY, R. 1985. DRASTIC: A standardized system for evaluation groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. USEPA Report 600/2-85/018
- ACÓRDÃO 1846/2019 - PLENÁRIO Prefeitura de Parauapebas, 2012 - Curso Introdutório para Agentes Comunitários de Saúde. Processo seletivo.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. 2005 – Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos do Brasil. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. 2009. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009 / Agência Nacional de Águas. – Brasília. 204 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2019.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2013 – Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2014.
- ARSKY, I. C.; SANTANA, V. L. Demanda hídrica. In: CONTI, I. L.; SCHROEDER, E.; MEDAGLIA, V. R. (org.). **Construindo saberes, cisternas e cidadania formação para a convivência com o semiárido brasileiro**. Brasília: IABS, 2014. v. 4. p. 69-70. Disponível em: [http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf\\_bib.php?COD\\_ARQUIVO=18178](http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf_bib.php?COD_ARQUIVO=18178). Acesso em: 19 jan. 2020.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO CEARÁ. **Que venham as providências!** Relatório Final de Atividades. 2020. Disponível em: [http://www.al.ce.gov.br/phocadownload/relatrio\\_acoes\\_de\\_combate\\_a\\_seca.pdf](http://www.al.ce.gov.br/phocadownload/relatrio_acoes_de_combate_a_seca.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.
- BANCO MUNDIAL. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília, DF: CGEE, 2016. Disponível em: [https://www.cgEE.org.br/documents/10195/734063/seca\\_brasil-web.pdf](https://www.cgEE.org.br/documents/10195/734063/seca_brasil-web.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.
- BARRETO, A. C. DA C. MONSORES, A.L.M. LEAL, A. de S. PIMENTEL, J. 2000. Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro-Texto Explicativo do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. CPRM/DRM.



BIZARRIA, F. P. A. *et al.* O sertão semiárido, políticas públicas e as relações de poder em “Vidas Secas”. **G&DR**, v. 12, n. 4, p. 163-187, 2016. Disponível em: <https://www.rbhdr.net/revista/index.php/rbhdr/article/view/2610/561>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRANCO, O. E. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade**. 2006. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-H%C3%ADrica.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. **Constituição (1988), Capítulo IV – Dos Municípios, Art. 30**. Disponível em: [https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988\\_03.07.2019/art\\_30\\_.asp](https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_03.07.2019/art_30_.asp). Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 1998. Disponível em: <http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/GLOSSARIO-Diccionario-Defesa-Civil.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Salvador: MME, 2005. Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16890/Rel\\_Lamarao.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16890/Rel_Lamarao.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/inspecao\\_sanitaria\\_abastecimento\\_agua.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/inspecao_sanitaria_abastecimento_agua.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Atenção Básica**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2012. Disponível em: <http://189.28.128.100/dab/docs/publicacoes/geral/pnab.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2016.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Grupo de Trabalho para Delimitação do Semiárido – Portaria nº 196, de 27 de maio de 2014**. Análise de recursos. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2014a. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/arquivos/conselhodeliberativo/documentos/analise-recursos-semiarido-GTsemiarido-nov2017.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. **O saneamento básico no Brasil: aspectos fundamentais. Capacitação para elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2014b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Plano de contingência para emergência em saúde pública por seca e estiagem**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2015. Disponível em: [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano\\_contingencia\\_emergencia\\_seca\\_estiagem.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_contingencia_emergencia_seca_estiagem.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Controladoria Geral da União. **Ação exploratória** – enfrentamento de situações de escassez hídrica. Avaliação Transversal. Relatório nº 201702527. Brasília, DF: CGU, 2018a. Disponível em: <https://auditoria.cgu.gov.br/download/10709.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano. **Manual técnico para redução de riscos de desastres aplicado ao planejamento urbano movimentos de massa**. Projeto GIDES. Brasília, DF: 2018b. Disponível em: <https://www.jica.go.jp/brazil/portuguese/office/publications/c8h0vm000001w9k8-att/volume6.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Levantamento TC 023.407/2018-2**. Brasília, DF, 2018c. Disponível em: <https://tcu.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/751009357/relatorio-de-levantamento-rl-2340720182/inteiro-teor-751009358?ref=serp>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Acórdão 3146/2019** – Plenário. Brasília, DF, 11 dez. 2019a. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/seca/%20DTRELEVANCIA%20desc,%20NUMACORDAOINT%20desc/0/%20?uid=34f13c10-a5b1-11e9-a9ec-d3e35cb1ae55>. Acesso em: 19 jan. 2020.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Acórdão de relação 11628/2019** - Segunda Câmara. Brasília, DF, 29 out. 2019b. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/CPRM/%20DTRELEVANCIA%20desc,%20NUMACORDAOINT%20desc/1/%20?uid=97cd4850-ee78-11e9-b29e-d1ef04b5df4f>. Acesso em: 19 jan. 2020.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos, 2014, **Estud. av.**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 65-88, 2014. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142014000300005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142014000300005). Acesso em: 19 jan. 2020.

CASTRO, C. N. **Análise do sistema integrado de saneamento rural SISAR, em sua dimensão político-institucional**. 2015. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AAFDVK>. Acesso em: 19 jan. 2020.

CASTRO, C. N. **Transposição do Rio São Francisco: análise de oportunidade do projeto**. Rio de Janeiro: IPEA, 2011. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1418/1/TD\\_1577.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1418/1/TD_1577.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

CASTRO, A. L. C. Glossário de defesa civil: estudos de riscos e medicina de desastres. Ministério do Planejamento e Orçamento, Departamento de Defesa Civil. 2. ed. Brasília, 1998.

CAVALCANTE, I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado de Ceará**. 1998. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-12112015-140423/pt-br.php>. Acesso em: 19 jan. 2020.

CAVALCANTE, I. N.; GOMES, M. C. R. As Águas Subterrâneas do Ceará: Ocorrências e Potencialidades. In: MEDEIROS, C. N.; GOMES, D. D. M.; ALBUQUERQUE, E. L. S.; CRUZ, M. L. B. (Org.). **Os Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades**. Fortaleza: IPECE, 2011. Seção III. p. 165-199.

CEARÁ. **Decreto Nº 23.068, de 11 de fevereiro de 1994**. Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH. Legislação sobre sistemas dos recursos hídricos do Estado do Ceará. Fortaleza/CE. Disponível em: [https://www.srh.ce.gov.br/legislacao/decretos\\_estaduais](https://www.srh.ce.gov.br/legislacao/decretos_estaduais). Acesso em: jan. 2020.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. CGEE. Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília: CGEE, 2016.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. CEPED UFSC, 2016. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/01/111703-WP-CEPEDRelatoriosdeDanoslayout-PUBLIC-PORTUGUESE-ABSTRACT-SENT.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2019.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. CEPED UFSC. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010: Volume Brasil. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis/SC, Brasil, 2012

CEPED/UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: Volume Brasil Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2.ed. **rev. ampl.** Florianópolis/SC, Brasil: CEPED UFSC, 2013. 126 p.

CEPED. 2012. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, CEPED, Florianópolis, 2012 [citado 2018 jan 25]. 104 p. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>. Acesso em: 20 nov. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste – Programa Anual de trabalho – 2001 Disponível em: [https://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas\\_publicacoes/programa\\_agua\\_subterranea\\_nordeste.pdf](https://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/programa_agua_subterranea_nordeste.pdf). Acesso em: 10 jul. 2017.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste – Planejamento setorial/ Programa de Metas – 1996 a 1999. 1995 Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14259/1/rli\\_programa\\_agua\\_subterranea\\_nordeste.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14259/1/rli_programa_agua_subterranea_nordeste.pdf). Acesso em: 10 jul. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. **Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará – Diagnóstico do Município de Ibaretama**. Fortaleza: CPRM, 1998.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM – Plano de Ação Estratégico em Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro – Convivência com a Seca, 2017. Fortaleza. Disponível em:

[http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/19020/1/plano\\_acao\\_recursos\\_hidricos\\_semi-arido.pdf](http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/19020/1/plano_acao_recursos_hidricos_semi-arido.pdf). Acesso em: 15 ago. 2019.

COSTA, F. G.; PALHETA, E. S. M. Geologia e Recursos Minerais das Folhas Quixadá (SB.24-V-B-IV) E Itapiúna (SB.24-X-A-IV). 2017.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. Hidrología Subterránea. 2. ed. Barcelona: Omega, 1996. 2v. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Ground Water and Wellhead Protection. Washington, 1994.

DELGROSSI, M. E. Algoritmo para delimitação da agricultura familiar no censo agropecuário 2017, visando a inclusão de variável no banco de dados do censo, disponível para ampla consulta. Brasília, 2019. Disponível em: [https://sidra.ibge.gov.br/Content/Documentos/CA/Metodologia%20Agricultura%20familiar%20\(IBGE\)%20DelGrossi%20final%205jun2019.pdf](https://sidra.ibge.gov.br/Content/Documentos/CA/Metodologia%20Agricultura%20familiar%20(IBGE)%20DelGrossi%20final%205jun2019.pdf). Acesso em: 17 fev. 2019.

DAVIS, S. N. & TURC, L. J. 1964. Optimum depth of wells in crystalline rocks. *Ground Water*, 22: 6-11

DINIZ, J. A. O. *et al.* **Manual de cartografia hidrogeológica**. Recife: CPRM, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16587?show=full>. Acesso em: 19 jan. 2020.

DUARTE, R. (1999). A seca nordestina de 1998-1999: da crise econômica a calamidade social. Recife: SUDENE. 1999.

FEITOSA, Fernando A. C. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações / organização e coordenação científica / Fernando A. C. Feitosa... [et. al.]... – 3. Ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812p.

FRANÇA, J. M. B. *et al.* Panorama das outorgas de uso dos recursos hídricos no Estado do Ceará no período de estiagem 2009-2017. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 210-218, 2018. DOI: 10.14295/ras.v32i2.29118. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29118>. Acesso em: 19 jan. 2020.

FREDDO, V. J. F.; VILLAFAN, R. C. B. Sistema de informações de águas subterrâneas – SIAGAS: funcionalidades, resultados e perspectivas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 49., 2018, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBG, 2018. Disponível em: <http://cbg2018anais.siteoficial.ws/resumos/9170.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.

FREITAS, A. S. **Proteção e Defesa Civil no Ceará**: os desafios do planejamento e gestão de recursos de transferências obrigatórias da União. Artigo (Especialização em Gestão de Segurança Pública) – Academia Estadual de Segurança Pública do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/106lQNo-c7IOJudg-vW1DRikiMUWnaMkj/view>. Acesso em: 19 jan. 2020.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Qualigraf – disponível em: <http://www3.funceme.br/qualigraf/>. Acesso em 10/08/2017. 2017.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 1991. Análise preliminar do fator mais provável da medida de tendência central das series anuais de precipitação no Ceará. Fortaleza, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). **Conheça a Funasa**. 2017. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/conheca-afunasa/competencia/>. Acesso em: 18 jul. 2017.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). **Sistema de Abastecimento de Água**. 2017. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br:8080/sistema-de-abastecimento-de-agua>. Acesso em: 19 jan. 2020.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA E ADOLESCÊNCIA. **Relatório do ano de 2000**.

GLEICK, P. H. Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. **Water International**, v. 21, n. 2, p. 83-92, 1996. DOI: 10.1080/02508069608686494. Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02508069608686494?journalCode=rwin20>. Acesso em: 19 jan. 2020.

GONDIM, J. *et al.* A seca atual no Semiárido nordestino – impactos sobre os recursos hídricos. **Parc. Estrat.**, v. 22, n. 44, p. 277-300, 2017. Disponível em: [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/856/784](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/856/784). Acesso em: 19 jan. 2020.

HOWARD, G.; BARTRAM, J. **Domestic water quantity, service level and health**. Geneve: WHO/SDE/WSH, 2003. Disponível em: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/WSH03.02.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

IDEALISTA NEWS. Estes 17 países estão em risco extremamente elevado de escassez de água. Disponível em: <https://www.idealista.pt/news/financas/economia/2019/09/16/40875-estes-17-paises-estao-em-risco-extremamente-elevado-de-escassez-de-agua>. Acesso em: 17 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. 2017. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/estrutura\\_territorial/semiario\\_brasileiro/Situacao\\_23nov2017/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/semiario_brasileiro/Situacao_23nov2017/). Acesso em: 22 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Atlas do Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE (2007). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>. Acesso em: 22 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Sinopse do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 10 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE e CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS – CEMADEN. População em áreas de risco no Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacaoareasderisco/>. 2018. Acesso: junho, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Manual da base territorial 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. p. 22.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014 em grade territorial estatística**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101469.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. 2017 – Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2000 - 2010 - 2012 – 2014. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento\\_cobertura\\_uso\\_terra/v1/](https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/). Acesso em: 22 out. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. IPECE. Perfil Básico Municipal – Ibaretama. Fortaleza, 2012. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Ibaretama\\_2012.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Ibaretama_2012.pdf). Acesso em: 10 jan. 2018.

LEITE, C. E. S.; CORDEIRO, W.; SALES NETO, P.; GOMES, L. A. M. 1994 – Locação de poços tubulares profundos com VLF no Estado do Ceará. 1994, Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24432/16384>. Acesso em: 10 de jan. 2018.

LIMA, J. B. & BRANCO, P. C. M. P. de A. 2010. SIAGAS – UMA EVOLUÇÃO EM PLATAFORMA DE SOFTWARES LIVRES. Anais dos XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22964>. Acesso em: 09 mar. 2019.

MACHADO, A. V. M.; SANTOS, J. A. N.; NOGUEIRA, L. T.; OLIVEIRA, P. A. D. - Acesso ao Abastecimento de Água em Comunidades Rurais: O Desafio de Garantir os Direitos Humanos à Água – XII- Congresso Nacional de Excelência em Gestão e Inovare – responsabilidade social aplicada, 29 a 30 de set de 2016. Disponível em: [http://www.inovarse.org/sites/default/files/T16\\_203.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T16_203.pdf). Acesso em: 10 out. 2019.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3. ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, 2008. cap. 02. p. 53-75.

MELO, Marília Carvalho De; JOHNSSON, Rosa Maria Formiga. O conceito emergente de Segurança Hídrica. Sustentare, v. 1, n. 1, p. 72–92, 11 jan. 2018.

MÖBUS, G., SILVA, C. M. S. V., FEITOSA, F. A. C. Perfil estatístico de poços no cristalino cearense. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 3, 1998, Recife: ABAS, 1998. p. 184-192.

NIMER, E. 1989. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 421 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=281099&view=detalhes>. Acesso em: 20 mai. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, ONU, 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Ginebra, ONU/UNISDR, 2009, p.13-14. Disponível em: [https://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf). Acesso em: 25 mai. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Habitat III Issue Papers: 17 - cities and climate change and disaster risk management. Nova York, ONU, 2015. Disponível em: <https://www.alnap.org/help-library/habitat-iii-issue-papers-17-cities-and-climate-change-and-disaster-risk-management>. Acesso em: 16 maio 2018.

PARAHYBA, R. E. R.; CAVALCANTI, V. M. M.; PERLATTI, F. **Mineração no semiárido brasileiro**. Brasília, DF: DNPM, 2009. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/104722723/mineracao-no-semiarido-brasileiro>. Acesso em: 19 jan. 2020.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do Semi-Árido do Brasil**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA, 2006. Disponível em: [http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos\\_53.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_53.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

QUEIROZ, A. C. L. *et al.* Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano (Vigiagua): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. **Saúde soc.**, v. 21, n. 2, p. 465-478, 2012. DOI: 10.1590/S0104-12902012000200019. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-12902012000200019](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12902012000200019). Acesso em: 19 jan. 2020.

REVISTA ORDEM PÚBLICA E DEFESA SOCIAL – v. 9, n. 1, jan./jun., 2016. Disponível em: <https://rop.emnuvens.com.br/rop/article/viewFile/112/105>. Acesso em: 22 jul. 2019.

RIKSDAGEN. **Lag (1975:424) om uppgiftsskyldighet vid grundvattentäktsundersökning och brunnsborrning**. 1985. Disponível em: [http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1975424-om-uppgiftsskyldighet-vid\\_sfs-1975-424](http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-1975424-om-uppgiftsskyldighet-vid_sfs-1975-424). Acesso em: 19 jan. 2020.

ROSENBERG, N. J. **Drought**. *Science*, New York, v. 208, n. 4445, p. 736, 1980.

ROSENDO, E. E. Q. **Desenvolvimento de indicadores de vulnerabilidade à seca na região semiárida brasileira**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5536>. Acesso em: 19 jan. 2020.

ROSENDO, E. E. Q.; FILGUEIRA, H. J. A.; T. C., SILVA, B. I., SOUZA, SILVA JUNIOR, M. H. Determination and application of drought vulnerability indexes in the semi-arid region of Brazil, *GAIA SCIENTIA* (2017). VOLUME 11(2): 45-56 Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326864367\\_Determination\\_and\\_application\\_of\\_drought\\_vulnerability\\_indexes\\_in\\_the\\_semi-arid\\_region\\_of\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/326864367_Determination_and_application_of_drought_vulnerability_indexes_in_the_semi-arid_region_of_Brazil). Acesso em: 10 out. 2019

SALES M. C. M. (org.). *O caminho das águas nas rotas dos carros-pipa*. Fortaleza: Instituto Agropolos do Ceará, 2012. Disponível em: [http://www.institutoagropolos.org.br/img/uploads/arquivos/estudo\\_rot\\_08052012609164946.pdf](http://www.institutoagropolos.org.br/img/uploads/arquivos/estudo_rot_08052012609164946.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

SANTOS, M. J. J. **Caracterização e monitorização das Secas**. 1998. Disponível em: [https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/relatorios/caract\\_secas.pdf](https://snirh.apambiente.pt/snirh/download/relatorios/caract_secas.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

SCHWEIZER, L. T.; NIERADTKA, K. Publicização: uma alternativa aos extremos da privatização e da estatização: um estudo de caso do Sisar, no setor de água e saneamento. *RAP*, v. 25, n. 2, p. 153-91, 2001. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/6375/4960>. Acesso em: 19 jan. 2020.

SIANI, O. M. S. *iSAM – um sistema de indicadores para o monitoramento da área de proteção ambiental mananciais do rio paraíba do sul*. Mestrado, 2016 – INPE. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Sacha\\_iSAM\\_dissertacaoSER\\_13Ago2016.pdf](http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Sacha_iSAM_dissertacaoSER_13Ago2016.pdf). Acesso em: 10 out. 2019.

SILVA, A. S. R. **Autogestão de sistemas rurais de abastecimento de água: estudo de caso na comunidade quilombola de Lagedo, São Francisco – MG**. 2016. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1186m.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.

SILVA, R. M A. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semi-árido. *Soc. estado.*, Brasília, v. 18, n. 1-2, p. 361-385, 2003. DOI: 10.1590/S0102-69922003000100017. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-69922003000100017](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-69922003000100017). Acesso em: 19 jan. 2020.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (SIAGAS). Banco de dados de poços do Ceará. Disponível em: <http://www.siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 21 jan. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE (Brasil). **Relatório de Situação Ceará**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2009. Disponível em:



[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/sistema\\_nacional\\_vigilancia\\_saude\\_relatorio\\_CE\\_4\\_ed.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/sistema_nacional_vigilancia_saude_relatorio_CE_4_ed.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

SOUZA, G. O. C. Limitações da análise demográfica em área de proteção e preservação ambiental no Estado de São Paulo. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Caxambu: ABEP, 2004. p. 1–21. 52, 122.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Nova delimitação Semiárido**. Disponível em:

[http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiariado/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Munic%C3%ADpios\\_Semi%C3%A1rido.pdf](http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiariado/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf). Acesso em: 19 jan. 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Resolução nº 107/2017**. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Recife, 2017. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/2017/arquivos/Resolucao-107-2017.pdf>. Acesso em 19 jan. 2020.

TEXEIRA, A. G. *et al.* **Manual operacional dos objetos padronizados do Programa Água para Todos**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2013. Disponível em: [http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=9967cc63-403c-4fe2-aa8e-256ff2d53c9c&groupId=10157](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=9967cc63-403c-4fe2-aa8e-256ff2d53c9c&groupId=10157). Acesso em: 19 set. 2013.

THOMAS, T.H.; MIDDLETON, N. **Desertification: exploding the myth**. New York: Wiley-Blackwell, 1994.

TROLEIS, A. L. & SILVA, B. L. Do polígono das secas à vulnerabilidade ao colapso hídrico: uma análise do território do rio grande do norte – Revista Geosertoes. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/cfp/index.php/geosertoes/article/view/524>. Acesso em: 15 de Jul de 2019.

TROLEI, A. L. & SILVA, B. L. Os recursos hídricos do Rio Grande do Norte: uma análise da vulnerabilidade territorial ao colapso no abastecimento de água, Confins 34 | 2018, 2018. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/12901>. Acesso em: 02/02/2019.

UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. Estratégia Internacional para Redução de Desastres, da Organização das Nações Unidas. 2009. Disponível em: [https://www.preventionweb.net/files/7817\\_UNISDRTerminologyEnglish.pdf](https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf). Acesso em 29/01/2019.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior. **Análise integrada dos efeitos da expansão urbana nas águas subterrâneas como suporte a gestão dos recursos hídricos da zona norte de Natal – RN**. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

VASCONCELOS, E. B. C. **Dinâmica da água e dos nutrientes no sistema de produção integrado gerado pela dessalinização da água de poço do semiárido brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2011. Disponível em: <http://observatorio.faculdadeguanambi.edu.br/wp-content/uploads/2015/04/Vasconcellos-2011.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2020.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, p. 245, 1975.

WHELAN & WILLIS, 2007. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/6212092\\_Problems\\_with\\_provision\\_barriers\\_to\\_drinking\\_water\\_quality\\_and\\_public\\_health\\_in\\_rural\\_Tasmania\\_Australia](https://www.researchgate.net/publication/6212092_Problems_with_provision_barriers_to_drinking_water_quality_and_public_health_in_rural_Tasmania_Australia). Acesso em: 10 mar. 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines**. UNICEF/WHO, 2017. Disponível em:

[https://www.unicef.org/publications/files/Progress\\_on\\_Drinking\\_Water\\_Sanitation\\_and\\_Hygiene\\_2017.pdf](https://www.unicef.org/publications/files/Progress_on_Drinking_Water_Sanitation_and_Hygiene_2017.pdf). Acesso em: 20 out. 2018.

XIMENES, V. & CAMURÇA, C. & MOTA, L. & GURGEL, L. & LEITE, J. 2017. Impactos da seca na saúde mental de moradores de uma comunidade rural. PSI UNISC. 1. 32.

10.17058/psiunisc.v1i1.9616. Disponível em

[https://www.researchgate.net/publication/322324160\\_Impactos\\_da\\_seca\\_na\\_saude\\_mental\\_de\\_moradores\\_de\\_uma\\_comunidade\\_rural](https://www.researchgate.net/publication/322324160_Impactos_da_seca_na_saude_mental_de_moradores_de_uma_comunidade_rural). Acesso em: 10 mar. 2019.