



PLAN TERR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E FILOSOFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL
MESTRADO PROFISSIONAL**

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DAS TERRAS
NO MUNICÍPIO DE IRAQUARA, BAHIA, NO PERÍODO DE 2009 A
2016**

Iraquara – Bahia
Agosto, 2018

Elaine de Oliveira Martins

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DAS TERRAS
NO MUNICÍPIO DE IRAQUARA, BAHIA, NO PERÍODO DE 2009 A
2016**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial – PLANTERR, do Departamento de Ciências Humanas e Filosofia da Universidade Estadual de Feira de Santana, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento Territorial

Orientadora: Prof. Dra. Elane Fiúza Borges

Iraquara – Bahia
Agosto, 2018

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

M341c Martins, Elaine de Oliveira

Análise multitemporal do uso e cobertura das terras no município de Iraquara, Bahia, no período de 2009 a 2016 / Elaine de Oliveira Martins. – 2018.

150f.: il.

Orientadora: Elane Fiúza Borges

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial, 2018.

1. Geotecnologias. 2. Satélite Landsat. 3. Iraquara /Bahia.

I. Borges, Elane Fiúza, orient. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU: 71(814.22)

Tatiane Souza Santos - Bibliotecária CRB5/1634

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E FILOSOFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO TERRITORIAL –
PLANERR - MESTRADO PROFISSIONAL

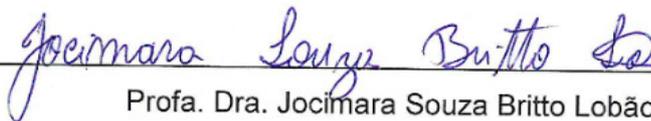
ELAINE DE OLIVEIRA MARTINS

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DAS TERRAS NO
MUNICÍPIO DE IRAQUARA, BAHIA, NO PERÍODO DE 2009 A 2016



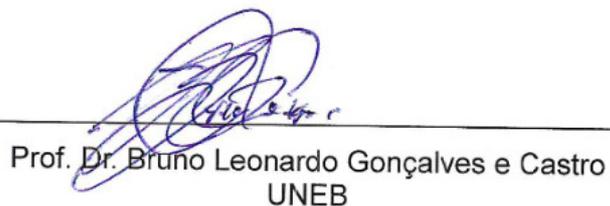
Profa. Dra. Elane Fiuza Borges

PLANERR/UEFS



Profa. Dra. Jocimara Souza Britto Lobão

UEFS



Prof. Dr. Bruno Leonardo Gonçalves e Castro
UNEB

Aprovado em 31 de agosto de 2018

Feira de Santana/BA
2018

*Dedico este trabalho à
memória do meu avô
José Martins dos Anjos,
que sempre acreditou no
saber como a maior
virtude de um homem.*

AGRADECIMENTOS

Começar a escrever esta página é expressar toda a minha “GRATIDÃO” a Deus que me sustentou durante esses dois anos e meio de estudo, dando-me saúde, sabedoria, paciência e ânimo para realizar este estudo que por vários momentos mostrou-se árduo.

Aos meus pais, D. Ivone e Seu Raimundo por todo o amor dedicado, pelo apoio e incentivo aos meus estudos, vocês são a força e a energia que me inspira todos os dias.

A minha orientadora Elane Fiuza Borges, que aceitou o desafio de orientar esse trabalho e que muito contribuiu durante todo o período. Foi seu espírito humano, a sua paciência, competência, firmeza que me motivou a encarar todos os desafios desta pesquisa que por vezes pensei em desistir, a você meu carinho eterno.

Aos meus Irmãos Aline, Rômulo, Simão e Cristiane e aos meus cunhados Lucas, Zaira e Marcília pelo apoio e amizade.

Aos meus sobrinhos Emanuely, Pedro, Lavínia, João e Helena por encher meu coração e meus dias de alegria.

Aos amigos Argileu e Jessé, que foram peças fundamentais na pesquisa de campo, além da demonstração de carinho e amizade durante todo esse processo, meus sinceros agradecimentos.

A colega Priscila Pinheiro, pela competência e pelo tempo disponibilizado para orientações e auxílio na elaboração dos mapas. Sempre se preocupando com o andamento do trabalho e por vezes deixou de atender seus compromissos pessoais para me ajudar. A você minha eterna amizade e gratidão.

Aos amigos Cássia, Ailton, D. Creuza e a pequena Ana Laura, pelo acolhimento e cuidado. Jamais vou esquecer o carinho e a amizade, demonstrado no período que passei em Salvador, que me faziam sentir em casa.

As minhas amigas Janaina, Núbia, Joselane, Drika, Lamaria, por todo o carinho e compreensão nos momentos que estive ausente, por me alegrar e tornar meus dias mais leves.

A minha família: tios e primos pelo carinho e amizade. Ao meu avô materno José Raimundo, que sempre incentivou seus filhos e netos em seus estudos.

A Cléssio Paiva (Clessinho) por todo incentivo e carinho na reta final deste trabalho, sua energia transmite tranquilidade e confiança.

Aos meus amigos do CEMTL, por todo apoio durante minhas ausências e por toda amizade demonstrada durante esses anos de trabalho, a luta diária é mais prazerosa com a presença de vocês.

Aos colegas da Turma-4 do PLANTERR que alegravam e tornavam a ida a Feira de Santana menos cansativa, pelas ideias que vieram a colaborar na realização deste estudo, pela parceria, amizade, risos, resenhas e pela certeza que um laço de amizade foi criado.

Aos professores do PLANTERR por toda contribuição acadêmica, e discussões de sala de aula, em especial a professora Jocimara Lobão que despertou em mim o desejo de conhecer as geotecnologias, que se tornou minha maior relação de amor e ódio durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos que viveram comigo esse sonho e que compartilharam dos momentos de alegrias e tristezas, meu muito OBRIGADA!

RESUMO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência dos seres vivos, sendo empregado um alto valor no desenvolvimento das atividades econômicas e torna-se cada vez mais evidente a dependência humana frente aos recursos hídricos. Estes já apresentam sinais de escassez em algumas regiões do planeta Terra, seja pelo uso indiscriminado ou pela má distribuição, como é o caso do semiárido nordestino, onde localiza-se o município objeto desse estudo. Iraquara situa-se na porção Centro-Norte do Estado da Bahia, localizada sobre uma extensa área de rochas carbonáticas, que se encontra um importante aquífero cárstico. O tipo de solo e a topografia do município favorecem a agricultura, principal atividade econômica da região. No entanto, as características inerentes de um ambiente cárstico em clima semiárido, os baixos cursos superficiais, têm dificultado o desenvolvimento dessa atividade agrícola, que nos últimos anos vem sendo substituída por técnicas de irrigação que explora a água subterrânea a partir da perfuração de poços tubulares como meio de irrigar as áreas cultivadas. Com base nisso, este trabalho tem como objetivo principal analisar as mudanças no uso e cobertura das terras no município de Iraquara-Ba, por meio das geotecnologias, no período de 2009 a 2016. A análise multitemporal contou com imagens do satélite Landsat-5 TM, e Landsat-8 OLI, para alcançar os objetivos utilizou-se de procedimentos metodológicos que nortearam essa pesquisa, como: a construção da base teórica, aquisição dos dados vetoriais e *raster*, mapeamento dos poços tubulares, Processamento Digital das Imagens (PDI), que gerou os mapas de Uso e cobertura das terras para o ano de 2009 e 2016 por meio do algoritmo interpolador *Bhattacharyya*, executou-se o trabalho de campo para validar os mapas e subsidiar o cálculo dos índices de Tau, Exatidão Global e dos erros de Comissão e Omissão, aplicou-se a tabulação cruzada entre o uso e cobertura das terras, dos anos de estudo, que gerou uma matriz de transição e a intersecção das classes para gerar o mapa de mudança. Os resultados oriundos dessa pesquisa mostraram que o número de poços perfurados no município é crescente, se destaca o período entre 2010-2016 com o quantitativo de 112 poços perfurados, o que representam 83% dos poços mapeados em campo, sendo que a maior concentração se encontra sobre o relevo cárstico, e apresentam maiores vazões. Houve modificações nas classes de usos estudadas, com avanço significativo da classe agricultura irrigada e consequente redução da classe uso agropecuário/solo exposto.

Palavras-Chave: Uso e Cobertura das Terras, Iraquara, Agricultura Irrigada, Geotecnologias.

ABSTRACT

Water is an essential natural resource for the survival of living beings, a high value is used in the development of economic activities and human dependence on water resources becomes increasingly evident. These already show signs of scarcity in some regions of planet Earth, either through indiscriminate use or poor distribution, as is the case of the Northeastern semi-arid, where the municipality of this study is located. Iraquara is located in the Center-North portion of the State of Bahia, located on an extensive area of carbonate rocks, which is an important karst aquifer. The soil type and the topography of the municipality favor agriculture, the main economic activity. However, the inherent characteristics of a karst environment in semi-arid climate, the low surface courses, have hampered the development of this agricultural activity, which in recent years has been replaced by irrigation techniques that exploit groundwater from the drilling of tubular wells as a means of irrigating cultivated areas. Based on this, this work has as main objective to analyze the changes in land use and coverage in the municipality of Iraquara-Ba, through geotechnologies, from 2009 to 2016. The multitemporal analysis included images from the Landsat-5 TM satellite, and Landsat-8 OLI, to achieve the objectives, we used methodological procedures that guided this research, such as: theoretical base construction, vector and raster data acquisition, tubular wells mapping, Digital Image Processing (PDI) which generated the Land Use and Coverage maps for the year 2009 and 2016 by means of the Bhattacharyya interpolator algorithm, the fieldwork was carried out to validate the maps and to subsidize the calculation of the Tau, Global Accuracy and Commission and Omission, we applied the cross tabulation between land use and land cover, the years of study, which generated a transition matrix and the intersection of the classes to generate the map of muda child. The results of this research showed that the number of wells drilled in the municipality is increasing, the period between 2010-2016 stands out with the number of 112 drilled wells, representing 83% of the wells mapped in the field, with the highest concentration being found on the karst relief, and present higher flows. There were modifications in the classes of uses studied, with significant advance of the class irrigated agriculture and consequent reduction of the agricultural use class / exposed soil.

Key-words: Land Use and Coverage, Iraquara, Irrigated Agriculture, Geotechnology

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de Estudo

Figura 2: Precipitação Mensal do Município de Iraquara (1960-1990)

Figura 3: Precipitação Mensal do Município de Iraquara (1999-2011)

Figura 4: Mapa Geológico simplificado de Município de Iraquara

Figura 5: Mapa Geomorfológico do Município de Iraquara

Figura 6: Dolina de colapso na entrada do povoado de Santa Rita, próximo a caverna Lapa Doce.

Figura 7: Entrada principal da Caverna Lapa Doce.

Figura 8: Mapa da Região Cárstica do Município de Iraquara, onde encontra-se o maior número de cavernas registradas e a crescente perfuração de poços tubulares.

Figura 9: Mapa de Classes de Solo no Município de Iraquara

Figura 10: Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico utilizado para agricultura irrigada no povoado de Mato Preto, Iraquara.

Figura 11: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico utilizado para criação de animais no povoado de Matinha, Iraquara.

Figura 12: Mapa de Distribuição da Cobertura vegetal e Uso das terras no Município de Iraquara

Figura 13: Área de Proteção Ambiental - APA Marimbus Iraquara

Figura 14: Mapa Hidrografia

Figura 15: Mapa de Hipsométrico do Município de Iraquara

Figura 16: Mapa de Declividade do Município de Iraquara

Figura 17: Surgência cárstica do raso lençol freático, conhecida no município pelo nome de Poço de Manoel Felix

Figura 18: Comportamento espectral de diferentes alvos naturais

Figura 19: Mapa de formação de Dolinas no Município de Iraquara

Figura 20: Etapas Metodológicas do desenvolvimento da pesquisa

Figura 21: Localização da área de estudo nas cenas do Landsat

Figura 22: A: Sobreposição do vetor de segmentação sobre a imagem Landsat-5 R4G3B2 e B
Sobreposição do vetor de segmentação sobre a imagem Landsat-8 R5G4B3

Figura 23: Chaves de interpretação representativas da imagem de satélite Landsat-8, imagens Google Earth e das classes selecionadas para classificação das imagens Landsat-5 e Landsat-8 dos anos de 2009 e 2006.

Figura 24: Pontos de Campo

Figura 25: Mapa de Uso e Cobertura das Terras resultante da Classificação por região pelo método Bhattacharya para o ano de 2009

Figura 26: Mapa de Uso e Cobertura das Terras resultante da Classificação por região pelo método Bhattacharya para o ano de 2016

Figura 27: a- Rio Santo Antônio, no trecho da fazenda Pratinha, b- Lagoa de Piroca, em uma fazenda privada que leva o mesmo nome no Distrito de Iraporanga.

Figura 28: a- representa uma plantação de cebola com poucos dias de plantada, b- plantação de cebola próximo a colheita.

Figura 29: Parque da Dolina na entrada principal da cidade de Iraquara

Figura 30: Riacho São Clemente no Povoado de Duas Barras localizado a nordeste do município.

Figura 31: Afloramento rochoso localizado a leste do município de Iraquara, em uma localidade conhecida como Candéal.

Figura 32: a Fábrica de biodiesel instalada em 2006, b- Bairro “Nova Iraquara” que se desenvolveu a partir do ano de 2009.

Figura 33: Mapa de Detecção de Mudanças do Uso e Cobertura das Terras do município de Iraquara-Ba

Figura 34: Mapa de Detecção de Mudança Para a Classe Cobertura Vegetal

Figura 35: Mapa de Detecção de Mudança Para a Classe Agricultura Irrigada

Figura 36: Mapa de Detecção de Mudança Para a Classe Agropecuário/Solo Exposto

Figura 37: Mapa de Detecção de Mudança Para a Classe Afloramento Rochoso

Figura 38: Mapa de Detecção de Mudança Para a Classe Área Construída

Figura 39: Mapa de Detecção de Mudança Para a Classe Corpos D’Água

Figura 40: Mapa dos Poços Tubulares sobreposto à rede hidrográfica e a região Cárstica do Município de Iraquara

Figura 41: Gráfico que associa o número poços georreferenciados durante o trabalho de campo e suas respectivas datas de abertura (1975 a 2016) no município de Iraquara.

Figura 42: Produção Agrícola Municipal - Agricultura de Sequeiro (1991-2015)

Figura 43: Produção Agrícola Municipal – Agricultura Irrigada (1991-2015)

Figura 44: a- Cultivo de alho, b- poço tubular instalado, c- cultivo de pimentão, d- terra em processo de preparação para plantio, e- reservatório de água, f- terra em processo de preparação para o plantio.

Figura 45: Correlação da Profundidade e ano de perfuração dos poços tubulares do município de Iraquara

Figura 46: Sumidouro do Riacho Água de Rega

Figura 47: a- Afloramento do raso lençol freático no leito do Riacho Água de Rega, b- Cacimba do afloramento natural do raso lençol freático no leito do Riacho Água de Rega.

Figura 48: Mapa de profundidade Interpolado pelo método Krigagem

Figura 49: Interpolação da vazão pelo método Krigagem

Figura 50: Correlação entre a variável Vazão e o ano de Perfuração dos poços tubulares do município de Iraquara

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características do instrumento sensor TM do satélite LANDSAT-5

Quadro 2: Características do instrumento sensor OLI do satélite LANDSAT-8

Quadro 3: Metadados utilizados na Pesquisa

LISTA DE SIGLAS

APA – Área de Proteção Ambiental

BA – Bahia

CERB - Companhia de Recursos Hídricos do Estado da Bahia

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca

Ekg - Espodossolo Hidromórfico

EMBASA - Empresa Baiana de Água e Saneamento

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária

GNSS - Global Navigation Satellite System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW – Inverso do Quadrado da Distância

INEMA - Instituto de Recursos Hídricos e Meio Ambiente

INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico

Lve – Latossolo Vermelho Eutrófico

MDT – Modelo Digital de Terreno

mm – Milímetros

MSS - Multispectral Scanner System

OCDE - Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico

OLI – Operational Land Imager

PDI – Processamento Digital de Imagem

PERH –BA - Plano de Recursos Hídricos da Bahia

PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

RGB – Red, Green and Blue

RLd - Neossolo Litólico Distrófico

RMS - Erro Médio Quadrático

SEI – Superintendência de Desenvolvimento Econômico e Social

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SR – Sensoriamento Remoto

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SSA - Sistema Autônomo de Abastecimento

TIRS - Thermal Infrared Sensor

TM – Thematic Mapper

UTM – Universal Transversa de Mercator

LISTA TABELAS

Tabela 1: Satélites da série LANDSAT

Tabela 2: Imagens utilizadas na pesquisa

Tabela 3: Classes mapeadas, suas áreas e porcentagens

Tabela 4: Matriz de Confusão, Exatidão do produtor, Exatidão do Consumidor, Exatidão Global e Índice Tau.

Tabela 5: Alterações de uso e cobertura das terras agregadas por classe.

Tabela 6: Alterações de uso e cobertura das terras desagregadas.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 07 |
| 1.1 Objetivos..... | 09 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 09 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos..... | 09 |
| 1.2 Justificativa..... | 09 |
| | |
| 2 ÁREA DE ESTUDO | 11 |
| 2.1 Localização..... | 11 |
| 2.2 Características Físicas..... | 13 |
| 2.3 Contexto Socioeconômicos..... | 35 |
| | |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 38 |
| 3.1 Uso e Cobertura da Terra..... | 38 |
| 3.2 Sensoriamento Remoto (SR)..... | 40 |
| 3.2.1 SATÉLITE LANDSAT (<i>Land Remote Sensing Satellite</i>)..... | 42 |
| 3.3 Processamento Digital de imagens..... | 46 |
| 3.3.1 Segmentação de Imagens..... | 48 |
| 3.3.2 Classificação Supervisionada por Região..... | 49 |
| 3.4 Sistemas de Informações Geográficas..... | 49 |
| 3.4.1 Análise Multitemporal..... | 50 |
| 3.5 Exploração da Água Subterrânea em Regiões Cársticas | 51 |
| | |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 56 |
| 4.1 Procedimentos Metodológicos..... | 56 |
| 4.1.1 Levantamento Bibliográfico..... | 58 |
| 4.1.2 Trabalho de Campo..... | 58 |
| 4.1.3 Aquisição das imagens de satélites..... | 59 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.1 Coleta de dados da área de estudo e construção de um SIG..... | 61 |
| 4.2 Processamento Digital de Imagem..... | 62 |
| 4.2.1 Pré-Processamento..... | 62 |
| 4.2.1.1 Integração de bandas..... | 63 |
| 4.2.1.2 Correção Geométrica (Georeferenciamento)..... | 63 |
| 4.2.1.3 Mosaicagem e Recorte..... | 64 |
| 4.2.4 Composição Colorida..... | 64 |
| 4.3 Processamento..... | 65 |
| 4.3.1 Segmentação..... | 65 |
| 4.3.2 Classificação..... | 66 |
| 4.3.3 Validação do Mapa de Uso e Cobertura das Terras..... | 68 |
| 4.4 Tabulação Cruzada..... | 70 |
| 4.5 Krigagem como Método de Análise de Dados..... | 70 |
| | |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 72 |
| 5.1 Mapa de Uso e Cobertura das Terras..... | 72 |
| 5.2 Validação do Mapa de Uso e Cobertura das Terras..... | 83 |
| 5.3 Detecção de Mudanças do Uso das Terras e Cobertura Vegetal..... | 85 |
| 5.4 Espacialização dos Poços Artesianos Utilizados para Agricultura Irrigada..... | 101 |
| 5.5 Análise das Variáveis Profundidade e Vazão dos Poços Tubulares..... | 108 |
| 5.5.1 Análise da Variável Profundidade dos poços Tubulares..... | 108 |
| 5.5.2 Análise da Variável Vazão dos poços Tubulares..... | 114 |
| | |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES..... | 117 |
| | |
| REFERÊNCIAS..... | 119 |
| | |
| APÊNDICE..... | 125 |

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à manutenção da vida no planeta, sendo dotada de um alto valor para as atividades econômicas. No entanto, vem sendo motivo de preocupação em todo o mundo pelos sinais evidentes de crescente escassez e degradação. Hoje, muitos países já sofrem com a falta de água (países do norte e sul da África e da região central da Ásia), onde encontram as terras mais áridas e cerca de 1,1 bilhão de pessoas com abastecimento precário. As projeções da Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico indicam uma perspectiva de 2,3 bilhões de pessoas vivendo em áreas com grandes restrições hídricas até 2050 (OECD, 2012a).

Além da escassez, a má distribuição espacial dos recursos hídricos, aliada a diversos fatores, tais como o crescimento populacional, o processo intensivo de urbanização, a expansão da fronteira agrícola e a implantação de indústrias de grande porte, podem ser responsáveis pelo aumento da demanda por água (HIRATA, 2008). O Brasil, embora considerado um país privilegiado, por concentrar em seu território aproximadamente 53% da água doce da América do Sul e 12% da água doce do mundo, possui um vasto semiárido, que abrange a maior parte do Nordeste e o norte de Minas Gerais, que apresentam baixa pluviosidade anual e uma deficiência hídrica muito grande, com baixas reservas superficiais de água, irregularidade na distribuição das chuvas espacialmente e temporalmente e altas taxas de insolação e evapotranspiração.

Associada as características físicas da região semiárida, as águas subterrâneas desempenham um papel fundamental no abastecimento da população, e o uso agrícola na irrigação de pequenas e grandes propriedades tem aumentado, surgindo como uma alternativa para suprimento da água em épocas de seca (HIRATA, 2008).

Essa procura por água, para garantir o desenvolvimento das atividades econômicas e o abastecimento público, não é diferente no município de Iraquara – Bahia, que possui um baixo gradiente superficial de água, mas em contrapartida possui uma rica reserva subterrânea, localizada sobre uma extensa área do relevo cárstico, onde predominam solos férteis. Nessa área do município desenvolve a agropecuária, principais atividades econômicas do município, que durante muito tempo desenvolveu-se de forma tradicional, dependente do regime de chuvas. No entanto, observou-se uma mudança no modo de produção agrícola do município, com uma substituição do modelo tradicional, por sistemas

mecanizados de irrigação, baseados na perfuração de poços tubulares, que vem se expandindo de forma rápida no município e principalmente na região cárstica.

Com o intuito de analisar as mudanças ocorridas no processo de uso e cobertura das terras, espacialmente (município de Iraquara) e temporalmente (2009-2016) foi que recorremos as técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e do Processamento Digital de Imagens (PDI) a fim de interpretar informações e dados sobre mudanças do uso e cobertura das terras e dos impactos ambientais provocados pelo avanço da agricultura em regiões cársticas, apoiados em uma base de dados do Sistema de Informações Geográficas (SIG), com dados físicos de geologia, geomorfologia, clima, hidrografia, solos, cobertura vegetal, declividade e altitude e dados de campo: poços, fotografias, visitas técnicas, que deram suporte para uma análise mais detalhada e segura da área de estudo.

Dentro deste contexto, destacamos a importância desse trabalho para o município, que buscou analisar uma demanda local a partir de uma inquietação: como as modificações no uso e cobertura das terras impactam no município de Iraquara e quais as implicações para a região do relevo cárstico. O recorte temporal utilizado foi o período de oito anos (2009-2016)

O mapeamento do uso e cobertura das terras e o monitoramento das mudanças são essenciais para o conhecimento da realidade ambiental da área a ser estudada, uma vez que pode contribuir na busca de soluções de problemas vindouros. Para tanto, é preciso considerar que estas análises precisam de um viés científico e multidisciplinar, que permita integrar aspectos biofísicos, naturais e sociais (TORRES, 2011).

Sendo assim, a análise multitemporal de imagens de satélite da área de estudo contribuiu para a classificação dos mapas de usos e cobertura das terras, a partir do mapeamento temático que gerou dados para compreender a organização social, além de diagnosticar mudanças e mostrar a distribuição real dos diferentes usos dos recursos naturais, cada vez mais explorados pelo homem.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Analisar as mudanças no uso e cobertura das terras, por meio do uso das Geotecnologias, no município de Iraquara-BA, nos anos de 2009 e 2016.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um banco de dados, em ambiente SIG, com dados geoambientais da área de estudo.
- Mapear/Espacializar os poços artesianos, utilizados para agricultura irrigada, existentes no município.
- Identificar, mapear e caracterizar as formas de uso e cobertura das terras no município de Iraquara.
- Correlacionar o uso das terras com o aumento dos poços tubulares.

1.2 Justificativa

O município de Iraquara apresenta aspectos no uso e cobertura das terras que merecem ser investigados, pois são frutos do modo como diferentes agentes sociais tem se apropriado para diferentes finalidades, como podemos destacar a moradia e o uso para o desenvolvimento de atividades primárias (agricultura e pecuária), principais atividades econômicas da área de estudo. O município desenvolveu-se sobre uma extensa área do relevo cárstico, com solos férteis, baixa drenagem superficial e uma rica reserva de água subterrânea, o que favoreceu historicamente a concentração populacional nesta área, e o desenvolvimento da malha urbana municipal.

Os problemas associados ao uso e cobertura das terras no município são percebidos a partir da intensificação na perfuração de poços, no aumento do desmatamento e no uso das terras para a agricultura irrigada, baseada na extração de água do subsolo a partir de poços tubulares. A concentração do maior número de poços encontra-se sobre a região cárstica do

município, onde o fraturamento da rocha favorece uma maior infiltração e acúmulo subterrâneo, ressaltando, que os rios da região assumem uma drenagem subterrânea na área do relevo cárstico por conta das feições características dessas áreas, como sumidouros, vales cegos, dolinas, cavernas, dentre outras formas.

As características físicas, associadas ao processo de uso e ocupação das terras influenciam diretamente no funcionamento do carste subterrâneo do município, com alto grau de vulnerabilidade para contaminação das terras e do lençol freático por dejetos humanos despejados em fossas secas e produtos químicos utilizados nas lavouras, comprometendo possivelmente a qualidade da água que abastece a população do município. Considerando ainda, que partes do relevo cárstico de Iraquara está localizado dentro de uma Área de Proteção Ambiental, a APA Marimbus Iraquara, que no processo de criação considerou a formação geológica calcária, as inúmeras grutas no subsolo e cursos d'água do município.

Diante dessa realidade é que surgiu o interesse de desenvolver uma pesquisa que buscasse conhecer os principais problemas causados com o usos e ocupação das terras, apoiada nas geotecnologias com o objetivo de promover uma análise dinâmica a partir dos mapas elaborados de uso e cobertura das terras, bem como, de uma base de dados físicos da área de estudo, capaz de indicar resultados que permitam acompanhar temporalmente as transformações no uso das terras e na cobertura vegetal no município de Iraquara.

Essa discussão assume grande importância, tendo em vista a relevância científica e social do tema e a carência de estudos sobre os usos das terras em regiões cársticas, que apresentam elevada fragilidade quando associada a retirada de grandes volumes de água e a infiltração de componentes químicos utilizados na agricultura irrigada.

Para tanto, compreendemos que é necessário diagnosticar as mudanças de uso e cobertura das terras, para propor um planejamento, que leve em consideração as características físicas e as demandas da população local, que são os principais envolvidos na temática em questão.

2 ÁREA DE ESTUDO

A partir do levantamento bibliográfico e cartográfico da área de estudo, foi elaborada a caracterização física e a construção da base de dados geográficos, que constam de dados climáticos, mapas de geologia, geomorfologia, hidrografia, declividade, altitude, solos, vegetação e dos dados coletados em campo dos poços tubulares.

2.1 Localização

A área de estudo corresponde ao município de Iraquara e está compreendida entre as coordenadas *UTM*, (Universal Transversa de Mercator), fuso 24S, 243745mE - 8626537mN e 194174mE - 8660283mN, no Território de Identidade da Chapada Diamantina, porção Centro-Norte do Estado da Bahia, limitando-se a norte com o município de Souto Soares, a nordeste com Mulungu do Morro e Bonito, a sul Palmeiras, a leste Lençóis, a oeste Seabra (Figura 1).

Esse município possui uma população de, aproximadamente, 25.279 habitantes, distribuídos entre uma população urbana de 7.558 e uma população rural de 17.721 habitantes, dispostos sobre uma área de 991.854 km², sendo que houve, nos últimos seis anos, um crescimento demográfico de aproximadamente 10% (IBGE 2017), com densidade demográfica de 25,48 hab/ km².

O acesso à cidade de Iraquara faz-se, por via rodoviária, a partir da cidade de Salvador, pela BR-324 até a cidade de Feira de Santana, percorrendo mais 69 km, pegando a direita no distrito de Paraguaçu, seguindo pela BR-242 até o povoado de Boa Vista de Cananéia, conhecido como (Carne Assada), no município de Seabra e, novamente a direita no entroncamento, segue pela BA-122, percorrendo 27 km até a sede municipal, que dista 470 km da capital baiana.

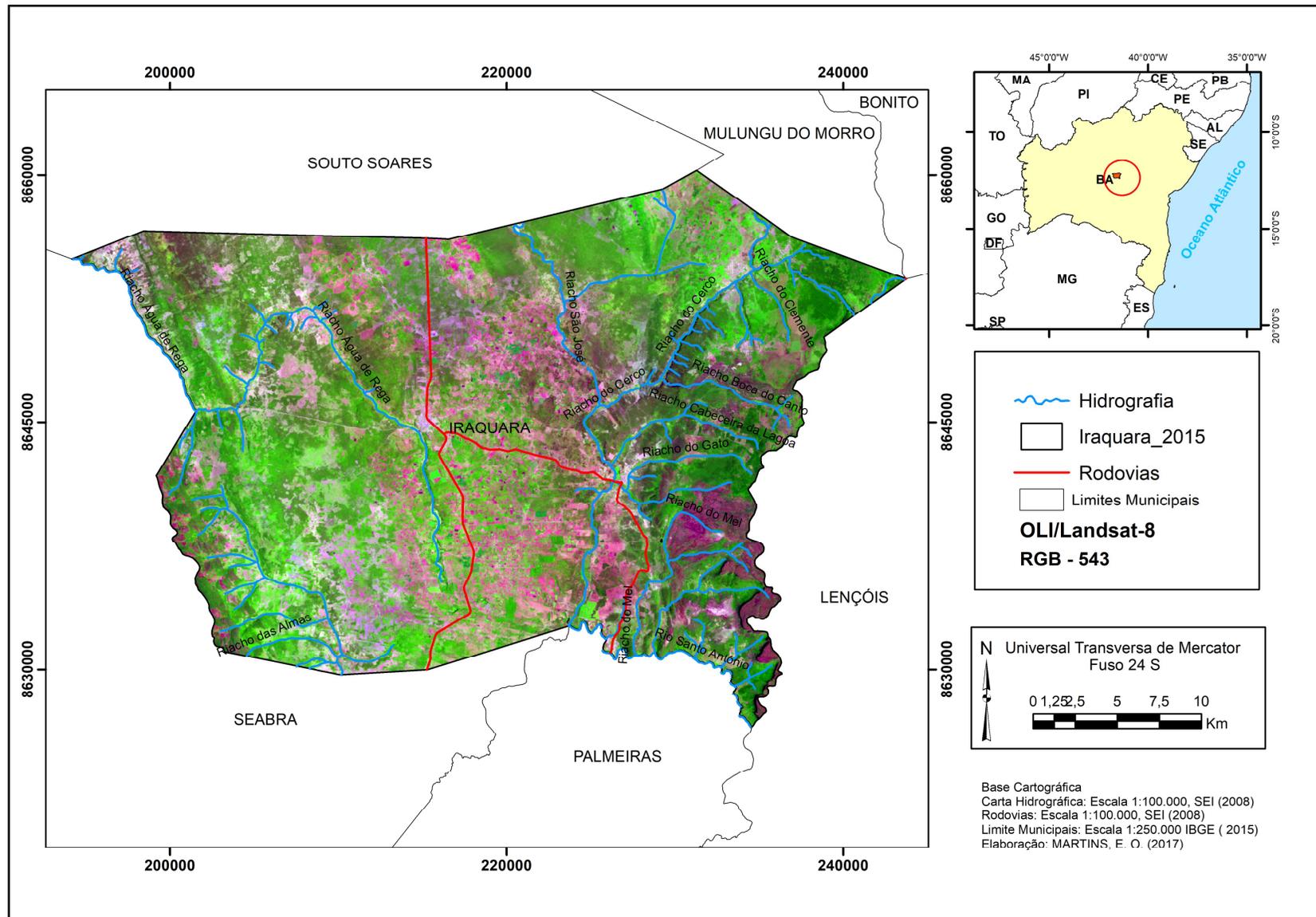


Figura 1: Localização da Área de Estudo

Fonte: INPE, Imagem Landsat-8, composição colorida R5G4B3 cenas 217/68, 217/69 e 218/68, ano 2016.

2.2 Características Físicas

De acordo com a classificação de KOPPEN o clima do município de Iraquara é do tipo BSWH, localizado em uma área de faixa climática sub-úmida a seca, com temperaturas médias anuais em torno de 22,5 e 23,5 °C (BAHIA, 1998), apresenta alta variabilidade espacial e temporal de chuvas. A (Figura 2) indica que o período caracterizado com maiores precipitações ocorre entre os meses de novembro-abril, com valores de precipitação média oscilando entre 63 a 118 mm. Em contrapartida as menores precipitações ocorrem entre os meses de maio-outubro, com variações médias entre 4 e 37 mm, sendo o mês de setembro o que apresenta as menores precipitações pluviométrica anual. Os dados em destaque na Figura 2 representam a média mensal dos dados pluviométricos no período de 1960-1990, coletados na estação de Iraquara, pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), que identificou no período em análise uma média anual de 678,1 mm ano (SILVA, 2005).

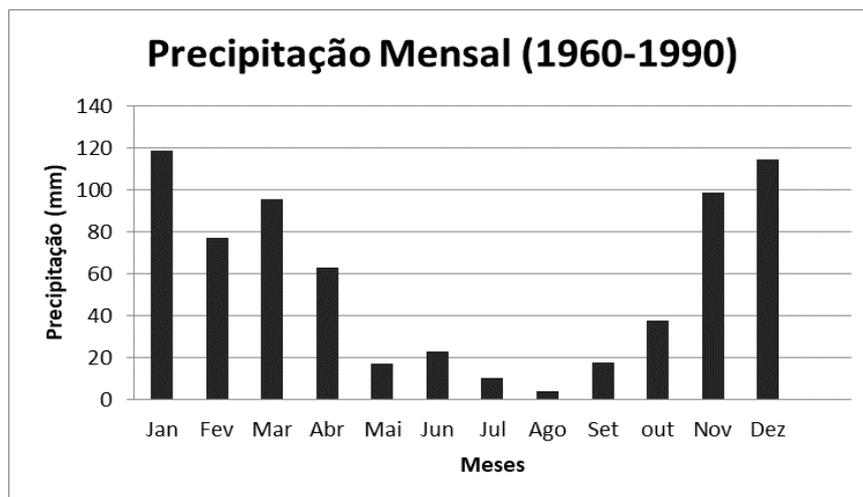


Figura 2: Precipitação Mensal do Município de Iraquara (1960-1990)

Fonte: Silva (2005)

Elaboração: Martins (2017)

Vale destacar também os dados pluviométricos do período de 1999-2011 (Figura 3), uma vez que apresentam informações climáticas de alguns anos em estudo nesta pesquisa (2009-2011). A precipitação pluviométrica no período em análise indicou os meses mais chuvosos entre novembro-abril com uma média de chuvas entre 72 a 121 mm, e os meses menos chuvosos de maio-outubro com uma precipitação entre 1,9 e 56 mm, com uma média anual em torno de 649 mm.

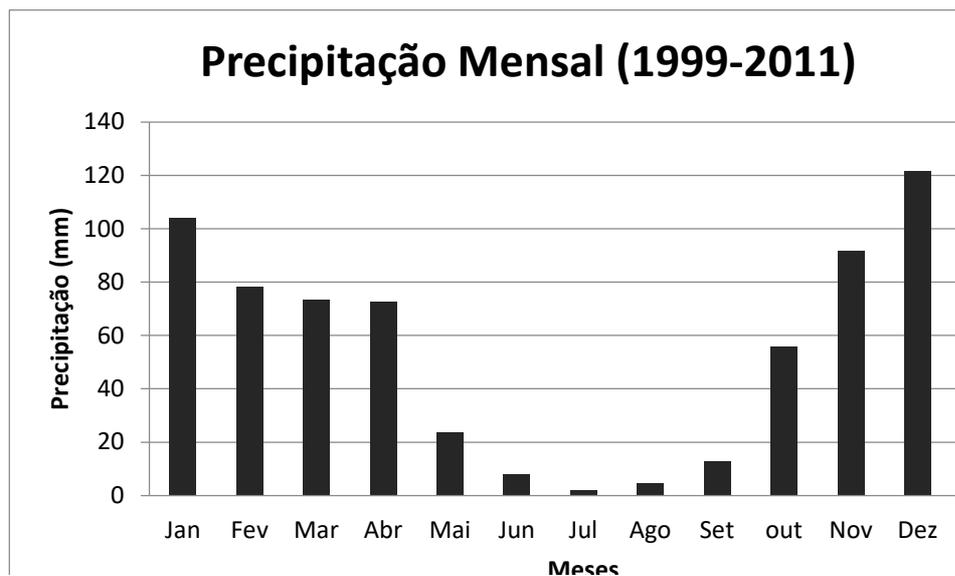


Figura 3: Precipitação Mensal do Município de Iraquara (1999-2011)

Fonte: Secretaria de Meio Ambiente, INEMA

Elaboração: Martins (2017)

O fato das precipitações pluviométricas ocorrerem de forma irregular, tanto temporal como espacialmente, tem levado o agricultor da área de estudo, a buscar formas de amparo à suas atividades agrícolas na captação de água subterrânea, destacando-se a agricultura irrigada como principal suporte destas atividades (SILVA, 2005).

Observa-se, que ao longo desses anos pouca coisa mudou no regime climático do município. Entretanto, as características físicas como: solos férteis e relevo pouco acidentado, favorecem a ocupação humana com atividades agropecuárias, principais atividades econômicas do município, que durante muito tempo utilizou-se da água da chuva para produzir e criar os animais. No entanto, nota-se uma queda a partir do ano 2005 no processo de produção agrícola tradicional, dependente da regularidade das chuvas, e um avanço desde os anos 2000 da produção agrícola apoiada por técnicas de irrigação, com o uso de poços tubulares os quais retiram do subsolo a água necessária às lavouras.

Geologicamente, o município de Iraquara desenvolveu-se numa extensa área sobre rochas carbonáticas da Formação Salitre, que juntamente com a Formação Bebedouro, compreendem uma sequência de rochas terrígenas-carbonáticas denominadas Grupo Una, depositados durante o neoproterozóico. Essa área repousa discordantemente sobre os metassedimentos da Chapada Diamantina (Pedreira, 1994; Salles, 2017), sendo a carstificação do solo e da rocha intensa nesta área, o que favorece uma rápida infiltração da água superficial e é nesse espaço onde desenvolve prioritariamente a agricultura irrigada.

Predominam uma litologia formada por: calcarenito, calcilutito, silitito, calcário, argilito e dolomitos pouco deformados, com os menores valores altimétricos variando entre 566 a 780 metros, correspondendo a relevos suaves com baixa declividade em praticamente toda a área (<6% a 12%) apresentando declividades maiores nas áreas de vale (12% a 20%), com dolinas de abatimento e vales cársticos, para onde convergem os fluxos hídricos em seus trechos subterrâneos alimentando o Riacho Água de Rega, das Almas, e do Gado, que percorrem trechos subterrâneos na região cárstica.

Além da Formação Salitre e Bebedouro do Grupo Una, encontramos no município a formação Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu do Grupo Chapada Diamantina. A formação Tombador consiste em arenitos e conglomerados e raros pelitos, ocorre próximo a porção sudeste e sudoeste do município, próximo as localidades de Olhos D'água e Riacho do Mel e as localidades de Vereda e Riacho Magro, respectivamente. A formação Caboclo constituída por pelitos, silititos e arenitos, podem ser comumente encontradas na faixa oeste próximo a localidade de Água de Rega e Sonhém, até Riacho Magro e a leste entre Duas Barras e Riacho do Mel. A Formação Morro do Chapéu consiste de conglomerados, arenitos e raros pelitos, essa formação pode ser encontrada a nordeste do município nas localidades de Cerco, Duas Barras e São José (SANTOS, 2011).

Na Formação Açuruá do Grupo Paraguaçu, encontra-se quartzitos e metasilititos finamente laminados, com acamadamento ondulado a lenticular com lentes de metarenito fino intercalados. Na área de estudo essa formação ocorre numa pequena área a Sudeste, próximo a localidade de Riacho do Mel. (Andrade Filho, 1999; Santos 2011)

Segundo Souza et al (1993), as coberturas Cenozóicas são representadas por Coberturas residuais (calcilutito, cacuarenito), representadas por cotas mais elevadas entre (900 a 1050 metros), correspondem aos remanescentes de pediplanos cimeiros. Na área de estudo são encontradas na porção norte e noroeste. Segundo Santos (2011), as Coberturas detrito-lateríticas (arenito conglomerático, quartzo arenito), são formadas por brechas calcárias, com seixos de tamanhos variados em matriz carbonática, podem ser encontradas nas faixas do sentido norte-noroeste e sul-sudoeste, recobrem grande parte da área de estudo. Como podemos visualizar no mapa geológico da (Figura 4).

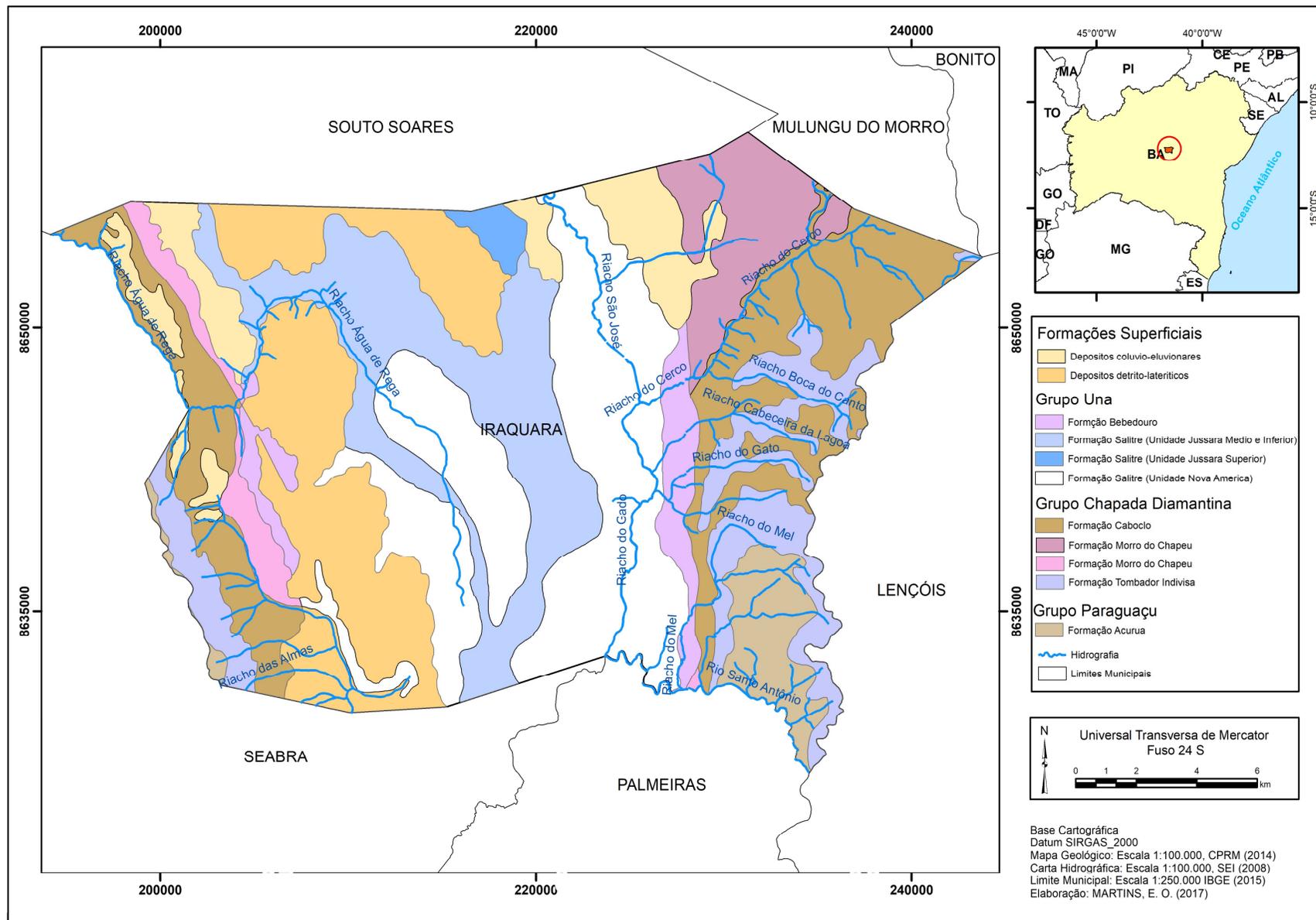


Figura 4: Mapa Geológico simplificado de Município de Iraquara

No que diz respeito a geomorfologia, a área do município está dividida em três grandes complexos geomorfológicos (Figura 5), descritos pelos Pediplanos cimeiros, blocos planálticos (ambos esculpidos sobre os metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina) e pelos planaltos cársticos (modelados sobre as litologias carbonáticas do Grupo Una), (SANTOS, 2011).

O compartimento geomorfológico denominado Pediplanos Cimeiros corresponde as porções mais altas do relevo, na área é caracterizado por planaltos e serras em rochas siliciclásticas bordejadas por escarpas íngremes, que contrastam com o relevo planalto cárstico situado a leste e oeste da área (CRUZ JÚNIOR, 1998). As formas de relevo que formam esta unidade, englobadas em modelados de aplainamento, resultam da superfície de aplainamento que foi degradada, interrompida por cristas residuais de camadas mais resistentes (SILVA, 2005).

Outro complexo geomorfológico são os Blocos Planálticos representados por compartimentos elevados, topos côncavos ou convexos, suavemente dobrados, apresentando feições estruturais modeladas por metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina (SANTOS, 2011). Suas feições ocorrem na porção oeste e sudeste do município, sendo caracterizados por Silva (2005) como elevações residuais, cujas bordas, situadas no contato metaconglomerados/metarenitos com metassiltitos, são escarpadas.

O terceiro compartimento é o Planalto Cárstico que corresponde a uma área de aproximadamente 409 km², cobrindo toda a região central do município de norte a sul, que representa quase 50% da área total do município. Caracterizado por relevos suavemente ondulados situados no sopé das maiores elevações, com cotas máximas entre 566-780 metros de altitude, junto ao contato geológico com as rochas não carbonáticas, predominando na região central da área de estudo, região onde avança a perfuração de poços tubulares para a agricultura irrigada (CRUZ JÚNIOR, 1998). Guerra (1986), Negrão (1987), Cruz Júnior (1998) e Santos (2011), descrevem as feições típicas, relacionadas ao planalto cárstico de Irecê, com áreas carentes de redes de drenagens superficiais, substituídas pela drenagem subterrânea e o aparecimento de estruturas de abatimento e acomodação como os vales cegos.

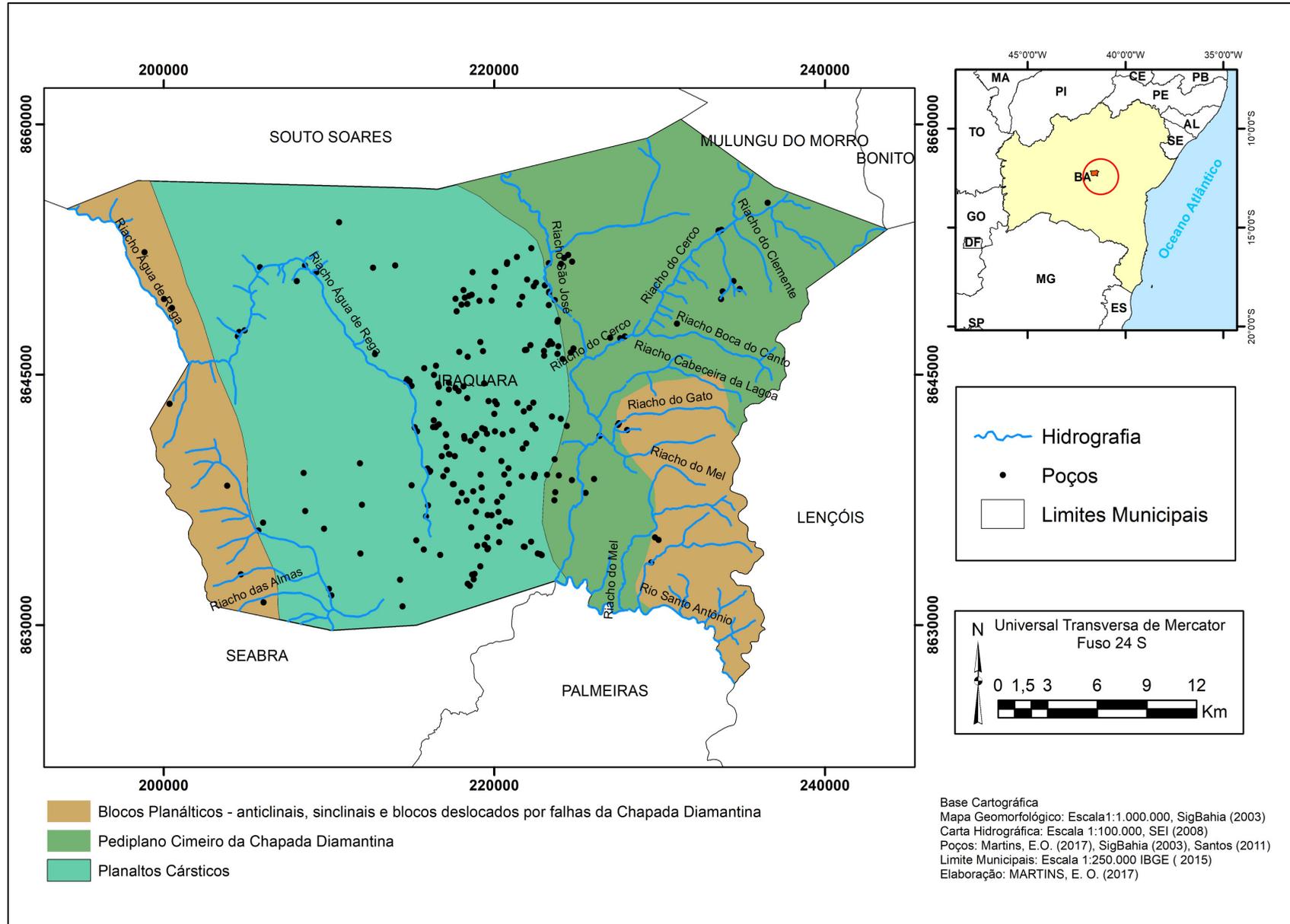


Figura 5: Mapa Geomorfológico do Município de Iraquara

Destacam-se morfologias de carste coberto, com uma grande quantidade de cavernas, dolinas, sumidouros, escarpas calcárias, ressurgências, entre outras formas características do relevo cárstico, como podemos observar uma dolina de colapso no povoado de Santa Rita (Figuras 6) e uma caverna, formas bem comuns no município (Figura 7).



Figura 6: Dolina de colapso na entrada do povoado de Santa Rita, próximo a caverna Lapa Doce.

Fonte: Martins, 2018



Figura 7: Entrada principal que dá acesso a Caverna Lapa Doce.

Fonte: Martins, 2018

As redes de galerias existentes na região compõem um dos mais relevantes sítios espeleológicos do país (Figura 8), onde, atualmente, encontram-se registradas mais de uma centena de cavidades, mapeadas pelo Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE, 2017), constituindo possivelmente, o local de maior densidade de galerias subterrâneas por unidade de área no Brasil (Auler e Ferrant, 1996 apud Salles, 2017).

O planalto cárstico de Iraquara constitui-se como um importante exemplo de carste carbonático, onde localiza-se um rico patrimônio espeleológico e um aquífero subterrâneo responsável por abastecer a maioria da população urbana e rural. Sobre esse relevo encontra-se também a malha urbana do município, além de predominar a agropecuária irrigada, atividade econômica que se desenvolve de forma crescente, atrelada as grandes reservas de água subterrânea e o tipo de solo, que segundo Silva et al (1981) são solos Latossolos Vermelho Escuro Eutróficos e Latossolos Vermelho Amarelo Eutróficos, ambos apresentando textura argilosa com quantidade considerável de quartzo (40 a 95%).

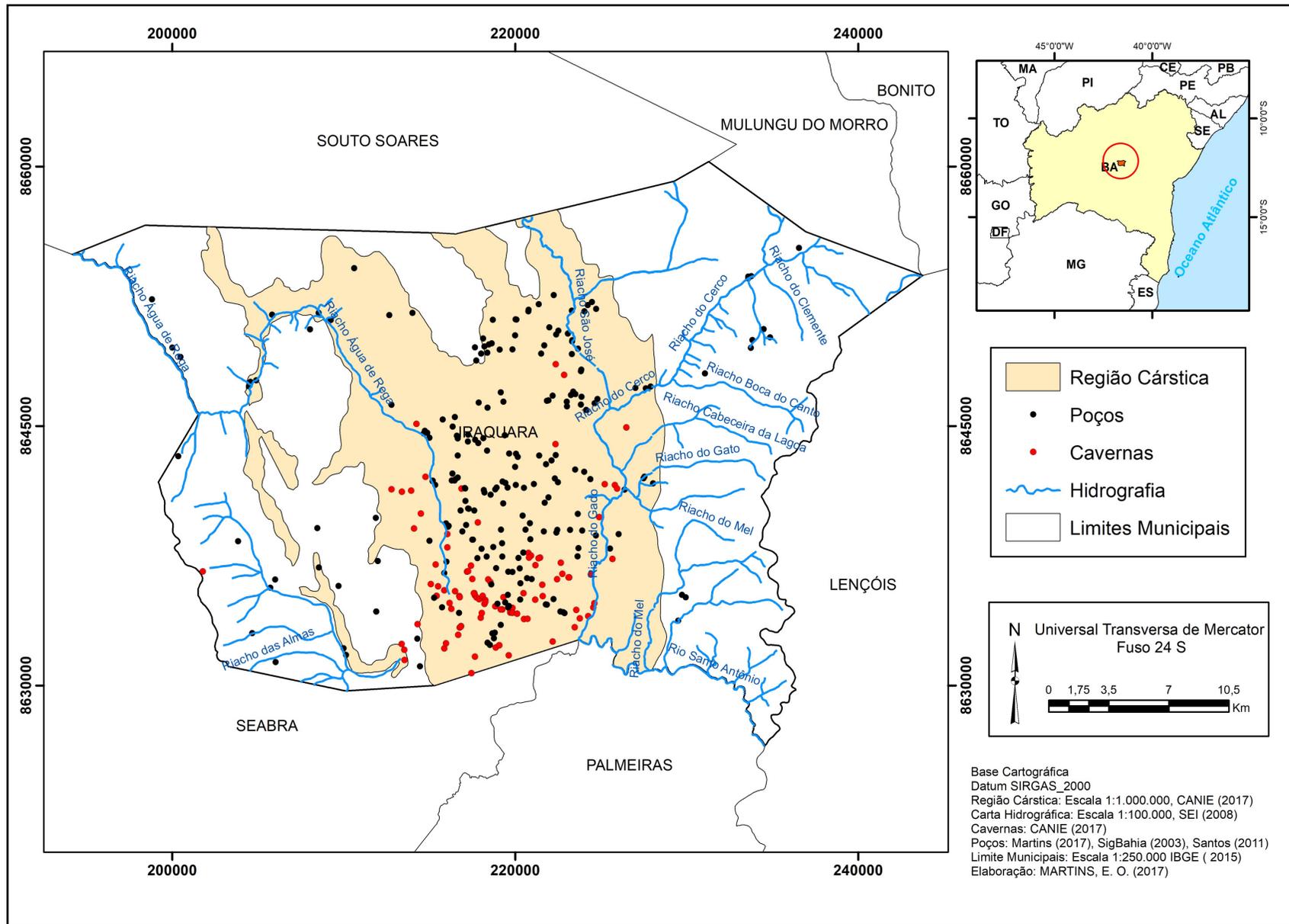


Figura 8: Mapa da Região Cárstica do Município de Iraquara, onde se encontra o maior número de cavernas registradas (CANIE,2017) e a crescente perfuração de poços tubulares.

Os solos presentes na área de estudo são considerados particularmente férteis, principalmente em áreas de influências dos calcários. Nestes locais o solo apresenta uma coloração vermelha forte, em sua maioria, e composição argilosa (SANTOS, 2011).

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bahia (PERH- BA, 2004) os solos de Iraquara são classificados em cinco tipos: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Espodossolo Hidromórfico, Latossolo Vermelho Eutrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Neossolo Litólico Distrófico (Figura 9). A caracterização dos solos foi realizada com base no PERH-BA, 2004, e no Sistema de classificação dos solos desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária - EMBRAPA.

Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) – De pouca expressão na área de estudo, está restrito a uma pequena ocorrência na porção nordeste do município. Apresenta-se com classes do relevo plano a fortemente ondulado, geralmente profundos a muito profundos. Apresenta fertilidade média a baixa, apresentando um fator limitante para a prática agrícola, necessitando de adubação e por vezes correção através de calagem.

Espodossolo Hidromórfico (Ekg) – Apresenta-se em uma área pequena do município, com um relevo mais acidentado e com altitudes elevadas, os solos são predominantemente arenosos com baixa fração de argila. Encontram-se restrições principalmente quanto a sua fertilidade, são solos pobres em nutrientes, por isso, percebe que o uso antrópico é relativamente baixo, não existindo áreas de agricultura e pecuária, como observado no trabalho de campo, esse tipo de solo situa-se na porção sudoeste do município.

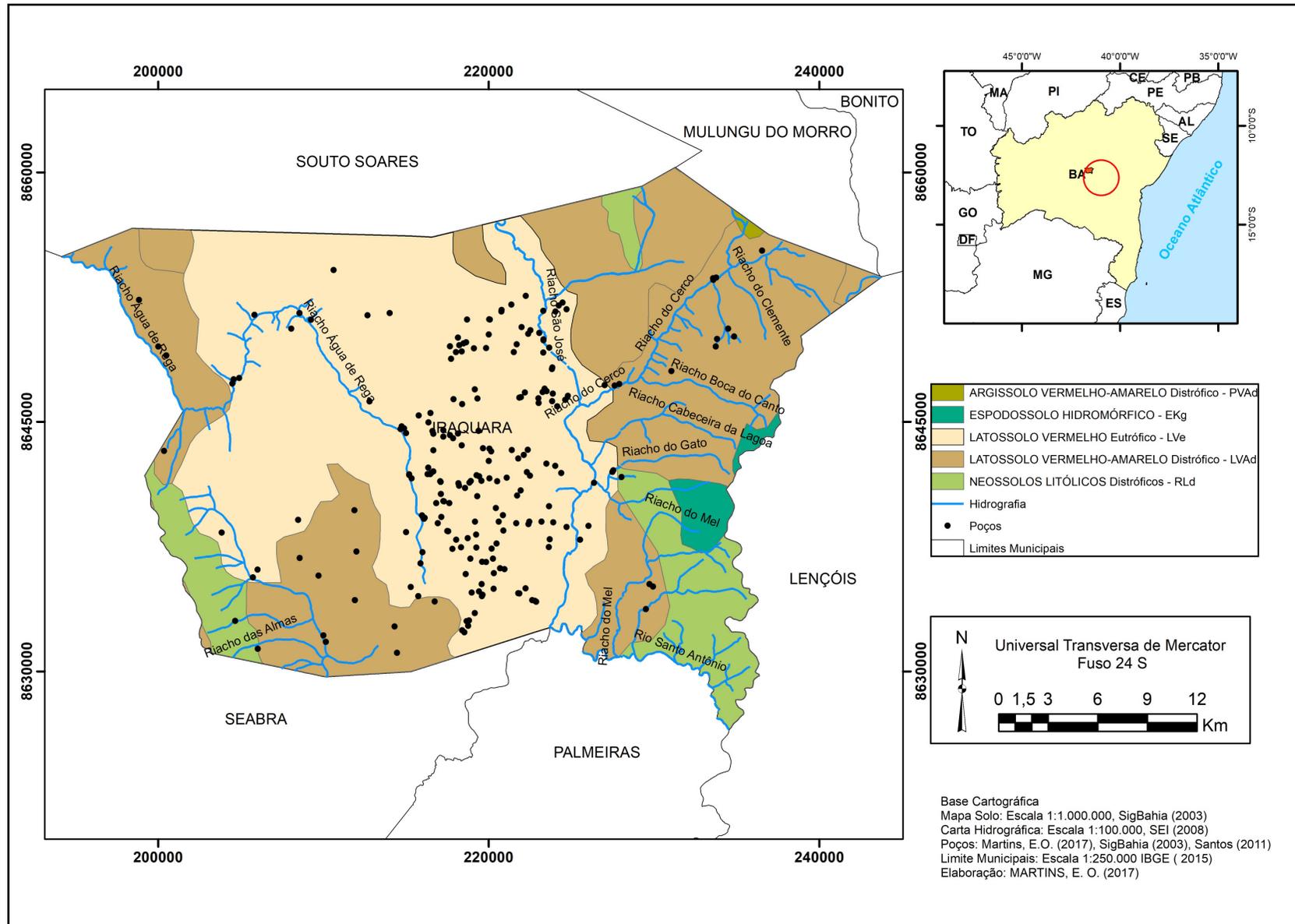


Figura 9: Mapa de Classes de Solo no Município de Iraquara.

Latossolo Vermelho Eutrófico (Lve) – Ocorre na maior parte da área de estudo sobre o relevo cárstico, são solos de coloração avermelhada indicativo de alto teor de ferro (figura 10). A principal limitação para o uso agrícola decorre da falta de água, em função do clima semiárido e de sua vegetação natural ser principalmente a caatinga. Essa deficiência vem sendo corrigida no município através da perfuração de poços tubulares, principalmente em áreas de relevo cárstico, onde a infiltração é facilitada pelo fraturamento da rocha, permitindo que a água infiltrada acumule em reservas subterrâneas, que são captadas para irrigar o cultivo de tomate, pimentão, cebola, milho, melancia, feijão, dentre outros produtos.



Figura 10: Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico utilizado para agricultura irrigada no povoado de Mato Preto, Iraquara.

Foto: Martins, 2018.

Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) – São solos com perfil profundo ou muito profundo, com o teor argila muito elevado. Segundo Santos (2011) na área de estudo eles apresentam-se associados a coberturas detríticas dos metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina, localizado na porção Oriental e Ocidental do município. Devido a baixa fertilidade esse solo é comumente utilizado para a pecuária extensiva (Figura 11).



Figura 11: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico utilizado para criação de animais no povoado de Matinha, Iraquara.

Foto: Martins, 2018.

Neossolo Litólico Distrófico (RLd) – São solos pouco desenvolvidos, rasos, com apenas o horizonte A assentado sobre a rocha matriz R, ou sobre matérias dessa rocha, quando possuem o horizonte B, sua ocorrência é incipiente. Na área de estudo encontram-se sobre as porções nordeste, sudeste e sudoeste, apresentando restrições para a agricultura devido a pouca profundidade e por encontrar muitos pedregulhos.

A distribuição espacial da vegetação e dos principais tipos de usos na área de estudo pode ser representada pela (Figura 12), com a seguinte classificação: Agricultura/ Pecuária, Caatinga Arbórea/Arbustiva, Campo Limpo, Campo Rupestre, Cerrado e Floresta Estacional.

Observa-se que a área onde predomina o relevo cárstico do município, desenvolve uma vegetação nativa do tipo caatinga, que ao longo dos anos vem perdendo espaço para a agricultura e pecuária de subsistência, por meio de procedimentos como o desmatamento e as queimadas, técnica muito utilizada por agricultores locais para o preparo das terras. Os principais produtos colhidos nesse modo de produção agrícola são comercializados nas feiras livres da região: o feijão, milho, mamona, mandioca e as hortaliças. Essa prática de produção é frequente no município, mas aos poucos vem perdendo espaço para os produtos cultivados a partir da irrigação, como: tomate, pimentão, cebola, dentre outros, que são vendidos prioritariamente para outros estados, principalmente da região Norte e Nordeste.

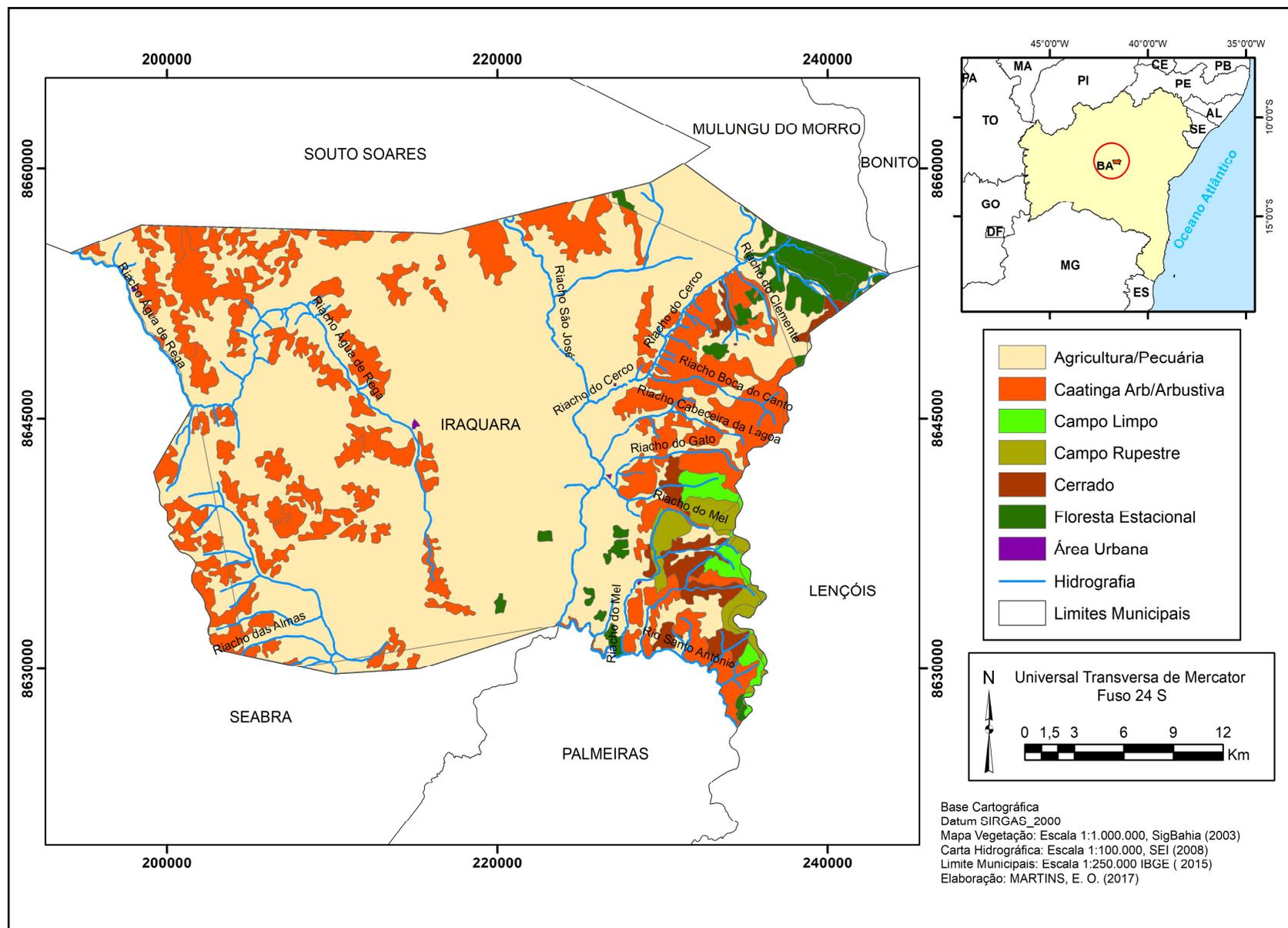


Figura 12: Mapa de Distribuição da Cobertura vegetal e Uso das terras no Município de Iraquara.

O município apresenta características que impulsiona o desenvolvimento da agricultura irrigada, pois localiza-se sobre uma extensa área cárstica, com uma rica reserva subterrânea e a existência de solos férteis, o que favorece também a concentração populacional nesta área. Essas características físicas permitem o desenvolvimento da agricultura e da pecuária, que tem como principal fator limitante a irregularidade e má distribuição das chuvas durante o ano, o que contribuiu para que o agricultor buscasse outras formas de produção menos dependente dos fatores climáticos. A agricultura irrigada com água captada por poços artesianos foi uma alternativa e tem aumentado a área de produção nos últimos anos.

Esse desenvolvimento da agricultura irrigada, preocupa a população municipal, que tem como agravante, o grande volume de água que é explorado diariamente, o desconhecimento da capacidade do aquífero e a quantidade de água que é retirada para abastecer essas culturas. Este fato é preocupante por que os domicílios do município são abastecidos por águas dos poços tubulares comunitários, que podem ser contaminados por produtos químicos utilizados nas lavouras de tomate, pimentão e cebola, principais cultivos irrigados do município.

A variedade de ocupação da área cárstica, associada a concentração de cavernas, a formação de dolinas, ao crescimento da agricultura irrigada e as reservas subterrâneas, deixa essa área em um grau de vulnerabilidade muito elevado e com potencial alto para formação de cavidades subterrâneas. Uma vez que, a ocupação da área exige muito das reservas subterrâneas e o maior consumo sem reposição podem provocar o rebaixamento do nível freático do aquífero e conseqüente desmoronamento do teto das cavernas, formando “buracos” na superfície conhecidos como dolinas (SALLES, 2017).

Outro ponto importante, o qual precisa ser considerado no processo de uso e ocupação das terras diz respeito a Área de Proteção Ambiental - APA Marimbus Iraquara localizada na região cárstica da área de estudo e nos municípios de Lençóis, Palmeiras e Seabra. Criada em 14 de junho de 1993 pelo decreto Nº 2216 (Figura 13). No processo de criação levou-se em consideração a formação geológica calcária, Salitre, com inúmeras grutas no subsolo e cursos d'água, o caso de Iraquara, dentre outros fatores, que constituem um valioso patrimônio ambiental na região da Chapada Diamantina (Decreto Nº 2216, 1993).

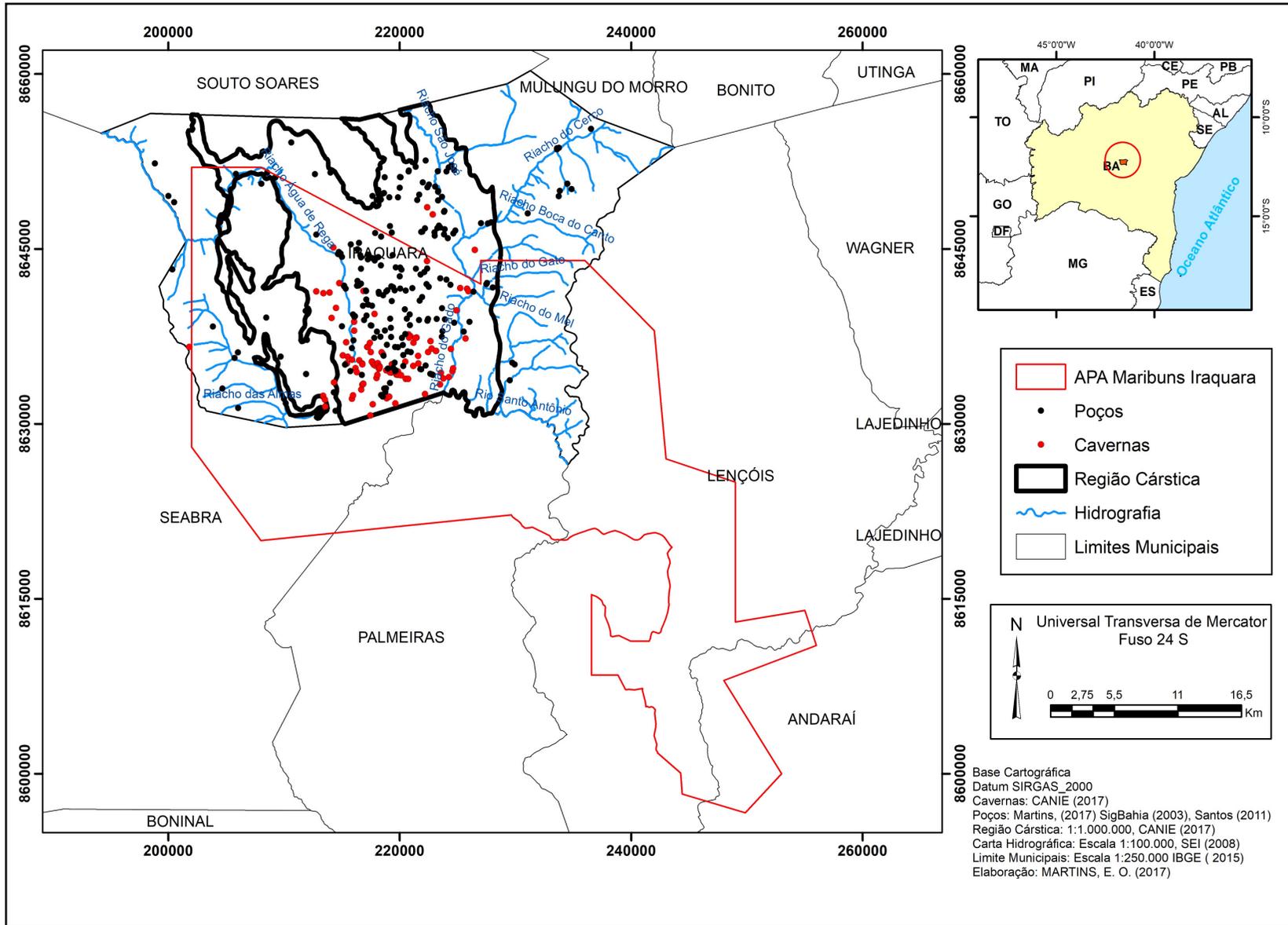


Figura 13: Área de Proteção Ambiental - APA Marimbus Iraquara.

O plano de manejo e o zoneamento da APA Marimbus-Iraquara foi aprovado pela resolução 1440 de 20 de junho de 1997, atualmente o órgão gestor da APA é o Instituto de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – INEMA.

O que podemos observar é que as ações mitigadoras e preventivas propostas no plano de manejo, muitas não são colocadas em prática, no que diz respeito as áreas cársticas, a maior concentração de poços do município está sobre essa região e a maioria dos poços em funcionamento não possui licenciamento ambiental e nem outorga, que dá direito ao proprietário explorar aquele recurso. Observa também que o município e o órgão gestor da APA desconhecem o quantitativo de poços perfurados e os que estão em funcionamento, uma vez que sem a outorga esses poços não são cadastrados e por isso não integram a base de dados do INEMA.

As áreas de Campo limpo são encontradas em pequenas porções a sudeste do município, predominando gramíneas e sub-arbustos, em uma área de transição entre a caatinga arbórea/arbustiva, cerrado e campo rupestre. A formação Campo Rupestre ocupa áreas de altitudes elevadas, acima de 800 metros, com as maiores declividades da área de estudo, sobre as unidades geológica do grupo Chapada Diamantina, a sudeste de Iraquara, destacando pelas espécies restritas, como orquídeas, bromélias, cactos, sempre-vivas e begônias (SANTOS, 2011).

O Cerrado representa uma formação com uma fisionomia típica e características restrita das áreas areníticas lixiviadas com solos profundos. Sua vegetação tem aspecto tortuoso com ramificações irregulares, árvores com casca grossa (PERH-BA, 2004). Na área de estudo situa-se a sudeste e nordeste, localizadas em áreas de transição com pouca extensão.

A área de vegetação mais densa corresponde a cobertura vegetal denominada Floresta Estacional, localizada em sua maior parte a nordeste da área, próximo ao povoado de Duas Barras, que se apresenta como um ambiente mais úmido pela presença do Rio São Clemente que corre o ano todo, mesmo com um leito estreito, contribui para a umidade da área e para a densidade vegetal que no período chuvoso apresenta um volume maior que no período seco, onde partes de suas folhas são perdidas.

A drenagem superficial é de baixo gradiente, em função do relevo cárstico, os rios são em sua maioria intermitentes, possui descargas fluviais apenas no período de chuvas intensas, aumentando a dependência para a utilização da água subterrânea.

A hidrografia local é representada pelo alto curso do Rio Santo Antônio, um dos principais afluentes do alto curso do Rio Paraguaçu, que se forma pela confluência do Rio Preto e do Rio Cochó. Trata-se da principal drenagem superficial da área, adentrando o município de Iraquara pela parte sudeste, onde adquire caráter perene alimentado pelo Rio Cochó e por várias ressurgências cársticas dispostas ao longo de suas margens (CRUZ JÚNIOR, 1998; SANTOS, 2011). Segundo Santos (2011) a totalidade dos rios que cortam o carste tem origem alóctone, ou seja, provem de litologias não carbonáticas. Dentre estas, destacam-se os riachos Água de Rega, das Almas e do Gado, que nascem nos quartzitos do Grupo Chapada Diamantina, percorrendo em superfície até os sumidouros no contato com as rochas carbonáticas.

Como mencionado anteriormente, os riachos Água de Rega e das Almas encerram seus cursos em sumidouros. Estes dois riachos encontram-se inativos nos trechos que percorrem sobre os carbonatos, uma vez que as águas drenadas das litologias não carbonáticas infiltram-se nos aluviões e são absorvidas por fraturas das rochas subjacentes (Figura 14) (SANTOS, 2011).

O Modelo Digital de Terreno foi produzido a partir de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que auxiliou na compreensão do relevo da área de estudo com a confecção dos mapas hipsométrico (Figura 15) e declividade (Figura 16). Observa-se, que o planalto cárstico do município encontra-se em regiões com altitudes médias entre 566-780 m, representando a porção mais baixa do município, onde predominam a agricultura de sequeiro e a agricultura irrigada. Os corpos hídricos provenientes dos quartzitos do Grupo Chapada Diamantina, localizados em uma porção mais elevada (838-1168 m), convergem para áreas mais baixas, que no município correspondem as litologias carbonáticas, que são absorvidas pelo fraturamento da estrutura rochosa da área. A declividade é mais acentuada a sudeste da área, na formação Tombador do Grupo Chapada Diamantina e nos leitos fluviais, para onde convergem os fluxos hídricos dos riachos, Água de Rega, do Gado, das Almas e o São José, até serem absorvidos pelas litologias carbonáticas e alimentarem as reservas subterrâneas e o principal rio do município: O Rio Santo Antônio, pela infiltração da água superficial.

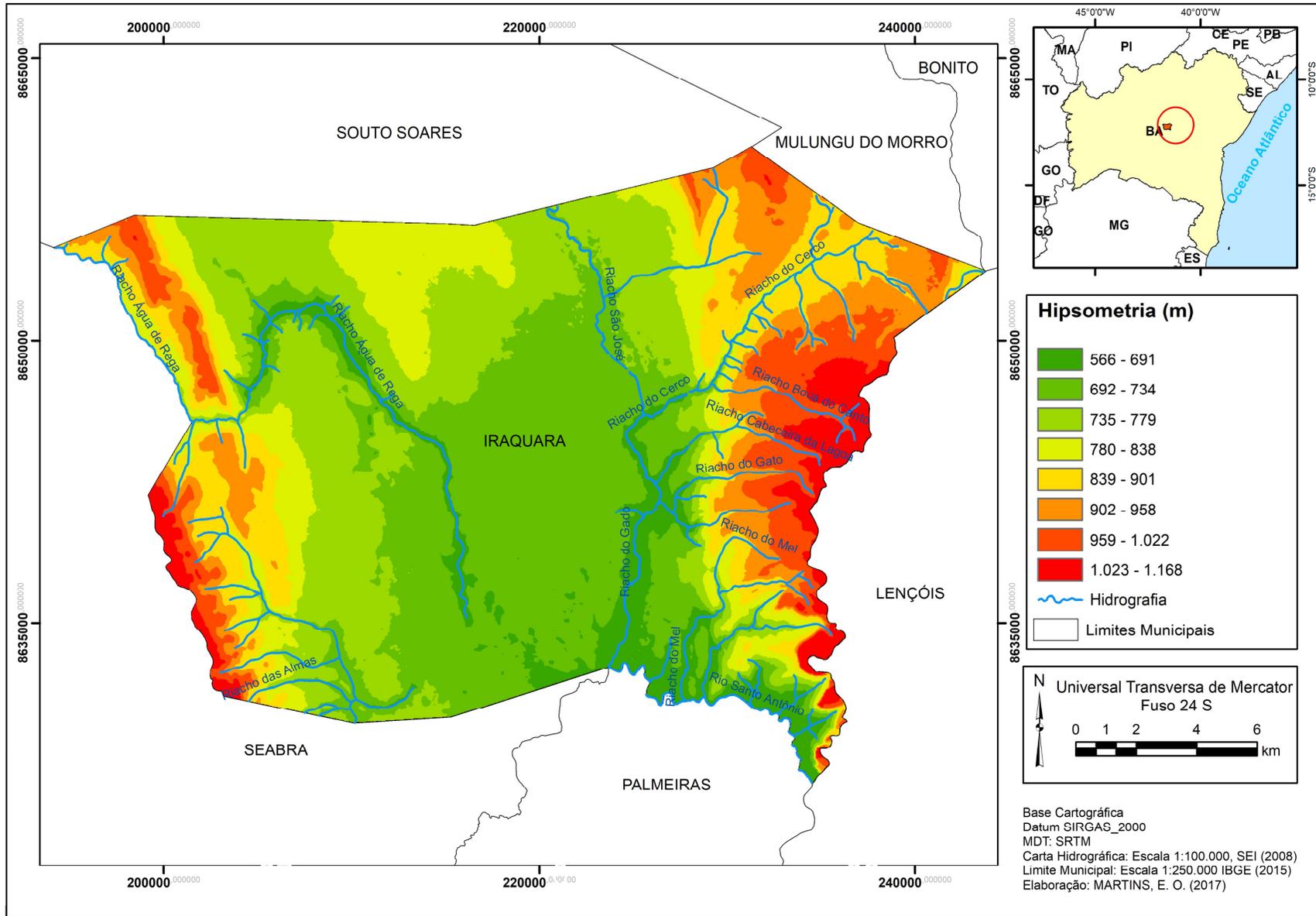


Figura 15: Mapa Hipsométrico do Município de Iraquara

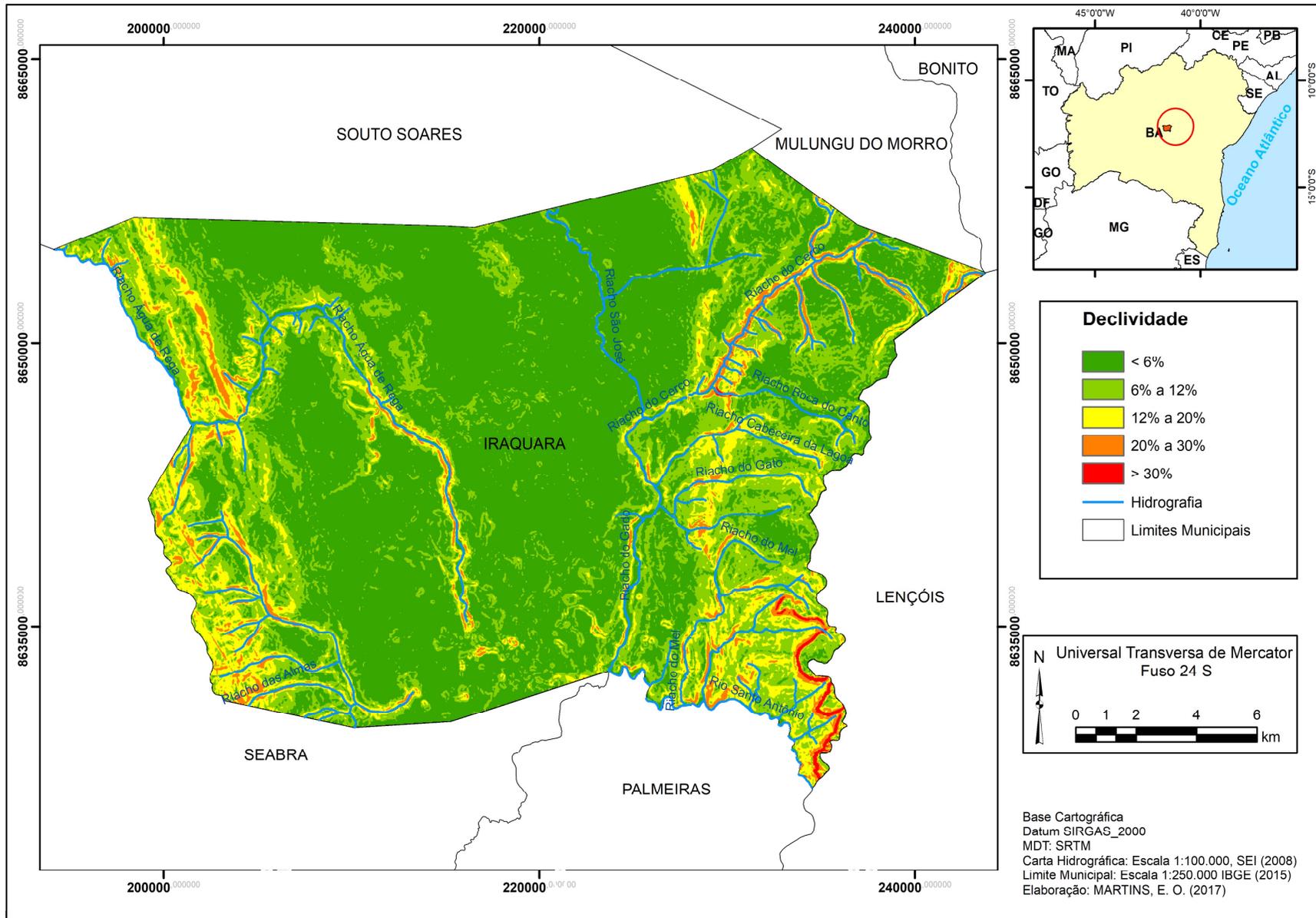


Figura 16: Mapa de Declividade do Município de Iraquara.

2.3 Aspectos Socioeconômicos

O desenvolvimento histórico de Iraquara está ligado a um afloramento natural do raso lençol freático, muito característico do município, onde tropeiros que trabalhavam na exploração do diamante na região usavam como parada, a partir daí surgiriam vários povoados e a malha urbana do município.

A ocorrência de água nos vales e cavernas da região, a fertilidade de seu solo e o relevo plano fez com que a população vinda do garimpo e de outras cidades se sentissem atraídas para desenvolver nessa área atividades econômicas ligadas a agricultura e pecuária. Segundo contam a história, a descoberta de um poço (Figura 17) com água abundante no leito do Riacho Água de Rega (surgência cárstica), por um tropeiro chamado Manoel Félix fez surgir um povoado, que posteriormente tornou-se a cidade de Iraquara.



Figura 17: Surgência cárstica do raso lençol freático, conhecida no município pelo nome de Poço de Manoel Felix.

Fonte: Martins, 2018.

O atual território do município foi criado por Lei Estadual nº 1.697 em 05 de julho de 1962, sendo desmembrado do território de Seabra, com a denominação de Iraquara. Possui uma população estimada pelo IBGE para o ano de 2016 de, aproximadamente, 25.279

habitantes, dispostos sobre uma área de 991.854 km², sendo que houve, nos últimos seis anos, um crescimento demográfico de aproximadamente 10%.

A agropecuária se configura como a principal atividade econômica de Iraquara, com destaque para a agricultura de produtos como feijão, milho, mamona e cana-de-açúcar, e a pecuária de rebanhos bovinos, suínos, caprinos e ovinos. Nos últimos anos, a “agricultura de sequeiro”, apresentou considerável queda, visto que esta forma de produção é altamente dependente do regime climático, que no município é bastante irregular temporalmente e espacialmente. No entanto, a perfuração de poços tubulares para aproveitar a água subterrânea para irrigação vem se expandindo de forma rápida no município.

O setor industrial é incipiente, representado por uma única fábrica de biodiesel a “Brasil Ecodiesel”, que opera no município desde o ano de 2006. Inicialmente a fábrica foi instalada em função da grande potencialidade da região para o cultivo de espécies oleaginosas, como a mamona, mas a empresa nunca adquiriu a matéria prima dos agricultores familiares local.

No município não existe um sistema de captação e tratamento de esgoto sanitário adequadamente estruturado. As soluções mais utilizadas pela população, tanto no meio urbano como rural, é o lançamento dos efluentes domésticos diretamente em fossas. Considerando que a maior concentração populacional do município se encontra sobre o relevo cárstico, corre-se o risco de contaminação do lençol freático responsável por abastecer toda a população municipal.

O abastecimento de água da sede é feito pela EMBASA (Empresa Baiana de Água e Saneamento) com água captada de dois poços tubulares. Em algumas comunidades rurais, o abastecimento se faz pelo Sistema Autônomo de Abastecimento de Iraquara (SAA), em outras o suprimento de água é de responsabilidade de um modelo cooperativista, denominado Central de Associações, que operam e mantêm Sistemas Simplificados de Abastecimento de Água em vilas e povoados de diversos municípios da Bahia.

Iraquara é um município privilegiado e conhecido pela grande concentração de cavernas do país, tornando-se um grande laboratório para os estudos geológicos, geomorfológicos, biológicos e paleontológicos. As cavernas de Iraquara são dotadas de valor e é exemplo de patrimônio cultural, além da importância econômica para o espeleoturismo (SANTOS, 2011). Atualmente encontram-se abertas à visitação turística no município seis cavidades naturais, sendo elas: a Gruta Lapa Doce; Pratinha; Gruta Azul; Gruta da Fumaça;

Manoel Iôô e Gruta da Torrinha, sendo que as duas primeiras possuem as maiores demandas turísticas da região. Contudo, nenhuma delas possui um plano de manejo organizado, ou uma fiscalização eficaz contra os diversos impactos ambientais existentes (SANTOS, 2011).

A grande dificuldade para o desenvolvimento do turismo no município reside na falta de infraestrutura, principalmente devido à falta de agência de turismo, hotelaria de qualidade e com um maior número de leitos, gerando assim uma dependência do polo turístico de Lençóis, que já incluem em seus pacotes de viagem os pontos turísticos do município de Iraquara.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O referencial teórico utilizado para esta pesquisa é baseado em discussões dos conceitos de uso e cobertura das terras, baseado no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013), e das geotecnologias, como ferramenta capaz de apreender informações rápidas e de baixo custo acerca do ambiente estudado, enfatizando o Sensoriamento remoto (SR), o Processamento Digital de Imagens (PDI), o Sistema de Informações Geográficas (SIG), e a Análise Multitemporal.

3.1 Uso e Cobertura das Terras

O estudo analítico das modificações do uso e cobertura das terras tem ganhado espaço nas pesquisas científicas que envolvem o estudo do meio ambiente associado às tecnologias de espacialização e análise temporal, que permitem compreender as relações e implicações para a sociedade e a natureza ao longo do tempo, face ao uso indiscriminado dos recursos naturais, degradação das terras e da cobertura vegetal.

De acordo com Rosa (2003), a expressão “uso das terras” pode ser compreendida e conceituada como as formas ou modo pelo qual o espaço está sendo apropriado pelo homem. O conhecimento dessa apropriação possibilita observar as transformações, mapear e diagnosticar as situações de mau uso e dos níveis de degradação, resultantes das ações desordenadas do homem sobre o espaço, que podem gerar inúmeros problemas ambientais e socioeconômicos.

De outra forma, o uso das terras está relacionado com as atividades antrópicas, da utilização que o homem faz de uma determinada porção de terra e ao acelerado processo de degradação. Por isso, o conhecimento do uso das terras é de grande importância na mensuração dos problemas apresentados no meio ambiente, provocados pelas ações humanas. A exemplo disso tem-se: a escassez da água potável, a redução dos ecossistemas pelas queimadas, a redução e extinção da flora e da fauna e de outros recursos naturais. Todas essas perdas são atribuídas ao aumento da população e do constante progresso da ciência e das tecnologias, as quais de maneira geral vêm propiciando uma melhoria na qualidade de vida do homem moderno, porém, em contrapartida, tem exigido um consumo muito grande dos recursos naturais, perdendo-se assim grande parte da biodiversidade existente.

A cobertura das terras é entendida como a caracterização do estado físico, químico e biológico da superfície e está representada pelos elementos da natureza como a vegetação (natural e plantada), água, gelo, rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem que recobrem a superfície da terra. (BIE; LEEUWEN; ZUIDEMA, 1996; BURLEY, 1961 apud ANDERSON et al., 1979)

Entender essa dinâmica da cobertura das terras, principalmente da distribuição da vegetação pode fornecer informações que são relevantes para o planejamento ambiental. Já que, a vegetação pode mudar abruptamente, em curtos períodos de tempo e dentro de pequenas distâncias, sendo assim, o seu mapeamento e conhecimento contribui para a tomada de decisão relativa a conservação de ambientes naturais, uma vez que a vegetação é passível de ser espacializada, quantificada e qualificada de acordo com seu estado atual (SANTOS, 2004).

Os estudos baseados no uso e ocupação das terras tem como suporte as geotecnologias, que permitem a aquisição de dados, a compreensão da distribuição dos objetos, fenômenos e suas transformações. Por isso, o Sensoriamento Remoto (SR) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), são grandes aliados nos estudos que buscam compreender essa temática. Nos estudos espaciais e temporais utilizam muito de técnicas de sensoriamento remoto, que para Florenzano (2002) são bastantes significativos, pois é possível destacar aspectos relacionados a diferentes períodos e com isso pode-se obter dados que servirão de fontes para a comparação de objetos nos espaços em que são inseridos.

Os conceitos de uso e cobertura das terras possuem grande relação entre si e são muito utilizados na compreensão da ocupação e produção do espaço. Para o Sistema de classificação de uso da Terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos (1979) e o Manual Técnico de uso da terra do IBGE (2013), as atividades antrópicas estão diretamente ligadas com o tipo de revestimento do solo, seja de floresta, agrícola, residencial ou industrial. O manual apresenta de forma clara e objetiva a importância dos dados de Sensoriamento Remoto nos estudos do uso e cobertura das terras, por fornecer produtos como imagens de satélite e fotografias aéreas, que servem de fontes para o mapeamento temático, espacial e temporal.

A metodologia de classificação do Manual técnico de Uso da Terra IBGE (2013), serviu de base para a classificação do uso e cobertura da terra deste trabalho.

3.2 Sensoriamento Remoto (SR)

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto aumentou significativamente nas últimas décadas, principalmente por sua característica multidisciplinar, empregado nas mais diversas áreas do conhecimento. Seu avanço deve-se a revolução dos meios de observações, periodicidade e rapidez no monitoramento de fenômenos e transformações espaciais e temporais. É uma tecnologia que permite aquisição de dados com eficiência e confiabilidade, permitindo um novo olhar na realidade ambiental, e para esse estudo foi fundamental, uma vez que objetiva mapear o uso e cobertura das terras a partir de uma análise temporal.

Florenzano (2008, p.31), afirma que o SR pode ser entendido como:

Tecnologia de aquisição, a distância, de dados da superfície terrestre, isto é, por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (satélites). O sensor capta a energia (radiação eletromagnética) refletida ou emitida pela superfície em diferentes comprimentos de onda ou frequência.

O SR é a tecnologia de obtenção de dados a distância, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre, podendo obter informações da área ou fenômeno estudado, baseado na interação do alvo com a radiação eletromagnética (FLORENZANO, 2002). Estas definições deixam claro que o objeto imageado é registrado pelo sensor por meio de medições da radiação eletromagnética, a exemplo disso temos a luz solar refletida da superfície de qualquer objeto, nenhum tipo de sensor de obtenção de imagens que não seja por radiação eletromagnética pode ser definido como SR (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Para aquisição dos dados de SR é necessário a utilização de sensores, que de acordo com (INPE, 2017a) são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Os sensores operam em várias regiões do espectro eletromagnético, dependendo do tipo o sensor capta dados de uma ou mais regiões do espectro (FLORENZANO, 2002), ainda segundo Florenzano (2002):

Os objetos da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com suas características bio-físico-químicas.[...] Devido a essas variações é possível distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos. (FLORENZANO, 2002, p. 11)

De acordo com o IBGE (2013), para análise e interpretação de imagens por meio do SR, três pontos são fundamentais: o objeto de estudo, a radiação eletromagnética (aquilo que nossos olhos conseguem perceber como cores diferentes) e o sensor. O tipo e a quantidade de informações dos sensores remotos dependem de quatro características fundamentais do sensor escolhido, tais como: as resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial é um importante parâmetro do sensor por que ela determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem. Por definição, um objeto somente pode ser resolvido (detectado), quando o tamanho deste é, no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução no terreno, ou seja, da resolução espacial (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

A resolução espectral (Figura 18) é caracterizada pela capacidade do sensor em operar em várias e estreitas bandas espectrais. Esta capacidade se reflete sobre as características dos alvos, podendo gerar diferentes curvas de comportamento espectral que auxiliam na distinção das características dos diferentes usos (IBGE, 2013).

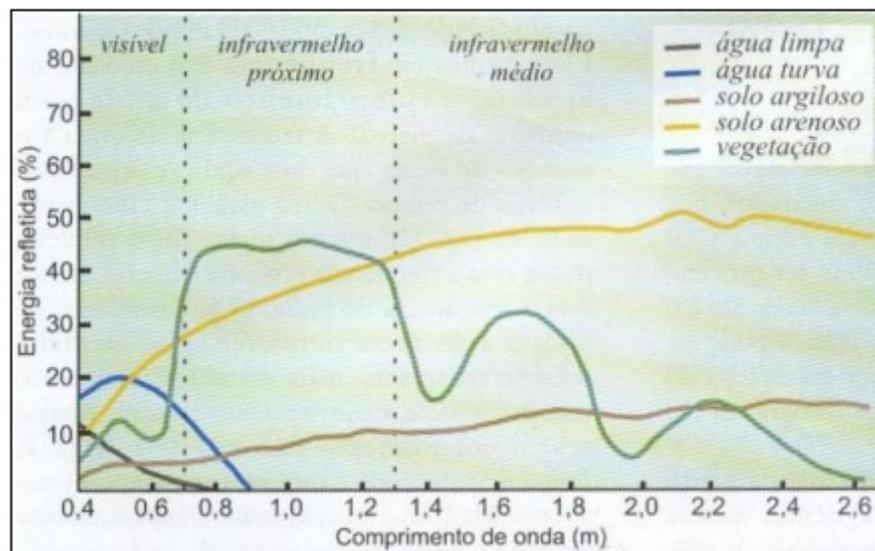


Figura 18: Comportamento espectral de diferentes alvos naturais.
Fonte: Florenzano, 2002.

Quanto à resolução radiométrica, refere-se ao número possível de dados contidos em cada banda. Cada dado contém uma quantidade de bits que apresenta correspondência nos níveis de cinza (IBGE, 2013). É medida pelos detectores da intensidade de radiância da área de cada pixel unitário é denominada de resolução

radiométrica. Maior será a resolução radiométrica, quanto maior for a capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância. Quanto maior for essa capacidade, maior será a resolução radiométrica. Ela define o número de níveis de radiância que o detector pode discriminar (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

A resolução temporal está relacionada ao intervalo de tempo que cada satélite revisita uma mesma área, o que significa que quanto mais passagens por uma mesma área o satélite oferecer maior será a possibilidade de se contar com imagens de boa qualidade. Quanto menor o intervalo de passagens sobre o mesmo alvo maior é a periodicidade e a oferta de imagens disponível (IBGE, 2013).

Para Star e Estes *apud* Prado (2004), a vantagem em utilizar as aplicações da tecnologia de Sensoriamento Remoto, consiste em identificar e quantificar as mudanças ocorridas no ambiente, uma vez que o SR proporciona um excelente conjunto de ferramentas para detectar mudanças.

Utiliza-se nesse trabalho de imagens de satélites do LANDSAT 5 e 8 para o mapeamento do uso e cobertura das terras numa escala temporal. Para Florenzano (2002) os estudos espaciais e temporais a partir de técnicas de SR são bastantes significativas, pois permite destacar períodos e com isso pode-se obter dados que servirão de fontes para a comparação de objetos nos espaços em que estão inseridos.

3.2.1 Satélite Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*)

Os sistemas sensores são os responsáveis no SR por receber energia dos elementos da superfície da terra através da energia eletromagnética, que produz dados na forma de imagens ou fotografias aéreas, que podem ser interpretadas por um analista. Temos como exemplos de sensores, as câmeras fotográficas e de vídeo, os radiômetros, os sistemas de varreduras (*scanners*), os radares e olho humano, que é considerado um sensor natural, capaz de enxergar no espectro eletromagnético o comprimento de onda na região do visível (0,45 - 0,69 μ m).

O que impulsionou o uso dos sensores imageadores por satélites foi a sua capacidade de imagear em curto espaço de tempo toda a superfície do planeta e de uma maneira sistemática, dado que um satélite fica continuamente orbitando à Terra. Essa forma de cobertura repetitiva, obtendo imagens periódicas de qualquer área do planeta, propicia

detectar e monitorar mudanças que acontecem na superfície terrestre (MENEZES; ALMEIDA, 2012)

Dentre os vários sistemas sensores existentes, abordaremos com mais detalhes os que serão utilizados neste estudo, que são eles: o LANDSAT 5 e 8.

A série Landsat surgiu na segunda metade da década 60, como parte de um projeto de levantamento de recursos terrestres desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA e *U.S.Geological Survey* – USGS, sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres (EMBRAPA, 2017a). Operando continuamente desde 1972 e disponibilizando imagens gratuitas desde 1973, o programa apresenta um importante acervo de imagens orbitais. No território brasileiro, essas imagens são disponibilizadas no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, a partir de um simples cadastro.

O primeiro satélite foi lançado em 1972 e inicialmente batizado de *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS -1) e *Landsat* a partir de 1975, a última atualização aconteceu em fevereiro de 2013 com o lançamento do Landsat-8. Este sistema é composto por uma série de oito (8) satélites, todos com imagens multiespectrais, sendo o Landsat-8 o último lançado e em operação.

No sítio do INPE, em seu catálogo de imagens é possível encontrar: imagens do sensor *Multispectral Scanner* (MSS) 80 m resolução espacial, para os satélites Landsat 1, 2 e 3 (1972-1992). Do sensor *Thematic Mapper* (TM) de 30 m resolução espacial, no satélites Landsat-5 (1984-2011), e o sensor *Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM +) de 15 a 30 m de resolução, no satélite Landsat-7 (desde 1999) e do sensor OLI (*Operational Terra Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) 15 a 30- metros de dados multiespectrais do Landsat-8 (Desde 2013). As imagens do Landsat-8 são ortorretificadas e todos os produtos do catálogo estão em formato GeoTIFF. (INPE, 2017)

No (Tabela 1), pode-se conferir a série do satélite, período de vida útil, sensores acoplados e a resolução temporal e o (Quadro 1 e 2) encontra-se as características detalhadas do Landsat-5 e do Landsat-8, os quais foram utilizados desta série neste trabalho.

O Landsat-5, iniciou suas atividades em março de 1984. Utiliza os sensores MSS (*Multispectral Scanner System*), que deixou de enviar dados em agosto de 1995 e o sensor TM (*Thematic Mapper*), que encerrou suas atividades em novembro de 2011. De acordo com a EMBRAPA (2017a), este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de

uso dos produtos LANDSAT, opera com sete bandas nas regiões do (visível, infravermelho próximo, médio e termal), apresenta melhor resolução espacial, acurácia radiométrica e posicionamento geométrico em relação ao sensor MSS. Tal fato pode ser melhor observado no (Quadro 1 e 2).

O Landsat-8 começou suas atividades em fevereiro de 2013, operando com o sensor multiespectral OLI (*Operational Land Imager*) e com sensor termal TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), encontra-se em operação até hoje. Em relação ao sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) do (LANDSAT-7) houve o acréscimo da banda costal (b1) e da banda cirrus para estudos climatológicos (b9), além das bandas termais (10 e 11). O sensor OLI apresenta melhorias na resolução radiométrica operando com 16 bits, bem como manutenção da banda 8 (pancromática), cuja resolução espacial é de 15 metros (m). (USGS, 2014a apud ABRÃO et al, 2015).

Tabela 1: Satélites da série LANDSAT

| SATÉLITE | LANCAMENTO | FIM DE OPERAÇÃO | SENSORES | REVISITA |
|-----------|------------|--|------------|----------|
| LANDSAT-1 | 23/07/1972 | 06/01/1978 | RBV MSS | 18 DIAS |
| LANDSAT-2 | 22/01/1975 | 25/02/1982 | RBV MSS | 18 DIAS |
| LANDSAT-3 | 05/03/1978 | 31/03/1983 | RBV MSS | 18 DIAS |
| LANDSAT-4 | 16/07/1982 | 1993 | MSS TM | 16 DIAS |
| LANDSAT-5 | 01/03/1984 | 22/11/2011 | MSS TM | 16 DIAS |
| LANDSAT-6 | 05/10/1993 | 05/10/1993 | ETM | 16 DIAS |
| | 15/05/1999 | Ativo, (interrompeu recepção no Brasil em | ETM+ | 16 DIAS |
| LANDSAT-7 | | | | |

| | | | |
|------------------|------------|-------|-------------|
| 31/05/2003) | | | |
| LANDSAT-8 | 11/02/2013 | Ativo | OLI TIRS |

Fonte: adaptado por Martins (2017) de, www.cnpm.embrapa.br

Quadro 1: Características do instrumento sensor TM do satélite LANDSAT-5

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral (μm) | Resolução Temporal | Resolução Espacial | Área Imageada | Resolução Radiométrica |
|----------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------------|
| TM (Thematic Mapper) | (B1)Azul | 0.45-0.52 | 16 dias | 30 m | 185 km | 8 bits |
| | (B2)Verde | 0.52-0.60 | | | | |
| | (B3)Vermelho | 0.63-0.69 | | | | |
| | (B4)Infravermelho próximo | 0.76-0.90 | | 120 m | | |
| | (B5)Infravermelho médio | 1.55-1.75 | | | | |
| | (B6)Infravermelho Termal | 10.4-12.5 | | 30 m | | |
| | (B7)Infravermelho Médio | 2.08-2.35 | | | | |

Fonte: adaptado por Martins (2017) de, www.cnpm.embrapa.br

Quadro 2: Características do instrumento sensor OLI do satélite LANDSAT-8

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral (μm) | Resolução Temporal | Resolução Espacial | Área Imageada | Resolução Radiométrica |
|-------------------|-------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------------|
| OLI (Operational) | (B1)Costal | 0.433-0.453 | | | | |
| | (B2)Azul | 0.450-0.515 | | | | |

| | | | | | | |
|------------------------------|-----------------|---------|------|--------|---------|------|
| (B3)Verde | 0.525- 0.600 | 16 dias | 30 m | 185 km | 12 bits | |
| (B4)Vermelho | 0.630- 0.680 | | | | | |
| (B5)Infravermelho Próximo | 0.845- 0.885 | | | | | |
| (B6)Infravermelho Médio | 1.560- 1.660 | | | | | |
| (B7)Infravermelho Médio | 2.100- 2.300 | | | | | |
| (B8)Pancromático | 0.500- 0.680 | | | | | 15 m |
| (B9) Cirrus | 1360- 1390 | | | | | 30 m |

Fonte: adaptado por Martins (2017) de, www.cnpm.embrapa.br

A utilização desse satélite para mapeamento do uso e cobertura das terras é bastante significativa quando se busca na literatura tal utilização, isso se justifica pela disponibilidade das imagens de forma gratuita e pela grande quantidade de imagens disponíveis, uma vez que esse satélite atua na aquisição de imagens da superfície terrestre desde 1972. Dentre os autores que desenvolvem pesquisas com o auxílio desse satélite para mapeamento do uso das terras, podemos destacar: Abrão et al (2015), Rodrigues (2008), Seabra et al (2015), Neves et al (2015), Almeida (2013), Silva et al (2011), Almeida (2011), Dias et al (2013), Ferreira (2005).

3.3 Processamento Digital De Imagens (PDI)

As imagens de satélites adquiridas por técnicas de SR são utilizadas como fonte de dados nas mais diversas áreas do conhecimento, essas imagens antes de serem utilizadas são submetidas a procedimentos que visam melhorar sua qualidade para interpretação e análise, necessitando do Processamento Digital de Imagens (PDI).

Para Menezes e Almeida (2012), o PDI consiste na execução de operações matemáticas dos dados, visando as suas transformações em imagens de melhores qualidades espectrais e espaciais e que sejam mais apropriadas para uma determinada aplicação.

Cósta (1992) apud Almeida (2013), trás que a função primordial do PDI é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens, para posterior interpretação.

Interpretar imagem é dar um significado aos objetos nela representados e identificados. Quanto maior a experiência do interprete e o seu conhecimento tanto temático como de Sensoriamento Remoto e sobre a área geográfica representada em uma imagem, maior é o potencial de informação que ele pode extrair da imagem. (FLORENZANO, 2008, p.36)

Diante disso, percebe uma interação das técnicas de processamento entre homem-máquina, o que facilita a interpretação de um grande número de dados difícil de ser obtido com técnicas tradicionais de interpretação de imagens. Desde o início do sensoriamento remoto orbital, muitos pesquisadores perceberam essa dificuldade, devido à maioria dos materiais ou alvos mostrar baixos contrastes espectrais de reflectância, emitância e retroespalhamento da radiação eletromagnética. Somente com cuidadosos processamentos computacionais pode-se extrair a informação no limite mais ideal de análise (MENEZES; ALMEIDA; 2012)

O Processamento Digital de Imagens é dividido em três etapas: Pré-processamento (preparação das imagens para utilização), Processamento e Pós-Processamento.

O Pré-processamento de imagens, conforme Florenzano (2008) refere-se ao tratamento preliminar dos dados brutos, com finalidade de calibrar a radiometria da imagem, atenuar os efeitos da atmosfera, remover ruídos, corrigir suas distorções geométricas, por meio de georeferenciamento e reamostragem.

Quanto ao Processamento consiste em técnicas que perpassam por: segmentação, realce e a classificação das imagens. Para Hu e Raunheitte (2004), o objetivo do processamento de imagens inclui a intensificação ou a modificação desta para melhorar a definição ou destacar informações, classificação ou união de imagens e reconhecimento de itens.

Por fim, o pós-processamento sendo a etapa que se aplica a imagem classificada, com o objetivo de homogeneizar os temas, eliminando os pontos isolados da imagem, classificados

de forma diferente dos seus vizinhos. Para Menezes e Sano (2012), nesta fase busca-se a validação dos resultados, com o objetivo de avaliar a acurácia da classificação.

3.3.1 Segmentação de Imagens

A segmentação da imagem é um procedimento adotado antes da etapa de classificação, com o objetivo de diminuir a subjetividade na fase de aquisição das amostras de treinamento. Para Florenzano (2007) a segmentação de imagens é um procedimento computacional aplicado antes de um algoritmo de classificação automática. A segmentação permite dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas, nela são selecionadas amostras (áreas de treinamento) para aplicação de um algoritmo de classificação supervisionada.

Nesse processo a imagem é dividida em regiões que correspondem as áreas de interesse. Entende-se por regiões um conjunto de pixels contíguos, que se espalham bidireccionalmente e que apresentam uniformidade (INPE, 2017 a). O segmentador por divisão de imagem em regiões espectralmente homogêneas, disponíveis no programa Spring são: Crescimento de regiões, detecção de bordas e detecção de bacias.

Neste trabalho destacamos o método de segmentação por crescimento de regiões, uma técnica em que somente as regiões contíguas serão agrupadas, seguindo um critério de similaridade adotado pelo analista.

Este processo de segmentação rotula cada “pixel” como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipóteses estatístico que testa a média entre as regiões. Divide a imagem no conjunto de sub-imagens e então se realiza a união entre elas, seguindo um limiar de agregação definido (INPE, 2017 a).

O limiar de similaridade é o valor mínimo abaixo do qual duas classes são consideradas similares e agrupadas em uma única região, enquanto o limiar de área define o número mínimo de *pixels* necessários para que uma área seja individualizada (MOREIRA, 2005).

Assim, o classificador por crescimento de região, é dado pela definição das duas variáveis (limiar de similaridade e limiar de área). Por isso, é necessário o treinamento com testes diferentes de similaridade e área, não existe uma padronização de valores destas

variáveis para obtenção de bons resultados, tudo depende dos objetos representados na imagem e dos objetivos que pretende alcançar.

3.3.2 Classificação Supervisionada por Região

A classificação supervisionada por região, é assim denominada em função da fase de treinamento, na qual o analista identifica áreas semelhantes, representativas dos *pixels* de determinadas classes. O algoritmo classificador foi o *Bhattacharya*, que adota as seguintes etapas no processo de classificação: segmentação, escolha do limiar de similaridade e do limiar de área, extração de regiões, treinamento (escolha das amostras), e classificação, essas fases foram desenvolvidas no programa Spring 5.4.3, disponibilizado pelo INPE.

Optou-se em utilizar a classificação supervisionada por região, por meio do algoritmo interpolador (*Bhattacharya*), por apresentar melhor resultado para essa pesquisa.

3.4 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Para Florenzano (2007), o SIG é uma ferramenta computacional da geoinformação que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica com grande utilidade no estudo e monitoramento do meio ambiente, assim como, no planejamento de cidades, regiões e países, pois reúnem aplicativos que permitem coletar, armazenar, recuperar, transformar, inferir e representar visualmente dados espaciais e também estatísticos ou textuais a ele relacionados, a partir de uma base de dados georeferenciados.

Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados. Com base nos dados disponíveis e com auxílio das ferramentas do SIG é possível desenvolver análises complexas, ao unir dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados, facilitando a identificação, sobreposição, comparação e avaliação da informação de forma rápida e com resultados confiáveis.

Câmara e Medeiros (1998) destacam as principais características do SIG: Integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos;

combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georeferenciados.

De acordo com o INPE (2006) dados espaciais podem ser armazenados de diferentes formas no SIG, a depender da proposta de trabalho e produto desenvolvido, dentre as formas de registrar esses dados em uma base de dados podemos citar: planos de informação ou mapas, podendo ser representados em formato matricial (Raster) ou vetor (vector).

Dessa forma, vale destacar que o SIG tem contribuído muito para a realização de uma análise espacial e temporal, essa ferramenta tecnológica vem contribuindo muito no diagnóstico das mudanças de uso e cobertura das terras, como destacaremos sua relevância nos estudos multitemporal.

3.4.1 Análise Multitemporal

Estudos que envolvem uma análise temporal são significativos para o acompanhamento da evolução do uso e cobertura das terras, ordenamentos territoriais, crescimento urbano e rural, monitoramento agropecuário. O monitoramento visa acompanhar as mudanças de uso e cobertura das terras, realizando um levantamento sistemático da superfície, fornecendo informações para identificar e categorizar os diferentes usos e classes (ALMEIDA, 2013).

Através da utilização de imagens de satélite de diferentes períodos, obtém-se a análise multitemporal, que permite explorar mudanças transcorridas na área analisada, apresentadas no formato de um mapa (BENEDETTI, 2010). A Obtenção desses mapas temporais da cobertura das terras nos permite identificar a dinâmica da paisagem, bem como avaliar os rumos tomados pela sociedade no que diz respeito ao crescimento econômico e a exploração dos recursos naturais (TORRES, 2011).

Assim, entende-se que o estudo multitemporal envolve a análise de cenas de imagens de satélite, do mesmo local, em épocas diferentes, com o objetivo de avaliar as mudanças transcorridas da paisagem ao longo do período estudado.

3.5 Exploração da Água subterrânea em regiões cársticas

A água é a substância mais abundante na superfície do planeta, participando como agente modelador por meio da dissolução de materiais terrestres e do transporte de partículas. É o melhor solvente disponível na natureza e o mais eficiente agente erosivo, responsável por transformar e esculpir a paisagem terrestre. Em subsuperfície a água também é de extremo valor, alimentando poços, hoje responsáveis por significativo abastecimento de água em espaços urbanos e rurais, e em áreas onde a drenagem superficial é escassa, como é o caso das regiões áridas e semiáridas.

A formação dessas reservas subterrâneas se dá a partir da infiltração da água superficial, facilitada pela presença de materiais porosos e permeáveis, como solos e sedimentos arenosos ou na presença de rochas expostas e muito fraturadas, como nos sistemas cársticos. De acordo com Karmann (2008), sistemas cársticos são formados pela dissolução de certos tipos de rochas pela água subterrânea. Entre as rochas mais suscetíveis a carstificação encontra-se as rochas carbonáticas (calcários, mármore e dolomitos, são bons exemplos). Além disso, a paisagem cárstica destaca-se por sua beleza e diversidade de formas que lhes são peculiares, como cavernas, paredões rochosos, sumidouros, dolinas, ressurgências, entre outros, que podem ser desenvolvidas tanto na superfície, quanto no meio subterrâneo, originadas, sobretudo, pelo processo químico de dissolução das rochas.

Cerca de 5 a 7% do território brasileiro é ocupado por carste carbonático, constituindo um importante componente nas paisagens do Brasil. Sendo a maior área de rochas carbonáticas correspondente aos grupos Bambuí e Una. O primeiro grupo corresponde a porções do noroeste de Minas Gerais, leste de Goiás, sudeste do Tocantins e oeste da Bahia, o segundo ocorre na região central da Bahia (KARMANN, 2008, p.137).

O município de Iraquara desenvolveu-se numa extensa área sobre rochas carbonáticas da Formação Salitre, que juntamente com a Formação Bebedouro, compreendem uma sequência de rochas terrígenas-carbonáticas denominadas Grupo Una, depositados durante o neoproterozóico (PEDREIRA, 1994; SALLES, 2017). O relevo carbonático em estudo corresponde a uma área de aproximadamente 409 km², cobrindo toda a região central do município de norte a sul, o que corresponde a quase 50% da área total, sendo caracterizada por uma grande quantidade de cavernas, dolinas, sumidouros, escarpas calcárias, ressurgências, entre outras formas características do relevo cárstico.

As dolinas são conhecidas como depressões fechadas (Figura 19), que sobressaem no relevo por apresentar-se em grandes quantidades e de dimensões variáveis. Na área de estudo elas se desenvolvem em toda área carbonática, em maior quantidade na porção centro sul, onde está localizada as Cavernas Lapa Doce I e II, Torrinha, Manoel Ioiô, Pratinha, e a segunda porção localizada no centro norte da área cárstica, onde está localizada a sede municipal (SALLES, 2017). As dolinas são formas de grande importância aos estudos da relação humana com o carste, sendo as feições mais características da paisagem. Essas formações podem ocorrer por processos naturais ou ser introduzidos por atividades antrópicas, principalmente aquelas relacionadas com a super exploração dos recursos hídricos subterrâneos (TRAVASSOS, 2007).

No município as depressões cársticas podem ser divididas em dois grupos: dolinas de colapso e dolinas de dissolução (Cruz Junior, 1998). Dolinas de colapso para Karmann (2008) são aquelas geradas a partir do colapso da superfície devido ao abatimento do teto de cavernas ou outras cavidades em profundidade e as dolinas de dissolução, que se desenvolvem a partir de um ponto de infiltração na superfície da rocha (zona de cruzamento de fraturas), crescem em profundidade e diâmetro, conforme a rocha e o material residual e são levados pela água subterrânea. O processo de formação de dolinas de colapso é rápido e podem dá origem ao acesso para as cavidades subterrâneas, normalmente o processo que dá origem ao abatimento de cavidades em profundidade é a perda da sustentação que a água subterrânea exerce sobre as paredes desse vazio, pelo rebaixamento do nível freático e exposição das cavidades na zona não saturada da rocha. As dolinas de dissolução são representadas por depressões com perfil suave, associada a subsidência lenta, remoção e infiltração de partículas.

Quanto a formação de dolinas foi observado por Salles (2017), que nas rochas carbonáticas da Formação Salitre são aflorantes, ocorrem 1,13 unidade de dolina por quilometro quadrado (km²). No entanto, quando repousam sob unidades de sedimentos inconsolidados, ocorrem uma queda considerável na quantidade de dolina por km², que chega a ser seis vezes menor quando comparada ao carste exposto. Sobre as rochas siliciclásticas do Grupo Chapada Diamantina e da Formação Bebedouro não foram mapeadas dolinas.

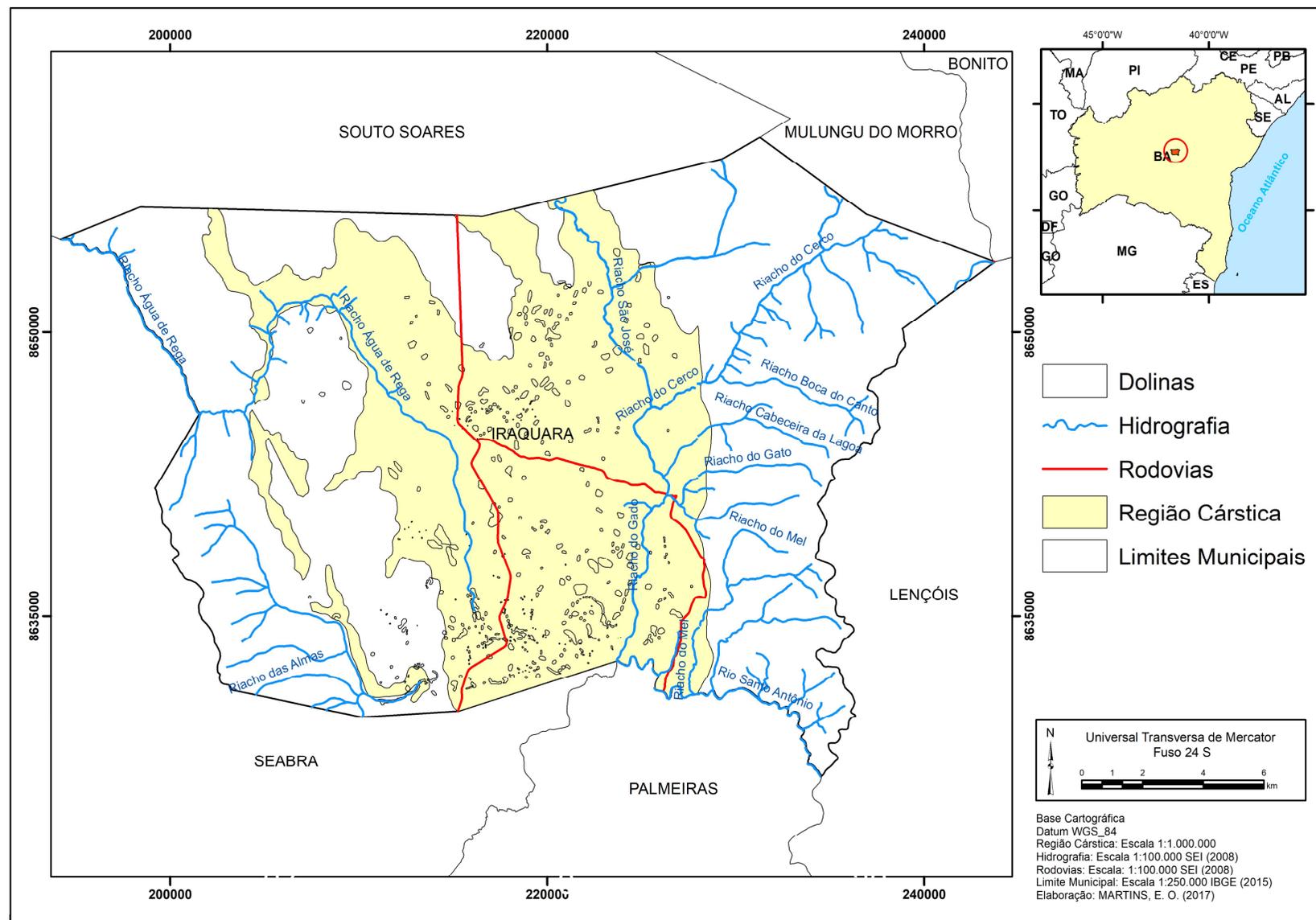


Figura 19: Mapa de formação de Dolinas no Município de Iraquara.

Fonte: Dados disponibilizados por SALLES (2017).

Dessa forma, precisa-se considerar que a super exploração da água subterrânea, para o uso agrícola e a ocupação da área exigem muito das reservas subterrâneas e o maior consumo sem reposição podem causar um possível rebaixamento do nível freático, e a consequente formação de dolinas.

As formas de usos das terras também interferem na qualidade da água subterrânea, que está relacionada com diferentes fatores, dentre eles podemos citar o desenvolvimento de áreas de agricultura irrigada, que estimulam o aumento do espaço cultivado e da produtividade, alterando as condições geoquímicas quando utilizam de técnicas que envolvem produtos químicos.

De acordo com a Lei Federal 9.433 de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, a água subterrânea é considerada um bem público e em caso de escassez deve ser utilizada prioritariamente para o consumo humano e a dessedentação de animais. Complementa em seu artigo 3º inciso V que uma das diretrizes dessa política é a articulação da gestão de recursos hídricos com o uso da terra. A referida lei trás ainda a importância do Plano de Recursos Hídricos para implementar a análise do crescimento demográfico, evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de uso e cobertura das terras (Inciso II artigo 7º).

Mesmo com todas as leis que protegem os recursos hídricos subterrâneos este ainda é um aspecto crítico, já que os custos de recuperação de aquíferos são muito altos e tecnicamente é muito difícil sua recuperação. Apesar da inquestionável importância que as águas subterrâneas assumem em termos de quantidade, essa importância nem sempre é considerada na manutenção de sua qualidade.

Neste sentido, o uso e cobertura das terras exercem significativa influência sobre a infiltração da água no solo e a qualidade desta água vem sendo modificada pelo homem, por intermédio da inter-relação entre as diferentes atividades humanas e as potencialidades e fragilidades do meio físico acarretando situações de risco tanto ao homem quanto para o meio ambiente.

Neste contexto, observa-se que o uso da água subterrânea no município de Iraquara vem apresentando um grande aumento nos últimos anos em função do uso e ocupação das terras pela agricultura irrigada, que está fortemente ligado as características físicas da área, com relevo pouco acidentado, solos férteis associados aos carbonatos que favorecem a ocupação antrópica com atividades agrícolas. No entanto, as características climáticas

marcadas por baixa precipitação e irregularidade na distribuição vêm provocando uma mudança nas técnicas agrícolas do município, transformando as áreas que antes eram de agricultura de subsistência em áreas de irrigação, apoiadas na perfuração de poços tubulares que retiram do subsolo a água para as lavouras.

Assim, a utilização da água subterrânea surge como alternativa para suprir a deficiência de corpos hídricos superficiais no município e vem sendo intensificada para diversos fins, mas principalmente para o abastecimento doméstico e para agricultura irrigada, pois, tem sido a alternativa mais barata diante dos problemas de distribuição das chuvas e da carência de água superficial. Para (Zoby, 2008), a disponibilidade hídrica subterrânea e a produtividade de poços são geralmente os principais fatores determinantes na exploração dos aquíferos.

Assim sendo, é fundamental conhecer as demandas do município frente ao avanço do uso das terras e da água subterrânea para a agricultura irrigada, em regiões cársticas, visto que seu crescimento/uso sem um devido planejamento provoca danos irreversíveis ao meio ambiente.

4 MATERIAIS E MÉTODO

Para alcançar os objetivos propostos nessa pesquisa apresentaremos os materiais utilizados para o desenvolvimento do estudo, os quais podem ser descritos como: levantamento bibliográfico e cartográfico; trabalho de campo; seleção das imagens de satélites; coleta de dados da área de estudo para construção de um SIG a partir de dados pré-existentes e dados primários; processamento digital das imagens de satélite; além de softwares para manipulação e tratamento de imagens, necessários ao processamento dos dados.

4.1 Procedimentos Metodológicos

As etapas dos procedimentos metodológicos estão listadas abaixo e esquematizadas na Figura 20:

- 1- Revisão de Literatura (Levantamento Bibliográfico);
- 2- Trabalho de campo (coleta de dados dos poços utilizados para agricultura irrigada no município);
- 3- Aquisição de cenas que recobrem o município no sítio eletrônico do INPE;
- 4- Construção de um banco de dados SIG, a partir de dados pré-existente e elaborados durante a pesquisa;
- 5- Processamento Digital de Imagens (Pré-processamento, Processamento e Pós-Processamento);
- 6- Interpolação (Método Krigagem)
- 7- Validação do mapa
- 8- Tabulação Cruzada
- 9- Integração dos Dados

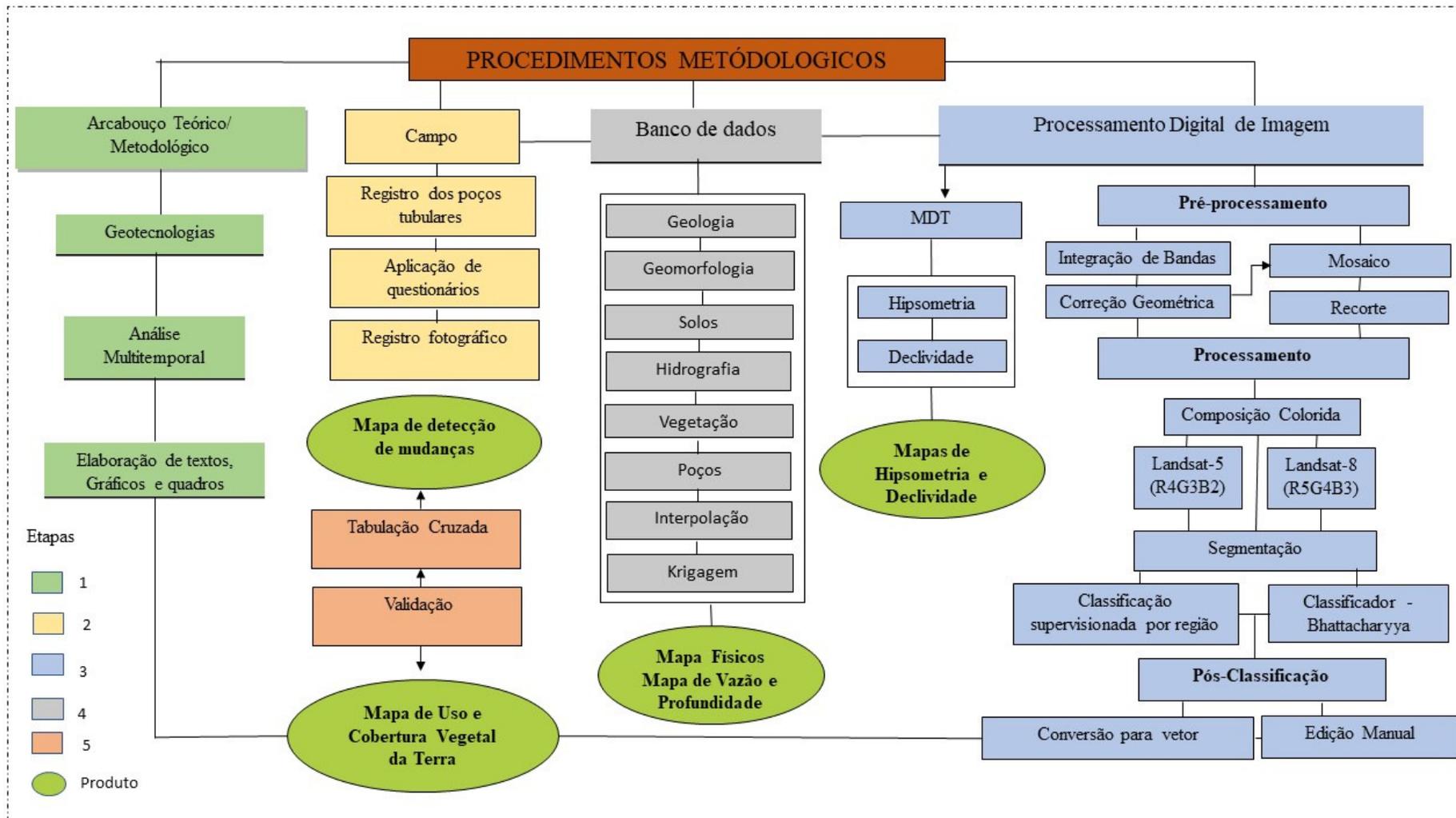


Figura 20: Etapas Metodológicas do Desenvolvimento da Pesquisa.

4.1.1 Levantamento Bibliográfico

Para o desenvolvimento da pesquisa fez-se necessário um levantamento bibliográfico em busca de referências sobre a temática estudada e sobre a área de estudo a fim de embasar teórico e metodologicamente o trabalho. Foram selecionados durante a pesquisa vários artigos, teses, dissertações, livros e periódicos acerca do tema em questão. Encontramos também um mapeamento de cobertura das terras do Projeto MapBiomas (www.mapbiomas.org), para a área de estudo dos anos 2000 a 2016, mas nesse estudo não identifica a classe de principal interesse desta pesquisa (agricultura irrigada) na classificação do uso das terras, o que reforça ainda mais a necessidade de desenvolver um mapeamento mais detalhado das classes de uso das terras e cobertura vegetal.

Assim, estudos anteriores auxiliaram na construção da base teórica e metodológica para realização dessa pesquisa.

4.1.2 Trabalho de Campo

Nesta etapa foram realizadas as atividades de campo com um GNSS (*Global Navigation Satellite System*), modelo *Garmin Gpsmap 64s* para mapear os poços utilizados para agricultura irrigada e um celular para registrar os usos e cobertura das terras. A fase de campo ocorreu em dois períodos diferentes, o primeiro de janeiro a maio do ano de 2017, sendo mapeados 135 poços em 19 comunidades do município, e o segundo no período de 21 a 26 de maio do ano de 2018, para fazer a validação do mapa de uso e os registros fotográficos das classes mapeadas na área de estudo.

Um dos objetivos desse trabalho consistiu em mapear todos os poços utilizados para agricultura no município, mas isso foi dificultado pela ausência de informações quanto ao quantitativo total nos arquivos da Secretaria Municipal de Agricultura. Neste setor durante a gestão municipal de 2013-2016 uma equipe foi designada para realizar esse mapeamento, mas não chegou a concluir o trabalho e muitos dos dados coletados se perderam por problemas apresentados pelos computadores da prefeitura.

Sendo assim, essa etapa foi conduzida pelo conhecimento do pesquisador com a área de estudo, que iniciou o mapeamento nos povoados do município onde a atividade agrícola irrigada é mais intensa, ou seja, na área de relevo cárstico. Todos os poços mapeados no trabalho de campo estão localizados na área cárstica de Iraquara (135 poços), onde

encontram-se as maiores reservas subterrâneas de água do município. Nessa área desenvolve prioritariamente a agricultura irrigada, baseada na extração de água do subsolo por poços tubulares para irrigar as culturas agrícolas, que necessitam de grande quantidade de produtos químicos, que podem contaminar as terras e a água, além de provocar danos a saúde da população local.

Considera-se o quantitativo de 135 poços representativo do universo amostral para essa pesquisa, uma vez que o número total de poços utilizados para agricultura irrigada é desconhecido no município e foram mapeados o maior número possível, conforme identificação em campo, para auxiliar na análise do uso e cobertura das terras e o consequente avanço da agricultura irrigada, bem como para fazer inferências quanto a quantidade, densidade, profundidade e vazão dos poços na área de estudo.

Durante a coleta aplicaram-se questionários aos proprietários ou responsáveis pela propriedade para levantar dados sobre os poços, tais como: localidade, coordenadas, data de perfuração, data que começou a utilizar, profundidade, vazão, situação atual do poço, problemas com vazão, fonte de energia e principais cultivos irrigados. Esses dados deram suporte para as análises realizadas nessa pesquisa.

4.1.3 Aquisição das imagens de satélites

A aquisição das imagens de satélite se deu a partir do sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram coletadas cenas do satélite Landsat-5, sensor TM (Thematic Mapper), para o ano de 2009 e do Landsat-8, com o sensor OLI (Operational Land Imager), para o ano de 2016. Como recorte espacial foi escolhido o município de Iraquara-BA e o intervalo temporal de 8 anos (2009-2016), para realizar a análise do uso e cobertura das terras.

A área de estudo corresponde às órbitas-ponto: 217/68, 217/69 e 218/68 (Figura 21). As datas de passagem do satélite selecionadas foram 24/09/2009 e 15/09/2009 para as imagens do Landsat-5 e 12/07/2016 e 30/11/2016 para o Landsat-8 (Tabela 2). As cenas do Landsat-8 são disponibilizadas georreferenciadas, necessitando fazer a correção geométrica, apenas, das imagens do Landsat-5. Estas imagens foram utilizadas para analisar as mudanças no uso e cobertura das terras no período de estudo proposto.

O período de análise e a data específica das imagens são justificados por corresponder ao período de maior perfuração de poços tubulares e pela pesquisa de produção agrícola municipal do IBGE, que mostra um aumento dos cultivos oriundos da agricultura irrigada, bem como à disponibilidade de imagens com boa qualidade.

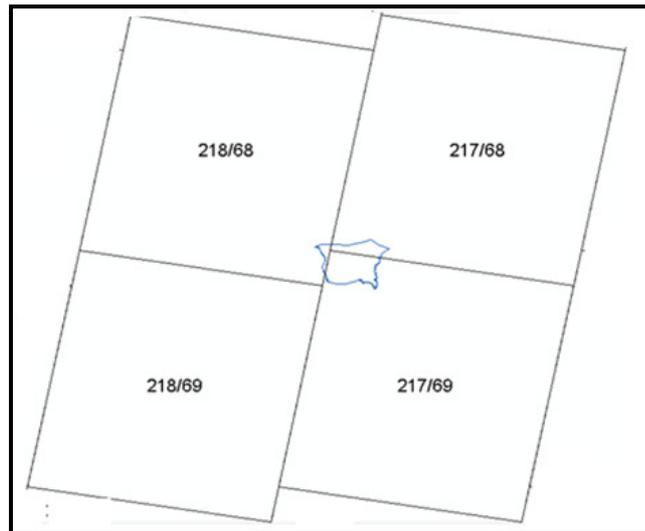


Figura 21: Localização da área de estudo nas cenas do Satélite Landsat

Elaboração: Elaine Martins, 2017

Tabela 2: Imagens utilizadas na pesquisa

| SATÉLITE | DATA | SENSOR | ÓRBITA/PONTO | RESOLUÇÃO ESPACIAL |
|-----------|------------|--------|--------------|--------------------|
| LANDSAT-5 | 24/09/2009 | TM | 217/068 | 30 m |
| | 15/09/2009 | | 217/069 | |
| | | | 218/068 | |
| LANDSAT-8 | 30/11/2016 | OLI | 217/068 | 30 m |
| | 12/07/2016 | | 217/069 | |
| | | | 218/068 | |

4.1.4 Coleta de dados da área de estudo e construção de um SIG

A elaboração do banco de dados para essa pesquisa corresponde a uma das etapas dos procedimentos metodológicos adotados. Para tanto, foi necessário um levantamento de dados cartográficos com dados em formato vetorial e raster, com o intuito de conhecer as características físicas do município, com o suporte para trabalho de campo.

Foram utilizados na pesquisa os seguintes dados: Limite Municipal (IBGE, 2015), Limites Estaduais (IBGE, 2015), Mapa de Geologia (CPRM, 2014), Mapa de uso e cobertura das terras, Geomorfologia, Poços, Pedologia (SRH, 2003), Hidrografia (SEI, 2008), altitude e declividade (SRTM/INPE), Imagem Landsat-5 e Landsat-8 (INPE) e os dados de poços, disponibilizados por Santos (2011). Os metadados foram encontrados em fontes diferentes, conforme exposto no (Quadro 3):

Quadro 3: Metadados utilizados na Pesquisa

| Tema | Fonte | Formato-Datum | Escala | Objetivo |
|------------------|-------------|------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| Limite Municipal | IBGE (2015) | Digital Sirgas_2000_UTM_24S | 1:250.000 | Delimitação da área de estudo |
| Rodovias | DERBA | Digital GCS_South_American_1969 | 1:500.000 | Principais rotas de acesso |
| Hidrografia | SEI (2008) | Digital | 1:100.000 | Caracterização física |
| Geologia | CPRM (2014) | Digital Sirgas_2000_UTM_24S | 1:1.000.000 | Caracterização física |
| Geomorfologia | SRH (2003) | Digital Sirgas_2000_UTM_24S | 1:1.000.000 | Caracterização física |
| Solo | SRH (2003) | Digital Sirgas_2000_UTM_24S | 1:1.000.000 | Caracterização física |
| Hipsometria | SRTM/ | Digital | 90 m | Caracterização |

| | | | | |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------|--|
| | INPE | Sirgas_2000_UTM_24S | | física |
| Declividade | SRTM/ INPE | Digital Sirgas_2000_UTM_24S | 90 m | Caracterização física |
| Poços | SRH (2003) | Digital | 1:1.000.000 | Interpolação de dados: Profundidade e Vazão |
| Cobertura Vegetal e Uso das terras | SRH (2003) | Digital GCS_South_American_1969 | 1:1.000.000 | Avaliar o grau de inteiração dos aspectos naturais e antrópicos. |
| Poços | SANTOS (2011) | Digital Sirgas_2000_UTM_24S | 1:250.000 | Interpolação de dados: Profundidade e Vazão |
| Poços | Trabalho de campo | Digital Sirgas_2000_UTM_24S | 1:250.000 | Analisar a relação do número de poços com o avanço da agricultura. |

4.2 Processamento Digital de Imagem

Nessa etapa foram desenvolvidas as técnicas necessárias do PDI que envolve o Pré-Processamento, Processamento e Pós-Processamento das imagens selecionadas para a pesquisa.

4.2.1 Pré-Processamento

Consiste na preparação dos dados de satélite para a classificação (MOREIRA, 2005). Nessa fase foram desenvolvidas algumas técnicas com o objetivo de melhorar as imagens da área de estudo para as fases posteriores, sendo realizados a integração de bandas, a correção

geométrica, o mosaico das cenas e o recorte da imagem. O pré-processamento foi realizado no software ENVI 4.7.

4.2.1.1 Integração de Bandas

Nessa fase, fez-se a integração de bandas com as cenas do satélite Landsat-5. Para as imagens Landsat-8, primeiro foi necessário projetar a imagem para o Hemisfério Sul, uma vez que as imagens são projetadas para o norte verdadeiro (Hemisfério Norte). Assim foram reprojatadas e, em seguida, integradas. Obteve a união das cenas de imagem do satélite Landsat.

4.2.1.2 Correção Geométrica (Georreferenciamento)

De acordo com Mather (1987) apud Moreira (2005) a correção geométrica pode ser compreendida como o processo de transformação dos dados de sensoriamento remoto, de tal modo que eles adquiram as características de escala e projeção próprias de mapas. A correção pode ser feita de forma específica, aplicando modelos matemáticos para corrigir os erros através das coordenadas geográficas da área de interesse.

O registro das imagens da área de estudo foi feito pelo método imagem-imagem a partir do mosaico GEOCOVER disponibilizado no sítio <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/> para correção geométrica das imagens Landsat, ressaltando que esse procedimento foi adotado apenas para as imagens do Landsat-5, uma vez que as imagens do Landsat-8 são disponibilizadas com ortorretificação.

Foram coletados quatro pontos identificados na imagem de referência e na imagem bruta, para que o sistema rotulasse os demais pontos da área, ao final foi observado um Erro Médio Quadrático (RMS) menor que 1 pixel, que para imagem do Landsat corresponde a 30 metros, estando de acordo com o aceitável para a qualidade da correção geométrica.

4.2.1.3 Mosaicagem e Recorte

A partir das imagens georreferenciadas foi realizado o mosaico das imagens. Este é necessário quando a área de estudo é maior do que a cena disponibilizada. Para o município de Iraquara foi realizado o mosaico com três órbitas/pontos: 217/68, 217/69 e 218/68. Em seguida aplicou-se o da área de estudo de acordo com o limite político administrativo disponibilizado pelo IBGE do ano de 2015. Utilizou-se esse limite por ser disponibilizado numa escala maior (1:250.000), que a encontrada para o ano de 2016 (1:1.000.000).

4.2.1.4 Composição Colorida

As imagens obtidas a partir de sensores eletrônicos são originalmente processadas em escala de cinza. Entretanto é possível gerar composições coloridas (falsa-cor) usando três bandas e associando-as ao canal de cores primárias, Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B).

Para Crosta (1992) apud Almeida (2012) é possível usar combinações de três bandas, para originar uma composição colorida, só é necessário verificar se esta combinação atende as informações espectrais desejadas, uma vez que pode desperdiçar informações quando não são bem selecionadas.

Porém, vale ressaltar que não há na literatura receitas prontas para realizar a melhor composição colorida, pois cada imagem possui suas características próprias, cabe ao analista aplicar diferentes combinações ou aplicar testes estatísticos até encontrar a que melhor atenda aos objetivos propostos.

Nesta pesquisa, foram realizadas várias tentativas para se obter a melhor composição colorida de falsa-cor, que representasse os alvos de estudo sendo selecionadas as bandas das faixas espectrais do infravermelho próximo, do Vermelho e do verde, associadas respectivamente ao canal RGB. Desta forma, os tripletes de bandas resultantes foram R4G3B2 para a imagem Landsat-5 e R5G4B3 para a imagem do Landsat-8.

4.3 Processamento

Nesta etapa foram desenvolvidas as técnicas para destacar informações, permitindo um reconhecimento dos itens, que passaram por: segmentação e classificação das imagens.

4.3.1 Segmentação

Para produção do mapa temático de uso e cobertura das terras, utilizamos as imagens TM/Landsat-5 composição colorida R4G3B2 e OLI/Landsat-8 com composição R5G4B3. Foram segmentadas pelo método de classificação supervisionada por região e aplicado o algoritmo *Bhattacharyya*.

Por se tratar de uma área muito fragmentada, com forte influência antrópica, foram necessários à utilização de vários limiares de similaridade e de área para testar e analisar os resultados apresentados. Dentre os valores testados, o que apresentou melhor resultado para a imagem Landsat-8 foi 49 para similaridade e o limiar de área de pixel de cada região foi 25. Para a imagem Landsat-5 a melhor segmentação foi representada pela similaridade 5 e o limiar de área 7. Não foi encontrada na literatura, nenhuma sugestão para definição desses valores, ficando a escolha a cargo dos testes realizados e análises dos melhores valores resultantes para a área de estudo.

O resultado final do processo de segmentação constituiu uma imagem rotulada. Assim, podemos observar a concordância da segmentação com a imagem a ser trabalhada (Figura 22).

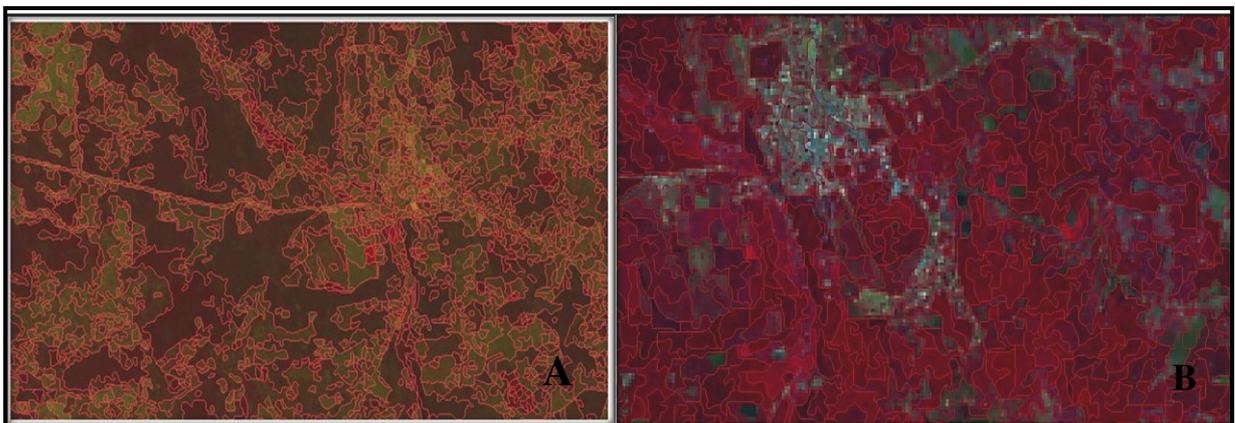


Figura 22: A: Sobreposição do vetor de segmentação sobre a imagem Landsat-5 R4G3B2 e B: Sobreposição do vetor de segmentação sobre a imagem Landsat-8 R5G4B3

4.3.2 Classificação

A classificação supervisionada foi utilizada nas duas imagens selecionadas para o trabalho correspondentes aos anos de 2009 e 2016. Para gerar a classificação foram testados dois algoritmos, o Máxima Verossimilhança (MaxVer) e o *Bhattacharya*.

Optou-se pela utilização da classificação supervisionada por região, por meio do algoritmo interpolador (*Bhattacharya*), por apresentar melhor resultado e precisão na classificação das imagens e melhor identificação dos alvos/objetos. O algoritmo classificador escolhido, adota as seguintes etapas no processo de classificação: segmentação, escolha do limiar de similaridade e do limiar de área, extração de regiões, treinamento (escolha das amostras), e classificação, essas fases foram desenvolvidas no programa Spring 5.4.3, disponibilizado pelo INPE, sendo definidas seis classes conforme observações realizadas durante os trabalhos de campo.

Foram identificadas e selecionadas, para a área de estudo, seis tipos de uso e cobertura das terras: Agricultura Irrigada, Agropecuária/Solo Exposto, Cobertura Vegetal, Área Construída, Corpos D'Água e Afloramento Rochoso (Figura 23). As classes identificadas na classificação que resultou no mapa de uso e cobertura das terras.

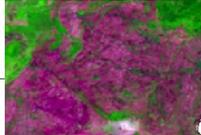
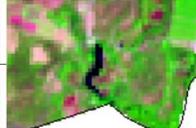
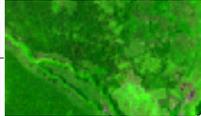
| LANDSAT-5 | LANDSAT-8 | GOOGLE EARTH | CLASSE | DESCRIÇÃO |
|---|---|---|------------------------------------|--|
|  |  |  | Agricultura irrigada | Áreas de cultivo de pimentão, banana, café, tomate e cebola. Apresenta formas geométricas definidas, com ciclo de curta e média duração. |
|  |  |  | Agropecuário / Solo Exposto | Pequenas propriedades com produção diversificada, conjugando culturas temporárias como mandioca, milho, feijão e pecuária de leite. É nesta classe que estão incluídas as culturas produzidas na agropecuária de subsistência. |
|  |  |  | Área Construída | Áreas de uso intensivo, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão inclusas a sede do município, vilas e povoados com um povoamento representativo. |
|  |  |  | Afloramento Rochoso | Representado por rocha exposta, com coloração acinzentada. |
|  |  |  | Corpos D'Água | Compreende os rios e lagoa existentes no município. |
|  |  |  | Cobertura Vegetal | Representada por todo tipo de formação arbórea: Caatinga, Floresta estacional e Cerrado, podendo ter uma vegetação densa ou aberta. |

Figura 23: Chaves de Interpretação

Fonte: Imagens Landsat-5 e Landsat-8 (INPE), Imagens Google Earth Pro ano 2017, Classes Temáticas e descrição adaptado por (MARTINS, 2017) do Manual Técnico de uso da terra (IBGE, 2006).

Ao final do processo de classificação, foram obtidos os mapas de uso e cobertura das terras para os anos de 2009 e 2016. Após os mapas classificados foram exportados para o software ArcGis, transformando-os para o formato vetorial e reclassificando-os para ajustar alguns polígonos, pertencentes às determinadas classes, os quais foram agrupados para outras classes durante à classificação. Dessa forma, foi possível quantificar a área de cada classe representada e analisar as mudanças ocorridas no período.

4.5 Validação do Mapa de Uso e Cobertura das Terras

A partir da classificação supervisionada por região, utilizando o algoritmo *Bhattacharya*, obtivemos os mapas de uso e cobertura das terras referente aos anos de 2009 e 2016 do município de Iraquara. Com o uso das geotecnologias verifica-se a facilidade encontrada para a realização desse tipo de mapeamento. Posteriormente aplicou-se índices de validação, tais como índice Tau (T) e Exatidão Global para verificar a acurácia desses dados.

Nesta etapa foram consideradas todas as classes de uso e cobertura das terras e foram distribuídos pontos aleatoriamente (método randômico), 10 pontos por classe, totalizando 60 pontos para observação em campo (Figura 24). Para apoio de campo foram exportados os pontos gerados pela extensão *Hawths Tools* no ArcGis 9.3 para o aplicativo Google Earth Pro instalado no celular, que facilitou a localização dos pontos, utilizou-se de aparelho GPS da marca *Garmin*, notebook e mapa de uso e cobertura das terras do ano de 2016. Foram visitados quase todos os pontos distribuídos no mapa, menos dois pontos da classe afloramento rochoso, por encontrarem-se em áreas de difícil acesso, com relevo acidentado. No entanto, foi verificado a partir dos pontos visitados na classe afloramento rochoso, que os pontos 33 e 35 indicados no mapa na classe afloramento rochoso, correspondiam de fato a essa classe.

A validação e a identificação das classes foram realizadas considerando a data da aquisição da imagem Landsat-8 (2016). A campanha de campo para validação foi realizada entre 21 a 26 de maio de 2018. Embora tenha-se consciência da transformação do espaço, não foram observadas grandes mudanças que pudessem dificultar o trabalho de campo.

Os pontos de campo foram utilizados para fazer a validação do mapa de uso e cobertura das terras. O índice de validação aplicado foi o Tau (T), que de acordo com Figueiredo e Vieira (2007), fornece uma medida quantitativa relativamente precisa e intuitiva sobre a acurácia da classificação, sendo recomendado na avaliação da acurácia de mapas temáticos.

4.6 Tabulação Cruzada

A tabulação cruzada foi executada entre as classificações *Bhattacharya*, que resultaram nos mapas de uso e cobertura das terras para os anos de estudo de 2009 e 2016. Os mapas classificados foram rasterizados para gerar a matriz de transição, a qual forneceu os percentuais de conversão das áreas das classes do uso e cobertura das terras e identificou as mudanças ao longo do período estudado. Segundo Santos (2003), no estudo onde dois mapas representam as mesmas categorias de informações em duas datas, é interessante identificar se as áreas diminuem dentro de uma mesma classe sobre duas datas ou se a mudança provocou a ocorrência de uma nova classe. Isto pode ser sintetizado com a matriz de tabulação cruzada, uma tabela que registra os números de células “matriciais” que se encaixam dentro dos limites de cada combinação possível das classes referente às duas datas.

4.7 A Krigagem como método de análise de dados

A geoestatística é uma ferramenta que utiliza técnicas de interpolação de dados para espacializá-los de maneira mais precisa a partir da ponderação de todas as amostras disponíveis, onde os pesos ponderados são obtidos com a restrição de que seu somatório seja igual a 1 e a variância da estimativa seja mínima (SILVA, 1999).

Assim, os valores intermediários dos dados são preservados e o resultado final é uma superfície contínua de dados mais suavizados, possíveis de serem interpretados e visualizados com maior clareza.

A espacialização dos dados de profundidade e vazão tornou-se necessário nessa pesquisa, considerando que a profundidade e a vazão estão diretamente relacionadas com a

capacidade do aquífero, sendo que a grande exploração da água pode provocar o rebaixamento do nível freático, aumentando assim a profundidade dos poços tubulares.

Foram testados alguns métodos de interpolação como IDW (Inverso do Quadrado da Distância), Spline, Kernel e Krigagem, para a construção de mapas temáticos a partir dos valores das variáveis, profundidade e vazão. Optou-se pela utilização do método Krigagem por apresentar os melhores resultados para as variáveis estudadas, com o uso do software ArcGis 9.3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados e discussões das informações geradas durante a pesquisa que resultaram no mapeamento do uso e cobertura das terras, buscou identificar o avanço da agricultura irrigada na área de estudo e o impacto provocado em regiões cársticas. Assim, serão apresentados os resultados da pesquisa de campo, do Processamento Digital de Imagens, bem como os dados adquiridos em campo.

Os dados dos poços coletados em campo serão descritos, relacionando-os com o aumento da área ocupada para a agricultura irrigada no município, assim como as análises dos mapas de uso e cobertura das terras resultante da classificação por região, interpolação com as variáveis profundidade e vazão através do método *krigagem*.

5.1 Mapas de Uso e Cobertura das Terras

O mapa final do uso e cobertura das terras, serviu de base para quantificar e analisar as transformações da área no período estudado. Esse mapeamento foi de fundamental importância para o conhecimento da dinâmica do espaço local, visto que o uso intensivo das terras tem provocado a degradação do ambiente. Sendo assim, o conhecimento da distribuição espacial e das atividades desenvolvidas sobre este espaço favorece uma avaliação da intensidade das formas de ocupação, podendo auxiliar pesquisadores, gestores públicos e comunidade local para o planejamento do uso dos recursos naturais.

Conforme destacado na metodologia, a definição do número de classes se deu por interpretação visual, foram utilizadas imagens do satélite Landsat-5 (sensor TM) e Landsat-8 (sensor OLI), correspondente ao município de Iraquara para o ano 2009 e 2016, podemos visualizar nas Figuras 25 e 26.

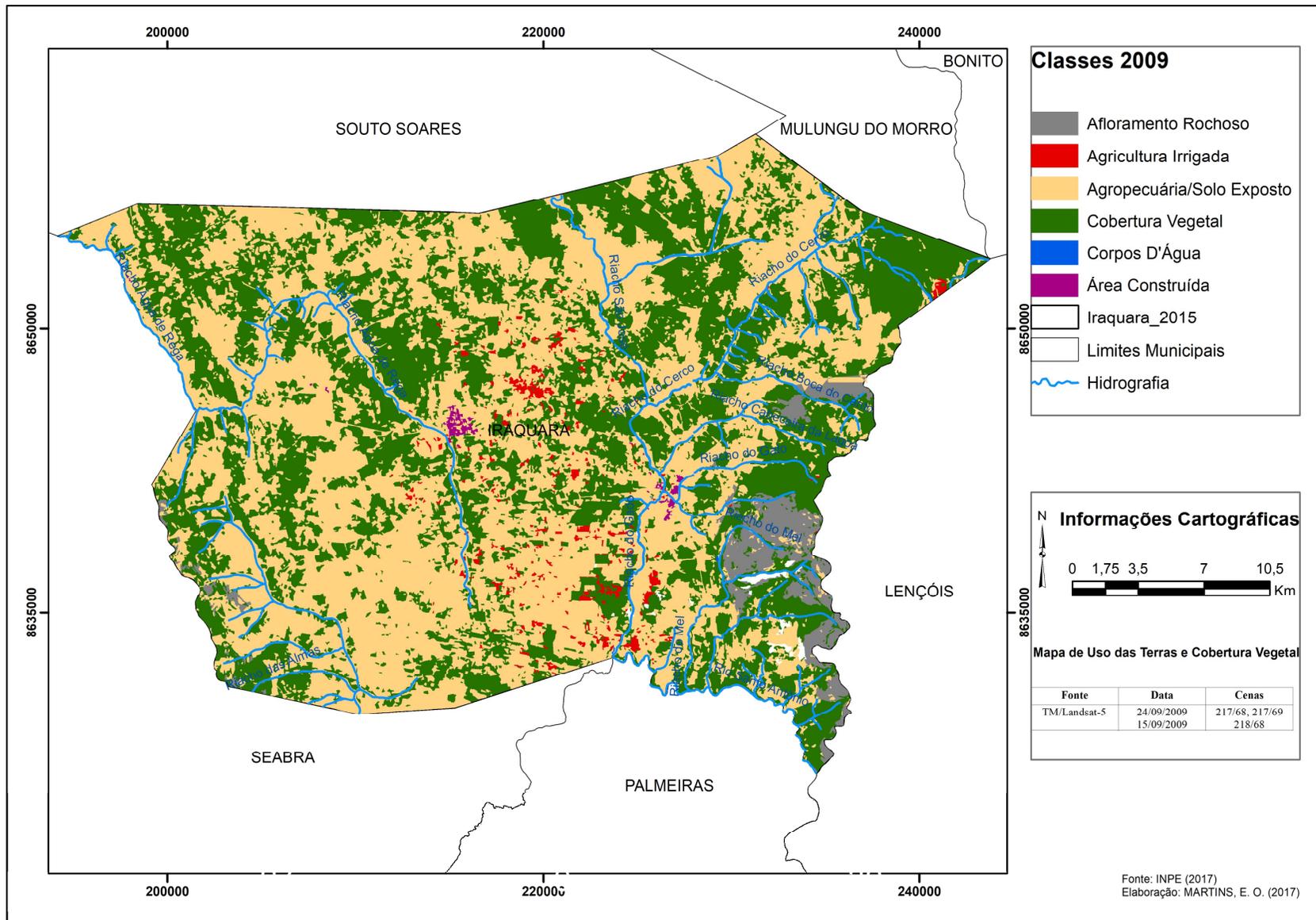


Figura 25: Mapa de Uso e Cobertura das Terras resultante da Classificação por região pelo método Bhattacharya para o ano de 2009

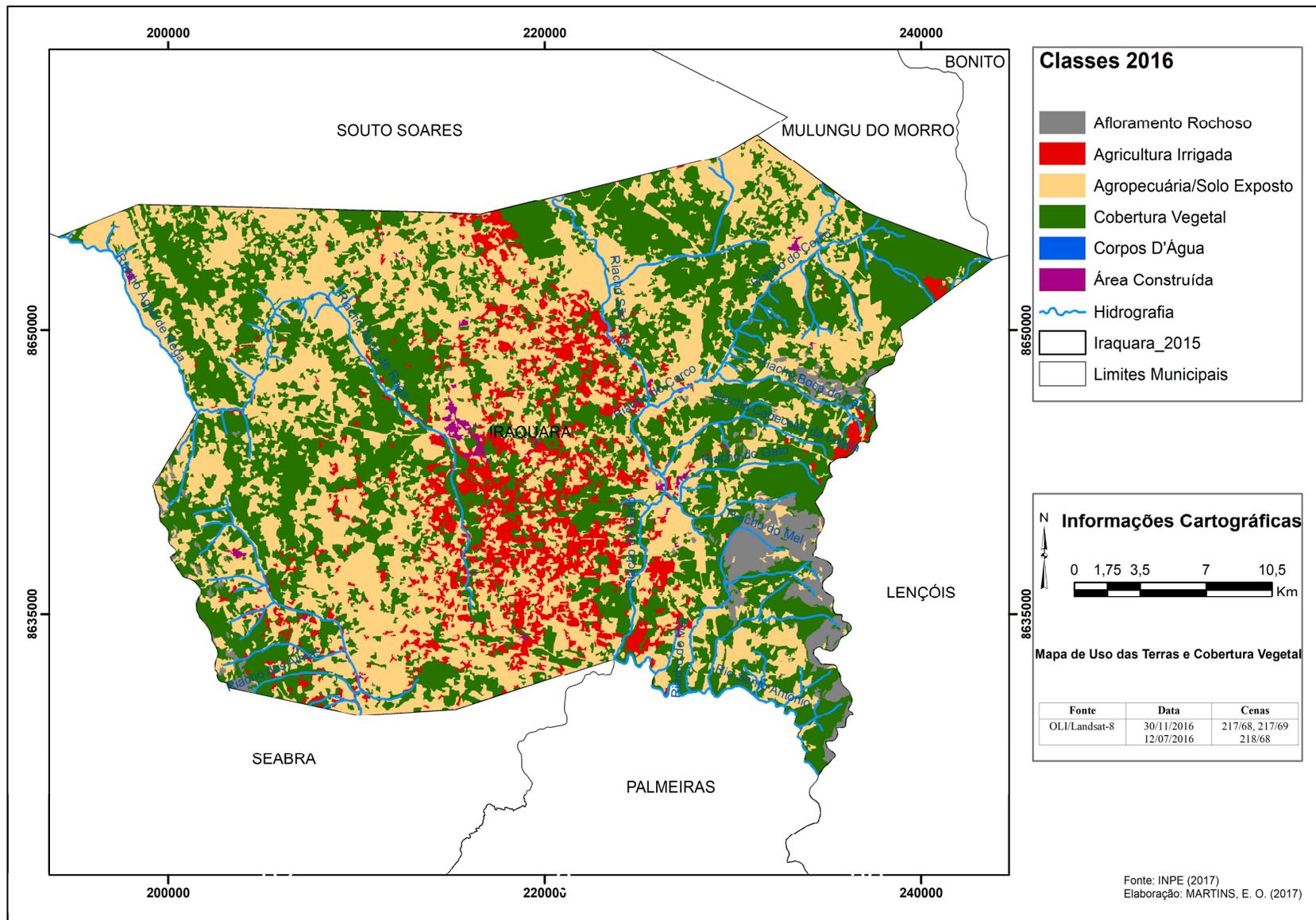


Figura 26: Mapa de Uso e Cobertura das Terras resultante da Classificação por região pelo método Bhattacharya para o ano de 2016

Tabela 3: Classes mapeadas, suas áreas e porcentagens

| Uso e Cobertura do Solo | 2009 km² | 2009% | 2016 km² | 2016% |
|----------------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|
| Afloramento Rochoso | 29,3 | 3,0% | 30 | 3,0% |
| Agricultura Irrigada | 11,1 | 1,2% | 86 | 8,7% |
| Agropecuária/Solo Exposto | 535 | 54% | 436,2 | 44,1% |
| Cobertura vegetal | 412,3 | 41,6% | 433,3 | 43,8% |
| Corpos D' Água | 0,1 | 0,01% | 0,2 | 0,02% |
| Área Construída | 1,9 | 0,2% | 3,9 | 0,4% |
| TOTAL | 989,8 | 100,0% | 989,8 | 100,0% |

Observa-se na análise multitemporal, que a classe agricultura irrigada demonstrou maior crescimento dentre as demais classes no período analisado, esse aumento foi inversamente proporcional ao classe agropecuária/solo exposto, a qual decresceu no decorrer dos anos. Isso demonstra que o desenvolvimento da agricultura irrigada é condicionado, principalmente, na conversão de áreas de uso agropecuário/solo exposto em áreas de cultivos irrigados.

Outro ponto importante que contribui para o avanço da agricultura irrigada, preferencialmente na região central do município, refere-se a presença de um rico lençol de águas subterrâneas, formado sobre o domínio de rochas calcárias. Estas facilitam a infiltração da água e, a topografia representada predominantemente por relevo plano e de menor altitude, para onde convergem os fluxos de água superficial que são absorvidos pela rocha, favorecem a implantação de culturas irrigadas.

Nesta classificação se destaca em termos de área a classe agropecuária/Solo exposto com 535 Km², representando 54% da área total. Estão inclusos nesta classe os usos para agricultura de sequeiro, pastagem e solo exposto, não sendo possível identificar em classes separadas por conta da resolução espacial da imagem utilizada (30m), bem como do período, que corresponde a época de preparo da terra para plantio, cujo solo fica exposto, sem cobertura vegetal, mesmo nas áreas consolidadas por pastagem e agricultura.

Para o ano de 2009 a classe agricultura irrigada apareceu timidamente, representada por 11,1 Km² o que corresponde ao total da área de 1,2%. No trabalho de campo identificamos que dos 135 poços mapeados apenas 20 foram perfurados antes de 2009, corroborando com o dado de que a partir do ano 2000 esse número começou a aumentar.

Embora a agricultura de sequeiro fosse bastante utilizada no município, podia-se observar pequenos trechos cuja produção agrícola ocorria com o uso da irrigação.

Outra classe que se destaca em termos de área é a classe cobertura vegetal, representada por 412,3 Km² (41,6%), composta por diferentes tipos vegetais, onde podemos destacar, floresta estacional, representada pela vegetação mais densa localizada a nordeste da área de estudo, próximo ao povoado de Duas Barras e a caatinga arbórea arbustiva, vegetação nativa, marcada por galhos secos e retorcidos, que predomina em quase toda a área do município.

A classe afloramento rochoso com 29,3 Km², associado as áreas com altitudes acima de 900 m, com neossolos litólicos distróficos, que são pouco desenvolvidos, com apenas o horizonte A e com intensos processos erosivos, o que explica a exposição da rocha. A Classe corpos d'água com 0,1 Km², pouco expressiva na classificação por a imagem corresponder ao mês com menor índice pluviométrico, marcado por uma drenagem superficial com a maioria dos rios com fluxo intermitente. Os corpos d'água mapeados correspondem a Lagoa de Piroça e ao Rio Santo Antônio que entra a sudeste no município e percorre um trecho localizado na Fazenda Pratinha (Figura 27).



Figura 27: A: Rio Santo Antônio, no trecho da fazenda Pratinha e B: Lagoa de Piroca, em uma fazenda privada que leva o mesmo nome no Distrito de Iraporanga.

Fonte: Martins, 2018

A classe área construída, que corresponde a área urbana, incluindo os povoados e vila, representava uma área de 1,9 km² ou 0,2% da área total no ano de 2009. O principal trecho construído, corresponde a sede municipal, localizada sobre o relevo cárstico, destacando como principal fonte de abastecimento dois poços tubulares que abastecem toda a população

urbana. O grande problema enfrentado diz respeito a inexistência do saneamento básico, correndo sérios riscos de contaminação da água subterrânea utilizada para uso doméstico.

No mapa de uso das terras e cobertura vegetal resultante da classificação da imagem de 2016 (Figura 26), observa-se mudanças em quase todas as classes em relação ao período anteriormente analisado, tendo acréscimo de área para as classes correspondentes agricultura irrigada, corpos d'água, área construída e cobertura vegetal, e redução da classe agropecuária/solo exposto e permanência da classe afloramento rochoso. O clima do município é caracterizado pela má distribuição e irregularidade de chuvas, como observado no ano de 2016 com concentração de chuvas no mês de janeiro, que ultrapassou os 300 mm, e precipitações muito baixas no decorrer do ano. Essa irregularidade na distribuição das chuvas é característica da região de clima semiárido, e compromete as atividades econômicas primárias, ligadas a agricultura e a pecuária com utilização de técnicas tradicionais, o que torna a produção dependente do regime pluviométrico. Para minimizar os efeitos da seca o produtor local buscou na perfuração de poços tubulares uma alternativa para extrair água do subsolo e irrigar os cultivos, diminuindo a dependência climática.

Sendo assim, observa que a classe agricultura irrigada (Figura 28) expandiu sua área para 86 Km² o que corresponde ao total de 8,7%, atrelada ao aumento dessa classe está o decréscimo da agropecuária/solo exposto que diminuiu sua área para 436,2 Km², podendo ser justificado pela substituição da agricultura de sequeiro pela agricultura irrigada, com utilização de técnicas mais avançadas.



Figura 28: A: representa uma plantação de cebola com poucos dias de plantada, B: plantação de cebola próximo a colheita.

Fonte: Martins, 2017

Durante o trabalho de campo e com base na imagem de satélite observaram-se que as porções de terras para cultivo irrigado são relativamente pequenas, isso se justifica pela dificuldade econômica e técnica do agricultor em manter a plantação, já que os custos para algumas culturas são relativamente altos e com retorno muito incerto, a exemplo disso temos a produção do tomate, um dos principais cultivos irrigados no município, e que apresenta uma oscilação muito alta de preço, considerando que é uma cultura temporária, sem condições de armazenamento.

Outro ponto importante dessa classe e que merece destaque, diz respeito a área de expansão urbana, localizada na região central, em áreas de relevo cárstico e com um potencial subterrâneo enorme, responsável por abastecer as residências, uma fábrica de produção do biodiesel e o uso agropecuário, esse último uso, tem extraído grandes e desconhecidas quantidades de água para abastecer os cultivos irrigados. Este fato é preocupante porque a população corre o risco de sofrer problemas de saúde por conta da contaminação por produtos químicos utilizados nas lavouras de tomate, pimentão e cebola, principais cultivos irrigados do município.

O avanço das áreas para fins agrícolas, com ênfase para a agricultura irrigada, pode ser associado ao processo de formação de dolinas, que podem se desenvolver a partir do grande volume de água retirada do subsolo, provocando o rebaixamento do aquífero e um possível colapso da superfície cárstica. Salles (2017) identificou várias dolinas no município, com dimensões e profundidades diferentes. Na entrada da cidade (região cárstica) tem-se uma dolina muito antiga que foi transformada em um parque e recebe o nome de “Parque da Dolina”, (Figura 29).



Figura 29: Parque da Dolina na entrada principal da cidade de Iraquara.
Fonte: Martins, 2017

Para o autor supracitado a formação de dolinas no município está relacionada a dissolução da rocha carbonática; presença de cobertura sedimentar sobre rochas carbonáticas; grau de evolução do relevo cárstico e ocorrência de descontinuidades em subsuperfície; podendo ainda estar, localmente, associada a exploração da água subterrânea. No mapa do nível estático, elaborado por Salles (2017) não foi observado anomalias que possam estar relacionados com processos de subsidência e colapso no município, mas que o fluxo hídrico acompanha a topografia local. No entanto, o estudo do potencial do aquífero foi desenvolvido apenas com os poços cadastrados no banco de dados da CERB (Companhia de Recursos Hídricos do Estado da Bahia) e podem não apresentar a real situação do município, uma vez que a maioria dos poços não são cadastrados e não possuem outorga de funcionamento, sendo desconhecido o volume de água retirado desses poços.

A classe corpos d'água corresponde a 0,2 Km² com um percentual do total da área de 0,02%, esse aumento se justifica pelo período da imagem (julho e novembro), que representa uma época com maiores índices de chuvas em relação a imagem de 2009, onde é possível encontrar algumas lagoas ou rios intermitentes com a presença de água, esse fato foi observado no trabalho de campo realizado em maio de 2018, como podemos observar uma imagem do riacho São Clemente, rio intermitente e que no período visitado estava correndo com pouca água (Figura 30).



Figura 30: Riacho São Clemente no Povoado de Duas Barras localizado a nordeste do município.

Fonte: MARTINS, 2018

A cobertura vegetal, que corresponde 433,3 Km² ou 43,8% do total da área, representada em sua maioria por uma vegetação nativa do tipo caatinga que é devastada pelas práticas agrícolas. Observou-se que a cobertura vegetal vem perdendo espaço para as práticas agrícolas tradicionais e irrigadas, em contrapartida vem recuperando espaço em outras áreas do município, esse aumento da classe também se justifica pelas condições sazonais da imagem utilizada para a classificação, que representa o período intermediário (Julho) e o período de início das chuvas (novembro), quando a vegetação nativa (caatinga) se recupera e começa a assumir sua coloração verde com poucos dias de chuvas.

A classe afloramento rochoso (30 Km²), apresentou-se praticamente constante. Quando observada em campo, foi possível perceber que predominam solos pouco desenvolvidos, arenosos, em áreas de altas altitudes e com intenso processo erosivo, o que justifica a exposição da rocha, que não tem seus horizontes bem definidos (Figura 31).



Figura 31: Afloramento rochoso localizado a leste do município de Iraquara, em uma localidade conhecida como Candéal.

Fonte: Martins, 2018.

A classe área construída aumentou em quase 100% do período de 2009 para 2016, representando 3,9 Km² e um percentual de 0,4 do total da área de estudo, esse avanço pode se justificar pela instalação de uma indústria de biodiesel no ano de 2006 (Figura 32), que atraiu a população de outras cidades com a geração de emprego, aumentando as construções de casas e sobrados. Outro ponto de destaque foi a política adotada pelo governo municipal com gestão (2009-2012), que priorizou o investimento em infraestrutura, com calçamentos de ruas, construção de quadras poliesportivas e criação de um novo bairro, conhecido por “Nova Iraquara”. Inicialmente a prefeitura doou posses para os moradores locais e de outras cidades, com a condição de construção rápida da casa ou do ponto de comércio, com isso, um novo bairro foi criado em Iraquara, impulsionando novas construções. Vale destacar, que a cidade de Iraquara se desenvolveu sobre o relevo cárstico e que até a presente data não há um sistema de esgotamento sanitário, nem outra forma de abastecimento, que não seja a captação de água pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA, responsável pelo abastecimento da população. Essa situação continua a preocupar a população que corre sérios riscos de saúde com a possível contaminação desse reservatório que é essencial para o desenvolvimento municipal.



Figura 32: A: Fábrica de biodiesel instalada em 2006, B: Bairro “Nova Iraquara” que se desenvolveu a partir do ano de 2009.

Fonte: Martins, 2018.

Diante dessa análise, nota-se que o processo de uso e cobertura das terras se configura como uma das principais causas de transformações ambientais feitas pelo homem. A agricultura de modo geral provoca modificações no uso e na cobertura vegetal das terras, com graus de degradação ambiental que variam conforme as técnicas utilizadas na produção.

Neste mapeamento do uso e cobertura das terras buscou-se identificar as modificações ocasionadas pelo avanço da agricultura irrigada no município, o que resultou em decréscimo principalmente das áreas de agricultura de sequeiro, uma vez que essa mudança é perceptível nos dados de produção agrícola municipal, que apresentaram queda nos principais cultivos tradicionais e um aumento dos produtos cultivados com uso da irrigação. Outra observação que pode ser feita diz respeito às técnicas de manejo inadequadas, que desencadeiam processos erosivos acelerados, além do uso intensivo de agrotóxicos que prejudica tanto no que se refere aos aspectos biológicos do solo como o lençol freático que pode ser contaminado.

5.2 Validação do Mapa de Uso e Cobertura das Terras

Conforme já dito anteriormente, foram coletados 60 pontos na área do município de Iraquara, que serviram para a validação do mapa. Criou-se uma matriz de confusão referência do trabalho de campo (Quadro 4) que serviu para calcular a exatidão do produtor, exatidão do consumidor, o Índice *Tau* e a exatidão global, referentes ao mapa 2016. O coeficiente de concordância *Tau* nessa classificação foi de 0,88%, essa validação leva-se em consideração todos os elementos da matriz de erros, pois considera a concordância esperada a mesma para todas as classes temáticas.

Sendo assim, percebe-se que a classificação supervisionada por região, com o algoritmo interpolador *Bhattacharya* atendeu os objetivos propostos de fazer o mapeamento do uso e cobertura das terras, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de Confusão, Exatidão do produtor, Exatidão do Consumidor, Exatidão Global e Índice Tau.

| Referência Campo | Classes Temáticas | Água | Agricultura a Irrigada | Agropecuário / Solo Exposto | Afloramento Rochoso | Área Construída | Vegetação Natural | Total (Linha) |
|----------------------------|----------------------------|--------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | Água | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | Agricultura Irrigada | 0 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | Agropecuário/ Solo Exposto | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| | Afloramento Rochoso | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 1 | 10 |
| | Área Construída | 0 | 0 | 2 | 0 | 8 | 0 | 10 |
| | Vegetação natural | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| | Total (Coluna) | 10 | 8 | 12 | 9 | 8 | 13 | 60 |
| | | | Exatidão - Produtor | Erros de Omissão | Exatidão - Consumidor | Erros de Comissão | | |
| Água | 100% | 0,00% | 100% | 0,00% | | | | |
| Agricultura Irrigada | 100% | 0,00% | 71,43% | 28,57% | | | | |
| Agropecuário/ Solo Exposto | 40,91% | 59,09% | 71,43% | 28,43% | | | | |
| Afloramento Rochoso | 100% | 0,00% | 85,72% | 14,28% | | | | |
| Área Construída | 100% | 0,00% | 71,43% | 28,43% | | | | |
| Vegetação natural | 59,10% | 40,90% | 100% | 0,00% | | | | |
| Exatidão Global | 83,3% | | | | | | | |
| Índice Tau | 88,1% | | | | | | | |

5.3 Detecção de Mudanças do Uso das Terras e Cobertura Vegetal

Após a classificação das imagens, que gerou os mapas de uso e cobertura das terras, foi realizada a tabulação cruzada, a partir dos mapas inicial (2009) e final (2016), que originou uma matriz de mudança. Os mapas de alterações das classes foram criados a partir da separação das classes em polígonos e depois feito a intersecção.

Para essa análise a utilização de dados multitemporais foram essenciais para criar os mapas, espacializar, caracterizar e detectar as mudanças. Para Santos (2004) a detecção de mudanças pode ser compreendida como uma série de técnicas para identificar diferenças importantes entre imagens gravadas em diferentes datas.

As alterações identificadas e que são de interesse desse estudo variam desde processos como: a expansão da área agrícola irrigada, crescimento da mancha urbana, supressão da vegetação, regeneração vegetal, dentre outros que se relacionam com a ampliação da área agrícola no município.

Para o ano de 2016 as mudanças mais relevantes estão relacionadas a expansão da classe agricultura irrigada, que cresceu 735% em relação ao ano de 2009, outra mudança relevante está relacionada com a diminuição de cerca de -16,9% da classe agropecuária/Solo Exposto. Observa-se que as maiores mudanças em relação a área do município são identificadas nas classes, Cobertura Vegetal, Agropecuária/Solo Exposto, Área Construída e Agricultura Irrigada.

Em relação as alterações das classes, apresentaram maiores mudanças a agricultura irrigada, área construída e corpos d'água. Percebe-se um decréscimo representativo da classe agropecuário/solo exposto, sendo a classe que mesmo com a diminuição considerável ainda representa a maior área de uso do município. No mapa inicial tinha uma área de 535 km² e no mapa final essa classe correspondeu a 436,2 km² da área total. Podemos observar na tabela de alterações de uso e cobertura das terras agregadas por classes, as mudanças ocorridas para o período analisado (Tabela 5).

Da área total do município observamos uma mudança de 31,1% o que corresponde a 312 km². Essas mudanças ocorreram em quase todas as classes, visto que houve uma mudança de ocupação entre as classes no período analisado, que iremos observar na tabela gerada a partir da matriz de transição das alterações de uso e cobertura das terras.

Tabela 5: Alterações de uso e cobertura das terras agregadas por classe.

| Classes | Mudanças | | |
|----------------------------------|-----------------|-------|--------------|
| | Km ² | (1) % | (2) % |
| Afloramento Rochoso | 10,9 | 3,5 | 37,2 |
| Agricultura Irrigada | 82,1 | 26,3 | 735 |
| Agropecuário/Solo Exposto | - 90,3 | 29 | -16,9 |
| Cobertura vegetal | 125,3 | 40 | 30,3 |
| Corpos D' Água | 0,1 | 0,06 | 155,2 |
| Área Construída | 3,2 | 1 | 166,4 |
| (3) TOTAL | 312 | 100,0 | |
| (4) Mudanças agregadas | | | 31,1% |

(1) Percentual de Mudanças em relação ao total de mudanças

(2) Percentual de Mudanças em relação a classe

(3) Totalização de mudanças, ou seja, independentemente do aumento ou redução.

(4) Percentual de mudanças em relação a área do município

A desagregação das alterações de uso e cobertura foi expressa em uma matriz de transição, que possibilitou mensurar os processos de mudanças de uso e cobertura das terras entre as classes (Tabela 6). Na matriz de transição é possível perceber as alterações das classes do período inicial (2009) para o período final (2016) e suas modificações de área e usos, visto que, todas as classes apresentaram variações, como pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6: Alterações de uso e cobertura das terras desagregadas.

| 2009 | 2016 | Km ² | % |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------|---------|
| Agricultura Irrigada | Cobertura Vegetal | 18,2 | 5,8 |
| Agropecuário/ Solo Exposto | Cobertura Vegetal | 80,2 | 25,7 |
| Área Construída | Cobertura Vegetal | 0,26 | 0,00083 |
| Afloramento Rochoso | Cobertura vegetal | 5,45 | 1,7 |
| Corpos D' Água | Cobertura Vegetal | 0,12 | 0,0004 |
| Cobertura Vegetal | Agricultura Irrigada | 3 | 0,9 |
| Agropecuário/ Solo Exposto | Agricultura Irrigada | 4,2 | 1,3 |
| Área Construída | Agricultura Irrigada | 0,02 | 0,00064 |

| | | | |
|--|----------------------------|-------|---------|
| Afloramento Rochoso | Agricultura irrigada | 0,006 | 0,000 |
| Corpos D'Água | Agricultura Irrigada | 0,003 | 0,000 |
| Agricultura Irrigada | Agropecuário/Solo Exposto | 63,8 | 20,4 |
| Cobertura Vegetal | Agropecuário/ Solo Exposto | 116,7 | 37,4 |
| Área Construída | Agropecuário/ Solo Exposto | 3 | 1 |
| Corpos D'Água | Agropecuário/Solo Exposto | 0,04 | 0,00012 |
| Afloramento Rochoso | Agropecuário/ Solo Exposto | 5,4 | 1,7 |
| Cobertura Vegetal | Afloramento Rochoso | 5,4 | 1,7 |
| Agricultura Irrigada | Afloramento Rochoso | 0,02 | 0,00064 |
| Agropecuário/ Solo Exposto | Afloramento Rochoso | 4,7 | 1,5 |
| Agropecuário/ Solo Exposto | Corpos D'Água | 0,02 | 0,00064 |
| Cobertura Vegetal | Corpos D'Água | 0,05 | 0,00017 |
| Afloramento Rochoso | Área construída | 0,001 | 0,000 |
| Cobertura Vegetal | Área Construída | 0,075 | 0,0024 |
| Agricultura Irrigada | Área Construída | 0,04 | 0,00012 |
| Agropecuário/ Solo Exposto | Área Construída | 1,05 | 0,34 |
| TOTAL | | 312 | 100,00 |
| Área que sofreu mudanças no período analisado | | 31,1% | |

As mudanças mais expressivas estão relacionadas as alterações das classes: cobertura vegetal para agropecuário/solo exposto (37,4%), agricultura irrigada para solo exposto (20,4%), solo exposto para cobertura vegetal (25,7%), juntas essas mudanças representam 83,5% do total de mudanças na área do município. Essas mudanças estão espacializadas no mapa de detecção de mudanças (Figura 33).

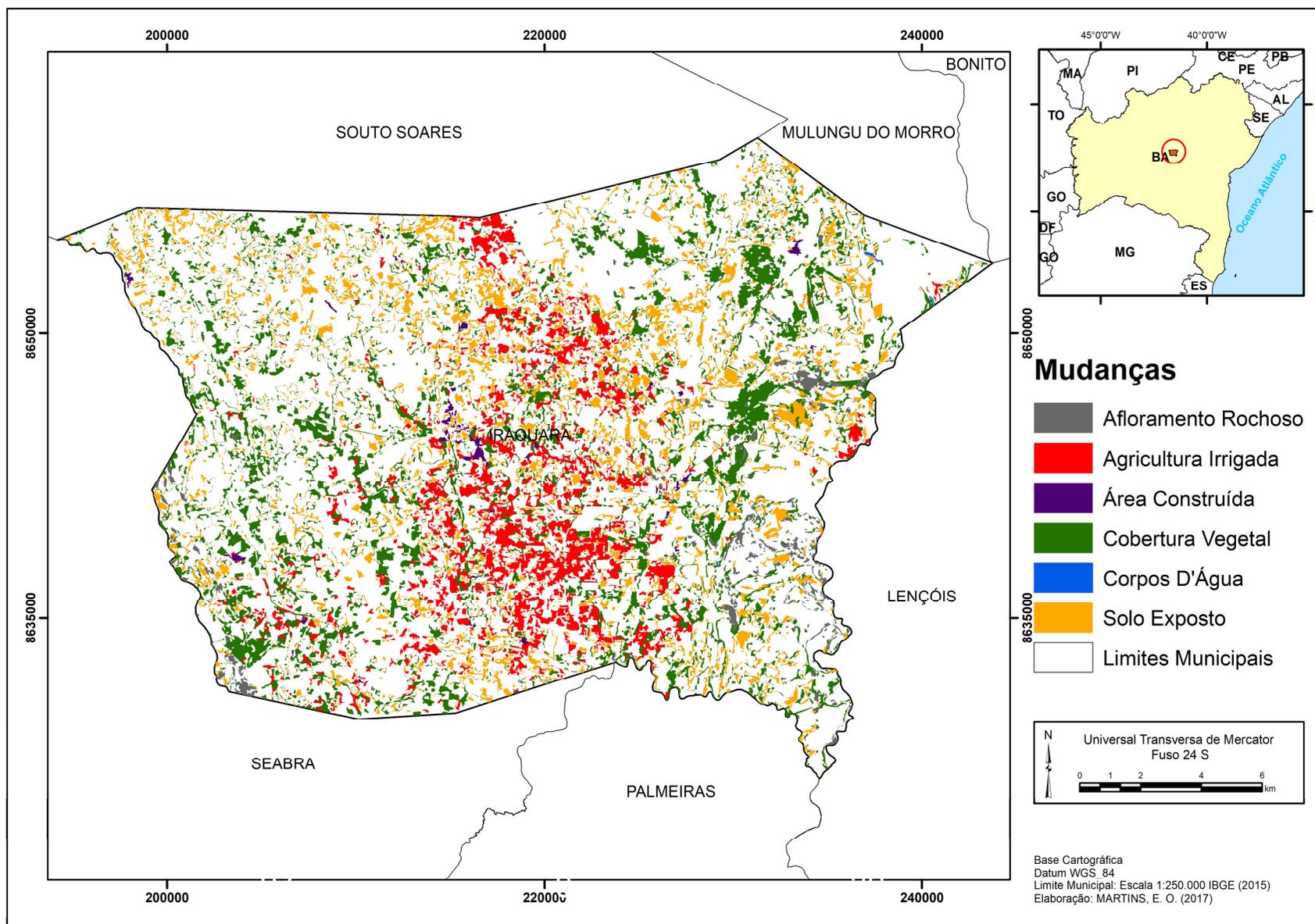


Figura 33: Mapa de Detecção de Mudanças do Uso e Cobertura das Terras do município de Iraquara-Ba

De acordo com a Tabela 5 e o mapa de detecção de mudanças para a classe cobertura vegetal (Figura 34), apresenta variações significativas em relação a classe, ocorridas no período de 2009 a 2016, cuja mudança correspondeu a 125 km², o que representa uma alteração de 30,4% em relação a classe no mapa inicial, que equivalia a 412,3 km² e, no mapa final, apresentou 433,3 km² é possível perceber na (Tabela 05) e no mapa de mudanças a expressiva conversão das classes agropecuária/solo exposto (25,7%), agricultura irrigada (5,8%) e afloramento rochoso (1,7%) para a classe cobertura vegetal.

Essas mudanças podem ser compreendidas considerando diferentes fatores. O primeiro está relacionado ao período da imagem de satélite utilizada para confeccionar os mapas, a classificação de 2009 foi gerada a partir de uma imagem do mês de setembro e o mapa de 2016 criado a partir de imagens de dois períodos, julho e novembro de 2016, ressaltando a dificuldade de encontrar imagens do mesmo período do ano sem a presença de nuvens, por isso utilizou-se imagens temporalmente diferentes. É preciso considerar o clima da área, semiárido, com chuvas concentradas entre os meses de outubro a março, e a cobertura vegetal nativa do tipo caatinga, que se regenera em poucos dias com a presença de chuvas constantes. Os trechos da área que em 2009 foi representada como agropecuária/solo exposto, foi identificada como cobertura vegetal em 2016, considera-se nessa mudança a recuperação de áreas de pastagens ou o surgimento de gramíneas nas áreas que antes eram de solo exposto.

A transformação da classe agricultura irrigada em cobertura vegetal, é possível correlacionar ao tipo de cultura irrigada, que tem característica temporária, portanto, em determinado período pode ser utilizado para cultivos agrícolas e em outros apresentam-se sem uso agrícola e com vegetação rasteira. O mapa de detecção de mudanças indicou uma transformação da classe afloramento rochoso para cobertura vegetal de (5,4 km²). Essa área é caracterizada no município pela mistura de solos, vegetação e rocha exposta, fato que, em virtude da resolução da imagem Landsat (30 m), dificultou a coleta de amostras na fase de treinamento da classificação supervisionada por região. As mudanças das classes corpos d'água (0,12 km²) e área construída (0,26 km²) foram pouco significativas para o tamanho da classe cobertura vegetal. O mapa de mudança para a classe Cobertura Vegetal pode ser visualizado na Figura 34.

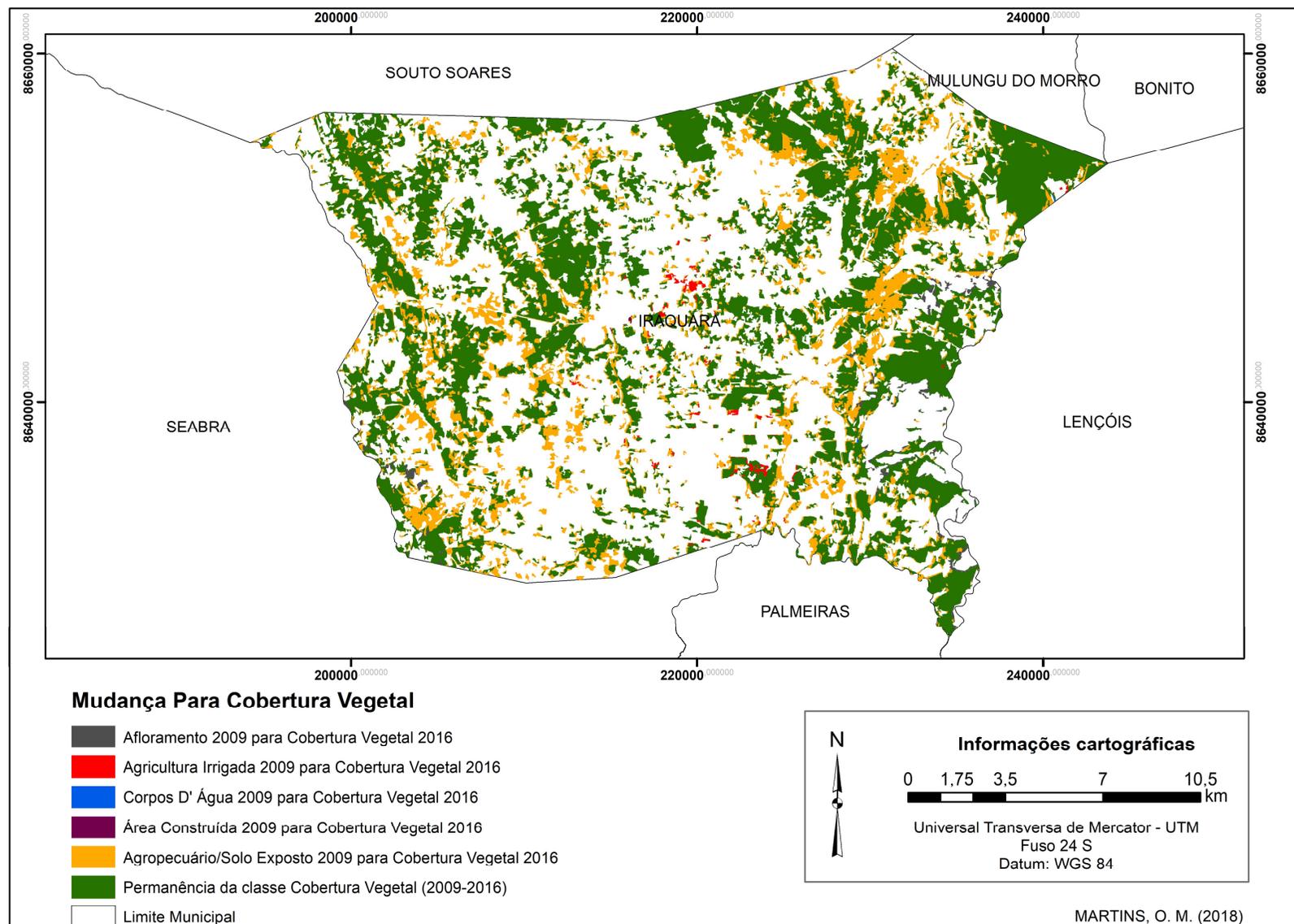


Figura 34: Mapa de Detecção de Mudanças para a classe cobertura vegetal

Os dados obtidos a partir da tabulação cruzada, representados na Tabela 6 e no mapa de detecção de mudança (Figura 35) mostram que a classe agricultura irrigada, aumentou muito ao longo do período estudado (2009-2016), com crescimento de 735% em relação a área ocupada no mapa inicial, que representava apenas 11,1 km², no mapa final essa classe atingiu 86 km².

A classe cresceu ocupando áreas principalmente das classes agropecuária/solo exposto (4,2 km²) e cobertura vegetal (3 km²), como era esperado. A agricultura irrigada apresentou forte crescimento na região cárstica em função das reservas hídricas subterrâneas, dos solos férteis e do relevo plano, nessa área a agricultura irrigada ganhou espaço da cobertura vegetal por meio das queimadas e do desmatamento da vegetação nativa do tipo caatinga, e das áreas de uso agropecuário/solo exposto, por meio da substituição das técnicas agrícolas tradicionais de produção por técnicas mecanizadas. Tais mudanças estão associadas, sobretudo, aos baixos índices pluviométricos e a irregularidade de distribuição anual das chuvas. O crescimento verificado da classe no período de estudo, reforça a relação existente entre o crescimento da perfuração de poços e a expansão da cultura agrícola irrigada no município.

Houve uma pequena alteração da classe área construída para agricultura irrigada (0,02 km²), que atribuímos ao valor parecido do pixel para as duas classes, sendo que, foram identificadas como áreas de agricultura irrigada terras que já tinham sido usadas para plantio e que no momento da captura da imagem a cultura agrícola já havia sido colhida resultando na resposta espectral do solo exposto, principalmente por considerar a produção irrigada, com cultivos temporários, como o tomate, pimentão, cebola, que tem um ciclo curto.

Do ponto de vista econômico as mudanças detectadas no uso e cobertura das terras, em relação a expansão da agricultura irrigada, se configura como uma alternativa de geração de renda na economia municipal, uma vez que emprega um número considerável de pessoas, que encontram no setor agrícola a única forma de obtenção de renda, sem precisar se deslocar para os grandes centros urbanos.

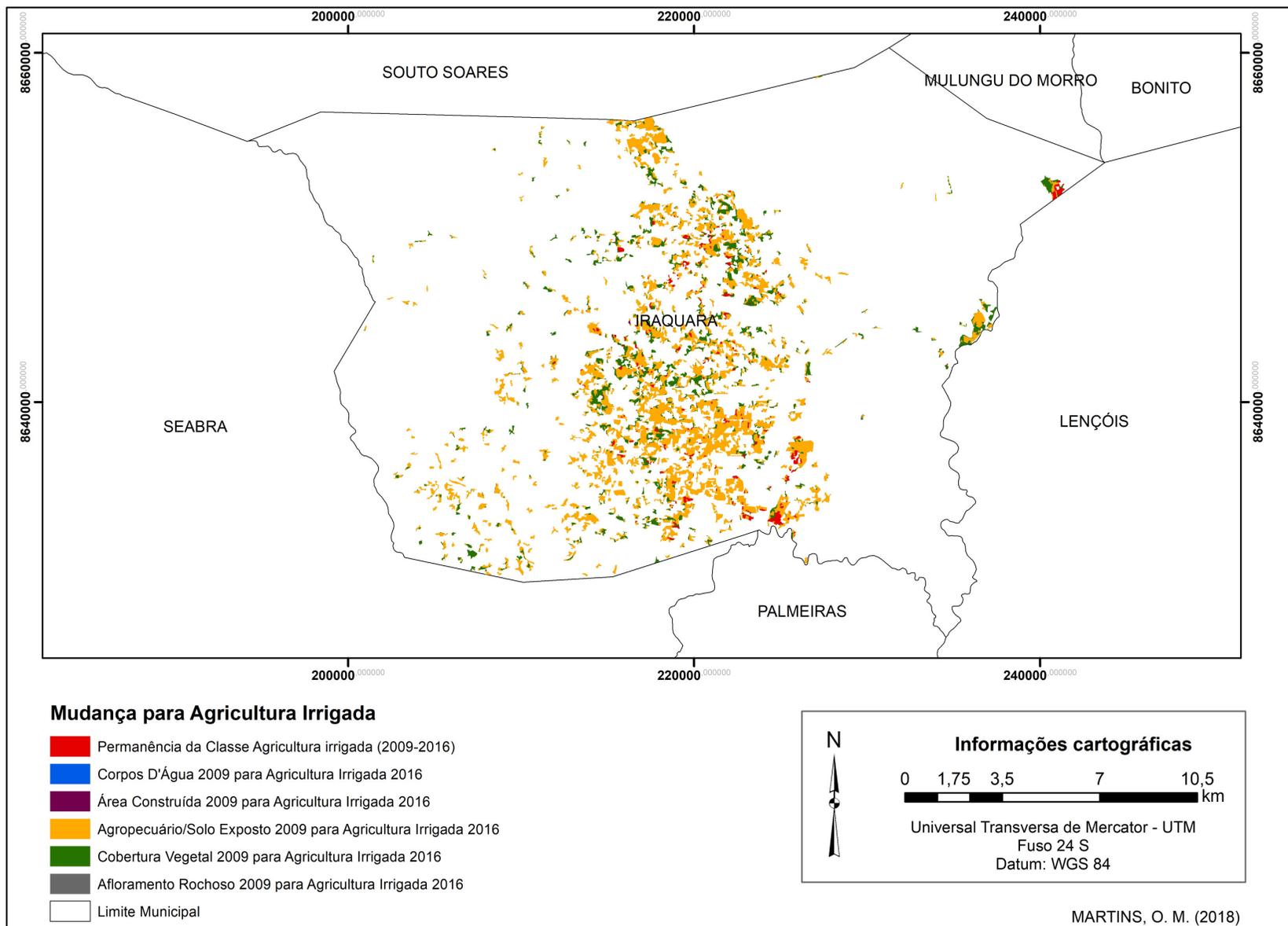


Figura 35: Mapa de Detecção de Mudança Para a Classe Agricultura Irrigada

A análise dos dados gerados pela tabulação cruzada (Tabela 6) e do mapa de detecção de mudanças para a classe agropecuária/solo exposto (Figura 36) apontam uma redução significativa nessa classe, sendo a classe que passou por mais alterações ao longo do período estudado, é a única classe que apresentou redução da sua área inicial (2009) representada por um total de 535 km² e na classificação final (2016) apresentou-se com 436,2 km². A referida classe, passou por processos de mudanças espaciais, ganhando e perdendo espaço para outras classes, destacando principalmente áreas que eram de agricultura irrigada e cobertura vegetal em 2009 e que em 2016 se tornaram agropecuária/solo exposto.

A transformação da classe agricultura irrigada em agropecuária/solo exposto (63,8 km²), se deve ao caráter temporário da produção agrícola irrigada, que ocupa pequenas áreas e que passam por processos rotativos de áreas de produção. O agricultor utiliza essa técnica por conta das pragas que se alastram e provocam prejuízos, sendo assim, por vezes as terras utilizadas para irrigação podem ter sido transformada em áreas de solo exposto.

As mudanças da classe cobertura vegetal para uso agropecuário/solo exposto (116,7 km²) estão relacionadas às atividades agrícolas que utilizam o desmatamento para ampliar áreas agrícolas ou pastagens, estas técnicas são comuns no município e mostram a fragilidade dos artifícios utilizados para preparo do solo para o plantio, ocorrendo em vários trechos do município, como pode ser visualizado no mapa de detecção de mudanças para a classe agropecuária/solo exposto.

Observaram-se algumas alterações da classe área construída (3 km²), afloramento rochoso (5,4 km²) e corpos d'água (0,04 km²), para agropecuária/solo exposto, que se atribui ao interpolador utilizado na classificação, que mesmo apresentando o melhor resultado entre os algoritmos utilizados, constataram-se algumas inconstâncias no reconhecimento de algumas classes, visto que os valores espectrais dessas são muito parecidos.

As variações observadas de ganhos e perdas, não impediram que houvesse redução da classe agropecuário/solo exposto, pois os registros temporais e o trabalho de campo indicam o declínio da agricultura de sequeiro na região e a ascensão das áreas destinadas a agricultura irrigada.

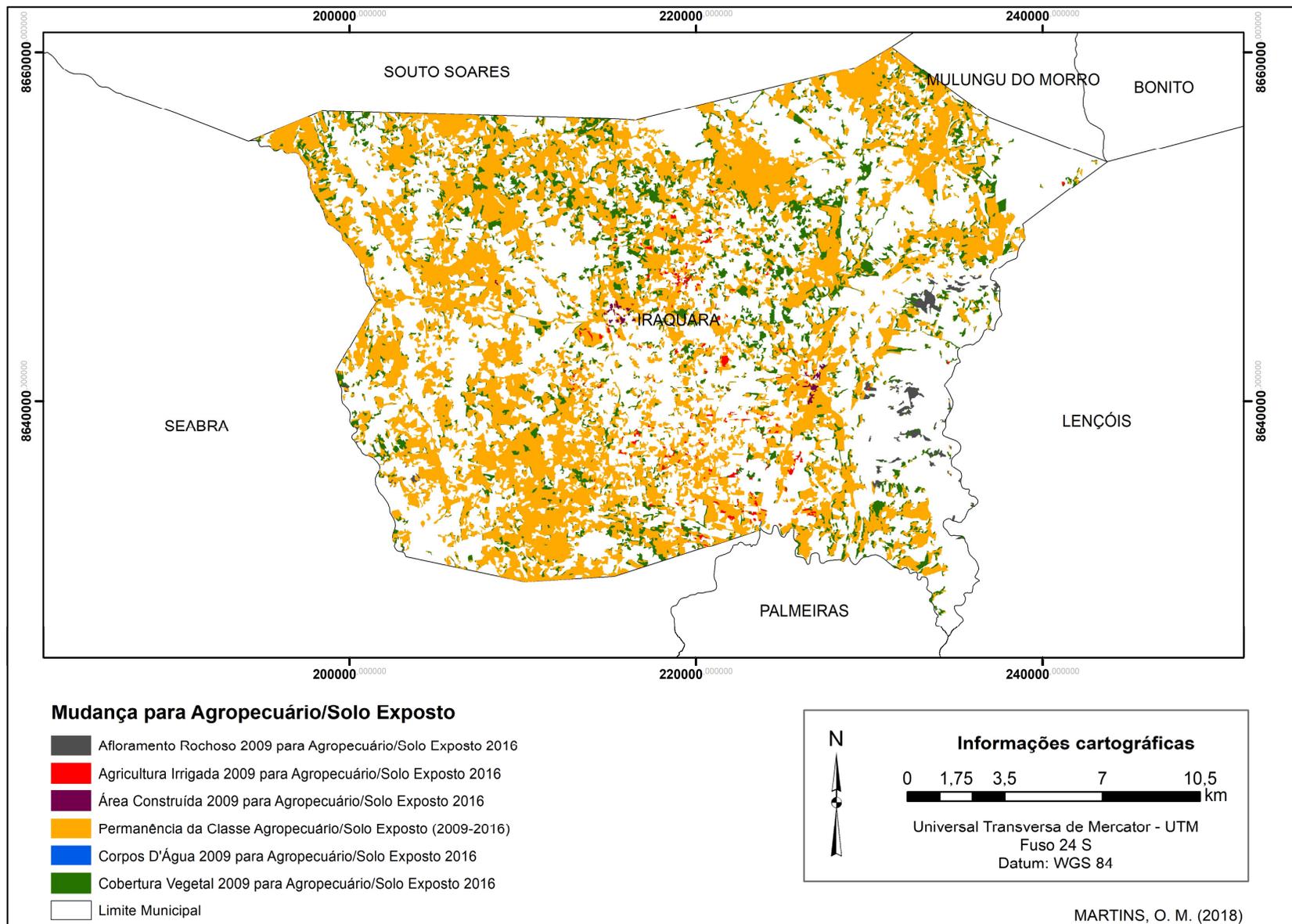


Figura 36: Mapa de Detecção de Mudanças para a Classe Agropecuário/Solo Exposto

Os dados adquiridos a partir da tabulação cruzada (Tabela 6) para a detecção de mudanças para a classe afloramento rochoso (Figura 37) apresentaram alterações consideráveis das classes cobertura vegetal (5,4 km²), agropecuária/solo exposto (4,7 km²) e agricultura irrigada (0,02 km²).

Compreende-se que esta classe não deveria ter passado por essas transformações e que essas mudanças estão relacionadas com a dificuldade encontrada na identificação da classe afloramento rochoso, que se confundia pela mistura de solos, vegetação e rocha exposta, fato que, proporcionou essas alterações na classificação inicial (2009) e final (2016).

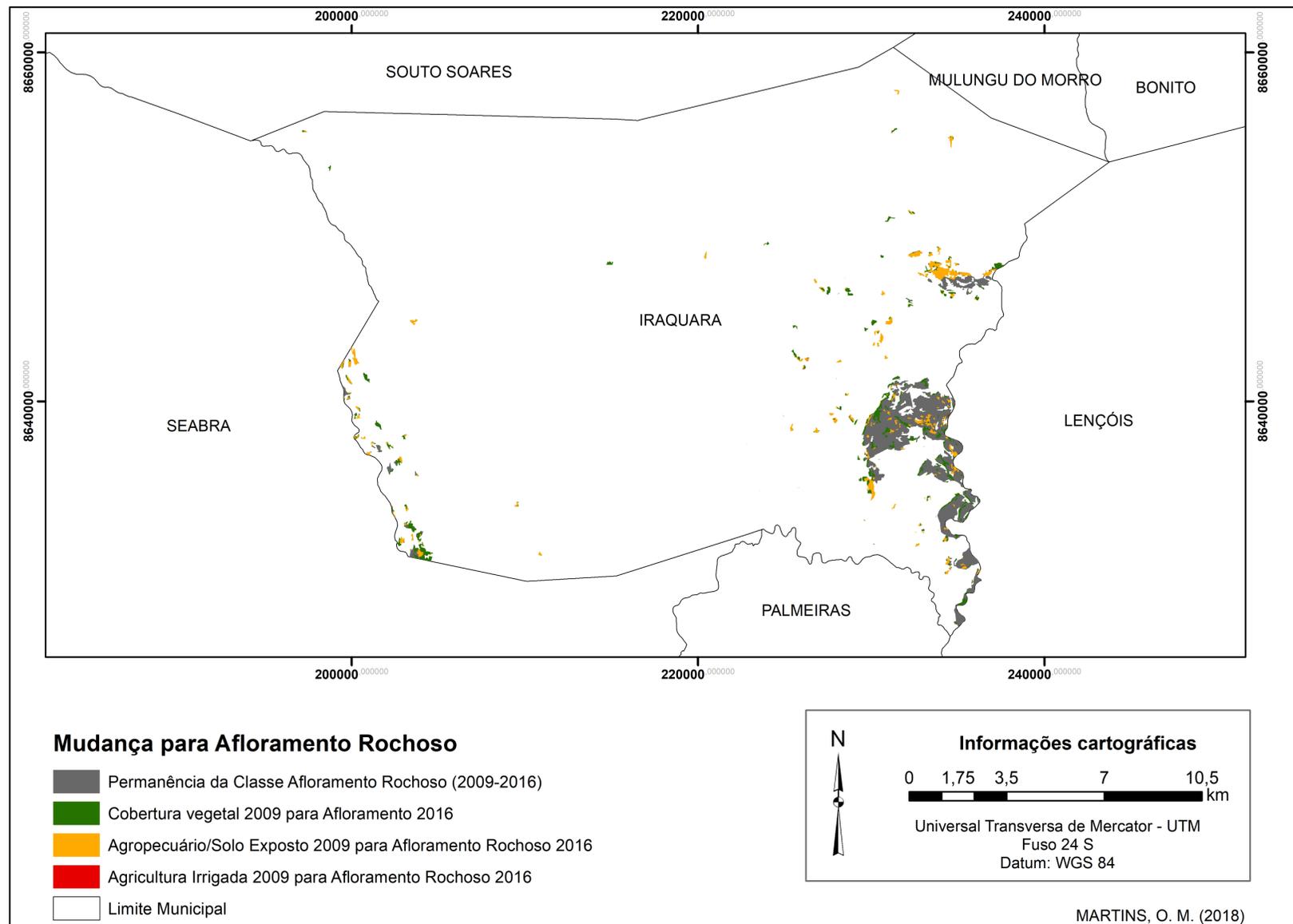


Figura 37: Mapa de Detecção de Mudança para a Classe Afloramento Rochoso

Os dados gerados na tabulação cruzada (Tabela 6) e no mapa de mudança para a classe área construída (Figura 38), indica um crescimento considerável no período de estudo, como era esperado apresentou uma expansão de (166,5 km²) em relação a classe no mapa inicial (2009). O cruzamento das informações mostra que a classe cresceu, ocupando áreas principalmente da classe agropecuário/solo exposto (1,05 km²), cobertura vegetal (0,075) e agricultura irrigada (0,04 km²).

As informações mostram que as alterações dessa classe estão concentradas principalmente, na área urbana do município que apresenta um avanço considerável nos últimos oito anos, mais pode-se observar outros crescimentos na área do município que está relacionada a política adotada pelo governo municipal que prioriza os investimentos em infraestrutura, com calçamentos de ruas, construção de quadras, postos de saúde e escolas, em todo o município.

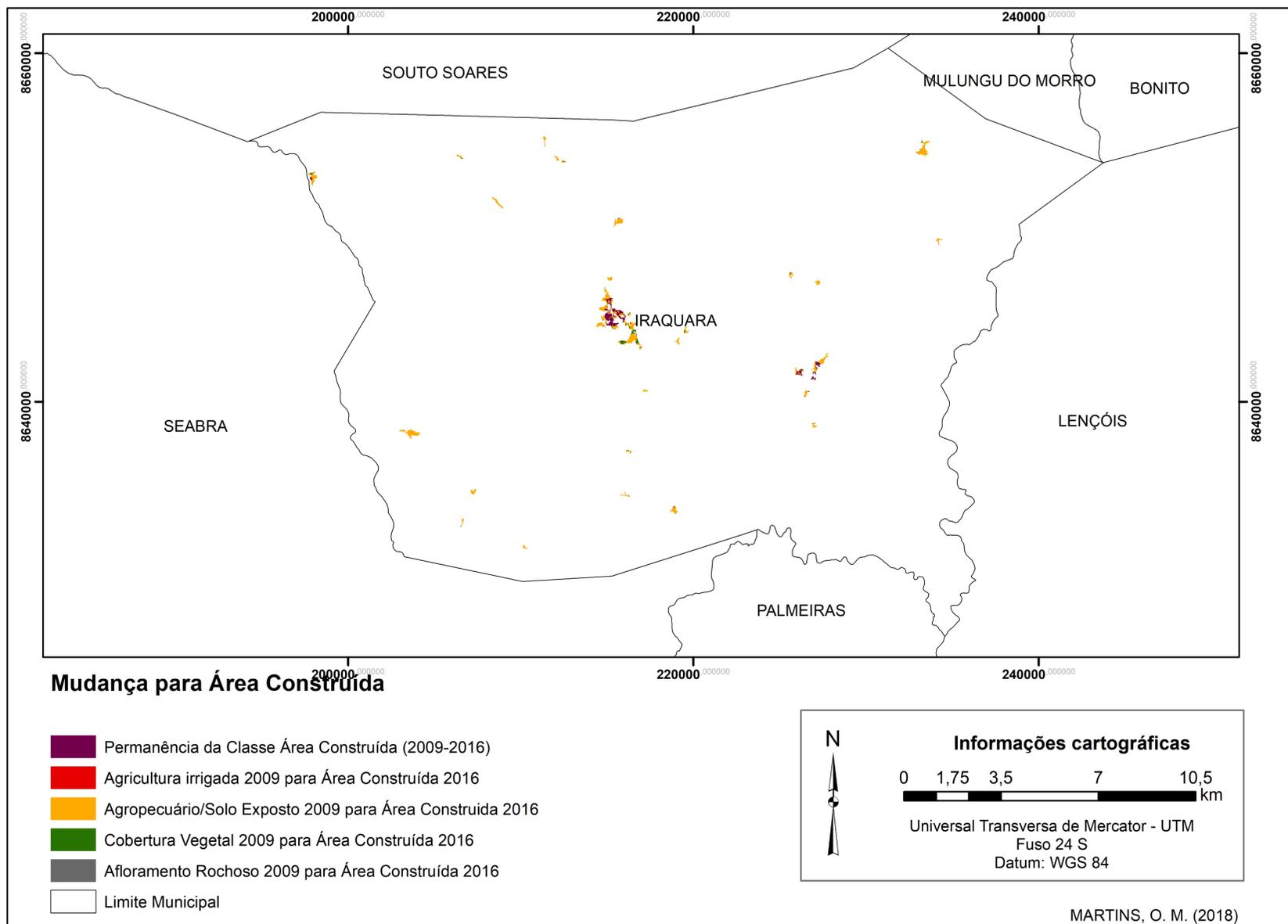


Figura 38: Mapa de Detecção de Mudança para a Classe Área Construída

A ascensão da classe corpos d'água no período analisado (2009-2016), que cresceu 155,2% em relação a classe no mapa inicial e que apresentou no mapa final uma área de 0,101 km², está relacionado aos efeitos da sazonalidade climática, cuja imagem utilizada para 2016 (julho e novembro) representa o período intermediário de chuvas, em que alguns rios intermitentes apresenta água em seu curso, principalmente no mês de novembro mês posterior ao período de chuvas no município.

A classe corpos d'água é muito pequena na área de estudo, principalmente pela distribuição irregular das chuvas, e pela ocorrência de rochas carbonáticas em grande trecho do município, que favorece a infiltração e a acumulação em reservas subterrâneas.

A mudança a nordeste da área do município (Figura 39), representa o Rio São Clemente, rio intermitente e com o leito estreito, correndo em um trecho muito pequeno em alguns períodos do ano. Esta área no mapa inicial era ocupada por cobertura vegetal, representada por uma vegetação mais densa (0,05%) e que foi alterada para a classe corpos d'água, a outra mudança representa a transformação de 0,02% da classe solo exposto em corpos d'água.

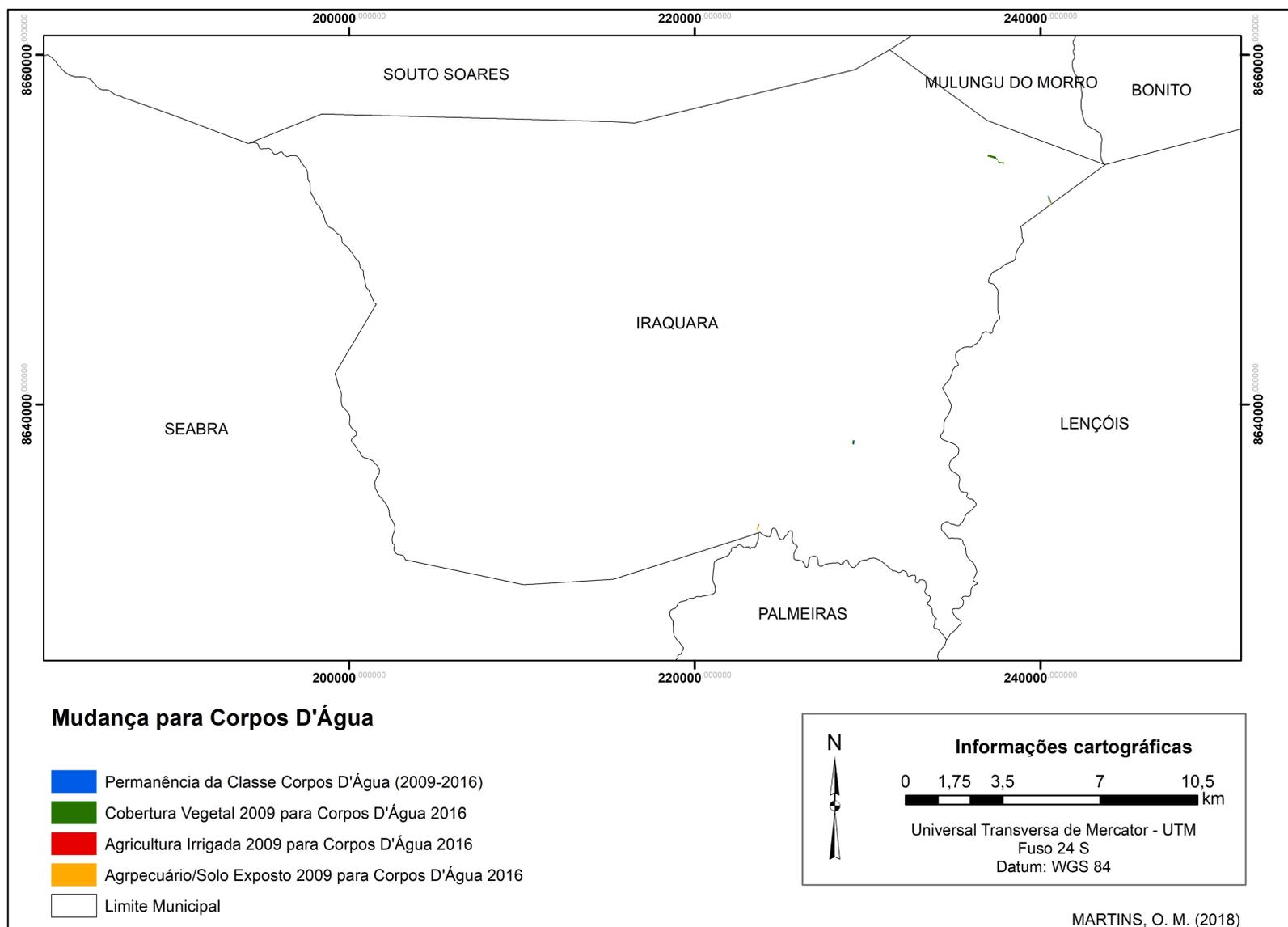


Figura 39: Mapa de Detecção de Mudança para a Classe Corpos D'Água

5.4 Espacialização dos Poços Artesianos utilizados para Agricultura Irrigada

Cabe ressaltar, que a maioria dos poços mapeados não possuem outorga para funcionamento, por isso encontramos resistência por parte de alguns proprietários para fornecer informações.

Observaram-se que todos os poços mapeados no trabalho de campo estão localizados na região cárstica do município, onde concentra o maior número de poços tubulares e predomina a agricultura irrigada.

Nesta pesquisa utilizamos dados de 225 poços, esses poços foram mapeados na pesquisa de campo e dados sobre outros poços foram disponibilizados por Santos (2011) e pela CERB. Do quantitativo de poços utilizados na pesquisa 105 poços possuem uma vazão abaixo de 10 m³/hora, muitos desses encontram-se secos e sem utilização. Dos 135 poços cadastrados na pesquisa de campo, a data de perfuração varia, desde os mais antigos, em 1975 aos mais recentes do ano de 2016 e três são do ano de 2017. Dos poços amostrados em campo temos, 3 poços entre 1975 a 1994, 6 poços entre 2000 e 2004, 11 poços entre 2005 a 2009, 44 poços entre 2010 a 2013, 68 poços entre 2014 a 2016 e 3 poços em 2017 (Figuras 40 e 41).

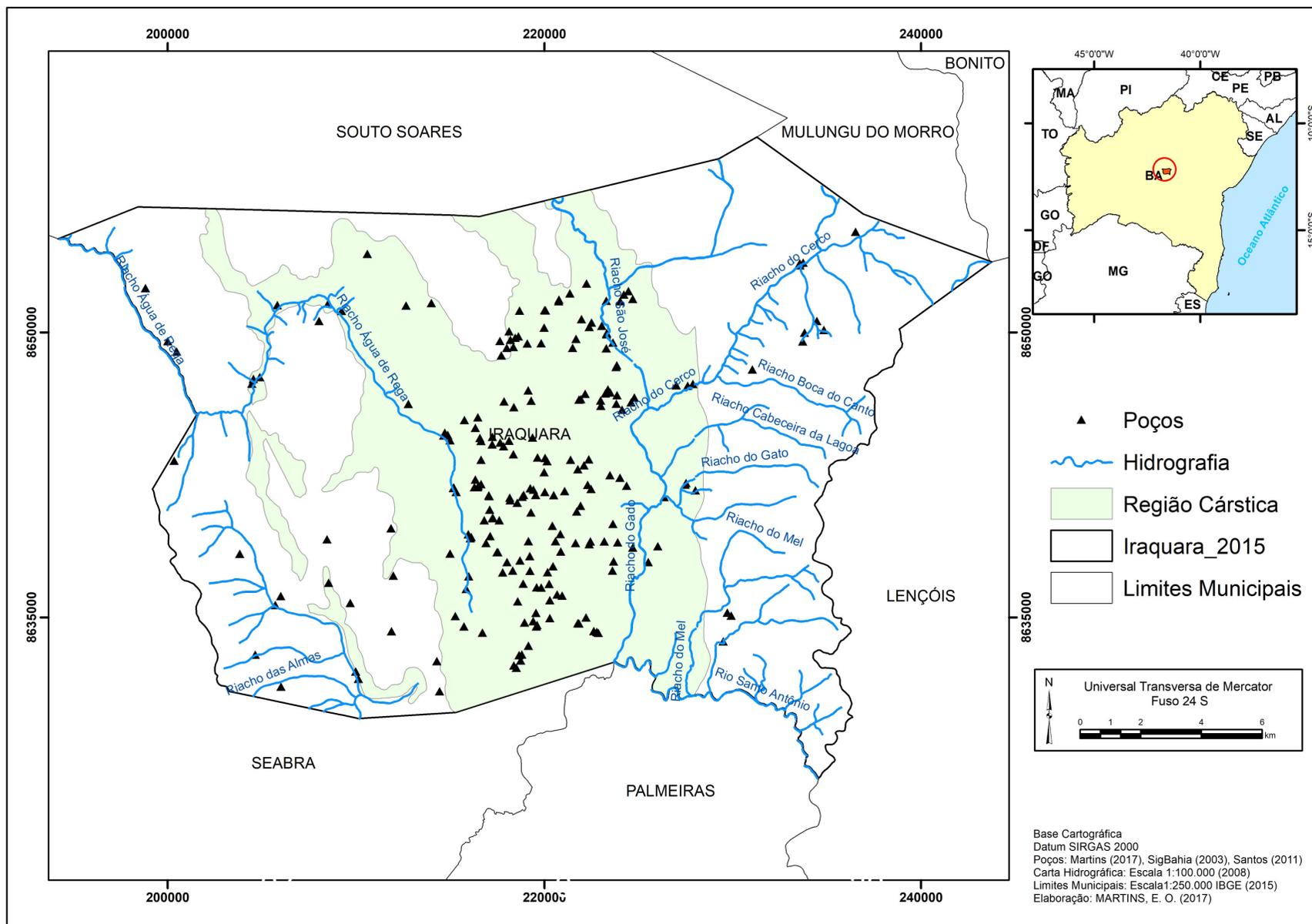


Figura 40: Mapa dos Poços Tubulares sobreposto à rede hidrográfica e a região Cárstica do Município de Iraquara

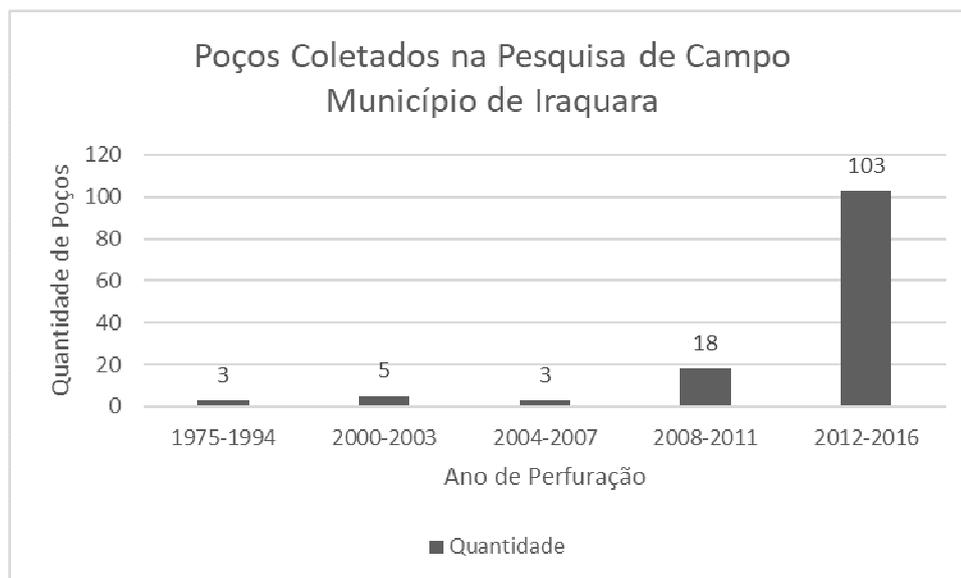


Figura 41: Gráfico que associa o número poços georreferenciados durante o trabalho de campo e suas respectivas datas de abertura (1975 a 2016) no município de Iraquara.

Fonte: Pesquisa de campo, 2017.

Autor: MARTINS, 2017.

Pode-se observar na Figura 41, que o número de poços perfurados no município é crescente, sobressaindo o período entre 2010-2016 com o número de 112 poços perfurados para o uso agropecuário, representando 83% dos poços mapeados em campo.

Embora a agricultura de sequeiro seja muito praticada na área do município, há trechos que a produção predominante ocorre com o emprego da irrigação, constatando-se que essa prática agrícola expande sua área de ocupação, ainda que, as porções utilizadas para o plantio sejam relativamente pequenas.

Esse aumento na perfuração de poços para o uso agrícola traz a independência crescente do agricultor frente ao regime climático do município que apresenta índices pluviométricos baixos, com uma média anual inferior a 700 mm e com regime pluviométrico irregular, sendo as chuvas concentradas nos meses de novembro a março. Essas irregularidades temporal e espacial, associadas ao relevo cárstico e a presença de água subterrânea, tem levado o agricultor a substituir suas práticas agrícolas convencionais e buscar amparo na irrigação.

Dados da produção agrícola municipal do IBGE mostram que os principais produtos cultivados no município pela agricultura de sequeiro (milho, mamona e feijão), vem apresentando um decréscimo, fato esse que se justifica pela irregularidade de chuvas,

característica do clima semiárido brasileiro, associado às práticas inadequadas de preparo do solo para novas culturas, como podemos destacar os desmatamento e as queimadas, as quais lixiviam e empobrecem o solo, diminuindo assim a fertilidade do mesmo. Outro ponto importante, o qual contribuiu para a diminuição da produção agrícola de sequeiro, foi a inserção de práticas agrícolas baseadas na irrigação de culturas pela extração da água subterrânea, observa-se o aumento da produção dos principais produtos cultivados por esse modelo agrícola (Figuras 42 e 43).

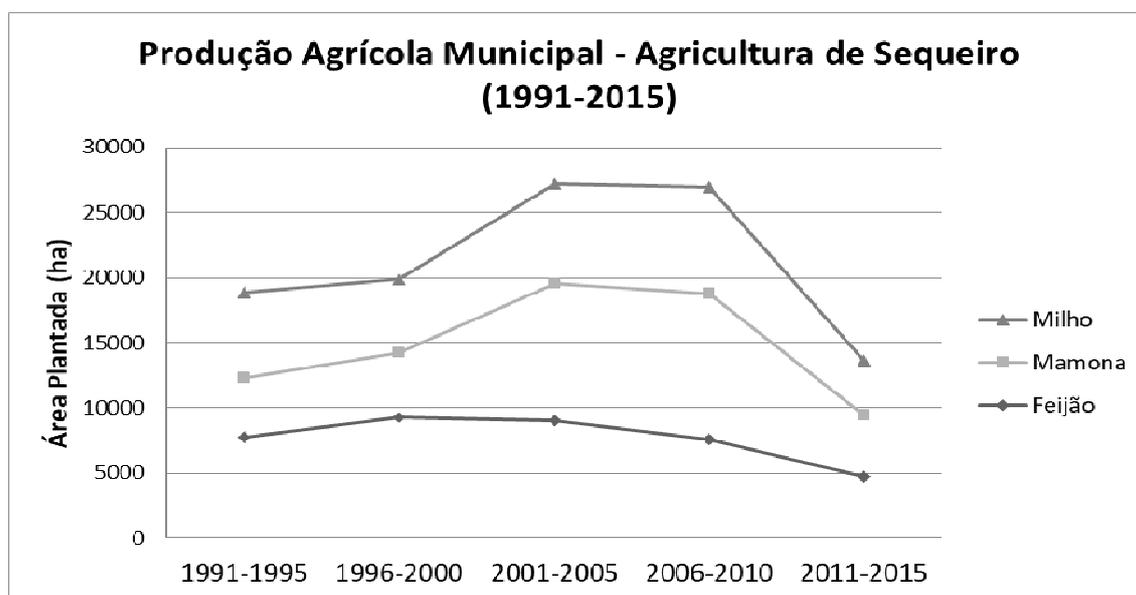


Figura 42: Produção Agrícola Municipal - Agricultura de Sequeiro (1991-2015)

Fonte: SEI/IBGE

Elaboração: Elaine Martins (2017)

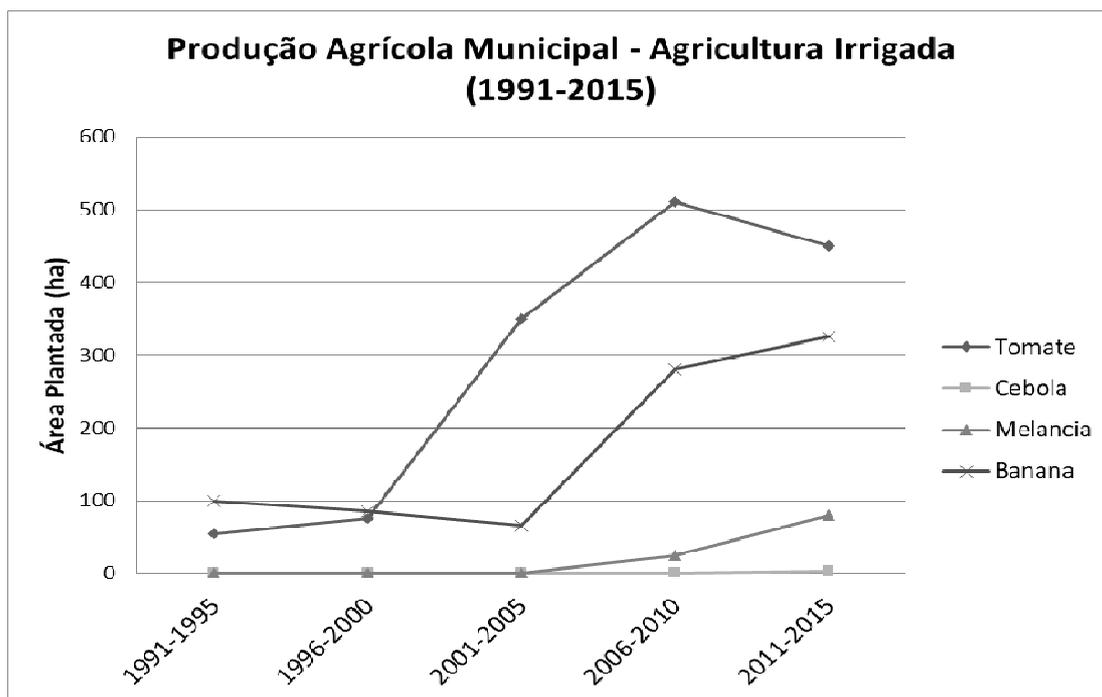


Figura 43: Produção Agrícola Municipal – Agricultura Irrigada (1991-2015)

Fonte: SEI/IBGE

Elaboração: Elaine Martins (2017)

Observa-se na Figura 42 que nos últimos anos houve uma queda na produção dos principais produtos cultivados pela agricultura de sequeiro e conseqüentemente um aumento de produção dos cultivos irrigados (Figura 43). Este aumento de produção está associado a intensificação na perfuração de poços, o que tem exigido uma retirada muito grande de água do subsolo, o que preocupa pesquisadores, órgãos públicos e a população local, quanto a esse aumento do uso da água e de produtos químicos que podem contaminar o lençol freático, o solo e os alimentos (Figura 44).

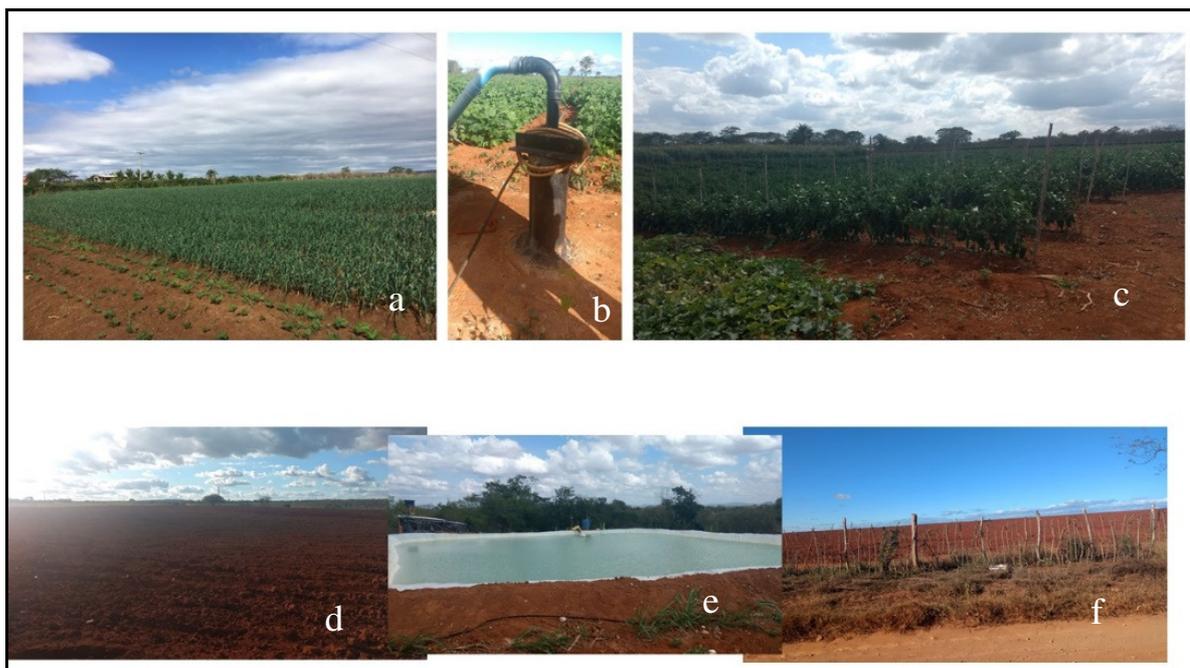


Figura 44: a- Cultivo de alho; b- poço tubular instalado; c- cultivo de pimentão; d- terra em processo de preparação para plantio; e- reservatório de água; f- terra em processo de preparação para o plantio.
Fonte: Martins, 2017

A maioria das propriedades que possui um poço instalado para irrigar cultivos agrícolas é de pequenos produtores agrícolas do município, que apostam na irrigação como uma forma de produzir sem a limitação climática. De acordo com Cruz Junior (1998) a área de estudo possui uma deficiência hídrica anual que varia de 100 a 200 mm no sudeste da área e chega a ser superior a 300 mm no noroeste da área, o que compromete a recarga do aquífero.

Com a visão de aumentar os rendimentos, foi que o número de poços cresceu significativamente na área de estudo. O avanço quantitativo de poços tubulares, acontece sem um planejamento adequado, visto que, essas perfurações na maioria das vezes acontecem sem uma análise técnica da área onde o poço foi perfurado, e se apropriam dos conhecimentos populares para marcar a localização do poço.

Esse aumento na perfuração dos poços tubulares vem provocando alguns danos ambientais irreparáveis, como o avanço do desmatamento, que foi percebido durante o trabalho de campo, uma vez que, o aumento da área irrigada está condicionado a conversão de área de vegetação de caatinga em áreas de expansão agrícola.

Essa prática de substituição da vegetação nativa em áreas agrícolas sempre aconteceu no município, mas cresceu significativamente com a expansão da agricultura irrigada, o que

tem contribuído para o aumento da erosão da camada superficial do solo e da contaminação do aquífero pela água excedente usada na irrigação das culturas agrícolas que retorna facilmente ao subsolo, pelas fraturas da rocha calcária, aliado a suavidade do relevo, que favorece a infiltração da água levando consigo materiais dissolvidos ou em suspensão, bem como os produtos químicos que são depositados no solo devido as atividades agrícolas.

Outro fator preocupante é a ausência da uma rede de saneamento básico, onde a solução mais utilizada pela população, tanto no meio urbano como rural é o lançamento dos efluentes domésticos em fossas secas, construída pelos próprios moradores, sem uma estrutura adequada. Esses materiais podem ser em partes transportados para o interior das cavidades subterrâneas, contaminando assim as reservas hídricas que é utilizada também para o uso doméstico da maioria da população do município, inclusive para a sede municipal que se desenvolveu sobre a região cárstica, e já começa a sofrer com problemas inerentes à região, principalmente no que diz respeito a contaminação da água e das terras.

Segundo Moraes (2007) os condutos e fraturas por onde a água percola, podem ser facilmente poluídos em função da macroporosidade da rocha carbonática e ausência de solos espessos, que acabam por tornar um filtro natural para possíveis poluentes. Tais características litológicas contribuem para que as águas rapidamente infiltrem e alcancem grandes distâncias por meio do escoamento subterrâneo. Isso torna o ambiente cárstico vulnerável às diversas formas de contaminação. De acordo com Karmann (2008) os fluxos de água no subsolo com maior rapidez são registrados em calcários com condutos cársticos, podendo chegar a 1.000m/hora, por isso constitui uma área com grande potencial para armazenamento da água subterrânea e baixa drenagem superficial. O aquífero localizado sob o relevo cárstico é um dos principais recursos naturais da área, uma vez que os cursos superficiais são, em sua maioria, intermitentes e a água disponível nos condutos inundados constitui a principal fonte de água para consumo humano e desenvolvimento das atividades agrícolas (Cruz Junior e Laureano, 1998).

Portanto, observa-se um acentuado crescimento na quantidade de poços perfurados sobre o relevo cárstico do município, esses poços são utilizados em sua maioria para extrair água do subsolo para irrigar culturas, que são dependentes da utilização de produtos químicos contra pragas e insetos nas lavouras. Entretanto, a água subterrânea também é a base para o abastecimento doméstico, que possivelmente está com sua qualidade química comprometida, devido a infiltração de produtos químicos e dejetos humanos dissolvidos na água. Necessita-

se de um estudo na área que objetive analisar a qualidade da água subterrânea dos poços em questão, para avaliar se há contaminação e possível uso inadequado para o consumo humano.

5.5 Análise das Variáveis Profundidade e Vazão dos Poços Tubulares

A água subterrânea é um recurso natural essencial para o município de Iraquara, se configura como fonte principal de abastecimento doméstico e com alto valor agregado as atividades econômicas, com destaque para o desenvolvimento da agricultura irrigada, sendo captada para o uso agrícola a partir da perfuração de poços tubulares.

No entanto, não é raro a ocorrência de perfurações que resultam em poços secos ou com baixa vazão, insuficientes para o uso agrícola. Por isso, fez-se necessário nesta pesquisa realizar estimativas de profundidade e vazão dos poços, através de métodos geoestatísticos de interpolação espacial, sendo empregado o método *krigagem*, que apresentou os melhores resultados para as variáveis profundidade e vazão.

Foram utilizados um conjunto amostral de 225 poços, para observação dos valores, sendo 135 poços de uso particular, 60 de uso comunitário perfurados por empresa estatal (CERB) compilados pelo SIG-BA (SRH, 2003) e 30 poços disponibilizados por Santos (2011). A partir desses dados amostrados foram identificadas as áreas onde os poços são mais profundos e com maior vazão, relacionando-os com o avanço da agricultura irrigada e a geomorfologia da área.

5.5.1 Análise da Variável Profundidade dos poços Tubulares

Inicialmente, para análise da variável profundidade, foi feito uso do gráfico de dispersão dos valores de profundidade dos poços (Figura 45). A correlação entre profundidade e ano de perfuração foi realizada com 193 dos 225 poços amostrados, pois, somente esses possuíam dados completos de profundidade e ano de perfuração.

Percebe-se neste gráfico que, a profundidade varia de acordo com a litologia, em áreas localizadas sobre rochas carbonáticas a profundidade dos poços se apresenta mais elevada, variando entre 50 e 180 metros, sendo que, a maioria apresenta profundidade superior a 100

metros, sobre a espessura mais profunda da rocha na área carbonática como afirmam Ferreira (1990) e Cruz Júnior (1998) em estudos anteriormente realizados

Este fato leva a constatação de que, possivelmente, as maiores profundidades estejam localizadas na região cárstica. A espessura da sequência carbonática na porção centro-sul, da bacia de Irecê onde localiza o município de Iraquara é superior a 400 m (CRUZ JÚNIOR,1998). Ainda de acordo com Missi (1979) apud Cruz Júnior (1998), na área do relevo carbonático a maior parte dos poços da CERB chegam a perfurar mais de 150 metros, sem alcançar a base de sequência. No entanto, alguns poços situados próximos ao contato geológico com rochas não carbonáticas, ao sul da área, chegam a alcançar a base de sequência, numa profundidade de 80 m da superfície.

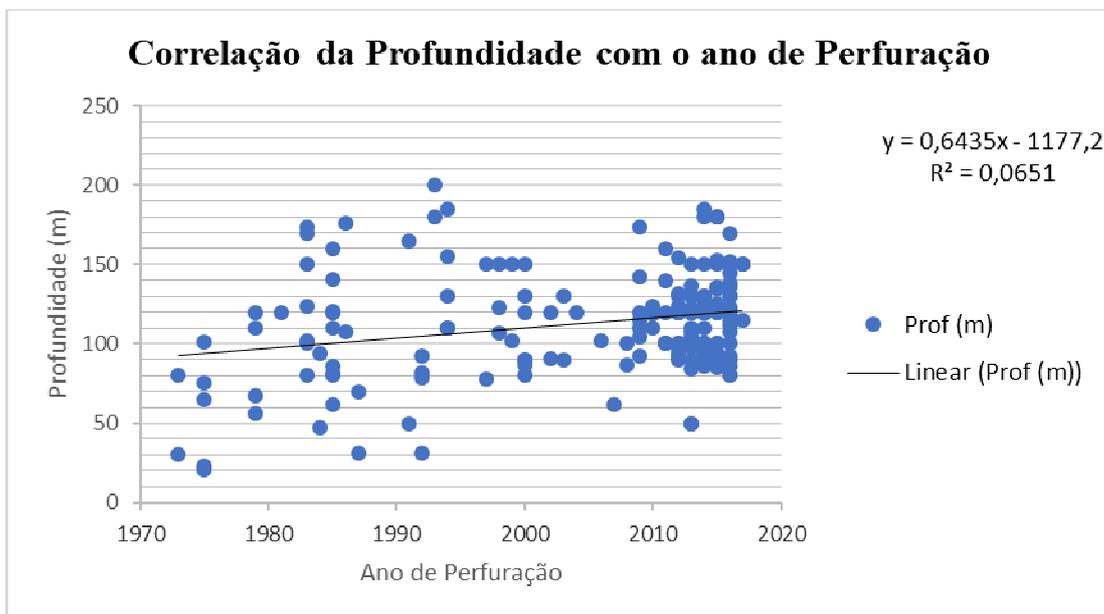


Figura 45: Correlação da Profundidade e ano de perfuração dos poços tubulares do município de Iraquara

Fonte: Poços tubulares disponibilizados por Santos (2011), CERB compilados pelo SIG-BA (SRH/2003), pesquisa de campo (2017)

Elaboração: Martins, 2017

Comparando-se os poços de perfuração mais antiga (CERB) com os poços mais recentes (pesquisa de campo) não foram identificadas grandes diferenças de profundidade, porém, necessitando de maiores análises e comprovações, pois, o aumento das práticas agrícolas irrigadas, gera maior demanda por águas subterrâneas e conseqüentemente a perfuração de poços, haja visto a perfuração de 112 poços no período de 2010-2016, e o

aumento do consumo de água do aquífero, poderá causar o rebaixamento do nível freático, o que implicaria no aumento da profundidade dos poços mais recentes.

Outro fato a ser considerado, contudo precisa de maiores verificações, seria o possível rebaixamento do nível freático devido a diminuição da recarga do aquífero, em consequência das baixas e irregulares precipitações na área de estudo.

Observaram-se nos valores interpolados para a variável profundidade, que as menores profundidades se encontram na porção Noroeste com direção a área central do município, a menor profundidade desses poços está relacionada com a presença do Riacho Água de Rega que nasce em rochas não carbonáticas, nos quartzitos do Grupo Chapada Diamantina, percorrendo em superfície até os sumidouros no contato com as rochas carbonáticas.

Esse dado foi observado durante o trabalho de campo, quando percorremos grande trecho do referido riacho, que só escorre superficialmente no período chuvoso, e desaparece no sumidouro situado na Fazenda Ingazeira (Figura 46). Segundo informações locais, no ano de 2016 houve uma intensa chuva no mês de janeiro, que ultrapassou 300 mm no município, durante esse período o rio correu normalmente e partes dessa água infiltrava no sumidouro. Depois de alguns dias de chuvas, percebeu-se que a água absorvida pelo sumidouro começava a voltar, dando a entender que os espaços subterrâneos estavam saturados, esse fato contribuiu para que as águas superficiais do Riacho Água de Rega chegassem até a sede do município, fato que não se observava a muito tempo.



Figura 46: Sumidouro do Riacho Água de Rega
Fonte: Martins, 2018

No trecho do Riacho Água de Rega, encontramos vários pontos do lençol aflorante (Figura 47), com profundidades variando entre 5 e 20 metros, um deles é o conhecido Poço de Manoel Felix, que deu origem a ocupação do município de Iraquara, e ainda hoje abastece a cidade.

Outra área a sudeste do município apresenta baixas profundidades próximos ao Rio Santo Antônio, associada a convergência dos leitos subterrâneos para essa área, que apresenta as mais baixas altitudes do município, ficando inferior a 600 metros.



Figura 47: a: Afloramento do raso lençol freático no leito do Riacho Água de Rega, b: Cacimba do afloramento natural do raso lençol freático no leito do Riacho Água de Rega.

Fonte: Martins, 2018

Na porção noroeste identificamos dois poços perfurados pela CERB com profundidade de 31 e 32 metros, esses poços estão localizados nas comunidades de Várzea de Canabrava e Água de Rega, respectivamente. Têm-se também na porção centro-sul três poços com profundidade de 50 metros, onde se localizam as comunidades de Baixão, Lapão e Mulungu dos Pires. Segundo Santos (2011), nestes trechos o fluxo subterrâneo converge para o sentido de drenagem do Riacho Água de Rega, o que justifica a baixa profundidade e as melhores vazões dos poços perfurados no município. Na porção sudeste foi amostrado três poços com 50 metros no povoado de Riacho do Mel. Este fluxo subterrâneo converge para os Riachos

São José e do Gado, evidenciando a influência do fluxo subterrâneo para a recarga das drenagens superficiais locais (SANTOS, 2011) (Figura 48).

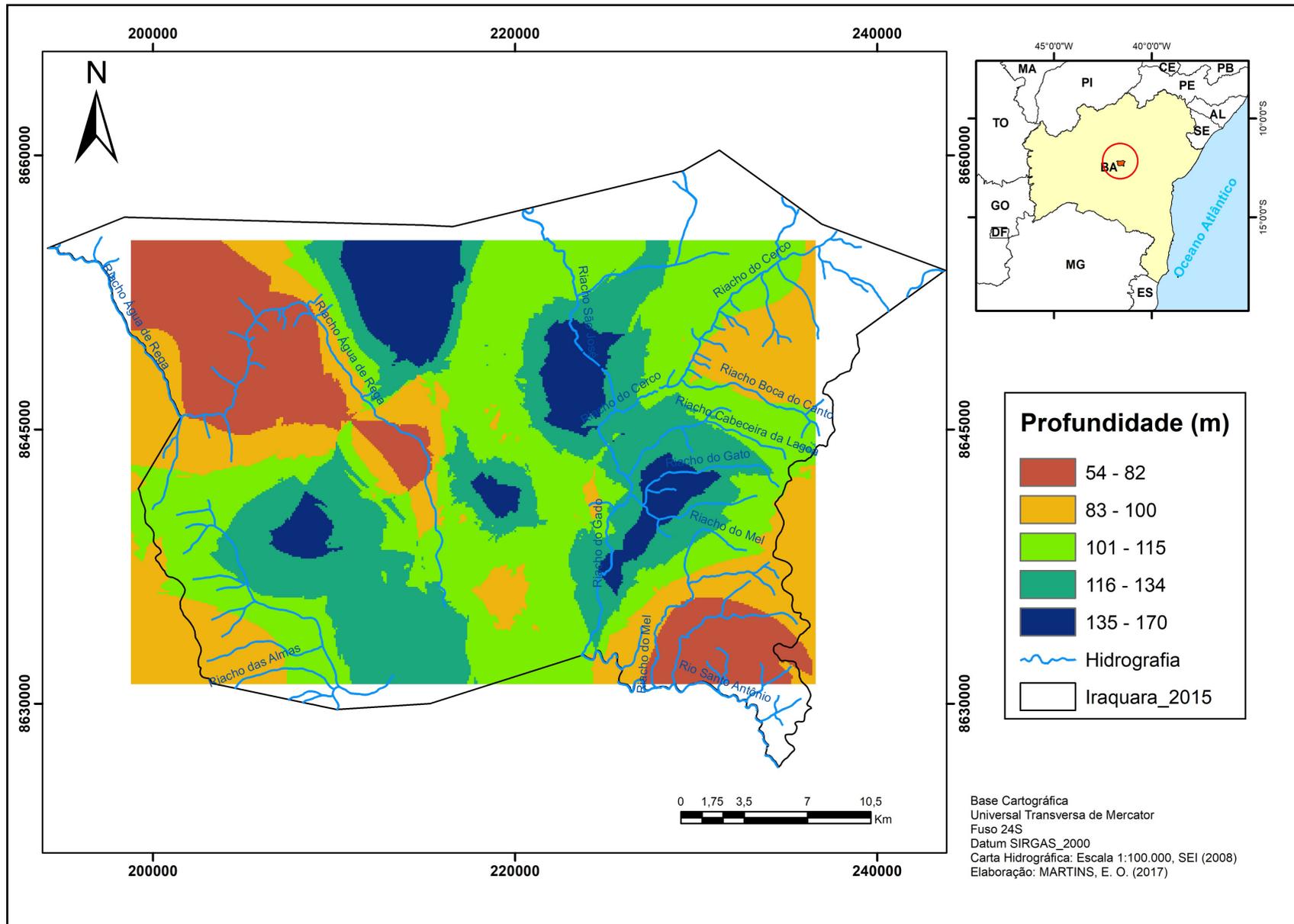


Figura 48: Mapa de profundidade Interpolado pelo método Krigagem

5.5.2 Análise da Variável Vazão dos poços Tubulares

Na Figura 49 está representada os valores interpolados para a variável vazão dos poços estudados. Percebe-se nesta análise, que os poços localizados na região do relevo cárstico apresentam maiores vazões, posto que, os fluxos de água possuem maior rapidez em calcários com condutos cársticos, isso contribui para um grande potencial de armazenamento de água subterrânea e baixa drenagem superficial (KARMAN, 2008). Na área de estudo, nota-se que, as vazões máximas são encontradas na região cárstica, com maior ocorrência na porção centro-sul do município, onde se localizam os povoados de Quixaba, Mulungu dos Pires, Lapão, Baixão, Santíssimo, Santa Rita, Lagoa Seca, Pau D'Alho, Mato Preto, Esconcio e a sede. Nestes trechos o fluxo subterrâneo é intenso, pois correspondem aos trechos subterrâneos dos Riachos Água de Rega, São José, Das Almas e do Gado.

Nessa região se encontra as maiores profundidades, no entanto, essa área está localizada sobre uma rica reserva de água subterrânea, onde o aumento da perfuração de poços e da agricultura é crescente. Encontram-se poços com vazões de 60 m³/h e 45 m³/h no povoado de Santa Rita, perfurados em 1975 e 2016, respectivamente. Dois poços com 49 m³/h na comunidade de Baixão e outros na mesma área com vazões muito baixas. De acordo com Silva (2005) esta diversidade na distribuição espacial dos valores de vazão que cujos valores mínimos atingem 1,3 m³/h até valores máximos de 60 m³/h, na mesma área pode ser inferida do caráter fissural do ambiente cárstico, que possibilita essa variação entre vazões muito altas e outros com vazões praticamente nula. Por outro lado, os altos valores das vazões na região centro sul da área cárstica podem estar relacionados com o padrão estrutural sinformal (em forma de calha) da bacia sedimentar sobre a qual são depositados os metassedimentos do Grupo Chapada Diamantina (SILVA, 2005).

Além disso, nota-se que os poços com data de perfuração mais antiga, como os catalogados pela CERB, apresentam em sua maioria vazões baixas, com volumes inferiores a 10 m³/h comparando com os mais recentes que apresentam em sua maioria vazão entre 10 m³/h e 45 m³/h, mas apresentam profundidades próximas. Do quantitativo de 225 poços utilizados na pesquisa, 105 poços possuem uma vazão abaixo de 10 m³/hora, este fato pode estar relacionado à distribuição espacial dos poços da CERB, os quais são encontrados em quase todas as 83 comunidades do município, onde o potencial hídrico subterrâneo apresenta grandes diferenças.

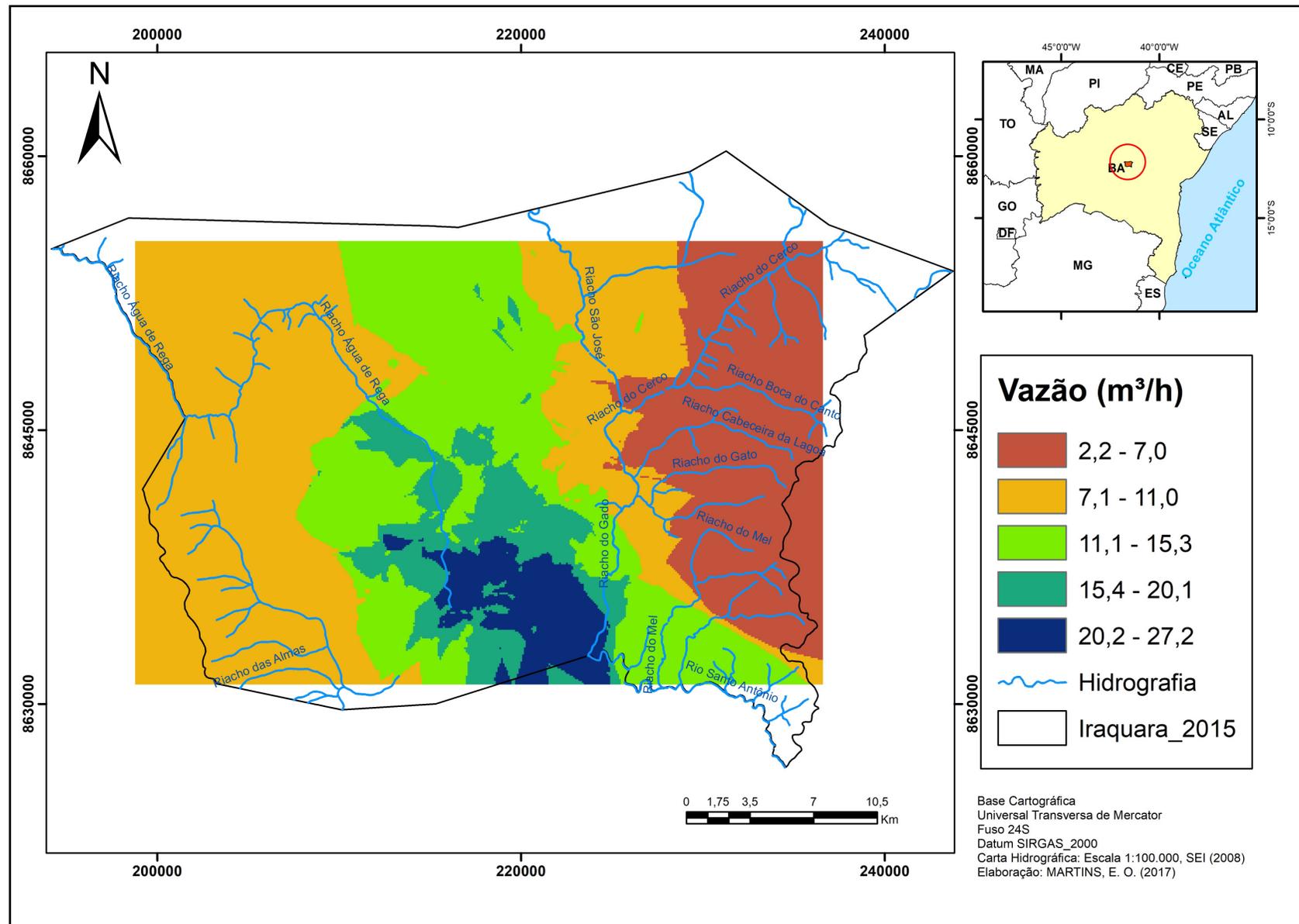


Figura 49: Interpolação da vazão pelo método Krigagem

Ao correlacionar os dados de vazão e ano de perfuração (Figura 50), constatamos que são raros os poços com vazões superiores a 40 m³/h, e que todos eles se localizam na região cárstica, tanto os de perfuração mais antiga, como os de perfurações recentes. Nota-se que o maior número de poços perfurados corresponde ao período de 2009-2016, e suas vazões variam em uma média de 20 m³/h na área de rochas carbonáticas e com médias de vazões inferiores a 10m³/h nas coberturas residuais e dentrito-lateríticas das Formações Superficiais, Morro do Chapéu, Caboclo e Tombador do Grupo Chapada Diamantina.

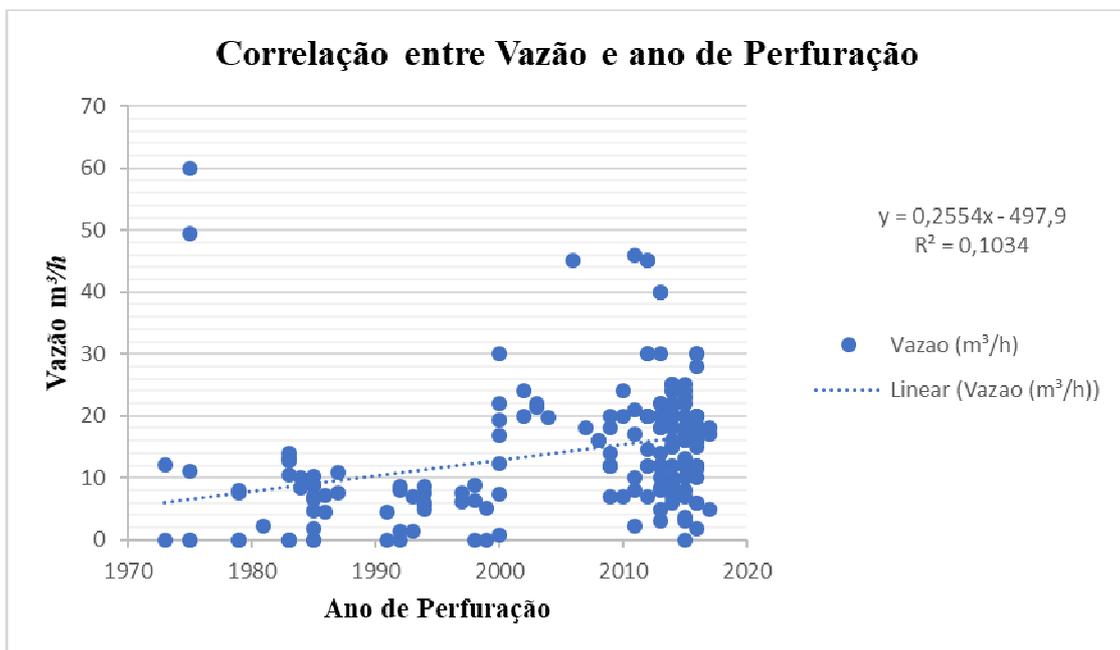


Figura 50: Correlação entre a variável Vazão e o ano de Perfuração dos poços tubulares do município de Iraquara

Observa-se claramente no gráfico da figura 50 que a linha de tendência apresenta uma inclinação positiva, com vazão crescente. Este fato decorre certamente devido a demanda de água subterrânea para a agricultura irrigada e pela concentração dos poços na região cárstica, local onde a vazão apresenta-se maior.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa teve como objetivo principal analisar as mudanças no uso e cobertura das terras no município de Iraquara-Bahia, no período correspondente aos anos de 2009 a 2016, por meio do uso das Geotecnologias. Conseguiu-se mapear os usos e mudanças das classes ao longo do período estudado e chegar a resultados que este trabalho propôs investigar. Abre-se a partir deste estudo um espaço para futuras pesquisas direcionadas ao potencial do aquífero do município e as possíveis alterações que o uso de produtos químicos utilizados na irrigação pode provocar na qualidade da água, bem como a exploração da água subterrânea com a formação de dolinas em regiões cársticas.

A conclusão desse trabalho se configura como um importante passo nas atividades concernentes ao uso e cobertura das terras no município, sendo o primeiro trabalho a apontar as deficiências do conhecimento quanto o aumento da perfuração de poços tubulares e avanço da área agricultável. Ressaltou a necessidade de conhecer os usos para compreender os possíveis impactos provocados, principalmente, no ambiente cárstico, onde encontram-se ricas reservas de água subterrânea responsável por abastecer a população local e que pode ter sua qualidade e quantidade comprometidas por conta do uso intensivo de produtos químicos nas lavouras irrigadas.

A utilização de imagens de satélites Landsat-5 TM e Landsat-8 OLI e o uso de ferramentas do Sistema de Informação Geográfica tornaram possível a análise multitemporal, que evidenciou o aumento da perfuração de poços, na região cárstica, sendo que de 2010 a 2016 foram perfurados 112 poços, o que representou 82% dos poços mapeados no trabalho de campo.

O acompanhamento das mudanças ocorridas nos últimos oito anos foi fundamental para compreender a importância do monitoramento do uso das terras e a importância que se dá ao desenvolvimento das atividades humanas em ambientes com características físicas frágeis, sobre a qual ocorreu a expansão da agricultura irrigada e permite estabelecer uma relação dos usos com as alterações altamente prejudiciais ao meio ambiente.

Foi verificada a partir da análise de detecção de mudança que no município a classe agricultura irrigada passou por um processo de expansão, o que resultou em uma consequente redução da classe uso agropecuário/solo exposto. Ocorreu também o aumento da classe área construída, principalmente pela expansão da área urbana e algumas alterações na classe

afloramento rochoso, que atribuímos aos erros gerados durante a classificação, que não prejudicou nos resultados alcançados.

Os índices Tau e Exatidão Global foram utilizados para verificar a acurácia dos dados da classificação por região por meio do interpolador *Bhattacharya*, que atendeu ao objetivo de mapear as classes de uso e cobertura das terras com um resultado do índice de Tau de 88,1%.

Por fim, considera-se que a água subterrânea exerce um papel importante tanto no abastecimento das culturas irrigadas, como no abastecimento da população municipal. Por isso, sugere-se a gestão pública municipal e ao órgão gestor da APA Marimbus Iraquara, que elaborem um planejamento de gerenciamento, monitoramento e controle da perfuração de poços principalmente na área cárstica, a fim de proteger o aquífero e as terras de possíveis contaminações por produtos químicos utilizados na irrigação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. **Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental à Perda de Solo no Município de Jeremoabo - BA**. Feira de Santana, 2011. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011.
- ALMEIDA, A. P. **Análise multitemporal e espacial do uso e cobertura das terras no município de Casa Nova, Bahia, no período de 1996 a 2011**. Feira de Santana, 2013. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Feira de Santana, 2013.
- ALMEIDA, J. S. **Uso de Geotecnologias na Análise Espacial e Temporal (1993-2007) da Cobertura Vegetal e Uso da Terra na APA do Litoral Norte**. Feira de Santana, 2012. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Feira de Santana, 2012.
- ANDERSON, J. R.; Hordy, E. E.; ROOCH, J. T.; WIRMER, R. E. **Sistema de Classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- ANDRADE FILHO, E. L.; LOUREIRO, H. S. C.; PEDREIRA, A. J. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB**. Seabra, Folha SD.24- V-A. Estado da Bahia. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1999.
- ASSAD, Eduardo Delgado.; SANO, Edson Eyji. (Orgs.). **Sistema de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA – SPI / EMBRAPA – CPAC, 1998.
- BENEDETTI, Ana Caroline Paim. **Análise Espacial da Evolução do Uso e Cobertura da Terra na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS**. 2006 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Santa Maria. Santa Maria, RS, 2006.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria da Agricultura Familiar. Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural. Brasília, 2004.
- _____. **Lei Nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 13 de Mar. 2017.
- CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In: ASSAD, E.D.; SANO, Edson Eyji. (Orgs.): Sistema de Informações Geográficas (Aplicações na agricultura). 2. ed. Brasília-DF: Serviço de Produção de Informação – SPI; EMBRAPA-CPAC, 1998, p. 1– 11.
- CAMPOS, José Eloi Guimarães. **Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos**. In: Revista brasileira de geociências, V. 34, março, 2004.

CANIE/CECAV – Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>. Acesso em 17 de Mai, 2018.

CARDOSO, F. B. F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F. S.; VARELLA NETO, P. L.; FLORES, P. M. **Poços Tubulares Construídos no Brasil**. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

CARVALHO, D. F.; Mello, J. L. P.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. In: Irrigação e drenagem, 2007.

CRUZ JÚNIOR, F. W. **Aspectos geomorfológicos e geoespeleologia do carste da região de Iraquara, centro norte da Chapada Diamantina, Estado da Bahia**. 1998, 108 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 1998.

CRUZ JUNIOR, F. W.; LAUREANO, F. V. 1999. **Grutas de Iraquara (Iraquara, Seabra, Palmeiras, Ba)**. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T. Winge, M.; Berbert-Born, M (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Publicado na Internet em 30/09/1999 no endereço http://www.unb.br/ig/sigep/sitio_018/sitio_018.htm.

DIAS, L. C. et al. **Restrições de Uso e Ocupação do Solo em Áreas de Proteção de Aquíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no estado de São Paulo**. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA). **LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite**. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html. Acesso em 24-05-2017

FERRARI, J. A. (1990). **Interpretação de feições cársticas na região de Iraquara - Bahia**. Salvador: Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal da Bahia.(Dissertação de Mestrado)

FERREIRA, A. B.; SANTOS, C. R.; BRITO, J. L. S.; ROSA, R. **Análise comparativa do uso e ocupação do solo da área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de geoprocessamento**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 12, 2005. Anais. Goiânia, 2005, INPE.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. **Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto**. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. 13, 2007. Anais. Florianópolis: INPE, 2007. p. 21-26.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

_____, **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

_____. **Iniciação em sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. SEPLANTEC/SEI – **Análise dos Atributos Climáticos do Estado da Bahia**. SEI, Salvador, 1998.

_____. **Decreto nº 2216, de 14 de janeiro de 1993**. Cria a Área de Proteção Ambiental Marimbus/Iraquara, nos Municípios de Lençóis, Iraquara, Palmeiras e Seabra, e dá outras providências. <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/09/DECRETO-N%C2%BA-2216-DE-14-DE-JUNHO-DE-1993-Marimbus-Iraquara.pdf>. Acesso em 17 de Mai, 2018.

_____. Lei nº 1697, de 05 de julho de 1962. Cria o município de Iraquara, desmembrado do município de Seabra. <http://leisestaduais.com.br/ba/lei-ordinaria-n-1697-1962-bahia-cria-o-municipio-de-iraquara-desmembrado-do-municipio-de-seabra>. Acesso em 13 de maio de 2017.

_____. **Resolução nº 1.440 de 20 de junho de 1997**. Aprova o Plano de Manejo e o Zoneamento da Área de Proteção Ambiental de Marimbus-Iraquara. <http://www.oads.org.br/leis/2879.pdf>. Acesso em 17 de Mai, 2018.

_____. **Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-BA)**. Relatório Síntese. Salvador: SRH, 2004.

GUERRA, A. M. **Processos de Carstificação e Hidrogeologia do Grupo Bambuí na Região de Irecê - Bahia**. 1986. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1986.

HIRATA, R. **Recursos Hídricos**. In: TEIXEIRA, W. [et al.]. Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008 p. 422 – 444.

HU, O. R. T.; RAUNHEITTE, L. T. M. **Processamento e Compreensão Digital de Imagens**. São Paulo: Editora Mackenzie, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=291440&search=bahialiraquara>. Acesso em 14 de Outubro de 2015.

_____. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home>. Acesso em maio de 2016.

_____. **Manual Técnico em Geociências: Manual de Uso da Terra**. 3 ed. Rio de Janeiro, n.7, 2013.

_____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992. (Séries Manuais técnicos em (Geociências, n.1)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> acesso em 23-12-2016

_____. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/> acesso em 14-05-2017.

_____. **Tutorial Sobre Banco de Dados Geográficos**. Manual de ajuda, 2006.

KARMANN, I. **Ciclo da Água, água subterrânea e sua ação geológica**. In: TEIXEIRA, W. [et al.]. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008 p. 113 – 138.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB, 2012.

MENEZES, P. R.; SANO, E. E. **Classificação Pixel a Pixel de Imagens**. In: *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: UNB, 2012.

MORAES, A. F. **Abordagem da vulnerabilidade química e risco de contaminação dos solos por metais pesados em área dos municípios de Pains, Arcos e Córrego Fundo – MG** baseada nos constituintes dos solos retentores dos metais pesados. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3ª ed. Viçosa: UFV, 2005.

NEGRÃO, F. I. **Caracterização Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade do Sistema Hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê, Bahia**. 1987. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1987.

OECD (2012a), **OECD Environmental Outlook to 2050, OECD Publishing**. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>. Acesso em março de 2018.

ONU, Organização das Nações Unidas. 2016. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016**. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244041por.pdf>. Acesso em maio de 2018.

PEDREIRA-DA-SILVA. **O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina Centro-Oriental, Bahia: Sedimentologia Estratigrafia e Tectônica**. 1994. Tese (Doutorado Geotectônica) – Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 1994.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água no reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte a gestão de recursos hídricos**. São Paulo, 2004. Tese (Doutorado), 2004. Universidade de São Carlos, 2004.

RODRIGUES, D. P. **Mapeamento da cobertura e uso do solo na área da fazenda Timbó, Amargosa-BA, utilizando geotecnologias**. PPGM: 2008

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 5° Ed. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Aplicada aos EIA's- -RIMA's**. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S.B. da(org.). Geomorfologia e meio ambiente. 3ª ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2000.

SALLES, L. Q. **Hidrologia e risco geológico em rochas carbonáticas proterozoicas: porção central da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2017.

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Iraquara, Bahia**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2011.

SANTOS, M. A. **Construção de cenários em ambiente SIG para avaliar mudanças de uso das terras induzidas por usinas hidrelétricas na região agrícola da Andradina**. 2003. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2003.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004, p.97

SEI, Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia; IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa agrícola municipal**. Disponível em <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp#>. Acesso em 18 de agosto de 2017.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Unicamp, 1999.

SILVA, G. B.; SANTOS, H. J. G.; Correa, P. R. S. Pedologia: Levantamento exploratório de solos. In: **Projeto Radambrasil, Folha SD 24 (Salvador)**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. Rio de Janeiro, 1981.

SILVA, H. M. **Sistemas de Informações Geográficas do Aquífero Cárstico da Micro-região de Irecê, Bahia**: subsidio para a gestão integrada dos recursos hídricos das Bacias dos Rios Verde e Jacaré. 2005. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2005.

SOUZA, S. L.; BRITO, P. C. R.; SILVA, R. W. S. **Estratigrafia, sedimentologia e recursos minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia**. Salvador: CBPM, 1993.

TORRES, D. R. **Análise Multitemporal Do Uso Da Terra e Cobertura Florestal Com Dados Satélites Landsat e Alos**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Santa Maria. Santa Maria, RS, 2011.

TRAVASSOS, L. E. P. **Caracterização do carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Belo Horizonte.

ZOBY, J. L. G. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. XV congresso brasileiro de águas subterrâneas, 2008.

APÊNDICE

Questionário aplicado com os proprietários dos poços tubulares no município de Iraquara

| Localidade | UTM (X) | UTM (Y) | Data Perfuração | Começou usar | Natureza do Terreno | Prof (m) | Vazão (m³/h) | Problema com vazão | Situação | Energia | Cultivos | Uso |
|-------------------|----------------|----------------|------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|-------------|
| Lagoa Seca | 220950 | 8636144 | 2012 | 2012 | Particular | 124 | 45 | Não | Em operação | Bifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Pau D'Alho | 221837 | 8634672 | 2014 | 2014 | Particular | 100 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Pau D'Alho | 221777 | 8634689 | 2016 | 2016 | Particular | 120 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Lagoa Seca | 220681 | 8636197 | 2012 | 2012 | Particular | 97 | 45 | Não | Em operação | Bifásica | Milho, tomate, pimentão | Agricultura |
| Lagoa Seca | 220295 | 8635901 | 2012 | 2012 | Particular | 94 | 12 | Não | Em operação | Bifásica | cebola, melão, milho, tomate | Agricultura |
| Lagoa Seca | 220288 | 8634961 | 2015 | 2015 | Particular | 100 | 22 | Não | Em operação | Bifásica | cebola, pimentão, tomate | Agricultura |
| Lagoa Seca | 218592 | 8635839 | 2015 | 2016 | Particular | 90 | 18 | Não | Em operação | Bifásica | Pimentão, milho, tomate, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|------|-----|-------------|----------|-------------------------|--------------|
| | | | | | | | | | | | feijão | |
| Santa Rita | 219406 | 8634797 | 2015 | 2017 | Particular | 100 | 24 | Não | Em operação | Bifásica | milho, pimentão | Agricultura |
| Santa Rita | 218954 | 8634727 | 2015 | 2016 | Particular | 123 | 13,2 | Não | Em operação | Bifásica | milho, capim | Agropecuário |
| Lagoa Seca | 218321 | 8637454 | 2011 | 2011 | Particular | 100 | 46 | Não | Em operação | Bifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Lagoa Seca | 219245 | 8637445 | 2014 | 2014 | Particular | 100 | 21,4 | Não | Em operação | Bifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Lagoa Seca | 220173 | 8637371 | 2014 | 2014 | Particular | 100 | 24 | Não | Em operação | bifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Lagoa Seca | 220253 | 8636763 | 2014 | 2015 | Particular | 95 | 22 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa Seca | 219590 | 8636577 | 2014 | 2014 | Particular | 90 | 24 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa Seca | 219831 | 8636566 | 2012 | 2013 | Particular | 91 | 20 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa Seca | 220464 | 8637685 | 2014 | 2014 | Particular | 94 | 19,8 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|----|-----|-------------|-----------|-----------------------------------|--------------|
| Esconcio | 223622 | 8637464 | 2009 | 2009 | Particular | 92 | 12 | Não | Em operação | bifásica | Feijão, milho | Agricultura |
| Esconcio | 223679 | 8637942 | 2002 | 2002 | Particular | 120 | 20 | Não | Em operação | bifásica | Tomate, milho, pimentão, melancia | Agricultura |
| Esconcio | 223900 | 8638951 | 2012 | 2012 | Particular | 120 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Esconcio | 223646 | 8639919 | 2013 | 2013 | Particular | 98 | 18 | Não | Em operação | Trifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Esconcio | 223190 | 8638990 | 2013 | 2013 | Particular | 102 | 14 | Não | Em operação | Trifásica | Tomate, Pimentão | Agricultura |
| Esconcio | 222446 | 8638996 | 2002 | 2002 | Particular | 91 | 24 | Não | Em operação | bifásica | Tomate, pimentão, milho | Agricultura |
| Esconcio | 222388 | 8638845 | 2016 | 2016 | Particular | 123 | 16 | Não | Em operação | Trifásica | milho, capim | Agropecuário |
| Esconcio | 221658 | 8638905 | 2016 | 2016 | Particular | 138 | 17 | Não | Em operação | bifásica | capim, milho | Agropecuário |
| Mato Preto | 221716 | 8640563 | 2013 | 2013 | Particular | 108 | 10 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Mato Preto | 221923 | 8640875 | 2012 | 2012 | Particular | 130 | 30 | Não | Em | bifásica | Pimentão, tomate, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|----|-----|-------------|----------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | | | | | operação | | milho | |
| Mato Preto | 220852 | 8639380 | 2009 | 2009 | Particular | 104 | 20 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Mato Preto | 220428 | 8639815 | 2013 | 2013 | Particular | 110 | 20 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate, milho, cebola | Agricultura |
| Mato Preto | 220592 | 8639002 | 2015 | 2015 | Particular | 94 | 20 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Lagoa Seca | 219161 | 8639002 | 2014 | 2014 | Particular | 100 | 20 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Morenos | 219228 | 8638224 | 2012 | 2015 | Particular | 92 | 20 | Não | Em operação | bifásica | Pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lapão | 218874 | 8636775 | 2016 | 2016 | Particular | 92 | 16 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Lapão | 217790 | 8637364 | 2015 | 2015 | Particular | 86 | 16 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Lapão | 218025 | 8637903 | 2015 | 2015 | Particular | 85 | 25 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Santa Rita | 218801 | 8633048 | 2006 | 2006 | Particular | 102 | 45 | Não | Em | bifásica | pimentão, tomate, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|----|-----|----------------|-----------|--|--------------|
| | | | | | | | | | operação | | coco, mamão, milho | |
| Santa Rita | 218655 | 8633013 | 2013 | 2013 | Particular | 100 | 12 | Não | Em operação | bifásica | capim, milho | Agropecuário |
| Santa Rita | 218747 | 8632733 | 2016 | 2017 | Particular | 100 | 10 | Não | Em operação | bifásica | milho, pimentão | Agricultura |
| Barriguda | 218383 | 8632464 | 2016 | 2016 | Particular | 86 | 20 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Santa Rita | 219578 | 8634521 | 1975 | 1975 | Particular | 65 | 60 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Quixaba | 216639 | 8644276 | 2014 | 2014 | Particular | 150 | 12 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Quixaba | 216585 | 8644441 | 2010 | 2010 | Particular | 110 | 24 | Não | Em Operação | Trifásica | capim, milho | Agropecuário |
| Quixaba | 217238 | 8644101 | 2009 | 2011 | Particular | 115 | 18 | Não | Em operação | bifásica | Feijão, milho | Agricultura |
| Quixaba | 217835 | 8644006 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 16 | Não | Em operação | Trifásica | Tomate, pimentão, milho, capim, cebola | Agropecuário |
| Quixaba | 218353 | 8643576 | 2017 | 2017 | Particular | 150 | 18 | Não | Em | Trifásica | milho | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|-----|-----|-------------|-----------|---------------------------------|-------------|
| | | | | | | | | | operação | | | |
| Quixaba | 216645 | 8643291 | 2012 | 2012 | Particular | 100 | 30 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, cebola, milho, banana | Agricultura |
| Quixaba | 220035 | 8643388 | 2013 | 2014 | Particular | 130 | 12 | Não | Em operação | Trifásica | Pimentão, milho, tomate, feijão | Agricultura |
| Quixaba | 220144 | 8643217 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 18 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Quixaba | 219989 | 8642638 | 2012 | 2012 | Particular | 90 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, milho, coco | Agricultura |
| Quixaba | 200345 | 8643247 | 2011 | 2011 | Particular | 100 | 8 | Sim | Em operação | Trifásica | Batata, milho, mandioca | Agricultura |
| Quixaba | 221391 | 8643295 | 2009 | 2012 | Particular | 110 | 7 | Sim | Em operação | Trifásica | não produz | Agricultura |
| Quixaba | 222111 | 8643003 | 2016 | 2016 | Particular | 90 | 1,8 | Sim | Paralisado | Trifásica | não produz | não utiliza |
| Mulungu dos Pires | 217486 | 8638430 | 2003 | 2003 | Particular | 130 | 22 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, cebola | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|------|-----|-------------|------------|-----------------------------------|-------------|
| Mulungu dos Pires | 217532 | 8638425 | 2012 | 2012 | Particular | 154 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, milho | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 216911 | 8638905 | 2015 | 2016 | Particular | 90 | 16 | Não | Em operação | Monofásica | pimentão | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 217123 | 8639274 | 2016 | 2016 | Particular | 80 | 18,5 | Não | Paralisado | Paralisado | não produz | não utiliza |
| Mulungu dos Pires | 215957 | 8639372 | 2012 | 2012 | Particular | 100 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 217279 | 8640212 | 2016 | 2016 | Particular | 80 | 28 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho, mandioca | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 216814 | 8640112 | 2013 | 2014 | Particular | 120 | 20 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 217603 | 8640112 | 2016 | 2016 | Particular | 130 | 15 | Não | Em operação | bifásica | pimentão | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 217076 | 8641382 | 2014 | 2014 | Particular | 125 | 10 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, maracujá, milho | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 217051 | 8641417 | 2013 | 2013 | Particular | 120 | 12 | Não | Paralisado | Trifásica | não produz | não utiliza |
| Mulungu | 216337 | 8642248 | 2014 | 2014 | Particular | 121 | 9 | Sim | Em | Trifásica | capim, | Pecuária |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|------|-----|-------------|------------|-------------------------------------|-------------|
| dos Pires | | | | | | | | | operação | | milho | |
| Quixaba | 217248 | 8644501 | 2011 | 2011 | Particular | 100 | 21 | Não | Em operação | Monofásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mato Preto | 218193 | 8641158 | 2014 | 2014 | Particular | 130 | 25 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mato Preto | 218162 | 8641300 | 2013 | 2014 | Particular | 137 | 12 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mato Preto | 218559 | 8641024 | 2014 | 2014 | Particular | 180 | 7 | Sim | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mato Preto | 218907 | 8641437 | 2016 | 2016 | Particular | 150 | 17,8 | Não | Em operação | Trifásica | tomate, feijão, milho | Agricultura |
| Mato Preto | 219420 | 8641714 | 2016 | 2016 | Particular | 170 | 30 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, melancia, abobara | Agricultura |
| Mato Preto | 219546 | 8641444 | 2016 | 2016 | Particular | 120 | 12 | Não | Paralisado | Trifásica | não produz | não utiliza |
| Mato Preto | 218826 | 8641338 | 2014 | 2014 | Particular | 130 | 25 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mato Preto | 221076 | 8641641 | 2012 | 2012 | Particular | 132 | 14,6 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Mato Preto | 222306 | 8641969 | 2003 | 2003 | Particular | 90 | 21,4 | Não | Em | Trifásica | limão, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|------|-----|----------------|------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | | | | | operação | | tomate, cebola, pimentão | |
| Mato Preto | 223482 | 8642484 | 2016 | 2016 | Particular | 120 | 6 | Sim | Em operação | Trifásica | tomate, pimentão | Agricultura |
| Quixaba | 218128 | 8644298 | 2008 | 2008 | Particular | 87 | 16 | Não | Em operação | Monofásica | milho | Agricultura |
| Quixaba | 217652 | 8644200 | 2017 | 2017 | Particular | 115 | 5 | Sim | Em operação | bifásica | milho | Agricultura |
| Quixaba | 222357 | 8643316 | 2017 | 2017 | Particular | 150 | 17 | Não | Em operação | bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Quixaba | 220500 | 8641422 | 2015 | 2015 | Particular | 135 | 10 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Quixaba | 220029 | 8641598 | 2016 | 2016 | Particular | 145 | 18,4 | Não | Em operação | Trifásica | tomate, pimentão | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 216456 | 8641855 | 1994 | 1994 | Particular | 130 | 6 | Sim | Em operação | Trifásica | hortalicas | Agricultura |
| Mulungu dos Pires | 216643 | 8642012 | 2010 | 2011 | Particular | 124 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Quixaba | 224019 | 8642352 | 2016 | 2016 | Particular | 136 | 6 | Sim | Em operação | Gerador | pimentão, tomate | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|-----|-----|-------------|-----------|------------------------------------|-------------|
| Quixaba | 224374 | 8641922 | 2013 | 2013 | Particular | 90 | 8,5 | Sim | Em operação | Trifásica | Tomate, milho, pimentão, melancia | Agricultura |
| Baixão | 215183 | 8641835 | 2013 | 2013 | Particular | 50 | 40 | Não | Em operação | Trifásica | tomate, milho, feijão | Agricultura |
| Baixão | 215175 | 8641805 | 2013 | 2013 | Particular | 50 | 40 | Não | Em operação | Trifásica | banana, melancia, tomate, pimentão | Agricultura |
| Sede | 215759 | 8645379 | 2015 | 2015 | Particular | 120 | 8 | Sim | Em operação | Trifásica | banana, melancia, tomate, pimentão | Agricultura |
| Queimada dos Guedes | 216340 | 8644970 | 2015 | 2015 | Particular | 125 | 12 | Não | Em operação | Trifásica | milho | Agricultura |
| Queimada dos Guedes | 216471 | 8645522 | 2014 | 2016 | Particular | 120 | 8 | Sim | Em operação | bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Queimada dos Guedes | 212776 | 8646228 | 2016 | 2016 | Particular | 112 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | milho | Agricultura |
| Queimada dos Guedes | 217867 | 8646358 | 2013 | 2013 | Particular | 120 | 18 | Não | Em operação | Trifásica | tomate, feijão, milho | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|-----|-----|-------------|-----------|---|-------------|
| Queimada dos Guedes | 218382 | 8646058 | 2007 | 2007 | Particular | 62 | 18 | Não | Em operação | Trifásica | tomate, milho, feijão | Agricultura |
| As Lagoas | 221935 | 8646478 | 2011 | 2011 | Particular | 120 | 17 | Não | Em operação | Trifásica | tomate, milho, alho, cebola, pimentão, melancia | Agricultura |
| As Lagoas | 222173 | 8646756 | 2015 | 2015 | Particular | 136 | 17 | Não | Em operação | Trifásica | tomate, melancia, pimentão, alho, cebola | Agricultura |
| As Lagoas | 223005 | 8646133 | 2013 | 2013 | Particular | 120 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| As Lagoas | 222995 | 8646407 | 2011 | 2011 | Particular | 140 | 10 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, milho | Agricultura |
| As Lagoas | 223246 | 8646785 | 2014 | 2014 | Particular | 185 | 6 | Sim | Em operação | Trifásica | hortaliças | Agricultura |
| As Lagoas | 223822 | 8646236 | 2015 | 2015 | Particular | 153 | 3,7 | Sim | Paralisado | Trifásica | não produz | não utiliza |
| As Lagoas | 224131 | 8645923 | 2013 | 2013 | Particular | 122 | 12 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, melancia, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|----|-----|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------|
| | | | | | | | | | | | abobara | |
| As Lagoas | 221844 | 8646459 | 2016 | 2016 | Particular | 130 | 20 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, melancia, abobara | Agricultura |
| As Lagoas | 223864 | 8646692 | 2013 | 2013 | Particular | 150 | 3 | Sim | Em operação | Trifásica | milho, feijão | Agricultura |
| As Lagoas | 224616 | 8646312 | 2009 | 2009 | Particular | 120 | 12 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Cajazeiras | 218203 | 8649600 | 1979 | 1979 | Particular | 120 | 8 | Sim | Em operação | Trifásica | cana, milho | Agricultura |
| Cajazeiras | 218125 | 8650056 | 2015 | 2015 | Particular | 120 | 23 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Cajazeiras | 218621 | 8649781 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 9 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate | Agricultura |
| Cajazeiras | 218460 | 8649714 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 15 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão | Agricultura |
| Cajazeiras | 218359 | 8649231 | 2013 | 2013 | Particular | 130 | 8 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, feijão | Agricultura |
| Cajazeiras | 219090 | 8649414 | 2016 | 2016 | Particular | 115 | 12 | Não | Em operação | Bifásica | tomate, pimentão | Agricultura |
| Cajazeiras | 219831 | 8649428 | 2013 | 2013 | Particular | 122 | 22 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|------|-----|-------------|----------|-------------------------|-------------|
| | | | | | | | | | | | milho | |
| Queimada | 219991 | 8650243 | 2015 | 2015 | Particular | 92 | 20 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Queimada Grande | 221507 | 8649185 | 2012 | 2012 | Particular | 120 | 12 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Queimada Grande | 221681 | 8649656 | 2014 | 2014 | Particular | 110 | 15 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa Cercada | 223305 | 8649897 | 2009 | 2009 | Particular | 174 | 14 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa Cercada | 223312 | 8649959 | 2009 | 2009 | Particular | 142 | 12 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa Cercada | 223650 | 8649463 | 2004 | 2004 | Particular | 120 | 19,8 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa Cercada | 222509 | 8650507 | 2015 | 2015 | Particular | 180 | 7 | Sim | Instalado | Bifásica | não produz | não utiliza |
| Lagoa Cercada | 222380 | 8650288 | 2015 | 2015 | Particular | 180 | 3 | Sim | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|------|-----|-------------|-----------|-------------------------|-------------|
| Lagoa Cercada | 223818 | 8648174 | 2015 | 2015 | Particular | 180 | 0 | Sim | Paralisado | Bifásica | não produz | não utiliza |
| Lagoa Cercada | 223846 | 8648259 | 2016 | 2016 | Particular | 152 | 11,5 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Catinguinha | 224225 | 8651986 | 2012 | 2014 | Particular | 120 | 7 | Sim | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Catinguinha | 224461 | 8652171 | 2010 | 2010 | Particular | 119 | 7 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Catinguinha | 224702 | 8651764 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 8 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Catinguinha | 224031 | 8651631 | 2014 | 2014 | Particular | 96 | 10 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Catinguinha | 223288 | 8651666 | 2013 | 2013 | Particular | 84 | 5 | Sim | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Pau D'Alho | 222786 | 8634230 | 2000 | 2004 | Particular | 90 | 30 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Pau D'Alho | 222865 | 8634181 | 2013 | 2014 | Particular | 104 | 30 | Não | Em | Trifásica | pimentão, tomate, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|---------|------|------|------------|-----|-----|-----|-------------|-----------|------------------------------------|-------------|
| | | | | | | | | | operação | | milho | |
| Pau D'Alho | 222627 | 8634277 | 2016 | 2016 | Particular | 108 | 30 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Santa Rita | 219153 | 8633503 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 12 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Santíssimo | 215269 | 8635066 | 2011 | 2011 | Particular | 160 | 2,3 | Sim | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Santíssimo | 216717 | 8634189 | 2015 | 2015 | Particular | 150 | 12 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Calumbí | 218683 | 8651140 | 2008 | 2008 | Particular | 100 | 16 | Não | Em operação | Trifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Calumbí | 220015 | 8651165 | 2013 | 2013 | Particular | 100 | 22 | Não | Em operação | Bifásica | banana, melancia, tomate, pimentão | Agricultura |
| Calumbí | 220759 | 8651635 | 2015 | 2015 | Particular | 135 | 18 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Lagoa | 223293 | 8649161 | 2016 | 2016 | Particular | 150 | 12 | Não | Em | Bifásica | pimentão, tomate, | Agricultura |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|---------|------|------|------------|-----|----|-----|----------------|----------|-------------------------------|-------------|
| Cercada | | | | | | | | | operação | | milho | |
| Calumbí | 220777 | 8651723 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 8 | Não | Em operação | Bifásica | pimentão, tomate, milho | Agricultura |
| Cajazeiras | 217642 | 8649539 | 2014 | 2014 | Particular | 120 | 22 | Não | Em operação | Bifásica | Tomate, pimentão, milho | Agricultura |