

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

Jeniffer Chiappini da Matta

**ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE DADOS
HIDROGEOLÓGICOS DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA (SAU) NA
BAHIA:
Subsídios para a Elaboração do Modelo Conceitual Hidrogeológico**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2019



UFRJ

Jeniffer Chiappini da Matta

**ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS DO
SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA (SAU) NA BAHIA:
Subsídios para a elaboração do modelo conceitual hidrogeológico**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador:

Gerson Cardoso da Silva Junior

Co-orientador:

Glauco Zely da Silva Eger

Rio de Janeiro

Março de 2019

MATTA, Jeniffer Chiappini

Análise Quantitativa e Qualitativa de Dados Hidrogeológicos do Sistema Aquífero Urucuia (SAU) na Bahia: Subsídios para a Elaboração do Modelo Conceitual Hidrogeológicos / Jeniffer Chiappini da Matta - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2019.

50 p.: il.: 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2019.

Orientadores: Gerson Cardoso da Silva Junior, Glauco Zely da Silva Eger.

1. Geologia. 2. Hidrogeologia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Silva Jr., Gerson Cardoso. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Jeniffer Chiappini da Matta

ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS DO
SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA (SAU) NA BAHIA: SUBSÍDIOS PARA A
ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL HIDROGEOLÓGICO

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador:

Gerson Cardoso da Silva Junior

Co-orientador:

Glauco Zely da Silva Eger

Aprovada em: 11 de março de 2019

Por:

Orientador: Gerson Cardoso da Silva Jr. (UFRJ)

Fábio Andre Perosi (UFRJ)

Talita Azevedo da Silva (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2019

UFRJ
Rio de Janeiro
2019

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais, Rosalvo da Matta e Maria Helena Chiapini da Matta, que com muito amor não mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Vocês são meu porto-seguro e a certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

Agradecimentos

Agradeço à Deus, por me dar forças para enfrentar cada dificuldade que surgiu durante esse ano.

A meus pais, Rosalvo da Matta e Maria Helena Chiapini da Matta pela confiança depositada, investimento, pelo incentivo de sempre, o qual foi imprescindível em todas as conquistas da minha vida, pelos ensinamentos e pelo amor.

Agradeço a PRODEAGRO pelo financiamento do estágio e a AIBA pela oportunidade de participar de uma das campanhas de campo do projeto “Estudo Hidrogeológico e Modelagem Numérica de Fluxo do Aquífero Cretáceo Urucuia: Balanço Hídrico e Estimativa de Recursos Explotáveis”.

Agradeço ao meu orientador Gerson Cardoso da Silva Junior, pelo ensinamento, por todo conhecimento transmitido e pelos conselhos.

Ao meu co-orientador Glauco Zely da Silva Eger, pelos conselhos, ensinamentos, incentivo e pela paciência durante todo o período em que trabalhamos juntos.

A todos os meus familiares, tios, primos e agregados, que estão sempre na minha torcida vibrando a cada vitória e fizeram parte dos meus momentos de refúgio.

Aos meus amigos da UFRJ, por estarem comigo nesse processo, me apoiarem, torcerem e vibrarem a cada passo dado. Em especial à Juliana Vilhena, Juliana Godoy, Mayara Coutinho, Carolina Lyra, Daniel Machado, Thaís Alencar, Gabriel Eloy, Fernanda Mattos, Igor Vasconcelos, Luís Barreto, Olívia Souto, Leonardo Guarino e Luis Sergio.

A todas amigas que moraram comigo, pelo companheirismo e acolhimento durante esses anos. Em especial as que estiveram presentes durante a construção deste trabalho: Bárbara Rosa, Karina Andreatta, Louise Sousa e Pamella Regina.

Agradeço a minha psicóloga Renata Alli, por me mostrar que apesar das minhas limitações, sou forte e capaz de realizar meus sonhos.

Aos amigos do Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ, pelo apoio diário. Em especial, a Mónica Filipa (in memoriam), que apesar do pouco tempo de convivência, me deu bons conselhos e me inspirou a ver sempre o lado bom da vida.

Resumo

MATTA, J.C. Análise Quantitativa e Qualitativa de Dados Hidrogeológicos do Sistema Aquífero Urucuia (SAU) na Bahia: Subsídios para a Elaboração do Modelo Conceitual Hidrogeológico. 2019, 50 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU), um dos principais sistemas aquíferos brasileiros, estende-se por uma área de 126 km², distribuído entre os estados da Bahia, Piauí, Maranhão, Goiás, Minas Gerais e Tocantins. Sua ocorrência na região Oeste da Bahia, devido às características geológicas e geomorfológicas locais, tem promovido o rápido avanço da agricultura irrigada. No entanto, a crescente demanda pelo recurso hídrico torna fundamental uma gestão adequada do mesmo, a fim de garantir sua sustentabilidade. A caracterização do aquífero é uma importante ferramenta para o planejamento de propostas de gestão e é possibilitada pela coleta de informações hidrogeológicas de poços tubulares. Com essa finalidade, o presente estudo avalia informações hidrogeológicas disponíveis em bancos de dados geridos por órgãos públicos (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA e Agência Nacional de Águas - ANA). O objetivo da pesquisa é reconhecer e comparar dados hidrogeológicos relativos ao aquífero, visando identificar a distribuição geográfica e as características destes. As etapas deste trabalho foram: (1) a pesquisa nas plataformas do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS, Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos da Bahia - SEIA e do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos - CNARH, (2) consolidação dos dados, análise quantitativa e qualitativa dos mesmos, (3) construção de gráficos e mapas de interpolação que permitiram a visualização espacial das informações, e através do resultado gerado (4) subsidiar a elaboração de um modelo conceitual do aquífero. Resultados indicam a presença de lacunas nas informações hidrogeológicas disponíveis pelos órgãos públicos, além de alguns valores inconsistentes que foram eliminados no estudo.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Urucuia; Análise de Dados; Modelo Hidrogeológico Conceitual.

Abstract

MATTA, J.C. Quantitative and Qualitative Analysis of Hydrogeological Data of the Urucuia Aquifer System (UAS) in Bahia: Subsides for the Elaboration of the Hydrogeological Conceptual Model. Ano. 2019, 50 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Urucuia Aquifer System (SAU), one of the main Brazilian aquifer systems, extends over an area of 126 km², distributed among the states of Bahia, Piauí, Maranhão, Goiás, Minas Gerais and Tocantins. Its occurrence in the western region of Bahia, due to local geological and geomorphological characteristics, has promoted the rapid advance of irrigated agriculture. However, the growing demand for water resources makes proper management of the resource essential in order to ensure its sustainability. The characterization of the aquifer is an important tool for the planning of management proposals and is made possible by the collection of hydrogeological information from tubular wells. To this end, the present study evaluates hydrogeological information available in databases managed by public agencies (INEMA and ANA). The objective of the research is to recognize and compare hydrogeological data related to the aquifer, aiming to identify the geographic distribution and the characteristics of those. The stages of this work were: (1) the research on the platforms of the Information System of Groundwater - SIAGAS, State System of Environmental Information and Water Resources of Bahia - SEIA and the National Registry of Users of Water Resources – CNARH; (2) data consolidation, quantitative and qualitative analysis; (3) construction of graphs and maps of interpolation that allowed the spatial visualization of the information, and through the generated result (4) to subsidize the elaboration of a conceptual model of the aquifer. Results indicate the presence of gaps in hydrogeological information made available by public agencies, as well as some inconsistent values that were eliminated from the study.

Key-Words: Urucuia Aquifer System; Data Analysis; Conceptual Hydrogeologic Model.

Lista de figuras

Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.	4
Figura 2 Foto da escarpa do Urucuaia em estrada de Goiás.	5
Figura 3 Drenagens na região Oeste da Bahia.....	6
Figura 4 Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco. Fonte: Barbosa et al. 2014.	8
Figura 5 Perfis geoeletricos gerados no trabalho de Gaspar et al. 2012.....	11
Figura 6 Foto de afloramento da Fm. Serra das Araras em estrada de Goiás.	12
Figura 7 Mapa das Províncias Hidrogeológicas do Brasil. Fonte: CPRM.....	14
Figura 8 Foto de poço tubular em fazenda na área de estudo	16
Figura 9 Plataforma de pesquisa de dados do SIAGAS.....	17
Figura 10 Plataforma de pesquisa do Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos.....	18
Figura 11 Gráfico de frequência com a distribuição da variável profundidade.	22
Figura 12 Gráfico de setores representando a finalidade de uso da água.....	23
Figura 13 Gráfico de frequência dos níveis d'água estáticos.	24
Figura 14 Gráfico de frequência dos níveis d'água dinâmicos.	24
Figura 15 Gráfico de frequência das vazões requeridas inferiores a 100 m ³ /dia.	25
Figura 16 Gráfico de frequência das vazões requeridas superiores a 100 m ³ /dia.	25
Figura 17 Gráfico de setores representando o volume d'água requerido por dia.....	26
Figura 18 Gráfico de frequência de vazão requerida para irrigação, em m ³ /dia.	27
Figura 19 Gráfico de frequência de vazão requerida para abastecimento humano, em m ³ /dia.	27
Figura 20 Localização dos poços tubulares na área de estudo.	29
Figura 21 Mapa potenciométrico obtido através da interpolação dos níveis estáticos.....	31
Figura 22 Mapa de interpolação do nível dinâmico.	32
Figura 23 Mapa de distribuição da cota da profundidade dos poços.	33
Figura 24 Mapa de distribuição das vazões requeridas pelos poços tubulares no SAU.....	34
Figura 25 Mapa de distribuição da vazão e poços de irrigação (em vermelho).....	34
Figura 26 Mapa de interpolação da transmissividade calculada pelos dados do SIAGAS.....	35
Figura 27 Interpolação da vazão específica calculada para os poços tubulares.	35
Figura 28 Modelo conceitual do SAU no estado da Bahia. O tom verde escuro corresponde à Fm. Serra da Araras e o verde claro à Fm. Posse.	37

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	viii
<i>Abstract</i>	ix
Lista de figuras	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	4
3.1 Localização	4
3.2 Aspectos fisiográficos	5
3.3 Geologia Regional	6
3.3.1 Embasamento	6
3.3.2 Bacia Sanfranciscana	7
3.4 Hidrogeologia do SAU	13
4 METODOLOGIA	16
4.1 Levantamento bibliográfico	16
4.2 Campanha de campo	16
4.3 Pesquisa de dados hidrogeológicos em bancos de informações públicos	17
4.4 Consolidação e análise de informações hidrogeológicas	18
4.5 Elaboração do modelo hidrogeológico conceitual	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5.1 Análise e interpretação dos dados hidrogeológicos	20
5.1.1 Banco de dados	20
5.1.2 Consolidação dos dados	21

5.1.3	Resultados cartográficos: mapas de isovalores.....	28
5.2	Modelo conceitual do Sistema Aquífero Urucuia	36
6	CONCLUSÕES	38
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento do agronegócio e o crescimento populacional nas últimas décadas geraram uma crescente demanda por recursos hídricos na região Oeste da Bahia. A água subterrânea é um importante insumo para alavancar esse crescimento populacional e econômico na região pelas características geológicas desta, com a presença do Sistema Aquífero Urucuia (SAU), um dos mais importantes sistemas aquíferos do Brasil, com enorme potencial e produtividade. Essa expansão gera ameaças à integridade do aquífero, a qualidade de suas águas e gera riscos de sobreexploração. Com isso, a gestão adequada torna-se fundamental para evitar uma exploração desordenada e garantir a sustentabilidade do SAU.

Os órgãos públicos responsáveis pela gestão de recursos hídricos são incumbidos de conceder processos de outorgas, com o objetivo de garantir o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e fiscalizar o exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos. As informações hidrogeológicas obtidas através desses cadastros de outorgas são disponibilizadas para consulta pública em algumas plataformas. O livre acesso a esses dados facilita a realização de pesquisas para a avaliação, caracterização e gestão do recurso hídrico.

No entanto, a falta de padronização das informações disponibilizadas por fontes secundárias e grandes lacunas em dados construtivos de poços dificultam essa gestão. Com o intuito de analisar qualitativa e quantitativamente os dados disponíveis, o presente trabalho foi desenvolvido com base em informações hidrogeológicas do SAU obtidas através de bancos de dados do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) e da Agência Nacional das Águas (ANA).

Foram obtidos dados hidrogeológicos de 2302 poços no total. No entanto, esses dados possuíam ambiguidades ocasionadas pelo cadastramento do mesmo poço em mais de um banco de dados pesquisado. Após a consolidação, na qual foram removidos os poços duplicados e os que não forneciam informações hidrogeológicas, foram contabilizados 1616 poços tubulares.

As informações obtidas na pesquisa foram de profundidade, vazão, níveis estático e dinâmico, além da finalidade do uso do recurso hídrico. Entretanto, o total de dados analisados em cada uma das diferentes variáveis não é o mesmo. Além de terem informações ausentes, nem sempre as situações se apresentam como estatisticamente válidas e, portanto, alguns dados foram desconsiderados devido à sua baixa consistência.

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU), definido por Gaspar (2006) como um conjunto de aquíferos intergranulares, é considerado um dos principais mananciais de água subterrânea do Brasil. Esta unidade hidrogeológica estende-se por seis estados brasileiros (Bahia, Piauí, Minas

Gerais, Goiás, Tocantins e Maranhão), ocupando uma área de 126 mil km². No entanto, aproximadamente 65% da sua ocorrência está em território baiano, com cerca de 82 mil km² (ANA, 2017).

O SAU ocorre no domínio geológico do Grupo Urucuaia, o qual é definido por Campos & Dardenne (1997) como uma unidade neocretácea da cobertura sedimentar da Bacia Sanfranciscana. Esta Bacia é a depressão na qual se acumularam as coberturas fanerozoicas do Cráton do São Francisco. O Grupo Urucuaia é subdividido nas formações Posse, que comporta duas litofácies (litofácies 1, interpretada como uma sedimentação em ambiente eólico e litofácies 2, como um ambiente fluvial entrelaçado); e a unidade superior, Serra das Araras, gerada por uma sedimentação fluvial em amplas planícies, com contribuição eólica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar qualitativa e quantitativamente as informações hidrogeológicas, disponibilizadas por órgãos públicos, visando otimizar o gerenciamento do recurso hídrico.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Coletar informações hidrogeológicas em bancos de dados públicos;
- Identificar as lacunas nas informações através de análise detalhada dos dados;
- Unificar os dados e eliminar os dados duplicados, *outliers*, etc.;
- Gerar tabelas que possibilitem visualizar a qualidade das informações disponíveis com o uso de estatísticas básicas;
- Produzir gráficos e gerar mapas que permitam analisar os dados produzidos, através da visualização das informações utilizando o *software* ArcGIS e suas ferramentas de análise;
- A partir dos dados validados, informações de campo e de interpretações da bibliografia da região, gerar um modelo conceitual do aquífero.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 Localização

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) ocorre na porção central do Brasil, desde o sul do Piauí e Maranhão até o noroeste de Minas Gerais, sendo limitado a leste pelos municípios de Barreiras-BA, Formosa do Rio Preto-BA, Cocos-BA, Correntina-BA e Gilbués-PI, e a oeste pelo limite da Serra Geral de Goiás.

Apesar do SAU se estender por seis estados brasileiros (Bahia, Piauí, Tocantins, Maranhão, Goiás e Minas Gerais), a área de estudo está limitada a sua porção baiana conforme representado em vermelho na Figura 1.

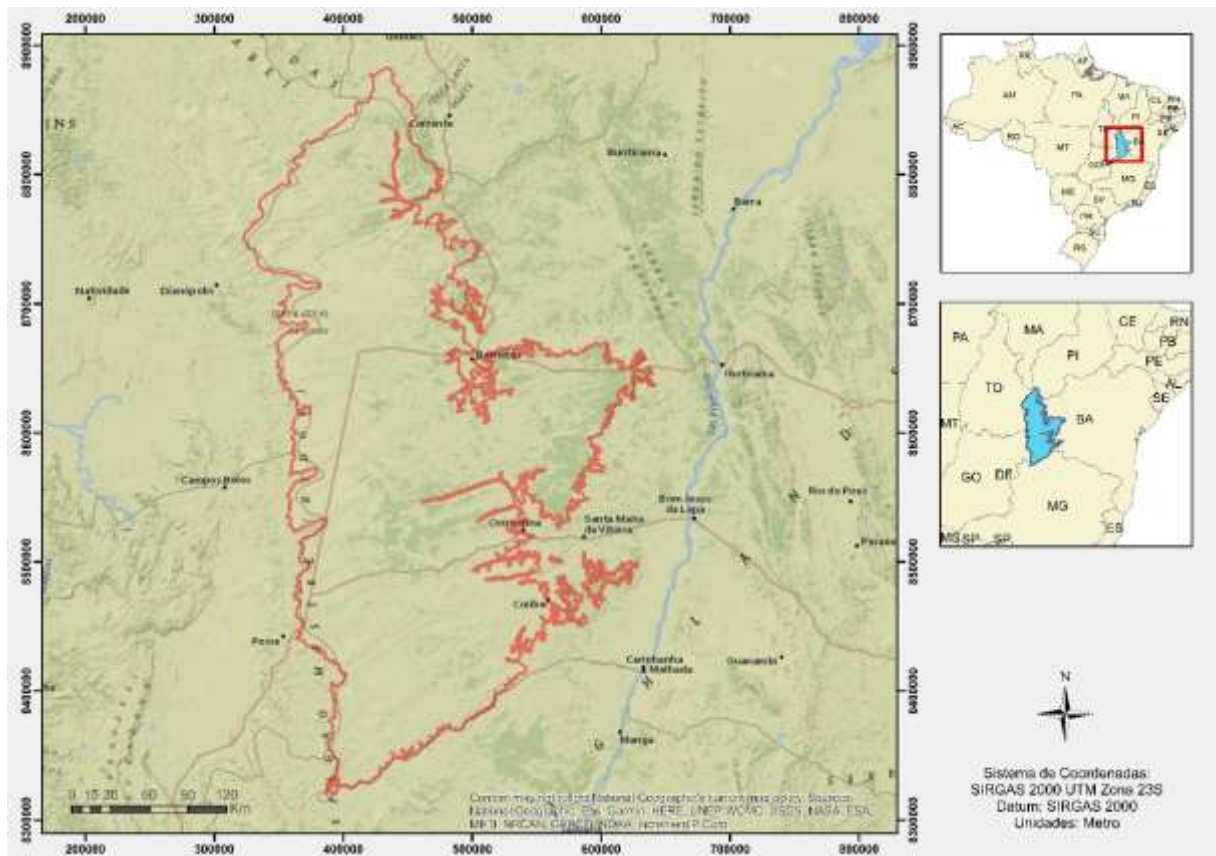


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo.

As principais formas de acesso à região Oeste da Bahia são pelas BR-020, BR-242 que levam a Barreiras, BR-135 e BR-349 que levam à região de Correntina. A BA-462 liga São Desidério a BR-020. Em geral, os outros acessos na área de estudo, ocorrem em vias não pavimentadas que ligam às fazendas.

3.2 Aspectos fisiográficos

O Sistema Aquífero Urucuia está inserido na unidade de relevo Chapada do São Francisco, também denominada Chapadão do Oeste Baiano. Esta unidade é limitada à oeste pela Serra Geral de Goiás, com aproximadamente 4 km de extensão, que separa o estado da Bahia de Goiás e Tocantins. A feição é marcada por escarpas com desnível de até 200 metros, representadas na foto da Figura 2. Os limites leste e norte da Chapada também se fazem por meio de escarpas.



Figura 2 Foto da escarpa do Urucuia em estrada de Goiás.

O clima do Oeste Baiano é do tipo A_w , caracterizado como tropical chuvoso, segundo a classificação de Köppen (1948). A região apresenta um verão chuvoso, com a umidade relativa do ar máxima de 80%, e uma temporada de seca bem marcada durante o inverno, com umidade relativa mínima de 50% (Gaspar 2006). A temperatura média anual varia entre 18°C e 32°C.

A precipitação média anual aumenta de leste para oeste na região de estudo. Na parte oriental da área, esses valores ficam entre 900 mm e 1000 mm, enquanto no extremo oeste chegam a 1500 mm. Quando se trata da média pluviométrica mensal, pode chegar a 250 mm, em períodos chuvosos; enquanto no inverno esses valores são próximos à zero (Gaspar 2006).

A região Oeste da Bahia está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, representada por afluentes da margem esquerda do seu curso médio. É marcada por uma rede de drenagens paralelas ou subparalelas, com escoamento superficial, em geral, de oeste para leste. Os principais rios que drenam o Oeste Baiano em direção ao Rio São Francisco são o Corrente, o Grande e o Carinhanha e seus afluentes (Figura 3).

descrito como sienitos avermelhados referido, por Rosa *et al.* (1996), como “Sienito de Correntina”.

Na região de São Domingos, em GO, o embasamento é representado por três sequências litológicas. A arqueana é formada por rochas granito-gnáissicas, com fácies calciossilicática e metabasitos localizados. O embasamento paleoproterozoico inclui a sequência São Domingos, composta por rochas metassedimentares, com intercalações de metavulcânicas ácida e básica (Dávila & Kuyumjian 2005). A sequência neoproterozoica é representada pelo Grupo Bambuí.

O Grupo Bambuí é a unidade de maior expressão que compõem o embasamento da Bacia Sanfranciscana. Dardenne (1978) subdividiu os sedimentos desse Grupo em seis formações: Jequitaiá, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

A Formação Jequitaiá, unidade basal do Grupo Bambuí, é descrita como um diamictito, gerado numa glaciação de escala continental no Neoproterozoico (Dardenne, 1978; Dardenne, 2000).

A Formação Sete Lagoas é constituída predominantemente por sedimentos pelito-carbonáticos e representa o primeiro dos três megaciclos regressivos, propostos por Dardenne (2000).

A Formação Serra de Santa Helena trata-se essencialmente de folhelhos e siltitos laminados, com ocorrências locais de níveis de arenitos muito finos. Enquanto a Formação Lagoa do Jacaré é descrita como siltitos esverdeados calcíferos e margosos com intercalações finas de calcários e laminações argilosas. Essas duas fazem parte do segundo megaciclo regressivo proposto por Dardenne (2000).

O terceiro megaciclo é composto pelas Formações Serra da Saudade e Três Marias. A Serra da Saudade é descrita como folhelhos, argilitos, siltitos argilosos verdes e raras lentes de calcário cinza claro. Já a Formação Três Marias, é composta por arcóseos finos e siltitos arcoseanos verdes escuro, com estratificação plano-paralela e marcas de ondas.

A proposta de Dardenne (2000) estabelece uma sequência de três megaciclos regressivos com início em uma transgressão marinha rápida, associada a uma rápida subsidência da bacia.

3.3.2 Bacia Sanfranciscana

O substrato proterozoico da Bacia do São Francisco tem como cobertura fanerozoica a Bacia Sanfranciscana (Sgarbi 1989). A Bacia Sanfranciscana é limitada a sul pela Bacia do

Paraná e a norte pela Bacia do Parnaíba. O limite ocidental é marcado pela borda externa da Faixa Brasília e o oriental pela Faixa Araçuaí e Espinhaço Setentrional (Campos & Dardenne 1997), Figura 4.

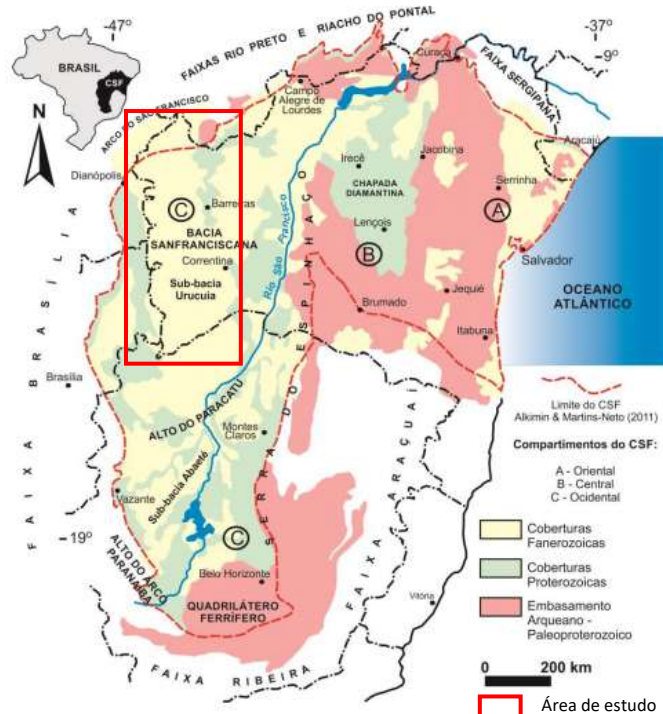


Figura 4 Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco. Fonte: Barbosa *et al.* 2014.

O trabalho de Campos & Dardenne (1997 a e b) divide a Bacia Sanfranciscana, com base nas diferenças tectônicas, ambientais e estruturais entre suas porções sul e centro-norte, em duas sub-bacias, denominadas Sub-Bacia Abaeté e Sub-Bacia Uruçuia. Estas são separadas por um alto estrutural do embasamento, o Alto Paracatu.

Os mesmos autores propõem que as unidades estratigráficas da Sub-Bacia Abaeté, antes tratadas como formações, passem a Grupos; e seus membros, a formações. Dessa forma, o Grupo Areado com as formações Abaeté, Quiricó e Três Barras, Grupo Mata da Corda com as Formações Patos e Capacete e o Grupo Uruçuia com as Formações Posse e Serra das Araras.

Grupo Santa Fé

É a unidade estratigráfica que representa o primeiro ciclo tectono-sedimentar da Bacia Sanfranciscana e apresenta características glaciogênicas observadas por Dardenne *et al.* (1990). Campos (1992) identifica a glaciação Permo-Carbonífera e subdivide o Grupo em duas formações.

A Formação Floresta é composta por três membros, os quais mostram contatos laterais interdigitados com fácies tilito (Membro Brocotó), fácies flúvio-glacial (Membro Lavado),

fácies glacio-lacustre e turbidítica (Membro Brejo do Arroz).

A Formação Tabuleiro recobre as unidades anteriores com arenitos interpretados por Campos & Dardenne (1994) como fácies periglacial eólica. A passagem dos membros da Formação Floresta para a Formação Tabuleiro é gradacional e caracterizada pela intercalação de folhelhos do Membro Brejo do Arroz nos arenitos.

Grupo Areado

O Grupo Areado representa a sedimentação Eocretácica da bacia e ocorre de forma contínua na Sub-Bacia Abaeté e descontínua da Sub-Bacia Urucuia. Este Grupo é subdividido em três formações interdigitadas: Formação Abaeté, Formação Quiricó e Formação Três Barras.

A Formação Abaeté representa sedimentação em ambiente fluvial, sendo que na porção sul da Sub-Bacia, a presença de conglomerados sustentados pela matriz com clastos de metassiltitos do embasamento indica que foi depositada por leques aluviais, enquanto nas demais áreas da Sub-Bacia, são encontrados conglomerados clasto-suportados com seixos de quartzito, interpretados como um ambiente fluvial entrelaçado de alta energia.

A Formação Quiricó é interpretada por Sgarbi (1989) como uma sedimentação de origem lacustre, e caracterizada, por Sgarbi *et al.* (2001), como arenitos e siltitos maciços em bancos, argilitos maciços e lentes de calcários laminados com *hummocky*. O predomínio de espessuras delgadas e de depocentros isolados, mostra que se tratava de vários lagos que em períodos mais úmidos se interligavam (Sgarbi *et al.* 2001). A presença de fácies eólica interdigitada indica simultaneidade entre a sedimentação lacustre e retrabalhamento eólico subaéreo (Campos & Dardenne 1997a).

Segundo Campos & Dardenne (1997a), as rochas da Formação Três Barras são arenitos resultantes de deposição simultânea de sistemas fluviais, fluvio-deltaicos e desérticos. Estes mesmos autores descrevem a ocorrência de três fácies na unidade.

- Fácies 1 é caracterizada por arenitos médios, brancos, esverdeados ou rosados, grãos esféricos com superfície fosca e estratificações cruzadas de grande porte. Desta forma, é descrita como uma sedimentação em ambiente eólico.
- Fácies 2 representada por arenitos médios a finos, brancos, amarelados, apresentando estratos decimétricos plano-paralelos e estratificações cruzadas de médio e pequeno porte. O ambiente é caracterizado como fluvial entrelaçado dominado pela deposição de areias.
- Fácies 3 é descrita como arenitos e *wackes* vermelhos, rosados, na forma de lentes, lobos, canais, em bancos maciços, com estratificação plano-paralela ou em estratos cruzados

tabulares e acanalados. Caracteriza uma sedimentação flúvio-deltaica.

Mais recentemente, Sgarbi *et al.* (2001), apresentam uma subdivisão da Formação Três Barras em dois membros. O Membro Quintino, gerado por sedimentação flúvio-deltaica, representada por fácies de arenitos finos sigmoidais e finos tabulares; e fluvial meandrante, com predomínio de arenitos médios conglomeráticos. E o Membro Olegário, com presença de arenitos de dunas eólicas e arenitos de interdunas.

Grupo Mata da Corda

Esta unidade é subdividida em duas formações. Formação Patos, composta por rochas alcalinas máficas a ultramáficas de natureza efusiva e piroclástica, com amplo predomínio dos tipos piroclásticos. E Formação Capacete, formada por rochas epiclásticas, representando o produto do retrabalhamento das rochas vulcânicas da Formação Patos (Campos & Dardenne 1997a). A sedimentação desta pode ser interpretada como um sistema de leques aluviais distais, transicionando para fácies fluviais entrelaçadas.

Grupo Urucuia

O Grupo Urucuia constitui a unidade de maior espalhamento geográfico da Bacia Sanfranciscana, ocupando a maior parte da Sub-Bacia Urucuia (Sgarbi *et al.* 2001). Com o intuito de determinar a espessura do Urucuia, Gomes & Bonfim (2004), efetuaram modelagens bidimensionais, integrando Geologia X Geofísica. Seus resultados indicam que a espessura do Urucuia, considerada na literatura como não ultrapassando os 400 metros, pode atingir valores superiores aos 1.500 metros. Em contradição, o trabalho de Gaspar *et al.* (2012) estima, através de estudos geofísicos, que a espessura das rochas do Grupo varia entre 100 e 600 m. Esses autores construíram perfis geoeletricos que possibilitam observar a variação da espessura da unidade, observado na Figura 5.

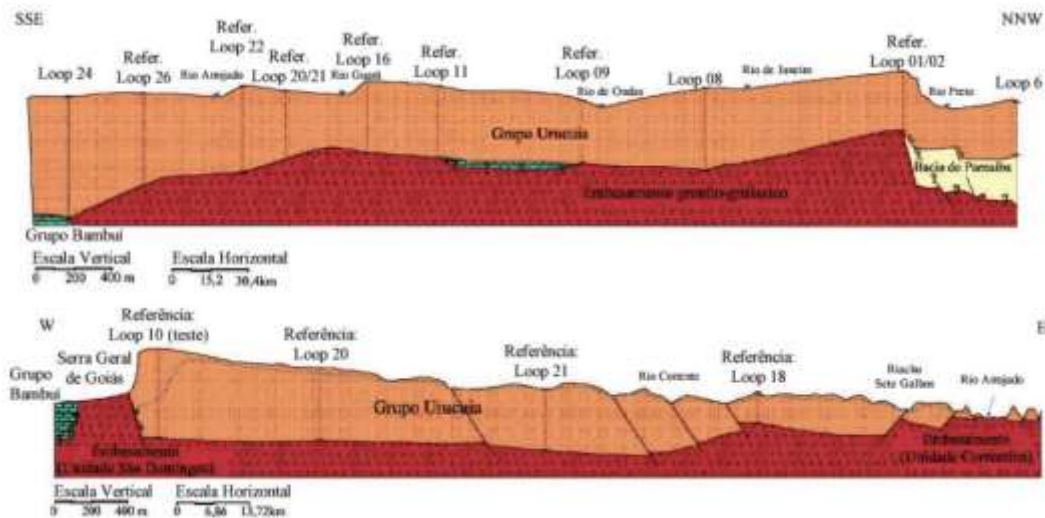


Figura 5 Perfis geolétricos gerados no trabalho de Gaspar et al. 2012.

Este grupo foi subdividido por Campos & Dardenne (1997a) nas formações Posse, que comporta duas litofácies (1 e 2), e Serra das Araras.

A fácies 1 da Formação Posse é composta por quartzo-arenitos e raramente arenito feldspático, de granulometria muito fina a média, com matriz, bem selecionado, com lentes conglomeráticas. A sedimentação desta unidade é relacionada com um ambiente eólico de campos de dunas secas. Já a fácies 2 é formada por arenitos feldspáticos e quartzo-arenitos, brancos, ocre, finos, argilosos ou não, bem selecionados e menos maduro que o da fácies 1. Esta unidade é interpretada como um ambiente fluvial entrelaçado.

A Formação Serra das Araras é constituída por arenitos, argilitos, e conglomerados com coloração avermelhada, intercalados em bancos plano-paralelos com espessuras variando de 50 cm a 2 metros. O estudo microscópico mostra maturidade composicional e imaturidade textural. A porção superior da unidade foi caracterizada, segundo Campos & Dardenne (1997a), como uma sedimentação fluvial desenvolvida em amplas planícies, com grande variação de carga de fluxo. A presença de grãos esféricos e polidos, isolados no arcabouço dos arenitos e flutuantes nos níveis pelíticos, indica uma contribuição eólica.



Figura 6 Foto de afloramento da Fm. Serra das Araras em estrada de Goiás.

Formação Chapadão

Esta unidade representa os sedimentos arenosos cenozóicos que cobrem os planaltos e chapadas da Bacia Sanfranciscana (Sgarbi *et al.* 2001). No trabalho de Campos & Dardenne (1997a) esses sedimentos foram classificados como coberturas aluvionares, coluvionares e eluvionares.

As coberturas aluvionares são compostas por sedimentos inconsolidados que resultam do retrabalhamento fluvial recente e estão associadas às planícies de inundações das maiores drenagens. Os sedimentos coluvionares são formados por areias vermelhas ou esbranquiçadas, que resultam de pequenos retrabalhamentos das unidades fanerozoicas e pré-cambrianas, resultantes da regressão de formas de relevo tabular elevado (mesetas, tabuleiros, Serra Geral de Goiás). As coberturas eluvionares correspondem às areias inconsolidadas, que se desenvolvem a partir dos arenitos pertencentes às diversas unidades fanerozoicas.

Evolução da Bacia

Campos & Dardenne (1997b) determinam seis estágios evolutivos para a história tectônica da Bacia Sanfranciscana. Estes estágios são:

- Paleozoico, fase em que a calha sedimentar era um “baixo relativo” entre as faixas Brasília e Araçuaí/Espinhaço Setentrional, onde se acumularam sedimentos glaciogênicos neopaleozoicos;

- Eomesozoico, estágio em que ocorreu soerguimento isostático pós-glacial, favorecendo a ocorrência de fácies glaciais ressedimentadas;
- Eocretáceo, fase em que é gerada a Sub-Bacia Abaeté devido a extensão da placa que é relacionada ao evento de abertura do Atlântico Sul;
- Mesocretáceo, fase em que é gerada a Sub-Bacia Urucuia, pela inversão tectônica da bacia, relacionada à fase pós-rifte da margem continental;
- Neocretáceo, magmatismo alcalino da Sub-Bacia Abaeté nas zonas de fraqueza continentais; e
- Cenozoico, fase que originou o sistema de drenagem paralelo na Sub-Bacia Urucuia.

3.4 Hidrogeologia do SAU

O termo “sistema aquífero” é utilizado por Gaspar (2006) para designar um conjunto de aquíferos de ocorrência na mesma unidade litológica, de abrangência regional, interligados hidráulica e/ou fisicamente. Seguindo essa definição, o Sistema Aquífero Urucuia (SAU), um dos principais sistemas aquíferos do Brasil, é definido pela autora como um conjunto de aquíferos intergranulares, dispostos na forma de um tabuleiro, ocupando uma área de 126 mil km² (ANA, 2017), dos quais 82 mil km² no estado da Bahia, área objeto deste estudo.

Com relação ao contexto geológico, o SAU pertence ao Grupo Urucuia, composto essencialmente por arenitos, e compreende a Sub-bacia Urucuia. Um levantamento geofísico apresentado por Gaspar *et al.* (2012) permitiu estimativas para a espessura total do sistema aquífero variando de 100 a 600 metros, com a espessura saturada chegando a 460 metros.

A análise do fluxo subterrâneo mostra um divisor de água subterrânea próximo à Serra Geral de Goiás, na região ocidental do SAU, de direção aproximada N-S, dividindo o escoamento subterrâneo a leste em direção à bacia do rio São Francisco e a oeste em direção à bacia do rio Tocantins. (Barbosa *et al.* 2014)

O SAU está inserido na Província Hidrogeológica São Francisco (Figura 7). Seu fluxo de base contribui com a vazão dos afluentes da margem esquerda do médio São Francisco. Durante períodos de estiagem, essa contribuição chega a 80% da vazão do rio, e sua média representa cerca de 30% da vazão média do rio São Francisco em Sobradinho (ANA 2013).

fraturados e impermeáveis que possibilitam drenança ascendente para o nível superior livre que ocorre na Formação Serra das Araras.

O nível inferior é atingido por poços de altas profundidades que podem chegar a ter vazões superiores a 300 m³/h, utilizados para irrigação em pivôs centrais, por seu alto potencial hidrogeológico. Os poços da porção superior livre explotam em geral vazões em torno de 15 m³/h, e a água retirada é utilizada para abastecimento doméstico e dessedentação animal e pulverização agrícola.

Em contradição com os autores supracitados, o trabalho de Rodrigues *et al.* (2009) mostra que o SAU consiste de duas unidades hidrogeológicas. O aquífero Serra das Araras, unidade superior, que ocorre na Formação homônima, e a unidade inferior que ocorre na Formação Posse. Os valores obtidos para a transmissividade da camada inferior ficaram na ordem de 10⁻² m²/s e o coeficiente de armazenamento 10⁻⁴, indicativos de um aquífero semiconfinado e drenante.

A transmissividade obtida na Formação Serra das Araras foi da ordem de 10⁻³ m²/s e a condutividade hidráulica indicou anisotropia, com a horizontal calculada em 5 x 10⁻⁵ m/s e a vertical 8 x 10⁻⁵ m/s. Essa unidade teve sua porosidade granular primária reduzida por níveis silicificados, que posteriormente sofreram fraturamento por esforços tectônicos gerando comportamento fissural. Rodrigues *et al.* (2009) atribuem a esses níveis silicificados o semi-confinamento do aquífero Posse e indicam que os parâmetros hidrodinâmicos do Serra das Araras influenciam efetivamente no comportamento do inferior. As camadas superiores da unidade semi-confinante estão ligadas aos rios.

A presença de poços que fornecem altas vazões e a contribuição com volumes de água consideráveis para os afluentes da margem esquerda do rio São Francisco, tornaram o Sistema Aquífero Urucuia um dos mais importantes corpos hídricos subterrâneos do Brasil.

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico é uma importante etapa do trabalho, de forma que possibilita a compreensão do contexto geológico, estratigráfico e tectônico da área de estudo, na qual está inserido o Sistema Aquífero Urucuia. Através de trabalhos anteriores também foi possível estudar os métodos empregados para análise dos dados.

Livros, artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e relatórios compuseram o material que embasou este estudo.

4.2 Campanha de campo

No período de 19 de fevereiro a 9 de março foi realizada uma campanha de campo para a área de estudo do Projeto "Estudo do Potencial Hídrico da Região Oeste da Bahia". O objetivo era realizar testes de bombeamento em poços de alta vazão (Figura 8), em algumas fazendas da região, para complementar a base de dados disponibilizada por órgãos públicos.



Figura 8 Foto de poço tubular em fazenda na área de estudo

Os principais critérios para a seleção das áreas que seriam visitadas foram priorizar locais com carência de informações e poços de altas vazões. O planejamento da campanha era fazer testes de bombeamento, mas alguns problemas atrapalharam os planos. Devido à época

de intensa chuva, os reservatórios das fazendas estavam cheios e a plantação não precisava de irrigação, impossibilitando o bombeamento necessário para fazer alguns dos testes programados. Além disso, a ausência de poços de observação próximos ao poço de bombeamento também foi empecilho.

4.3 Pesquisa de dados hidrogeológicos em bancos de informações públicos

Nesta etapa do trabalho foi feito um levantamento de informações hidrogeológicas em bancos de dados públicos. Os dados coletados foram sobre a localização dos poços, suas profundidades, vazão de bombeamento, níveis estáticos e dinâmicos, além da finalidade de uso da água explorada.

O Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) é um banco de dados público criado pela CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) com o objetivo de coletar, armazenar, sistematizar e disponibilizar informações referentes aos poços tubulares (Nascimento *et al.* 2008). Os dados são fornecidos pelo órgão gestor estadual, que recebe os pedidos de outorgas dos poços e encaminha para a CPRM. Após analisar esses dados, a CPRM os disponibiliza através do SIAGAS Web (Figura 9).



Figura 9 Plataforma de pesquisa de dados do SIAGAS.

A Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), também da CPRM, é composta por poços existentes (cedidos) e poços construídos de modo que a distribuição e densidade sejam suficientes para obtenção de valores representativos das condições hidrogeológicas e permitam a identificação de impactos às águas subterrâneas, a estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo, dentre outras informações (CPRM, 2012).

Os módulos do SIAGAS e do RIMAS possibilitam consulta, pesquisa, extração e geração de relatórios. A pesquisa pode ser feita através das coordenadas, ou inserindo a bacia hidrográfica, região, estado e município da área de interesse. Para este trabalho foram feitos os

downloads dos dados em formato de planilha, selecionando apenas os parâmetros de interesse. Esses dados se referiam à localização, testes de bombeamento e observações.

O Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) disponibiliza serviços on-line ao cidadão através do Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA) (Figura 10). Nessa plataforma as pesquisas foram feitas através do número do processo, CPF/CNPJ, nome do requerente do processo ou do empreendimento. Estes dados utilizados para a pesquisa foram disponibilizados pelo Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), uma plataforma de cadastramento e armazenamento de dados que é gerida pela Agência Nacional das Águas (ANA). Os arquivos obtidos incluem formulários de dispensas de outorga, relatórios de perfuração de poços, projetos básicos do empreendimento e portarias de outorga. Os dados foram baixados e analisados individualmente para que se obtivessem as informações necessárias e foram consolidados em uma tabela.

The image shows the SEIA search interface. At the top, there is a green banner with the SEIA logo and the text 'Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos'. Below the banner, the page title is 'SEIA | Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos'. A paragraph of text explains that users should click on filters and then the 'Consultar' button. The search form includes the following fields: 'Nº do processo:' (text input), 'CPF/CNPJ:' (text input), 'Nome / Razão Social / Nome fantasia:' (text input), 'Nome do empreendimento:' (text input), and 'Localidade:' (dropdown menu with 'Selecione...' as the selected option). There are two buttons: 'Consultar' and 'Limpar'. At the bottom, there is a note: 'Para ampliar a consulta para os processos em análise técnica no INEMA, você deve acessar através do seu login no SEIA (Anu.), na opção "Consulta Pública".' The footer contains the INEMA logo and the text 'Instituto do Meio Ambiente'.

Figura 10 Plataforma de pesquisa do Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos

Após a coleta dos dados, esses passaram por avaliação quantitativa e qualitativa, representada por gráficos que permitem uma melhor visualização da análise.

4.4 Consolidação e análise de informações hidrogeológicas

Os dados coletados em bancos públicos (SIAGAS, INEMA, CNARH) totalizaram 2305 poços. Contudo, foi necessário levar em consideração que as informações poderiam ter ambiguidade, ou seja, alguns poços estão cadastrados em mais de um banco. Os dados evoluem constantemente, de modo que o presente levantamento inclui os dados obtidos até setembro de 2018.

Com o intuito de remover os dados duplicados, a etapa subsequente do trabalho foi uma análise detalhada destes. As informações foram unidas em uma planilha e, em seguida, foram ordenadas com base nas coordenadas de localização de cada ponto para facilitar a busca por poços ambíguos.

As coordenadas do mesmo poço poderiam variar alguns metros de uma base para outra. Ciente disso, a busca não foi feita apenas por coordenadas iguais, mas também pelas semelhantes, tornando necessário observar os outros parâmetros.

Através dessa análise mais detalhada foram encontradas falhas e lacunas nas informações hidrogeológicas disponibilizadas. Após a unificação dos dados, para uma avaliação quantitativa e qualitativa, foram gerados gráficos e tabelas, que possibilitaram melhor visualização e interpretação.

Através do *Software* ArcGIS 10.2.2 foram elaborados mapas de interpolação de dados geoespaciais. Os valores de níveis estáticos foram subtraídos da cota altimétrica do Modelo Digital de Elevação, obtido a partir do SRTM, e esses dados interpolados através da *Kriging* gerando um mapa potenciométrico. O mesmo método foi utilizado para interpolar as cotas nos níveis dinâmicos dos poços.

Outros atributos interpolados foram a vazão dos poços, a cota da profundidade, transmissividade dos dados do SIAGAS e a vazão específica. Nestes foi utilizado o método de interpolação Inverse Distance Weighted (IDW) que calcula o valor de um local sem informação utilizando os valores amostrados à sua volta.

4.5 Elaboração do modelo hidrogeológico conceitual

O processamento das informações obtidas nas pesquisas às bases de dados secundárias e na campanha de campo, somado à interpretação da bibliografia já existente possibilitou a elaboração de um modelo conceitual hidrogeológico do Sistema Aquífero Urucuia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise e interpretação dos dados hidrogeológicos

5.1.1 Banco de dados

O levantamento de informações sobre os recursos hídricos subterrâneos em bancos de dados públicos gerou os resultados contabilizados na Tabela I. Os principais parâmetros obtidos foram: localização do ponto, níveis *d'*água estáticos e dinâmicos, vazão de bombeamento, profundidade do poço e finalidade de uso.

Através da pesquisa, o total de pontos obtidos do banco de dados do INEMA foi de 235 poços, sendo que deste total, apenas 139 apresentavam informações sobre profundidade dos poços, 173 sobre vazão, 175 sobre nível estático e 177 sobre nível dinâmico.

A maior base de dados encontrada foi a do SIAGAS, na qual foram obtidos 1037 poços, sendo que destes, as informações sobre as vazões dos poços só foram fornecidas em 481, sobre a profundidade em 780 poços, nível estático de 460 poços e nível dinâmico de 260 poços.

Na tabela disponibilizada pelo CNARH, estavam cadastrados 808 poços, dos quais apenas 399 poços informavam a vazão, 381 poços a profundidade, 442 poços o nível estático e 438 poços o nível dinâmico.

Tabela I Número de informações obtidas em cada banco de dados.

PARÂMETROS	NÚMERO DE DADOS		
	INEMA	SIAGAS	CNARH
TOTAL DE PONTOS CADASTRADOS	235	1037	808
VAZÃO	173	481	399
PROFUNDIDADE	139	780	381
NÍVEL ESTÁTICO	177	460	442
NÍVEL DINÂMICO	175	260	438

5.1.2 Consolidação dos dados

O total de poços encontrados no levantamento foi de 2305. Após a consolidação foram contabilizados 1616 poços cadastrados. Sendo que deste total, apenas 259 poços têm informações completas sobre: profundidade, vazão requerida, vazão de estabilização, níveis estático e dinâmico.

Para uma avaliação quantitativa e qualitativa dos dados foram gerados tabelas, gráficos e mapas que possibilitam melhor visualização e interpretação. A Tabela II informa o número de dados disponíveis de cada parâmetro.

Tabela II Quantificação de dados disponíveis sobre cada parâmetro.

PARÂMETRO	NÚMERO DE DADOS
TOTAL DE PONTOS UTILIZADOS	1616
FINALIDADE	1141
PROFUNDIDADE	1116
NÍVEL ESTÁTICO	910
NÍVEL DINÂMICO	711
VAZÃO APÓS ESTABILIZAÇÃO	767
VAZÃO REQUERIDA	780

Remoção de dados inconsistentes

Além das lacunas encontradas nos dados, durante a análise foram observados padrões de irregularidades nos dados, informações com valores que se mostraram muito discrepantes em relação a maioria, que podem ter sido causados por erros de digitação ou erros durante a coleta dos dados.

Esses dados foram analisados caso a caso e, quando considerados inconsistentes, foram eliminados. Por exemplo, nos seguintes casos:

- Vazões requeridas de 130.357 m³/dia e 7.101.990 m³/dia, são valores discrepantes com relação aos outros poços, que chegam a no máximo 12.000 m³/dia.
- Vazões requeridas para consumo humano com valores superiores a 1.000 m³/dia. Considerando que a quantidade de água necessária por pessoa é de cerca de 200 litros por dia, esse valor seria capaz de abastecer 5.000 pessoas. Por esse motivo, esses dados não foram utilizados na somatória das vazões requeridas para consumo humano.

Esses casos precisaram ser removidos para que não afetem a credibilidade da análise estatística.

Profundidade

Foram localizados 1116 registros sobre a profundidade dos poços. Esses valores atingem, em casos extraordinários, até 400 metros. Entretanto, como pode ser observado no gráfico da Figura 11, predominam poços com profundidade entre 80 e 120 metros.

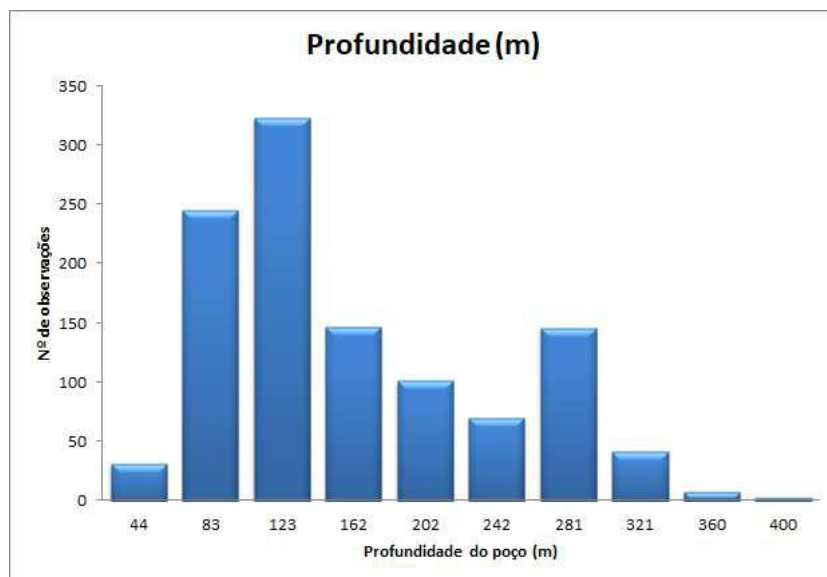


Figura 11 Gráfico de frequência com a distribuição da variável profundidade.

Finalidade de uso

A finalidade de uso da água subterrânea foi outro parâmetro analisado e dos 1616 poços cadastrados, apenas 1141 (70%) especificam o tipo de uso do recurso hídrico. Os outros 475 poços (30%) não têm informação. O gráfico da Figura 12 representa a distribuição percentual do número de poços para cada tipo de uso.

Os dados mostram que 337 poços exploram água para irrigação, ou seja, 21% do total de poços cadastrado, e 474 poços utilizam o recurso para consumo humano, 29% do total.

A categoria “Uso múltiplo”, que comporta 118 poços, representa os poços que exploram o recurso para mais de uma finalidade, por exemplo, consumo humano, criação animal e pulverização agrícola; ou irrigação, criação animal e pulverização agrícola.

A dessedentação animal justifica a exploração de água em 84 poços, representando 5% do total de poços cadastrados. O setor industrial é responsável por 52 poços na região, 3% dos cadastros.

O monitoramento, feito por órgãos públicos, é realizado através de 50 poços em toda a área de estudo, representando 3% do total de poços encontrados.

As categorias “Uso urbano” e “Pulverização agrícola” representam apenas 2% dos dados obtidos.

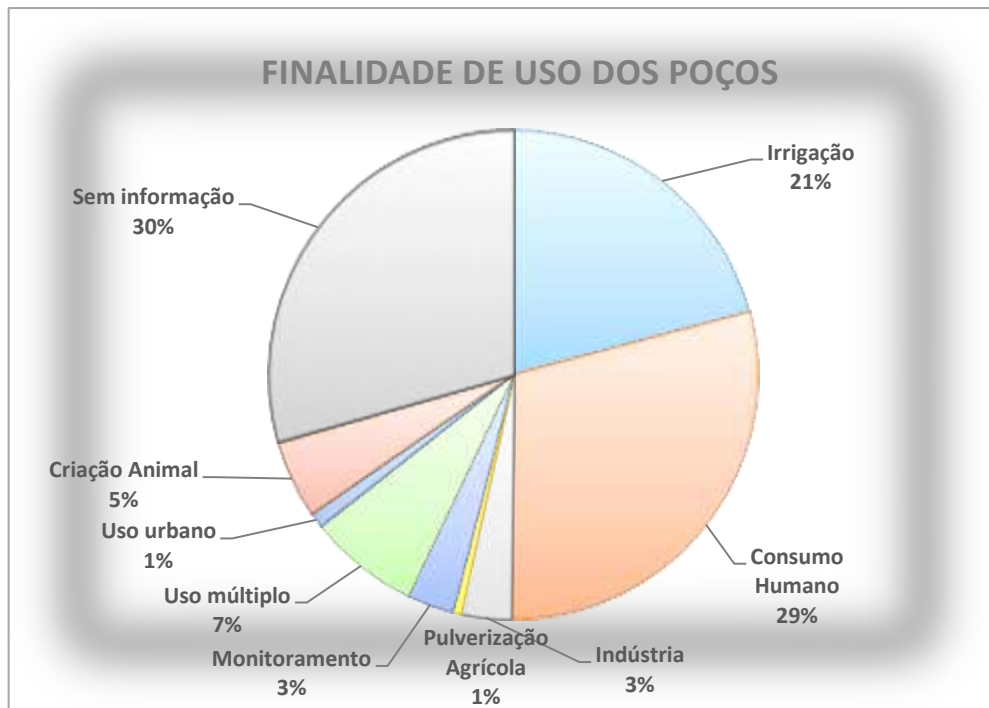


Figura 12 Gráfico de setores representando a finalidade de uso da água.

Nível estático (NE) e nível dinâmico (ND)

As informações dos níveis estáticos estão disponíveis em 910 pontos e os valores chegam a 250 metros, no entanto a maioria dos registros ocorre na faixa de 50 metros de profundidade, conforme interpretado através do gráfico da Figura 13.

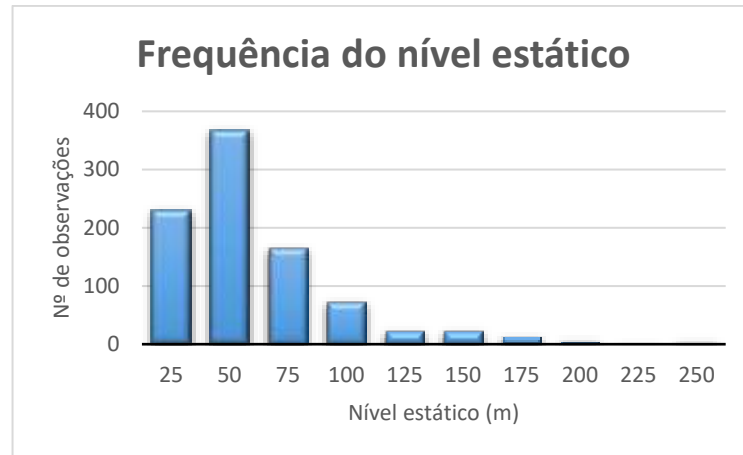


Figura 13 Gráfico de frequência dos níveis d'água estáticos.

Foram observados 711 registros referentes ao nível dinâmico dos poços, com valores chegando a 250 metros de profundidade e, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 14, a maioria dos dados estão entre 50 e 75 metros.

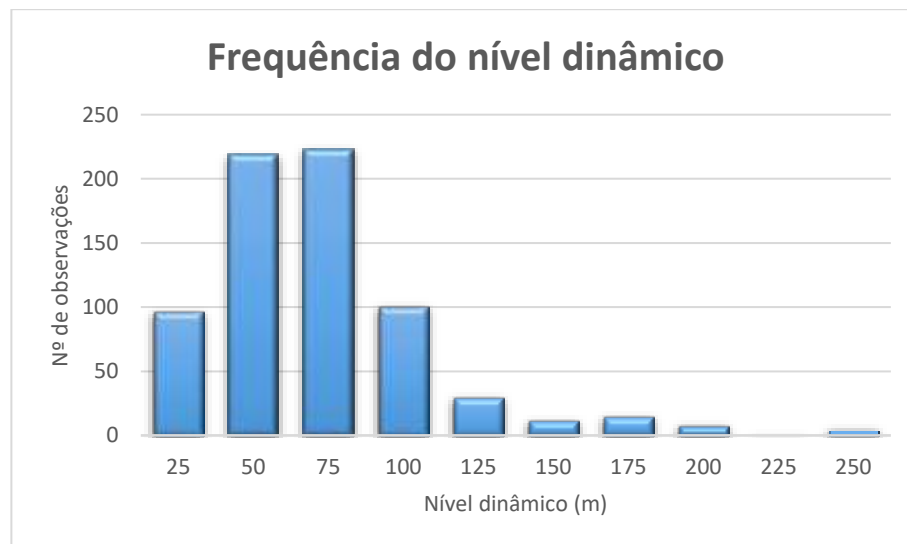


Figura 14 Gráfico de frequência dos níveis d'água dinâmicos.

Vazão requerida

Dos 780 dados coletados referentes à vazão requerida, foi observado um comportamento mostrando que há uma alta variabilidade nas vazões dos poços, com muitos dados longe da média. Com a finalidade de facilitar a visualização das informações, foi estabelecida uma subdivisão.

Do total de dados sobre vazão, 530 poços apresentaram valores inferiores a 100 m³/dia, representados no gráfico da Figura 15, enquanto requerimentos superiores a 100 m³/dia foram informados por 250 poços, gráfico da Figura 16. No entanto, apesar dos poços de vazões altas

representarem um terço da quantidade de dados, são responsáveis por 98% do volume total de vazão.

Os poços de vazões mais baixas, exploram em média 26 m³/dia, a somatória desses valores resulta em 14.160 m³ bombeados por dia. Enquanto os poços de altas vazões são responsáveis por uma média de 5.500 m³/dia, e apresentam um total de extração do recurso de 1.342.074 m³/dia.

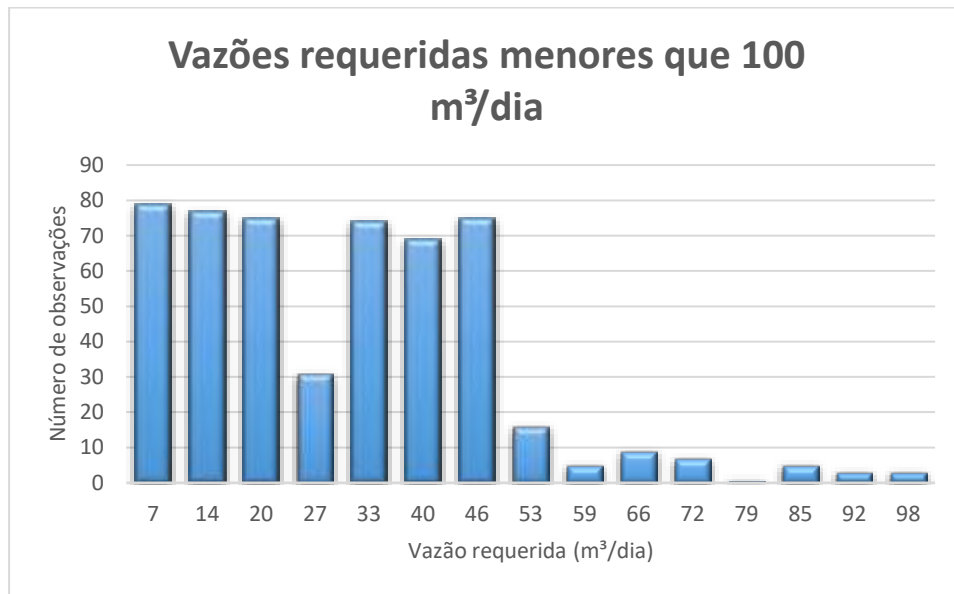


Figura 15 Gráfico de frequência das vazões requeridas inferiores a 100 m³/dia.

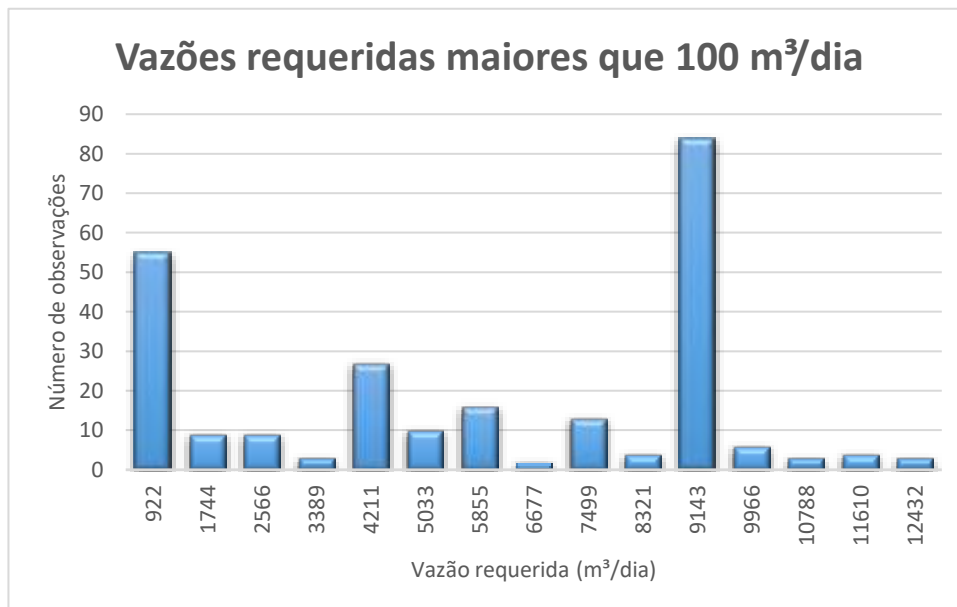


Figura 16 Gráfico de frequência das vazões requeridas superiores a 100 m³/dia.

Relação entre volume de vazão e finalidade

Observando as somas das vazões requeridas para cada finalidade na Tabela III fica claro que o maior usuário da água subterrânea na região de estudo é o agronegócio. Na Figura 17 foi representada, através de um gráfico de setores, a distribuição do volume de uso.

Tabela III Somatória da vazão requerida para cada finalidade.

FINALIDADE	VAZÃO REQUERIDA (M ³ /DIA)
IRRIGAÇÃO	1.132.489
SEM INFORMAÇÃO	167.478
INDÚSTRIA	18.855
USO MÚLTIPLO	10.665
USO URBANO	8.272
CONSUMO HUMANO	7.720
PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA	6.947
CRIAÇÃO ANIMAL	3.807
TOTAL	1.356.234

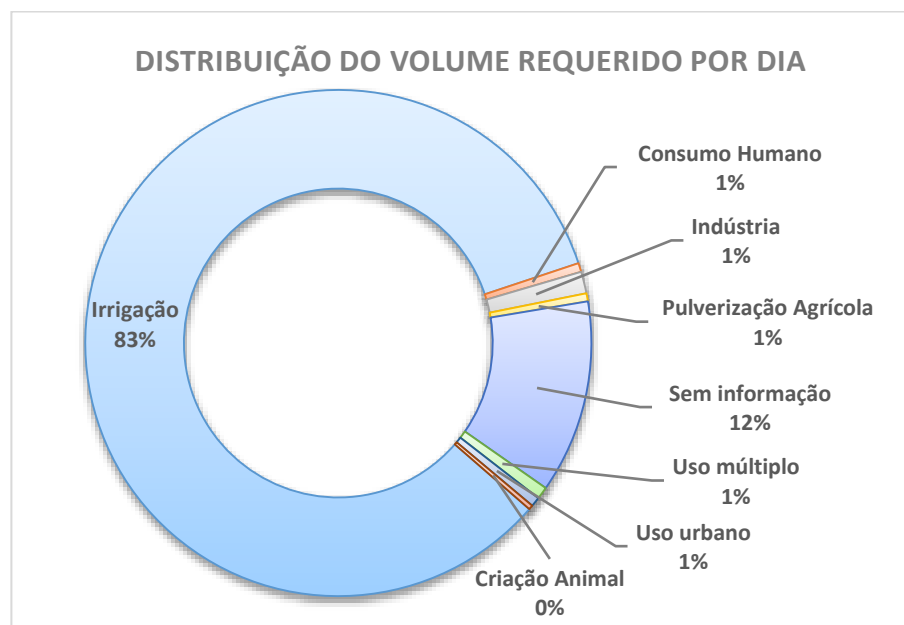


Figura 17 Gráfico de setores representando o volume d'água requerido por dia.

O gráfico da Figura 18 exibe a frequência de vazões requeridas para irrigação, com valores chegando a mais de 11.000 m³/dia e uma média de 6.500 m³/dia. A soma desses valores resulta em 1.132.489 m³ de água explotados por dia, destinados a irrigação, em toda a área de estudo. No entanto, dos 337 poços que declaram este uso, apenas 181 disponibilizam suas

vazões requeridas, ou seja, o volume explotado provavelmente é muito superior ao total calculado.



Figura 18 Gráfico de frequência de vazão requerida para irrigação, em m³/dia.

Quando se trata do abastecimento humano, apenas 275 poços dos 474 que declaram esse uso têm informações sobre as vazões requeridas. Na Figura 19 o gráfico mostra a frequência desses valores e possibilita observar que os poços utilizados para abastecimento humano bombeiam quantidades muito inferiores a exploração para irrigação, em média 30 m³/dia, somando 7.720 m³/dia em toda a área estudada.



Figura 19 Gráfico de frequência de vazão requerida para abastecimento humano, em m³/dia.

Esses valores indicam que, apesar da maioria dos poços cadastrados ter como finalidade o abastecimento humano, conforme observado no gráfico da Figura 12, a irrigação é

responsável pelo maior volume de água explorado do SAU, correspondendo a 83% do total, somando um volume de 1.132.489 m³/dia.

No entanto, é importante ressaltar que a exploração para irrigação não ocorre durante todos os dias do ano. Como o verão da região é marcado por altos índices de chuvas, os valores explorados são muito inferiores aos meses secos de inverno.

5.1.3 Resultados cartográficos: mapas de isovalores

O mapa da Figura 20 mostra a localização dos 1616 poços tubulares utilizados no presente trabalho. São observados alguns locais onde os dados são precários, gerando interferências nas interpolações produzidas no estudo.

A carência de informações na porção norte da área de estudo, em Formosa do Rio Preto, pode ser justificada pela falta de infraestrutura. Nessa região predominam as plantações de sequeiros, os quais não precisam de irrigação frequentemente, já que a eletricidade é precária e as fazendas utilizam geradores para bombear a água dos poços, que não costumam ser de altas vazões como os da porção central.

A extremidade SW da área também é marcada por carência de dados por se tratar de uma área de preservação ambiental pertencente ao Parque Nacional Grande Sertão Veredas, no município de Cocos.

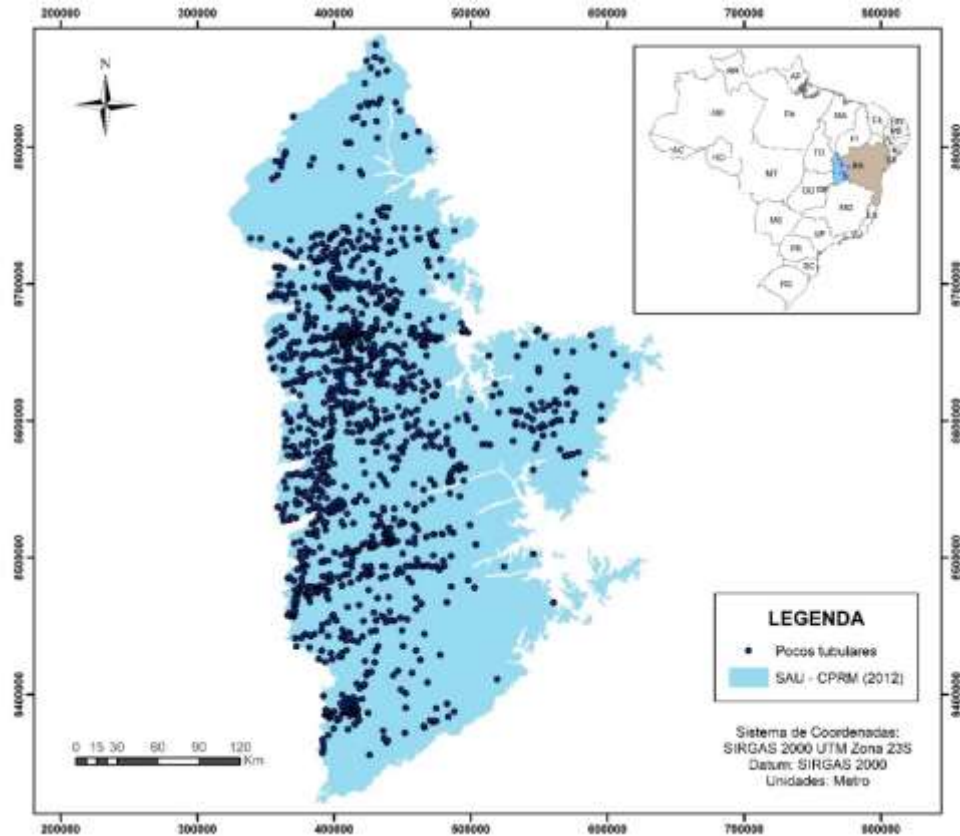


Figura 20 Localização dos poços tubulares na área de estudo.

Através da análise dos gráficos da Figura 13 e da Figura 14 foi possível observar que a maioria dos poços apresenta níveis estáticos inferiores a 50 m de profundidade. Enquanto os níveis dinâmicos são mais frequentes entre 25 e 75 m.

A inserção das informações dos níveis estáticos no *Software* ArcGIS e a subtração desses valores do Modelo Digital de Elevação, obtido a partir do SRTM, gerou as cotas dos níveis d'água nos poços antes do bombeamento. Esses dados foram utilizados para elaboração de um mapa potenciométrico (Figura 21), através da *Kriging*, um método de interpolação de dados geoespaciais.

Através da análise do mapa é possível indicar a direção de fluxo no aquífero. A água subterrânea se movimenta dos níveis potenciométricos mais altos, representados pelos tons vermelhos na borda oeste da área de estudo, para os níveis de menor potencial, tons azuis na borda leste do aquífero. No extremo leste, na região central da área, é possível observar que o fluxo não segue o mesmo padrão do restante do aquífero, indo de SE para NW.

Foram observados 711 registros referentes ao nível dinâmico dos poços, com valores chegando a 250 metros de profundidade e a maioria na faixa entre 50 e 75 metros. Subtraindo esses dados da cota altimétrica da superfície obtida pela imagem SRTM, foi possível interpolar

a cota dos níveis dinâmicos. O mapa do ND (Figura 22) mostra um comportamento similar ao potenciométrico.

A interpolação das cotas altimétricas das profundidades dos poços tubulares foi feita através do método IDW (Figura 23). Esses valores permitem a comparação dos níveis de onde o recurso hídrico está sendo extraído. Apesar da alta variabilidade e dispersão dos valores, é possível notar que na borda oeste em geral esses valores são mais altos que na borda leste.

Esse método também foi utilizado para a interpolação das vazões dos poços tubulares (Figura 24). A distribuição desses dados no mapa é dispersa. A Figura 25 mostra a distribuição dos poços sobre o mapa de interpolação, destacando os pontos vermelhos para poços com finalidade de irrigação e pontos brancos representando os outros usos. Fazendo essa relação é possível observar que, em geral, as concentrações de poços utilizadas pelo agronegócio coincidem com locais que se concentram as maiores explorações.

Outros dados interpolados foram a transmissividade, utilizando apenas os dados do SIAGAS, que está representada pelo mapa da Figura 26, e a vazão específica dos poços, na Figura 27. As informações de transmissividade não estavam disponíveis na porção norte da área de estudo, na região da Bacia hidrográfica do Médio Rio Grande. Como a ausência de informações pode afetar o resultado do mapa, foi interpolado apenas no restante da área.

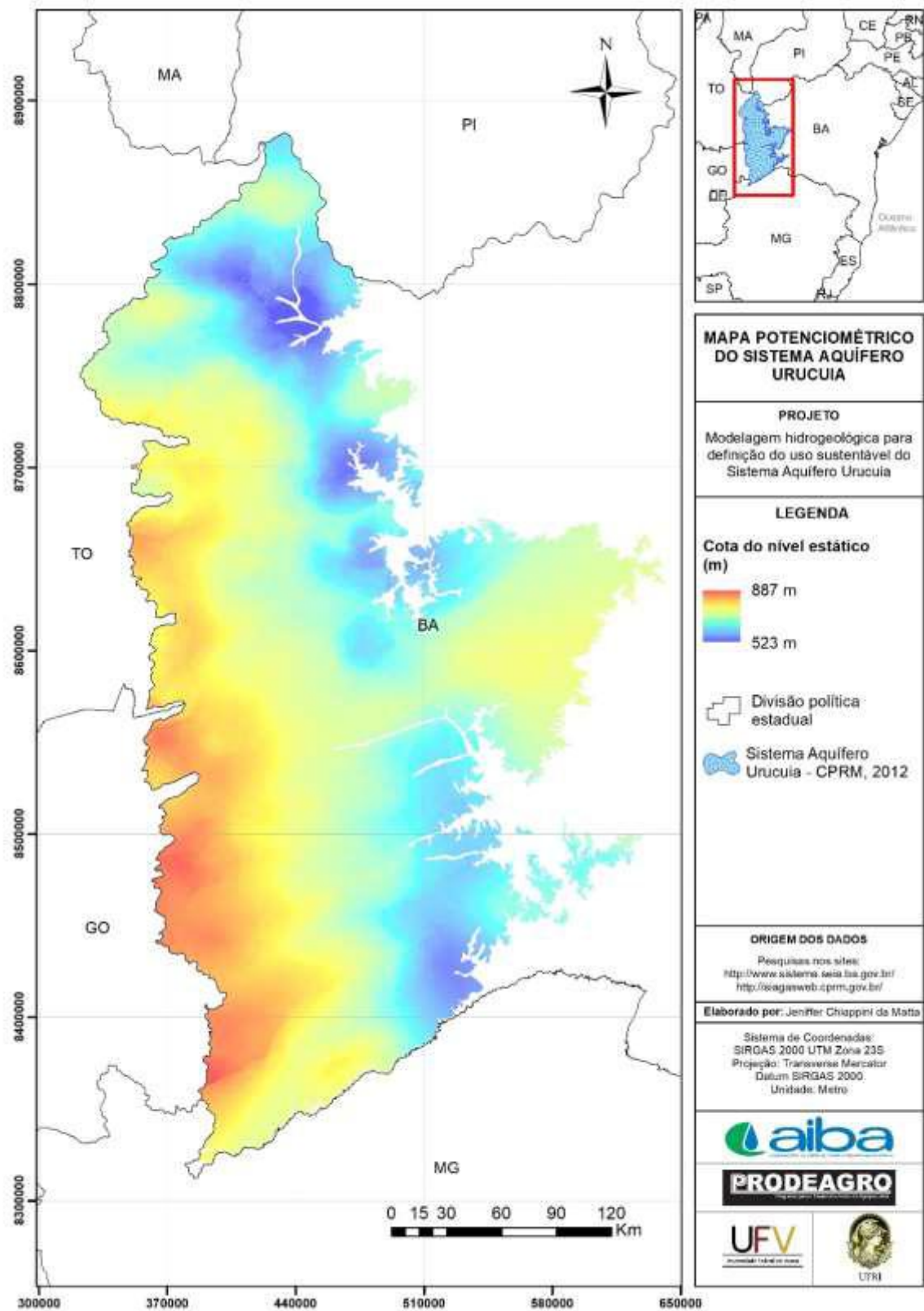


Figura 21 Mapa potenciométrico obtido através da interpolação dos níveis estáticos.

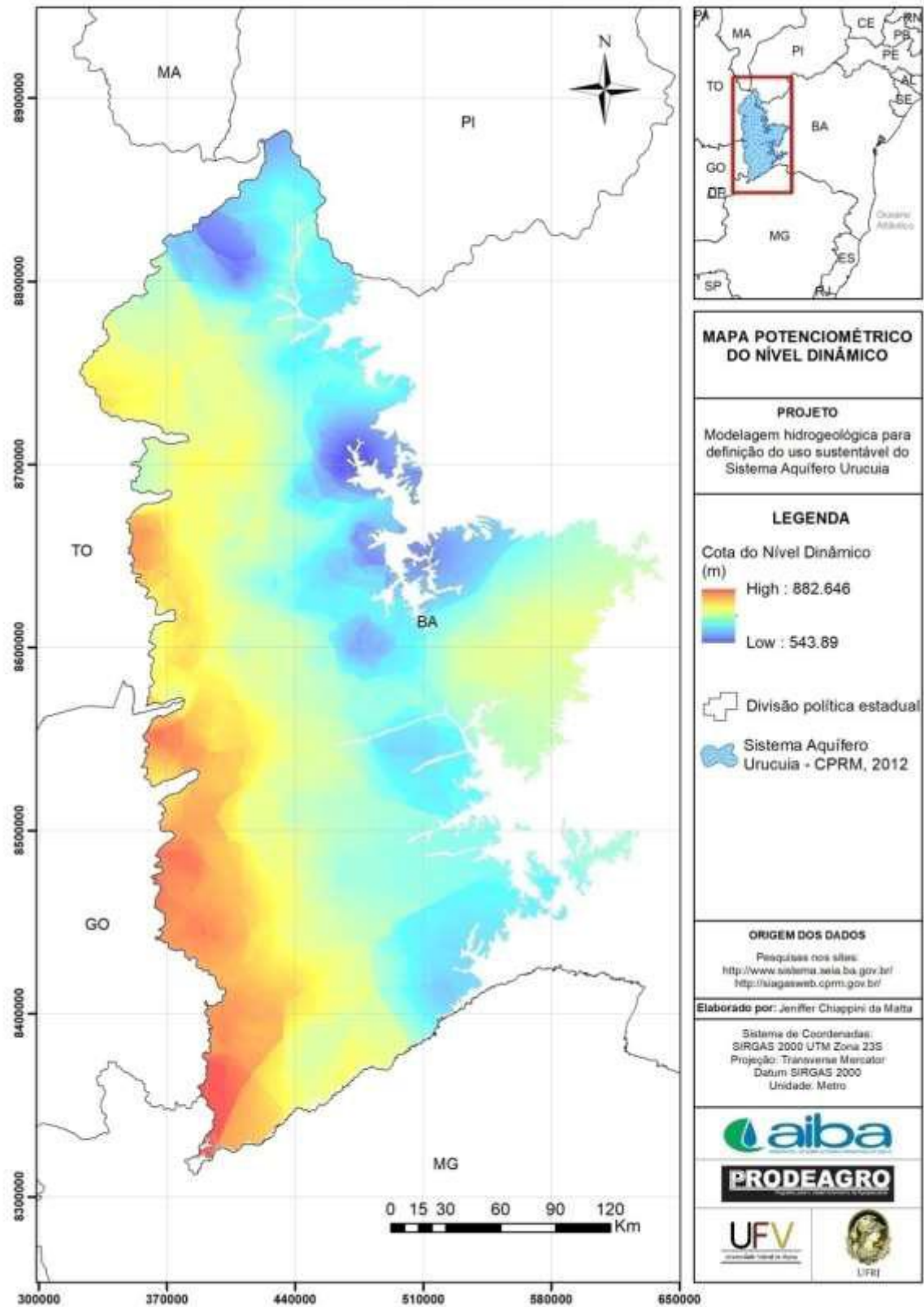


Figura 22 Mapa de interpolação do nível dinâmico.

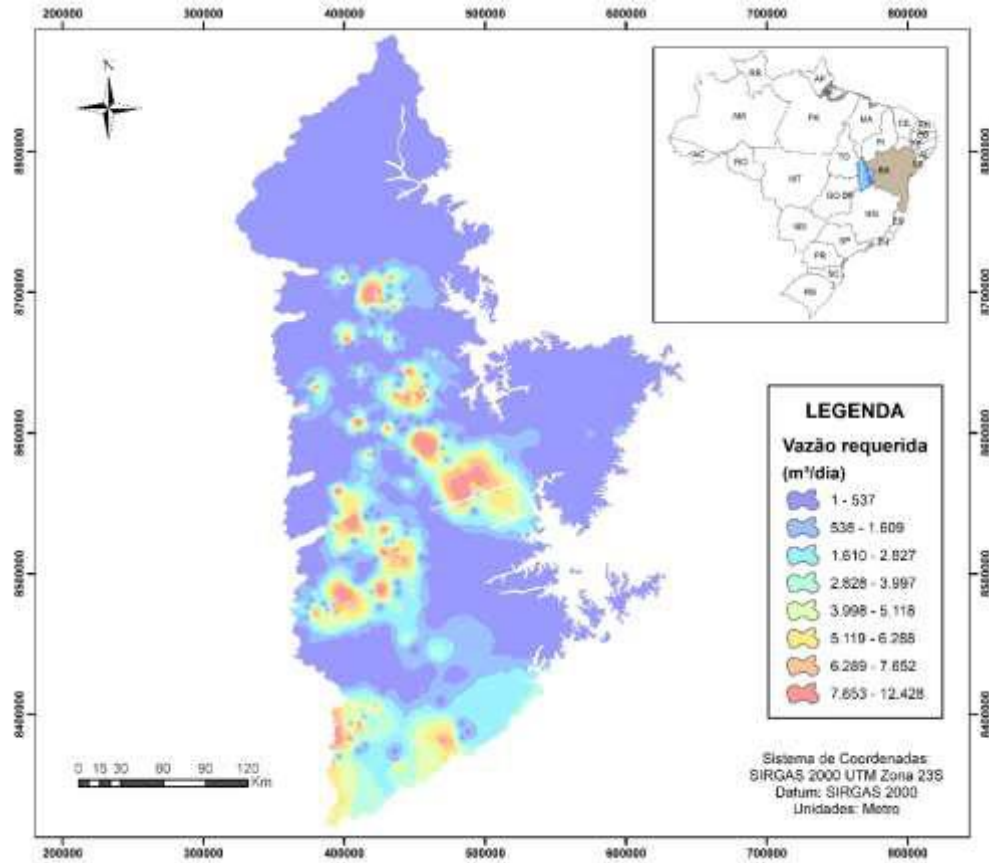


Figura 24 Mapa de distribuição das vazões requeridas pelos poços tubulares no SAU.

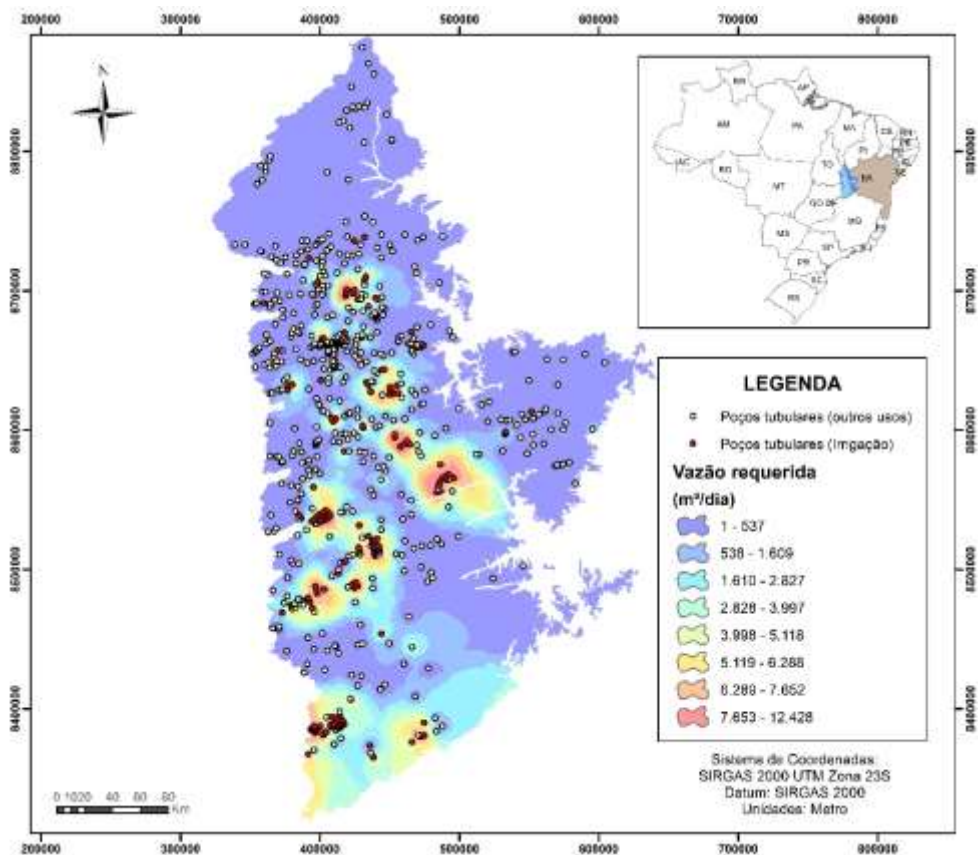


Figura 25 Mapa de distribuição da vazão e poços de irrigação (em vermelho).

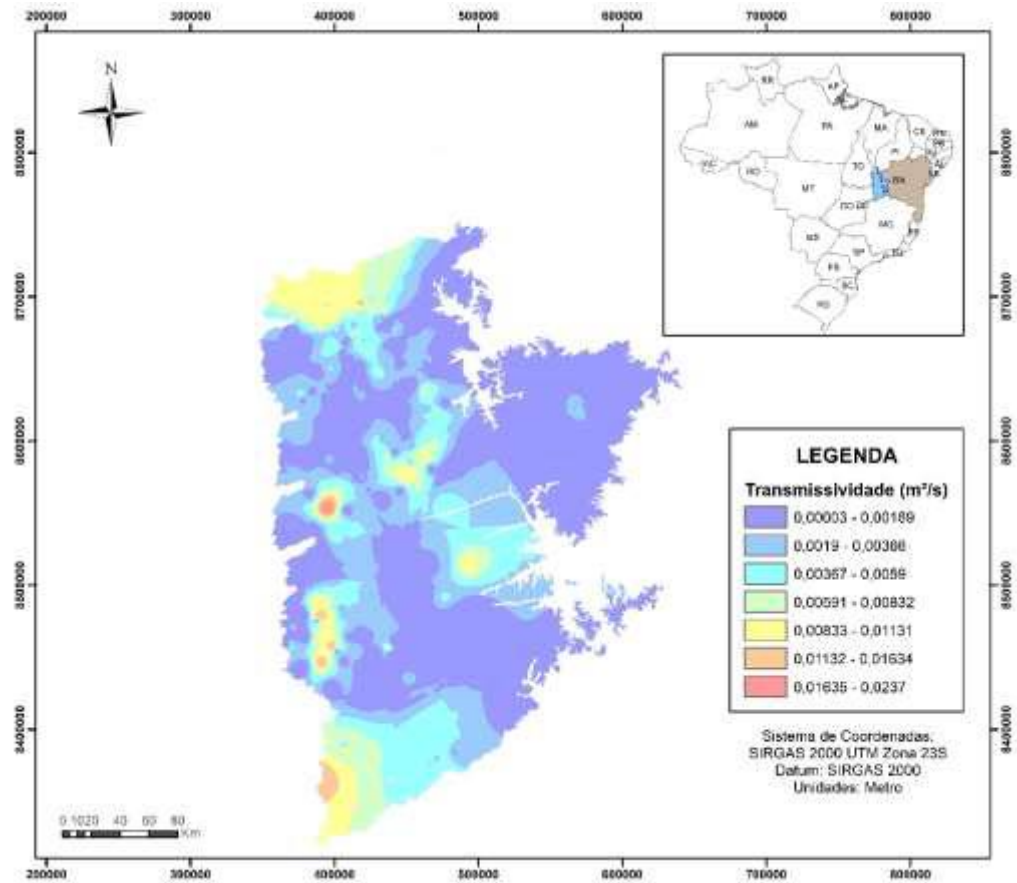


Figura 26 Mapa de interpolação da transmissividade calculada pelos dados do SIAGAS.

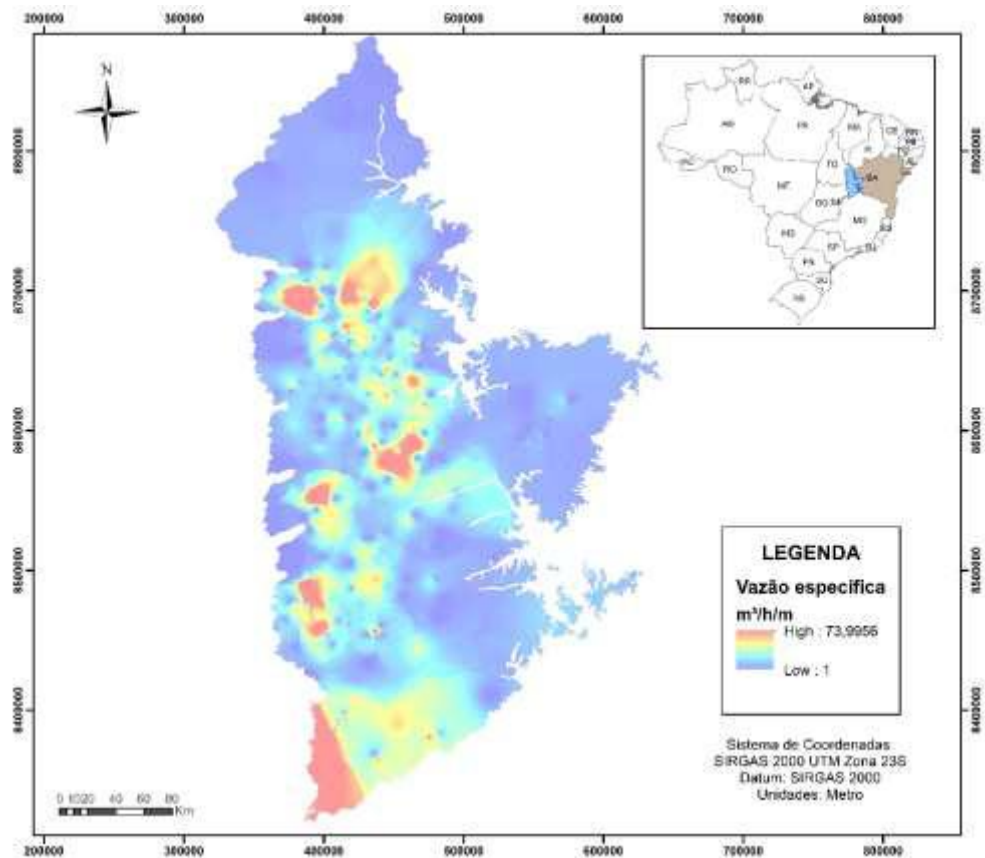


Figura 27 Interpolação da vazão específica calculada para os poços tubulares.

5.2 Modelo conceitual do Sistema Aquífero Urucuia

O tratamento dos dados obtidos durante as pesquisas gerou resultados que puderam ser utilizados como subsídio, junto às investigações bibliográficas, para a elaboração de um modelo simplificado do Sistema Aquífero Urucuia.

O SAU é considerado um conjunto de aquíferos que ocorre em arenitos do Grupo Urucuia, unidade geológica correspondente ao Cretáceo superior da Bacia Sanfranciscana (Gaspar, 2006), com espessura variando entre 25m e 600m (Gaspar *et al.* 2012). O Grupo Urucuia é subdividido nas formações Posse e Serra das Araras. A inferior, Fm. Posse, é caracterizada por arenitos de origem eólica na *fácies 1* e de sistema fluvial entrelaçado na *fácies 2*. Enquanto a inferior, denominada Fm. Serra das Araras, é descrita como arenitos de origem fluvial com estratificações plano paralelas e cruzadas de pequeno porte, com níveis silicificados (Campos & Dardenne 1997a).

Rodrigues *et al.* (2009) considera a ocorrência de dois aquíferos, um na camada litológica inferior, Aquífero Posse, que apresenta transmissividade na ordem de 10^{-2} m²/s e coeficiente de armazenamento de 10^{-4} , caracterizado como semiconfinado; e o aquífero da camada superior Serra das Araras, com transmissividade da ordem de 10^{-3} m²/s, condutividade hidráulica horizontal de 5×10^{-5} m/s e vertical de 8×10^{-5} m/s, indicando dupla porosidade.

Os valores da transmissividade calculados através dos dados do SIAGAS geraram valores da ordem de 10^{-5} a 10^{-2} m²/s. No entanto, é possível observar através dos mapas de interpolação, que os valores mais altos desse parâmetro coincidem com locais onde estão mais concentrados os poços para irrigação, que são os mais profundos e suas vazões são mais elevadas. O que pode indicar que estes atingem a camada mais profunda, o Aquífero Posse, com transmissividades mais altas.

A figura 28 mostra o modelo conceitual do SAU na Bahia com suas principais feições.

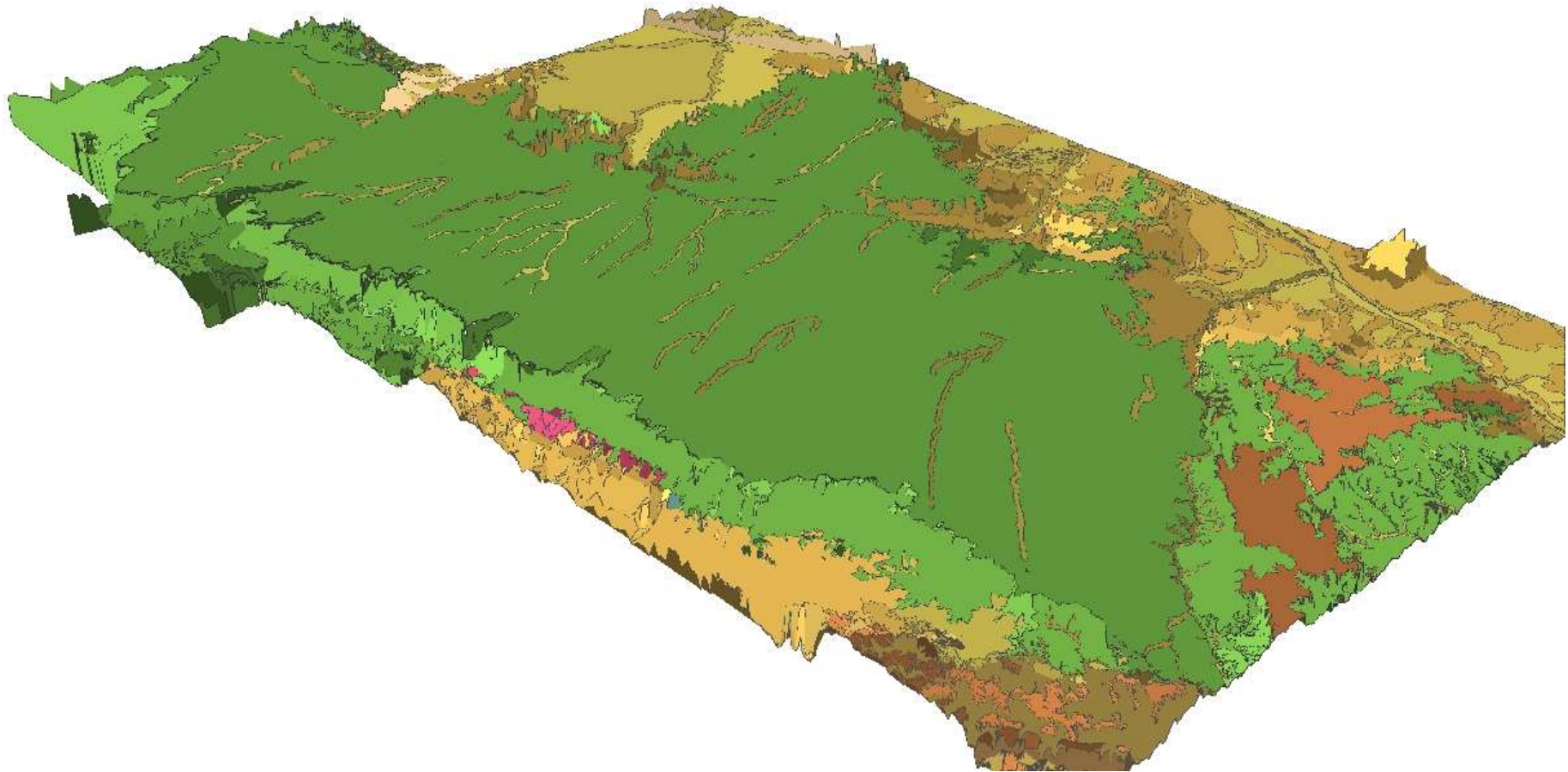


Figura 28 Modelo conceitual do SAU no estado da Bahia. O tom verde escuro corresponde à Fm. Serra da Araras e o verde claro à Fm. Posse.

6 CONCLUSÕES

Através da análise de dados secundários proposta pelo presente trabalho, foi possível detectar um número significativo de lacunas nas informações disponibilizadas. Essas lacunas dificultam a disponibilidade de ferramentas para gestão adequada do aquífero.

Além da ausência de informação, alguns dados apresentaram valores discrepantes, que diminuiriam a credibilidade dos resultados do estudo. Portanto, fez-se necessária uma análise individual de cada caso, para que os valores que apresentassem inconsistência fossem eliminados.

Após a consolidação dos dados disponibilizados por bancos públicos, foram elaborados gráficos e mapas de distribuição das informações afim de tornar mais clara a visualização do comportamento de cada parâmetro na área de estudo.

A análise permite observar que a maioria dos poços estão concentrados na porção centro-ocidental da região estudada. Um dos possíveis motivos para a carência de informações de poços tubulares na porção norte pode ser por se tratar de fronteira da expansão agrícola e na região prevalecer a agricultura de sequeiro.

Outra observação importante obtida através da análise dos dados foi a comparação do volume d'água explorado para cada finalidade. Os resultados indicam que apesar do número de poços para abastecimento humano superar a quantidade para irrigação, a somatória do volume explorado indica que o agronegócio é responsável por sua imensa maioria, já que utilizam poços de altas vazões e altas profundidades.

Através dos mapas de interpolação foram observadas características com relação ao fluxo, que ocorre em quase toda área na direção SW-NE; além da transmissividade do aquífero, sendo observada uma variedade desses valores.

O monitoramento de corpos hídricos subterrâneos é fundamental para a gestão dos mesmos. A consolidação, análise e interpretação dos dados hidrogeológicos existentes, somados a pesquisa bibliográfica foram subsídio para uma caracterização hidrogeológica, importante para o planejamento e gestão do aquífero.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, N. S.; LEAL, L. R. B.; BARBOSA, N. S.; MELLO, J. C.; SANTOS, C. B.; LIMA, O. A. L. 2014 Caracterização geométrica e hidráulica do Sistema Aquífero Urucuia Meridional com base em testes de aquífero e levantamentos geofísicos elétricos ...
- BONFIM, L.F.C., GOMES, R.A.A.D., 2004. Aquífero Urucuia – Geometria e Espessura: Idéias para Discussão. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, XX, Cuiabá (MT), Anais. 1 CD-ROM.
- CAMPOS J.E.G. e DARDENNE, M.A. 1997a. Estratigrafia e sedimentação da bacia São Franciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, v.27, p.269-282. 1997.
- CAMPOS, J.E.G.; DARDENNE, M.A. 1997b. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(3): 283-294
- CAMPOS, J. E. & DARDENNE, M. A. 1994. A Glaciação Neopaleozóica na Porção Meridional da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, 24 (2): 65-76
- CAMPOS, J. E. G. 1992. A Glaciação Permo-Carbonífera nas regiões de Canabrava e Santa Fé de Minas – MG. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. 104 p.
- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais 2012, Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: Relatório Diagnóstico Sistema Aquífero Urucuia. Bacia sedimentar Sanfranciscana. 43 p, il. v.10, Belo Horizonte, 2012
- DARDENNE M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo no Brasil Central. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30. Recife, 1978. Anais... 2,; p.597-610.
- DÁVILA C. A. R.; KUYUMJIAN R. M. Mineralizações de Ouro o tipo Orogênico em Arco Magmático Paleoproterozóico, Borda Oeste do Cráton São Francisco, Regiões de São Domingos (Go) e Correntina (Ba). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 02, p. 187-198, 2005. ISSN 0375-7536
- GASPAR, M.T.P. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. 2006. 158 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.
- GASPAR M.T.P. & CAMPOS J.E.G. 2007. O Sistema Aquífero Urucuia. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4):216-226.
- GÓES, A. M. O. & FEIJÓ, F. J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8 (1): 57-67.
- GONÇALVES, R. D.; ENGELBRECHT, B. Z.; CHANG, H. K. Evolução da Contribuição do Sistema Aquífero Urucuia para o Rio São Francisco, Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2018.
- KÖPPEN W. *Climatologia: com um estúdio de los climas de La Tierra*. F. de Cultura. México. 478p. 1948.

- NASCIMENTO, Flávia M. F.; CARVALHO, José Emílio; PEIXINHO, Frederico Claudio. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS: Histórico, Desafios e Perspectivas. In: Anais, XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.
- RODRIGUES, Z. R. C., Maia, P. H. P., Lima, C. E. S.; Araújo, V. M.; Cruz, L. V. M. 2009. Hidrodinâmica do Sistema Aquífero Urucuia e Seu Rebatimento Para A Gestão Da Água Na Região Oeste Do Estado Da Bahia. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo.
- ROSA, M. L. S.; CONCEIÇÃO, H.; PAIM, M.M.; SANTOS, E. B.; ALVES DA DISVA, F. C.; LEAHY, G. A. S. & BASTOS LEAL, L. R. 1996 Magmatismo potássico/ultrapotássico pós a tardi orogênico (associado a subducção) no oeste da Bahia: batólito monzo-sienítico de Guanambi-Urandi e os Sienitos de Correntina. *Geochimica Brasiliensis*, 10 (1):27-42.
- SCHUSTER H.D.M, SILVA F.F., TEIXEIRA S.L., BATISTA L.H.G. & FREITAS W.A. 2002. Estudos Hidrogeológicos do Aquífero Urucuia no Oeste baiano para Obtenção de Parâmetros nas outorgas de mananciais Subterrâneos. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Santa Catarina, CD-ROM.
- SGARBI G.N.C. 1989. Geologia da Formação Areado, Cretáceo Médio a Inferior da Bacia do São Francisco, oeste do Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 324p.
- SGARBI, G. N. C.; SGARBI, P. B. de A.; CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. & PENHA, U. C. 2001. Bacia Sanfranciscana: O Registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco. In PINTO, C. P. & MARTINS-NETO, M. A. Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. SBG/MG – Belo Horizonte, p. 93-138.
- SPIGOLON, A.L.D.; ALVARENGA, C.J.S. 2002. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* (2002), 32(4): 397 - 405.
- VAZ, P.K. *et al.* 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Rio de Janeiro, 15:253-263.