



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

DAIANE VOLFF FERREIRA

VULNERABILIDADE E CARTOGRAFIA DO AQUIFERO ITAPECURU, NO NÚCLEO
CIDADE NOVA, DE MARABÁ/PARÁ COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS.

Marabá/Pa

2016

DAIANE VOLFF FERREIRA

VULNERABILIDADE E CARTOGRAFIA DO AQUIFERO ITAPECURU, NO NÚCLEO
CIDADE NOVA, DE MARABÁ/PARÁ COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da UNIFESSPA com o
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato do
Espírito Santo dos Santos.

Marabá/ PA

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Ferreira, Daiane Volff

Vulnerabilidade e cartografia do Aquífero Itapecuru, no núcleo Cidade Nova, de Marabá / Pará com o uso de geotecnologias / Daiane Volff Ferreira; orientador, Raimundo Nonato do Espírito Santo dos Santos. — 2016.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Geologia, Marabá, 2016.

1. Mapeamento geológico – Marabá (PA). 2. Geotecnologia (Geologia). 3. Recursos hídrico - contaminação. 4. Recurso Hídricos – gestão. 5. Geologia - Mapas. I. Santos, Raimundo Nonato do Espírito Santo dos, orient. II. Título.

CDD: 19. ed.: 526.098115

DAIANE VOLFF FERREIRA

VULNERABILIDADE E CARTOGRAFIA DO AQUIFERO ITAPECURU, NO NÚCLEO
CIDADE NOVA, DE MARABÁ/PARÁ COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da UNIFESSPA com o
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato do
Espírito Santo dos Santos.

Data de Aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Raimundo Nonato do Espírito Santo dos Santos
Orientador/UNIFESSPA

Prof. Dr. Leonardo Brasil Felipe
Docente/UNIFESSPA

Prof. Dr. Thulla Christina Esteves
Docente/UNIFESSPA

Marabá/ PA

2016

DEDICATÓRIA

Á minha mãe, por ser a grande responsável pela minha formação pessoal, pelo incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Dr. Raimundo Nonato do Espírito Santos dos Santos, por dedicar parte do seu tempo para me ajudar, pelo incentivo e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho;

Agradeço aos meus pais, Mariza e José, pela determinação e luta na minha formação, sem eles nada disso seria possível. A vocês expresso o meu maior agradecimento.

Minhas irmãs, que mais difícil que fossem as circunstâncias, sempre tiveram paciência e confiança. E em especial a Nayane que de forma carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades.

A minha Tia Marilene, por me ajudar e incentivar e ter contribuído para minha formação, permitindo a minha estadia em sua residência durante alguns anos, também pela convivência e amparo do dia-a-dia;

Ao George, melhor amigo e companheiro, pelo carinho, compreensão, amor, e apoio estando sempre presente em minha vida;

A minha irmã de coração Bruna Alves, por todos esses anos de amizade, sempre me ouvindo e aconselhando nos momentos mais difíceis;

A minha amiga Meyre James, por sempre se prontificar a me ajudar e pelo seu auxílio na tradução do resumo;

Aos professores da Faculdade de Geologia, Valéria Pinheiro, Antônio Emídio, Leonardo Brasil, José de Arimatéia, Gilmar Feio, Aderson David, pelo ensinamento ao longo da graduação.

*“Quando poluírem o último rio, a última fonte,
toda água que restar servirá apenas para apagar
incêndios”.*

(Cleomácio Souza)

RESUMO

O presente trabalho avaliou a vulnerabilidade natural do Aquífero Itapecuru no Núcleo Cidade Nova na cidade de Marabá. Tendo como apoio para alcançar esse objetivo, foi gerada uma base cartográfica dos parâmetros hidrodinâmico dos poços tubulares estudados, empregando o SIG. A metodologia utilizada para o mapeamento foi o modelo GOD, com os dados preexistentes foi empregado o uso das geotecnologias para a elaboração dos mapas. Do ponto de vista cartográfico foram elaborados, mapa de vazão, mapa da variação de profundidade, mapa do nível estático, mapa potenciométrico, mapa de vulnerabilidade e o mapa das fontes potenciais de contaminação. Em relação as fontes potenciais de contaminação encontradas foram três, seis postos combustíveis, um cemitério, e o saneamento in situ das residências do núcleo. A vulnerabilidade na área varia entre baixa a alta, entretanto trabalhos recentes identificaram contaminações por coliformes fecais, bactérias e compostos nitrogenados. Na região não há saneamento básico, e apesar dos grandes riscos de contaminação as águas exploradas deste aquífero, são utilizadas principalmente, para o consumo humano. Portanto os estudos desse gênero são fundamentais, e colabora para tomada de decisões referente à proteção e gestão dos recursos hídricos subterrâneos em seus aspectos de qualidade, e para planos de ocupação e uso dos solos.

Palavras-chave: vulnerabilidade, geotecnologias, contaminação.

ABSTRACT

The aim of this present study was to evaluate the natural vulnerability of the Itapecuru aquifer in Cidade Nova district, located in Marabá city. Having as support to achieve this goal, a cartographic basis of hydrodynamic parameters of tubular wells studied was generated, using as a tool GIS. The methodology used for mapping was the GOD model, with existing data was employed the use of geotechnology for the elaboration of maps. From the cartographic point of view, maps were developed such as flow, the variation of depth, the static level, potentiometric, vulnerability and the potential sources of contamination. In relation to the potential sources of contamination were found three of them that include six fuel stations, a cemetery, and in situ sanitation of the residences located in the district. The vulnerability in the area ranges from low to high, however recent studies have identified contamination by fecal coliforms, bacteria and nitrogen compounds. In the region there is no basic sanitation, and despite being a great risk of contamination, the exploited waters of this aquifer are mainly used for human consumption. Therefore, study of this genre are essential, and contributes to decision-making related to protection of groundwater resources in aspects of quality, occupation planning and land use.

Keywords: vulnerability, geotechnology, contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico.	6
Figura 2 – Tipos de aquíferos classificados de acordo com o material saturado.	7
Figura 3 – Tipos de aquíferos classificados de acordo com suas características hidráulicas.	9
Figura 4 – Sistema de Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero através do Método GOD.	21
Figura 5 – Mapa de Localização da área de estudo.....	22
Figura 6 – Gráfico Climático da Cidade de Marabá.	23
Figura 7 – Bacias hidrográficas no município de Marabá.....	24
Figura 8 – Contexto geológico/geotectônico regional de parte da Amazônia Oriental.	27
Figura 9 – Mapa geológico de Marabá. Mapa com coordenadas em grau.	29
Figura 10 – Unidades aquíferas do Município de Marabá.	30
Figura 11 – Mapa da distribuição de poços.	33
Figura 12 – Gráfico indicando o principal uso da água subterrânea na área de estudo.	34
Figura 13 – Mapa da variação da profundidade dos poços.	35
Figura 14 – Mapa de Variação da Vazão dos poços.	37
Figura 15 – Mapa potenciométrico	38
Figura 16 – Mapa de variação do nível estático dos poços.	39
Figura 17 –Valores para o Grau de Confinamento pelo método GOD	40
Figura 18 – Perfil esquemático, com todas as unidades encontradas na área.	41
Figura 19 — Valores para Ocorrência de Estratos de Cobertura pelo método GOD.....	42
Figura 20 – Valores para Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado pelo método GOD	42
Figura 22 –Mapa de distribuição dos potenciais de contaminação.	47
Figura 23 – Mapa de vulnerabilidade das fontes potenciais de contaminação.....	49

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS	II
EPÍGRAFE	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
LISTA DE FIGURAS	VI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. <i>Objetivo geral</i>	2
1.2.2. <i>Objetivo específico</i>	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Água subterrânea: conceitos e classificação dos aquíferos.	4
2.2. Vulnerabilidade natural de sistemas aquíferos e risco de contaminação.....	9
2.3. Fontes Potencias de Contaminação	15
2.4. Caracterização das Geotecnologias	17
3. MATERIAIS E METODOS	18
3.1. Materiais	18
3.2. Método.....	18
3.2.1. <i>Cadastro dos poços</i>	18
3.3.2 <i>Mapa da variação da profundidade dos poços</i>	18
3.2.3. <i>Mapa de variação da vazão dos poços</i>	19
3.2.4. <i>Mapa de Variação do nível estático</i>	19
3.2.5. <i>Mapa de superfície potenciométrica</i>	19
3.2.6. <i>Mapa de vulnerabilidade</i>	20
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
4.1. Localização e acesso.....	22

4.2.	Aspectos Fisiográficos.....	23
4.2.1.	<i>Clima</i>	23
4.2.2.	<i>Hidrografia</i>	24
4.2.3.	<i>Vegetação</i>	24
4.2.4.	<i>Solo</i>	25
4.3.	Contexto Geológico Regional.....	26
4.4.	Geologia Local.....	28
4.5.	Contexto Hidrogeológico da Cidade de Marabá.....	29
4.6.	Unidades Aquíferas.....	30
4.6.1.	<i>Aquíferos Fraturados (Formação Couto Magalhães)</i>	30
4.6.2.	<i>Aquíferos Porosos (Formação Itapecuru/Barreiras)</i>	31
4.6.3.	<i>Aquíferos Porosos (aluviões)</i>	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.1.	Cadastro dos poços e parâmetros hidrodinâmicos.....	32
5.2 –	Mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos.....	40
5.2.1.	<i>Grau de Confinamento da Água Subterrânea</i>	40
5.2.2.	<i>Ocorrência de Estratos de Cobertura (característica litológica e grau de consolidação da zona vadosa ou camada confinante).</i>	40
5.1.3.	<i>Distância até o Lençol Freático (ou o Teto do Aquífero Confinado)</i>	42
5.1.4.	<i>Correlação dos Parâmetros</i>	42
5.2.	Mapa de Vulnerabilidade.....	43
5.3.	Identificação de fontes potenciais de contaminação.....	47
5.4.	Integração de informações: vulnerabilidade natural de aquíferos e fontes potenciais de contaminação.....	48
6.	CONCLUSÃO.....	50
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

Os compostos e elementos químicos são usados desde a idade da pedra, e o homem vem aperfeiçoando formas do uso desses recursos naturais. Entretanto, a utilização nem sempre considerou suas características e as capacidades de recuperação ambiental. O surgimento de problemas ambientais graves, com reflexo sobre o próprio homem, levou-o a compreender melhor os fenômenos naturais e a entender que deve agir como parte integrante do sistema natural. Apesar da natureza ter capacidade de recuperação, essa capacidade é limitada e, comumente, um recurso natural deteriorado não tem condições de voltar às suas características originais, causando a destruição de seus componentes e sérios danos ao ser humano (MOTTA, 1997).

As águas subterrâneas por muito tempo foram o elemento mais incompreendido do ciclo das águas, somente no século XVII foi compreendido seu lugar na circulação das águas terrestres, e recentemente aprendeu-se a medir seu volume e seus fluxos. Contudo esses recursos são os mais explorados pela humanidade há vários séculos. Vários processos de captação e extração. A poluição das águas subterrâneas é mais nociva que a das águas superficiais, e duradoura. Apesar das fontes de contaminação ser geralmente locais, seus efeitos pode propagar-se a grandes distâncias e permanecer por várias gerações, pois a água se armazena no solo e a sua renovação natural é lenta (MARGAT, 1993).

O aumento da poluição dos recursos hídricos superficiais torna a escassez de água mais intensa, extrapolando até mesmo as fronteiras das regiões que historicamente sofriam com secas periódicas, como é o caso da parte do Nordeste brasileiro, com isso, ocorre uma procura ainda maior para os recursos hídricos subterrâneos. As águas subterrâneas necessitam de proteção, para as atuais e futuras gerações, carece de ações emergenciais, e a compreensão que as águas subterrâneas não são independentes das superficiais, e distribuem-se em aquíferos de tamanhos variado e estruturas de distintas complexidades. Assim, o presente trabalho busca determinar áreas susceptíveis a contaminação das águas subterrâneas no núcleo Cidade Nova, no município de Marabá-PA, através do estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos.

1.1. JUSTIFICATIVA

A realização desta pesquisa baseia-se em razão de que as águas subterrâneas também estão sendo deterioradas pelas atividades antrópicas, existe uma grande deficiência no abastecimento de água potável na região, principalmente nas regiões periféricas, onde o abastecimento é realizado diretamente, através de manancial de superfície rio Tocantins, em algumas situações, a contaminação das águas subterrâneas, a exemplo do que ocorre com as águas superficiais na região, o esgoto é lançado diretamente nos rios Tocantins e Itacaiúnas.

A infiltração de substâncias poluidoras por lixiviação através do solo pelos corpos d'água é um fato corriqueiro, sendo que muitas delas são tóxicas, não degradáveis e de efeito cumulativo nos organismos de animais consumidores, inclusive o homem. Apesar disso, ainda persistem atitudes generalizadas de subestimar os riscos de poluição das águas subterrâneas, traduzida pelo descaso nas políticas de proteção e de ações voltadas à sua conservação ou mesmo pela pouca conscientização da população de modo geral.

Por isso, estudos dessa natureza são fundamentais e contribuem para a tomada de decisão no que se refere à proteção dos recursos hídricos subterrâneos em seus aspectos de alteração da qualidade e quantidade. O trabalho em questão está fundamentado no fato de que, as águas subterrâneas estão sendo deterioradas pelas atividades antrópicas, já é fato a contaminação de parte das águas subterrâneas da área na qual este trabalho está sendo realizado.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos do Município de Marabá, elaborar mapa de vulnerabilidade natural do aquífero, a partir do modelo GOD, com finalidade de dimensionar as ações antrópicas e os problemas quanto à contaminação de recursos hídricos subterrâneos.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Objetivou-se também:

- Definir as áreas de risco potencial a contaminação das águas subterrâneas;
- Mapear a vulnerabilidade natural do aquífero a partir do modelo GOD;
- Verificação do tipo de Aquífero (Livre ou Confinado);
- Mostrar o risco à saúde humana pela vulnerabilidade alta a contaminação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DOS AQUÍFEROS.

Segundo Wrege (2003), a água é uma substância química natural, composta por uma molécula de Oxigênio e duas de Hidrogênio, ligadas por covalência, numa disposição tetraédrica e polarizada; possui propriedades, físicas e químicas, muito específicas que determinam a existência de vida. O ciclo hidrogeológico é o sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e desta para os continentes, de onde retorna à atmosfera e, superficial e subterraneamente, ao oceano. No solo e subsolo, a água é conduzida, pela ação da gravidade, na atmosfera e superfícies líquidas, pelos elementos e fatores climáticos, como, por exemplo, temperatura do ar, ventos, umidade relativa do ar, insolação, que são os responsáveis pelos processos de circulação da água, dos oceanos para a atmosfera em uma determinada latitude.

As águas subterrâneas têm três origens principais: meteórica, conata e juvenil. A água meteórica corresponde às águas subterrâneas que são naturalmente recarregadas pela infiltração da parcela das que caem da atmosfera – chuva, neblina e neve, principalmente nos continentes, em geral, e numa bacia hidrográfica, em particular, movimentando-se lentamente através do solo/subsolo, podendo desaguar em corpos d'água em períodos de estiagem ou sem chuva. As águas conatas são aquelas retidas nos sedimentos, desde a formação dos referidos depósitos, ou foram recarregadas em períodos climáticos favoráveis, a exemplo do que ocorre no *High Plains e Great Plains* (USA) cuja última fase de recarga mais abundante parece ter ocorrido durante o último período glacial. As águas de origem juvenil, por sua vez, são aquelas geradas pelos processos de formação das rochas graníticas magmáticas (REBOUÇAS 2002).

Devido à água subterrânea ser facilmente acessível é a maior reserva de água doce. Mas muitos reservatórios de água subterrâneos são essencialmente água “fóssil”, que foi armazenada durante períodos geológicos anteriores e mais úmidos, que agora não está sendo recarregada. Odum (1988, p. 162) afirma que:

“Infelizmente, grande parte desta água subterrânea foi armazenada em épocas passadas, e os reservatórios em regiões áridas ou não estão sendo abastecidos ou estão sendo reabastecidos a uma velocidade mais baixa do que a de utilização pelo homem. A água subterrânea de regiões áridas, como o petróleo, não é renovável”.

A denominação de água subterrânea é, conforme Todd (1959, p. 1), “As águas subterrâneas, mencionadas sem nenhuma outra especificação, são geralmente compreendidas como significando a água que ocupa todos os vazios de um estrato geológico”. Guerra & Guerra (1997, p. 14) afirma que, “água subterrânea é aquela que se infiltra nos solos e nas rochas, caminhando até o nível hidrostático”.

A água subterrânea se dá em formações geológicas permeáveis conhecidas como aquíferos. Segundo Batalha (1986), designa “Formação porosa (camada ou estrato) de rocha permeável, areia ou cascalho, capaz de armazenar e fornecer quantidades significativas de água”. A água presente nestas formações poderá ocupar os poros não preenchidos por matéria mineral sólida. Estes poros, também conhecidos como vazios, interstícios, poros ou espaços porosos (TODD, 1959).

Manoel Filho (1997), afirma que abaixo da superfície do terreno, a água contida no solo e nas formações geológicas é dividida ao longo duas zonas horizontais: zona não saturada (subdividida em três partes) e zona saturada, de acordo com a proporção relativa do espaço poroso que é ocupado pela água (Quadro 1).

Quadro 1 – Distribuição vertical da água no subsolo.

Zonas Horizontais	Descrição
1. Zona não saturada, zona de aeração ou zona vadosa.	Situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno e nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases e por água.
1.1. Zona de água do solo ou zona de evaporação	Situa-se entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno.
1.2. Zona intermediária	Compreende entre o limite de ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas.
1.3. Zona capilar	Estende-se da superfície freática até o limite de ascensão capilar da água. Adota-se o conceito de franja capilar como um limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (cerca de 75%).
2. Zona saturada ou zona de	Situa-se abaixo da superfície freática e nela todos os vazios existentes estão preenchidos por água.

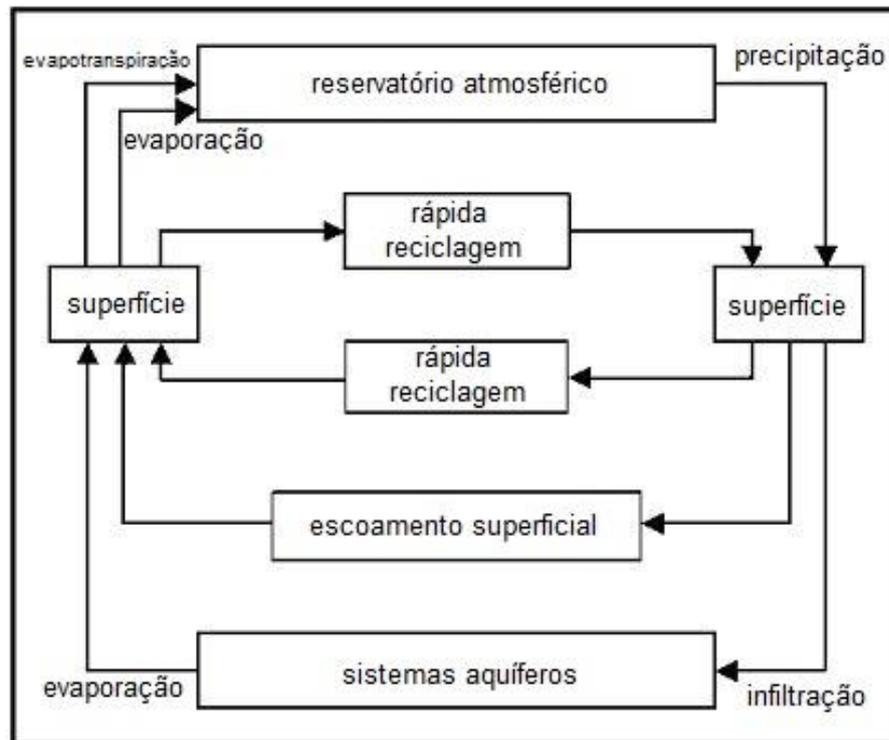
Saturação	
-----------	--

Fonte – Manoel Filho (1997)

As águas subterrâneas dependem da interação de fatores geológicos e climáticos, variáveis no tempo e no espaço e devem dar condições para o relevo, solo e vegetação tornarem-se propícios à retenção de água (REBOUÇAS, 1996).

O balanço hídrico da região é controlado pelos os fatores climáticos da região pelo índice e pela distribuição pluviométrica, que são imprescindíveis para o funcionamento do ciclo hidrológico (Figura 1), assim como a temperatura, que é um condicionante da evaporação e da evapotranspiração, da infiltração, além da radiação solar, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento.

Figura 1– Ciclo hidrológico.



Fonte – Modificado de Pinheiro, 2009.

Os parâmetros dimensionais para a caracterização de um aquífero são, espessura, extensão e geometria os quais são condicionados pela geologia estrutural, estratigrafia e parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade, armazenamento ou porosidade efetiva), que dependem dos padrões faciológicos, condições de recarga e descarga além de variáveis de

estado que descrevem a situação do reservatório subterrâneo em cada instante (superfície piezométrica, qualidade, condições de exploração, etc.) (PEDROSA & CAETANO, 2002).

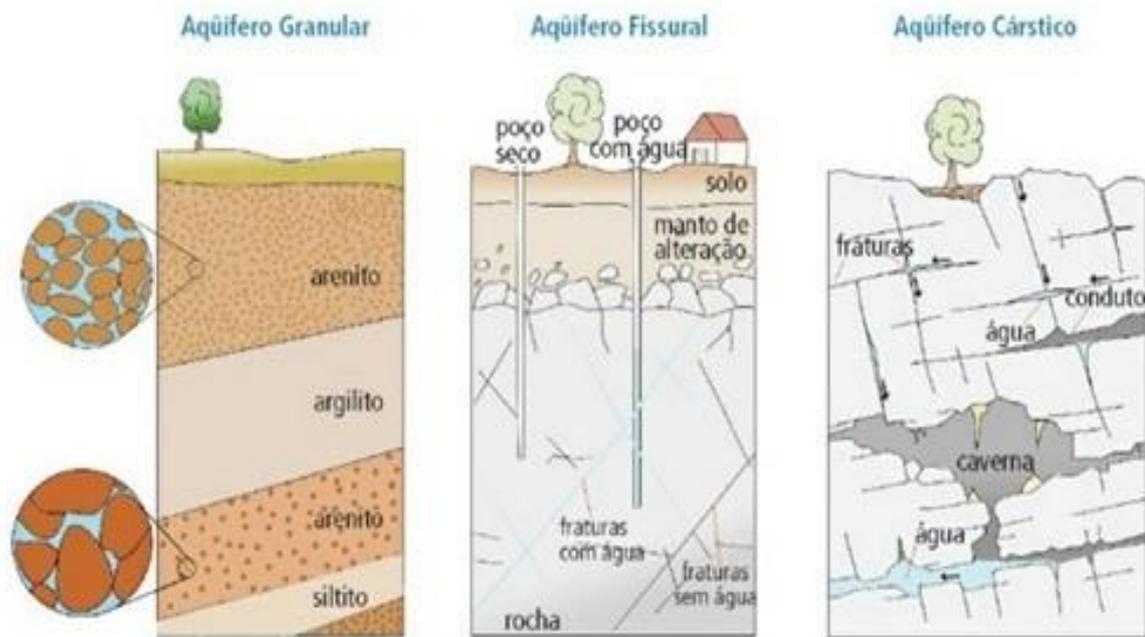
Os aquíferos são classificados conforme a geologia do material saturado e quanto à pressão da água. Quanto ao material saturados podem ser classificados de acordo com a porosidade do meio, denominados de granular, poroso, fissural e cárstico (IRITANI & EZAKI, 2009).

- **Rochas Granulares ou porosos:** Geralmente ocorrem em rochas sedimentares, sedimentos inconsolidados e solos arenosos é sua porosidade quase sempre distribuída de forma homogênea, permitindo que a água flua para qualquer direção. A sua grande capacidade de armazenamento e a sua ocorrência em grandes o torna um dos aquíferos mais importantes.

- **Rochas maciças e compactas:** São rochas como granito e os gnaisses, onde não apresentam espaços vazios entre os minerais a sua porosidade é devido à presença de fraturas conectadas (Figura 2). As falhas se originam da ruptura da rocha, devido a esforços físicos. Assim o aquífero é denominado de fissural ou fraturado. A capacidade deste aquífero está atribuída a maior quantidade de fraturas na rocha, interligadas e preenchidas com água.

- **Rochas carbonáticas:** Este tipo de aquífero é constituído por rochas como os calcários, seu processo de dissolução é lento e ocorre em contato com águas ácidas que infiltram por meio das fraturas da rocha. A gradual dissolução destes condutos, formam um tipo de aquífero fraturado, onde as fraturas, originaram-se devido à dissolução do carbonato pela água, podendo até produzir aberturas muito grandes, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos, os quais caracterizam o aquífero cárstico.

Figura 2 – Tipos de aquíferos classificados de acordo com o material saturado.



Fonte – Iritani & Ezaki, 2009.

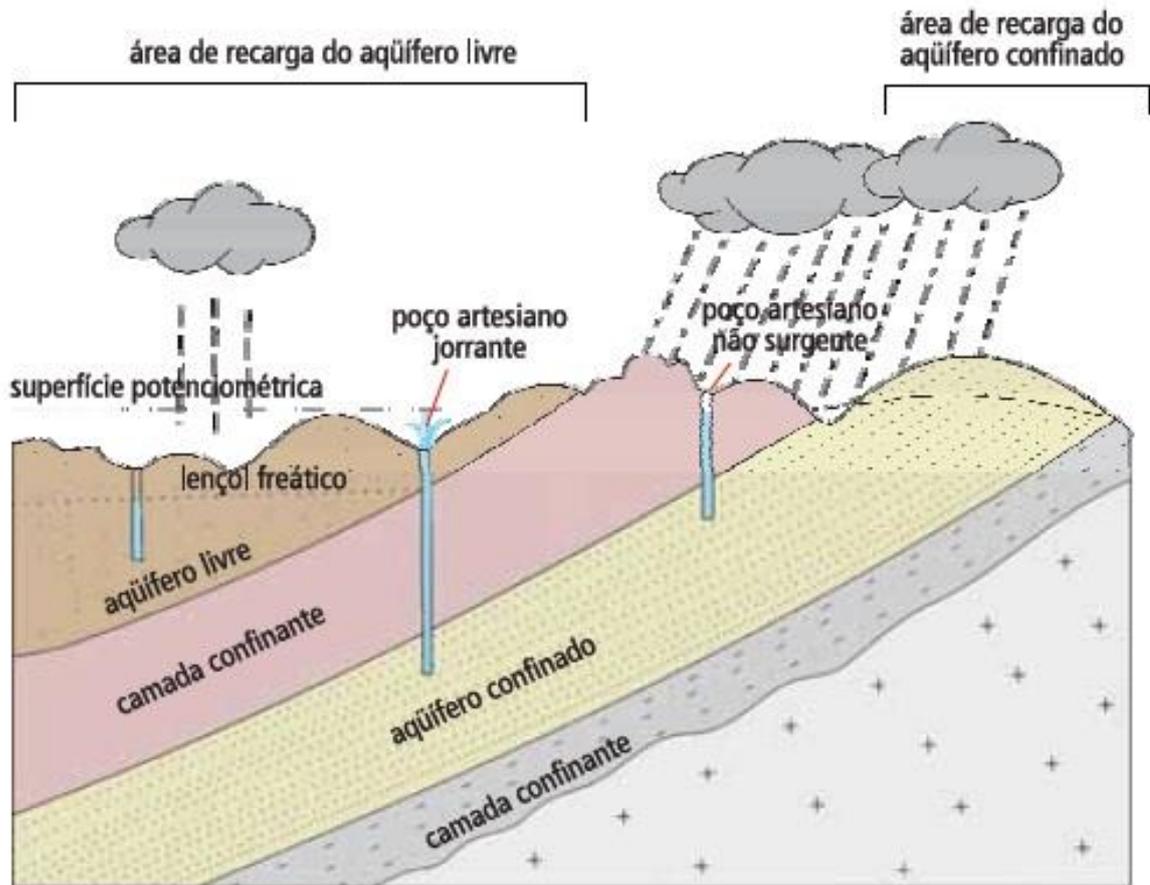
Segundo a pressão da água os aquíferos podem ser classificados quanto às suas características hidráulicas, em livres e confinados, dependendo da pressão a que estão submetidos. Os aquíferos podem ser classificados como não confinados ou confinados. O aquífero não confinado é aquele em que o nível d'água serve como superfície superior da zona de saturação. É também conhecido como livre, freático, ou não artesiano. Por outro lado, o aquífero confinado, também conhecido como artesiano ou aquífero sob pressão, ocorre quando o nível d'água está confinado sob pressão maior do que a atmosférica por estratos subjacentes relativamente impermeáveis (TODD, 1959).

- **O aquífero livre (ou freático):** É submetido à pressão atmosférica pois está próximo à superfície, onde a zona saturada tem contato direto com a zona não saturada. A água que infiltra no solo atravessa a zona não saturada e recarrega diretamente o aquífero. São os tipos de aquíferos são os mais comuns e mais explorados pela população. São também os que apresentam maiores problemas de contaminação (PEDROSA & CAETANO, 2002).

- **O aquífero confinado (ou artesiano):** Está limitado no topo e na base por camadas de rocha de baixa permeabilidade, denominada de camada confinante (como argila, folhelho, rocha ígnea maciça, e etc.) (Figura 3). A zona não saturada e neste caso é inexistente, o aquífero está a uma pressão maior que a atmosférica, devido a uma camada confinante acima dele. Apesar do nível

da água ter pressão suficiente para atingir uma altura acima do topo do aquífero, porém é impedida pela camada confinante. (IRITANI & EZAKI, 2009).

Figura 3 – Tipos de aquíferos classificados de acordo com suas características hidráulicas.



Fonte – Iritani & Ezaki, 2009.

2.2. VULNERABILIDADE NATURAL DE SISTEMAS AQUÍFEROS E RISCO DE CONTAMINAÇÃO

De acordo com Ribeira (2004), o termo vulnerabilidade tem produzido, em alguns casos, uma certa vulgarização. Do ponto de vista geral pode definir-se a vulnerabilidade como a susceptibilidade que tem um determinado meio, incluindo um determinado território, frente aos impactos de origem natural ou antrópica. É comum falar de vulnerabilidade e dos aquíferos de uma zona frente à contaminação de hidrocarbonetos, ou a vulnerabilidade dos ecossistemas frente a atividades antrópicas.

A vulnerabilidade natural ou intrínseca nos aquíferos pode ser definida, conforme Ribeira (2004), como uma série de características do mesmo que são o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga, que controlam a capacidade do aquífero para

fazer frente a um impacto indeterminado e sua capacidade de auto restauração. Já Foster (1987), o termo vulnerabilidade à contaminação do aquífero é usado para representar as características intrínsecas que determinam a susceptibilidade de um aquífero de ser afetado por uma carga contaminante.

A vulnerabilidade do aquífero é em função da: / Inacessibilidade hidráulica da penetração de contaminantes; / Capacidade de atenuação dos estratos acima da zona saturada do aquífero, como resultado de sua retenção física e reações químicas com o contaminante. Estes componentes interagem com os seguintes componentes da carga contaminante no subsolo: / O modo de disposição do contaminante no subsolo e em particular a magnitude de qualquer carga hidráulica associada; / A classe do contaminante, em termos de sua mobilidade e persistência. Esta interação culminará no tempo de residência na zona não-saturada e a demora na chegada do contaminante ao aquífero. Estabelecerá também o grau de atenuação, retenção ou eliminação, antes da chegada à zona saturada (FOSTER & HIRATA, 1993).

Foster & Hirata (1993) expõem que a carga contaminante é proveniente das atividades antrópicas realizadas em superfície. A interação entre as características naturais do aquífero e as atividades antrópicas procedem na caracterização preliminar de áreas de maior ou menor risco de deterioração.

Hirata (2001) distingui três situações, de acordo com o histórico de ocupação do terreno: - áreas onde as atividades já estão instaladas (fontes potenciais existentes); - áreas onde já se conhece a contaminação do aquífero (fontes herdadas); - áreas onde as atividades serão instaladas (fontes futuras). Em todos os casos, a vulnerabilidade de aquíferos pode ser empregada para priorizar a ação do órgão gestor, procurando aquelas atividades que oferecem maiores perigos de contaminação. Em qualquer um dos casos, a vulnerabilidade de aquíferos pode ser usada no zoneamento do terreno, identificando aquelas atividades que não são compatíveis com os índices atribuídos ao terreno.

São utilizados vários métodos para avaliar ou mapear a vulnerabilidade natural de aquíferos quanto ao risco de contaminação. O Quadro 2 expõe alguns dos métodos mais empregados, com seus respectivos fatores de análise.

Quadro 2 – Principais métodos para a determinação da vulnerabilidade à poluição de aquíferos.

MÉTODO	AValiação	FATORES	REFERÊNCIA
Surface Impoundment assessment	Sistema de decomposição de águas servidas	<ul style="list-style-type: none"> - zona não saturada - importância do recurso - Qualidade das águas subterrâneas - Periculosidade do material 	Lé Grand (1964)
Landfill Siste Ranking (Método Le Grand-Brawn)	Aterros sanitários e novos e em operação	<ul style="list-style-type: none"> - Distância aterro e poço produtor - Profundidade do nível da água - Gradiente do aquífero - Permeabilidade e capacidade de atenuação 	Lé Grand (1983)
Siste Ranking System	Disposição de produtos químicos, novos e em operação.	<ul style="list-style-type: none"> - Solos, caract. Hidráulica sorção e tamponamento químico - Hidrodinâmicas do aquífero - Ar - População próxima 	Hegerty et al (1973)
Poluição dos lençóis aquíferos	Vulnerabilidade geral	<ul style="list-style-type: none"> - Geologia (litologia e estrutura) 	Taltasse (1972)
Waste-soli interaction matrix	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	<ul style="list-style-type: none"> - Efeitos na saúde - Caract. do produto químico - Comportamento do produto - Capacidade do solo/atenuação - Hidrogeologia - Caract. do local 	Philips <i>et al</i> (1977)

Siste Ranking Methodology	Disposição de resíduos sólidos e líquidos e novas indústrias	<ul style="list-style-type: none"> - Receptor população/uso da água/uso local/degradação ambiental - Caminho, nível e tipo de contaminação, profundidade do nível da água, pluviometria, permeabilidade do solo - Caract. do resíduo-toxicidade, persistência - Prática de manejo-aspectos operacionais e construtivos 	Kulfs <i>et al</i> (1980)
DRASTIC	Vulnerabilidade Geral	<ul style="list-style-type: none"> - D profundidade da água subterrânea - R recarga total - A meio aquífero - S solo - T topografia - I impacto na zona vadosa - C condutividade hidráulica 	Aller <i>et al</i> (1985)
GOD	Vulnerabilidade Geral	<ul style="list-style-type: none"> - G tipo de aquífero - O litologia zona vadosa - D profundidade da água 	Foster & Hirata (1988)
Grandwater Vulnerability map for Nitrate	Potencial de lixiviação de nitrato	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de solo - Caract. Hidráulica e litológica do aquífero 	Carter <i>et al</i> (1987)
Sintacs	Vulnerabilidade Geral	- Igual ao DRASTIC, porém com pesos diferentes.	Civita <i>et al</i> (1990)

Perigo associado a sistema de saneamento in situ	Avaliar áreas de maior risco por sistema de saneamento in situ	- Vulnerabilidade (GOD) - Densidade população - Análises indicadoras físico-químicas (condutividade elétrica)	Ferreira & Hirata (1993)
--	--	---	--------------------------

Fonte – Hirata (1999).

Os métodos mais utilizados são: o Modelo de “GOD”, que trata da vulnerabilidade geral (Foster & Hirata, 1988), e o modelo DRASTIC (ALLER ET AL., 1985), estabelece um sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos a partir de dados decodificados em planos de informações e é um dos índices de vulnerabilidade mais difundido atualmente. O método DRASTIC foi elaborado pela National Ground Water Association, e é utilizada pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (US-EPA), é um modelo qualitativo para avaliar a poluição potencial das águas subterrâneas usando variáveis hidrogeológicas da região em estudo (ALLER ET AL., 1987). As variáveis, designadas como fatores DRASTIC, são associadas entre si através de uma equação simples, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho.

A metodologia “GOD”, por Foster & Hirata (1988), é muito utilizada para as pesquisas de vulnerabilidade natural à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos é a de “que consiste no mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos e na definição de áreas de maior risco. Isto se dá a partir do reconhecimento e classificação de atividades humanas que oferecem perigo de contaminação às águas subterrâneas (COMPONOGARA, 2006).

Conforme Foster et al. (1993) baseia-se em três parâmetros para avaliação do índice de vulnerabilidade.

- Groundwater hydraulic confinement (grau de confinamento hidráulico);
- Overlaying strata (Ocorrência de substrato litológico);
- Depth to groundwater table (Distância da água, ou seja, profundidade do lençol freático ou teto do aquífero confinado).

O método GOD leva em consideração dois fatores hidrogeológicos para a determinação da vulnerabilidade do aquífero a contaminação, os quais são: O nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero; A capacidade de atenuação dos

estratos de cobertura da porção saturada do aquífero. Os parâmetros fundamentais e os normativos disponíveis estão associados à inacessibilidade e a capacidade de atenuação dos contaminantes, conforme é mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Componentes de Vulnerabilidade.

COMPONENTE DE VULNERABILIDADE	DADOS HIDROGEOLÓGICOS	
	Idealmente necessário	Normalmente disponíveis
Inacessibilidade Hidráulica	Grau de confinamento do aquífero Profundidade até o lençol freático ou a posição da água subterrânea Condutividade hidráulica vertical e teor de umidade da zona não saturada (zona vadosa) ou camada confinante	Tipo de confinamento da água subterrânea Profundidade até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado
Capacidade de Atenuação	Distribuição granulométrica dos sedimentos e fissuras na zona vadosa ou camada confinante Mineralogia dos estratos na zona vadosa ou camada confinante	Grau de consolidação/fissuração desses estratos Característica litológica desses estratos

Fonte – Foster *et al.* 2002, *apud*, Escada, 2009 – Adaptado por Silva, 2014.

As características contêm parâmetros fundamentais para definir a vulnerabilidade de um aquífero quanto ao risco de contaminação. Os métodos devem ser individualizados daqueles que se fundamentam se em investigações de campo, incluindo amostragens, medições de nível da água e de efluentes e, em muitos casos, perfuração de poços de monitoramento, os quais pertencem a um estágio mais avançado de estudo (COMPONOGARA, 2006).

A vulnerabilidade expõe uma faixa de índice e definições quanto à vulnerabilidade aos contaminantes (Quadro 4). Para cada índice há diferenciação quanto ao processo de contaminação. Nos elevados índices de vulnerabilidades, além da área ser frágil a diversos contaminantes, o impacto causado ocorre rapidamente. Já nas áreas de vulnerabilidade média,

a contaminação só ocorre quando a carga é lançada ou lixiviada constantemente, conforme observado na referida quadro.

Quadro 4 – Definição prática das classes de vulnerabilidade do aquífero.

CLASSE DE VULNERABILIDADE	ÍNDICE	DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE
Extrema	0,7 – 1,0	Vulnerabilidade à maior dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
Alta	0,5 – 0,7	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
Média	0,3 – 0,5	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
Baixa	0,1 – 0,3	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
Insignificante	0 – 0,1	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)

Fonte – Foster *et al.* 2002, *apud*, Escada, 2009 – Adaptado por Silva, 2014.

2.3. FONTES POTENCIAS DE CONTAMINAÇÃO

Segundo Foster (1993) as atividades humanas pode alterar e alterar novos mecanismos de recarga ao aquífero, modificando a taxa, a frequência e a qualidade da recarga de águas subterrâneas. A água subterrânea é uma solução diluída de inúmeros elementos e compostos sólidos, líquidos ou gasosos em proporções diversas, provenientes do ar (durante o processo de condensação e precipitação), dos solos e das rochas (nas quais circunda ou é armazenada) e do contato com as atividades humanas. Sua poluição pode ser definida como uma alteração artificial da qualidade físico-química da água. A contaminação se dá quando esta apresenta organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde do homem e de outras espécies animais. Portanto, toda a água contaminada é poluída, porém, nem toda a água poluída (desde que não afete a saúde do homem) é contaminada.

Componogara (2006) designa que:

“a poluição pode se dar por duas formas distintas: uma pelo transporte de poluentes pelas águas da chuva, que rapidamente se infiltram até alcançar os níveis da água subterrânea; ou quando os poluentes já atingiram o aquífero, e

se locomovem lateralmente. As contaminações das águas subterrâneas podem ter origens diversas, sendo atualmente mais comuns àquelas relacionadas diretamente com atividades industriais, domésticas e agrícolas.

As indústrias ainda podem causar a contaminação das águas subterrâneas por meio das águas utilizadas em suas atividades, contendo compostos químicos, metais; elementos radioativos que retornam ao meio ambiente e através de acidentes com produtos químicos. As atividades domésticas podem produzir contaminação subterrânea através do chorume de aterros sanitários; acidentes com rompimento de fossas sépticas ou de redes de esgotos. As atividades agrícolas podem contaminar a água subterrânea através dos solutos dissolvidos por chuva ou irrigação; fertilizantes minerais naturais; sais, agrotóxicos etc”.

A contaminação e a poluição apresentam distribuição espacial diversa esta pode originar segundo Manoel Filho (1997), pode ser:

- Pontual, quando a fonte está concentrada numa pequena superfície, como, por exemplo, um poço tubular ou escavado;
- Difusa, quando a fonte de contaminação se estende, mesmo com baixa concentração, sobre uma grande superfície, como é o caso de áreas de irrigação ou áreas urbanas, ou do transporte por via atmosférica;
- Linear, quando a fonte de contaminação é um rio ou um canal de drenagem, Como exemplos de fontes localizadas, citam-se as tubulações emissárias de esgotos domésticos ou industriais e as galerias de águas pluviais. Como fontes não localizadas, podem ser incluídas as águas do escoamento superficial ou de infiltração.

Mota (1997) designou as principais fontes de poluição das águas subterrâneas, são:

- Infiltração de esgotos a partir de sumidouros ou valas de infiltração (fossas sépticas); filtração de esgotos depositados em lagoas de estabilização ou em outros sistemas de tratamento usando disposição no solo;
- Infiltração de esgotos aplicados no solo em sistemas de irrigação;
- Percolação do chorume resultante de depósitos de lixo no solo;

- Infiltração de água contendo pesticidas, fertilizantes, detergentes e poluentes atmosféricos depositados no solo;
- Infiltração de outras impurezas presentes no solo;
- Infiltração de águas superficiais poluídas;
- Vazamento de tubulações ou depósitos de subsolo;
- Intrusão de água salgada;
- Resíduos de outras fontes: cemitérios, minas, depósitos de material radioativo;
- Ainda, segundo Silvério da Silva *et al* (2005), pode-se citar resíduos de postos de combustíveis e/ou lava-a-jatos, óleos-graxas, detergentes (lavagem).

2.4. CARACTERIZAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS

Segundo Burrough e McDonnell (1998), o SIG é um arquivo de dados espaciais na forma original e uma ferramenta para a exploração de interações entre processos e modelos em fenômenos espaciais e temporais. Já Dangermond (1992) define esses sistemas como um conjunto de hardware, software e dados geográficos projetados eficientemente para adquirir, armazenar, atualizar, manipular, analisar e visualizar todas as formas de informações geograficamente referenciadas.

Doyle e Gray (1995), descreve que o aspecto mais importante no estabelecimento de um SIG, bastante funcional e acessível, é a organização do banco de dados. O estágio de montagem do mesmo requer sérias considerações a respeito dos objetivos a serem alcançados (COMPONOGARA, 2006). Richards (1986) considera que um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a percepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real. Entretanto, Componogara, 2006 relata que para os elementos básicos de um determinado SIG possam ser utilizados de forma eficiente, é de fundamental que os profissionais ou responsáveis pelo projeto, implementação e uso do sistema sejam pessoas adequadamente capacitadas e com visão do contexto global.

3. MATERIAIS E METODOS

3.1. MATERIAIS

O uso do software *SURFER v 10* para interpolação de dados e para geração de mapas de pontos que classificam a vulnerabilidade das águas subterrâneas e para a elaboração do mapa de vazão, profundidade e nível estático.

O uso dos softwares *Google Earth© 2009*, *Global Mapper v.10.1*; *Arc Gis® 9.3*, utilizando imagens de radar *SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)*. E o uso das bibliografias.

3.2. MÉTODO

3.2.1. CADASTRO DOS POÇOS

Para realizar o cadastramento dos poços e obter as informações dos mesmos, utilizou-se os dados das empresas Poços Brasil e Construama. Desde modo, elaborou-se um banco de dados com o uso do programa *Excel 2011*, contando as seguintes informações: número do poço, latitude e longitude (no Sistema de Coordenadas Geográficas e Sistema Universal Transversa de Mercator - UTM), profundidade, nível estático, nível dinâmico e vazão. As coordenadas dos poços foram obtidas pelo software *Google Earth© 2009*, de acordo com o endereço dado pelas empresas, utilizando-se as coordenadas planas do sistema de projeção Universal Transversa Mercator (UTM) com a opção de *Datum WGS 84*.

3.3.2. MAPA DA VARIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DOS POÇOS

O mapa foi elaborado a partir das informações resultante dos cadastros dos poços. As informações foram especializadas com o programa *SURFER v 10*, como o modo de interpolação *krigagem*, em forma de cartogramas, utilizando a seguinte forma:

- foi utilizada uma planilha (arquivo txt) gerada com as coordenadas UTM dos poços e os valores das profundidades dos mesmos;
- no file abre um novo “plot”, ir no menu Grid escolher a opção Data, selecionar o arquivo (.dat) com os dados, indicar o método de interpolação e aplicar “ok”. O programa irá abrir

automaticamente o arquivo para um arquivo com extensão *.grid* posteriormente salvar o arquivo.

- no menu *Map* escolher a opção *Contour*, selecionar o arquivo (*.grd*) gerado através da extensão *.grid*, escolher o intervalo de classes proposto, cores, legenda e aplicar “*ok*”, automaticamente o programa cria um plano contendo as isolinhas de profundidade dos poços.

3.2.3. MAPA DE VARIAÇÃO DA VAZÃO DOS POÇOS

Para a elaboração do mapa da variação da vazão utilizou a mesma metodologia do mapa de profundidade, porém neste empregou os dados de variação da vazão dos poços.

3.2.4. MAPA DE VARIAÇÃO DO NÍVEL ESTÁTICO

No mapa de variação do nível estático também procedeu-se da mesma forma que para o mapa de variação de profundidade, porém neste especializou-se o nível estático dos poços.

3.2.5. MAPA DE SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA

O mapa de superfície potenciométrica foi elaborado no software *SURFER v 10* e *Global Mapper v.10.1*, e uma imagem SRTM da área. O procedimento usado para a elaboração do mapa sucedeu da seguinte forma:

- no *Global Mapper v.10.1* selecionar a opção *Open Your Own Data Files*, em seguida adicionar a imagem SRTM. No menu *File*, escolher a opção *Export Elevation Grid Format*, indicar o formato *Surfer Grid (ASCII Format)*.

- no software *SURFER v 10*, ir ao menu *Map* escolher a opção *New*, em seguida *Base map* selecionar o arquivo (*.grd*) gerado através *Global Mapper v.10.1*, escolher o intervalo de classes proposto, cores, legenda e aplicar “*ok*”, automaticamente o programa cria um plano contendo as isolinhas com as curvas de nível.

- para adicionar os vetores indicando o fluxo da água, ir na barra de ferramentas *Map*, selecionar a opção *New 1-Grid Vector Map*, adicionar o arquivo (*.grd*) correspondente, automaticamente o programa cria os vetores indicando o fluxo da água.

3.2.6. MAPA DE VULNERABILIDADE

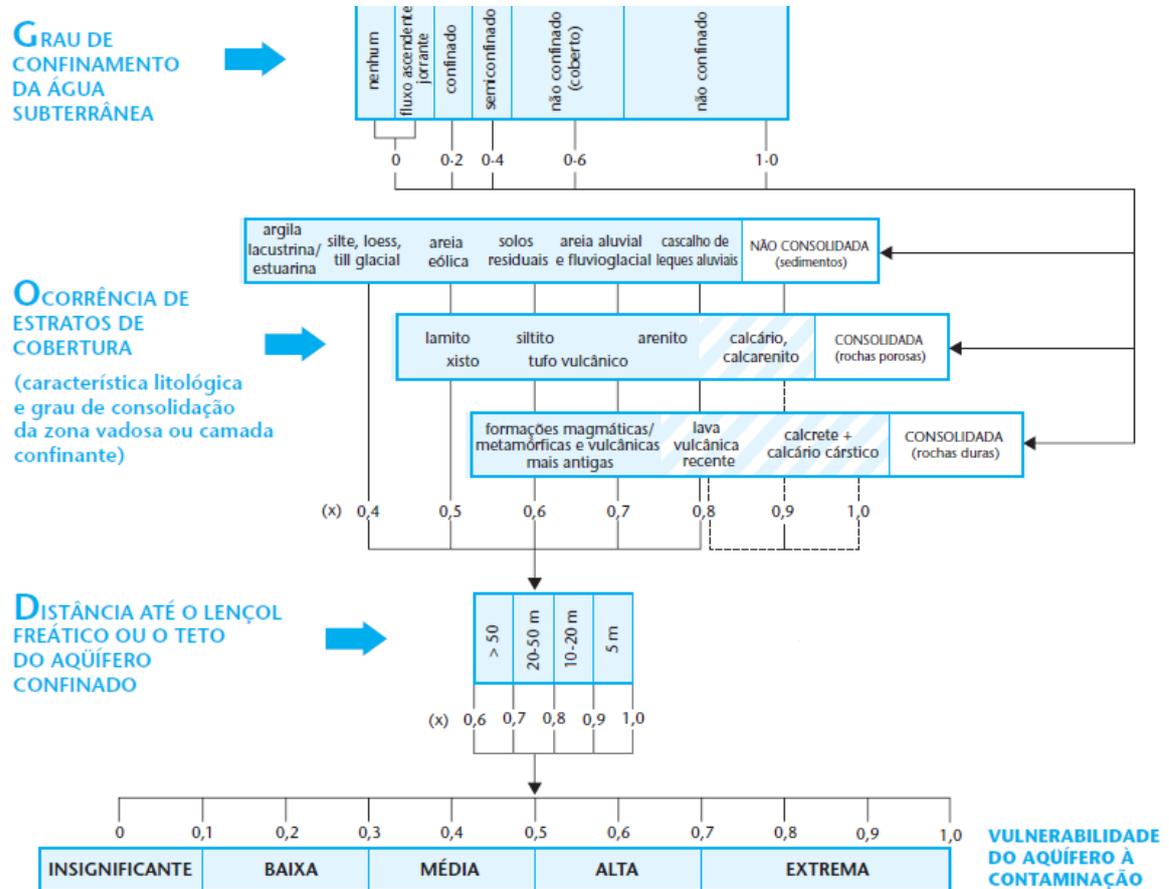
Segundo a análise dos dados adquiridos pelas as empresas, foi elaborado o índice de vulnerabilidade através do método GOD (G – *groundwater occurrence*, O – *overall litology of aquifer* e D - *depth of water*). Os parâmetros que são avaliados por esse método são: o tipo de aquífero, sua litologia e a distância do lençol freático ou do Teto do Aquífero Confinado. Conforme a tabela (Figura 4) é possível encontrar os valores para cada um dos parâmetros analisados, esses valores são multiplicados entre si determinando um índice de vulnerabilidade para cada aquífero.

O método GOD foi aplicado da seguinte forma:

A primeira etapa apoia-se no reconhecimento do tipo de ocorrência da água subterrânea, que apresenta um intervalo de 0 - 1,0. Posteriormente consistiu na identificação do tipo litológico acima da zona saturada, identificando o grau de consolidação e a presença ou ausência de permeabilidade secundária, e a granulometria e litologia, esse critério é exibido numa escala de 0,4 - 1,0. Por fim é quantificada a profundidade do nível da água (ou teto do aquífero confinado) numa escala de 0,6 – 1,0. O produto destes três parâmetros é o índice de vulnerabilidade, explanado numa escala de 0 – 1 (FOSTER & HIRATA, 1993).

O mapa de vulnerabilidade foi gerado no programa *SURFER v 10*, usando as coordenadas geográficas em UTM (*Datum WGS 84*), e o método GOD. Os dados utilizados numa planilha (arquivo txt) gerada com as coordenadas UTM dos poços e os valores dos parâmetros de acordo com Foster & Hirata (1993).

Figura 4 – Sistema de Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero através do Método GOD.



Fonte - Foster (1987) e Foster & Hirata (1993).

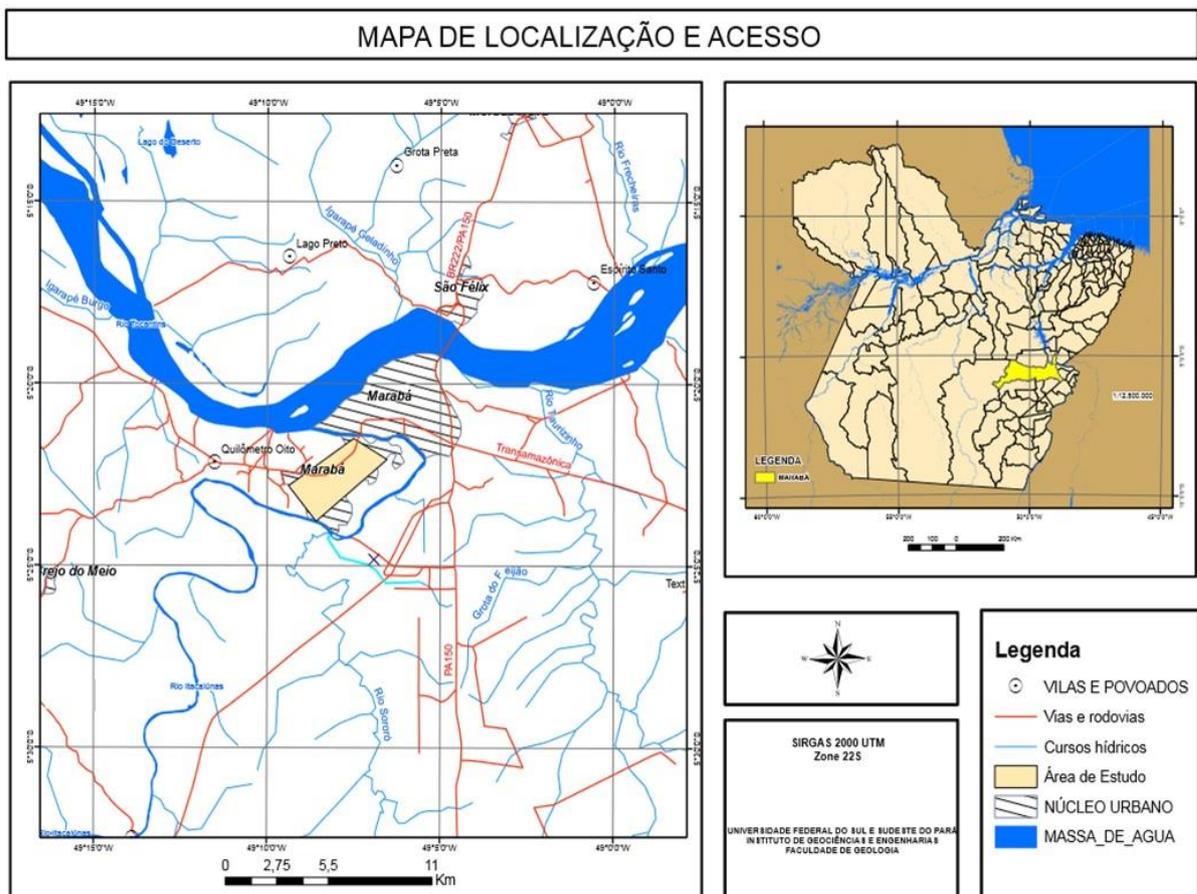
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está localizada no município de Marabá, é distante da capital do estado Belém cerca de 530 km. As margens do rio Tocantins, a cidade faz divisa com os municípios Rondon do Pará, Nova Ipixuna, Itupiranga e Novo Repartimento, São Geraldo do Araguaia, Eldorado do Carajás, Curionópolis e Parauapebas, Bom Jesus do Tocantins, São João do Araguaia, São Domingos do Araguaia e São Félix do Xingu.

O acesso ao município através de rodovias é constituído por rodovias federais como a BR-230 e BR 222, e por rodovias estaduais a PA-150 (Figura 5). A área analisada compreende no Núcleo urbano Cidade Nova.

Figura 5 – Mapa de Localização da área de estudo.

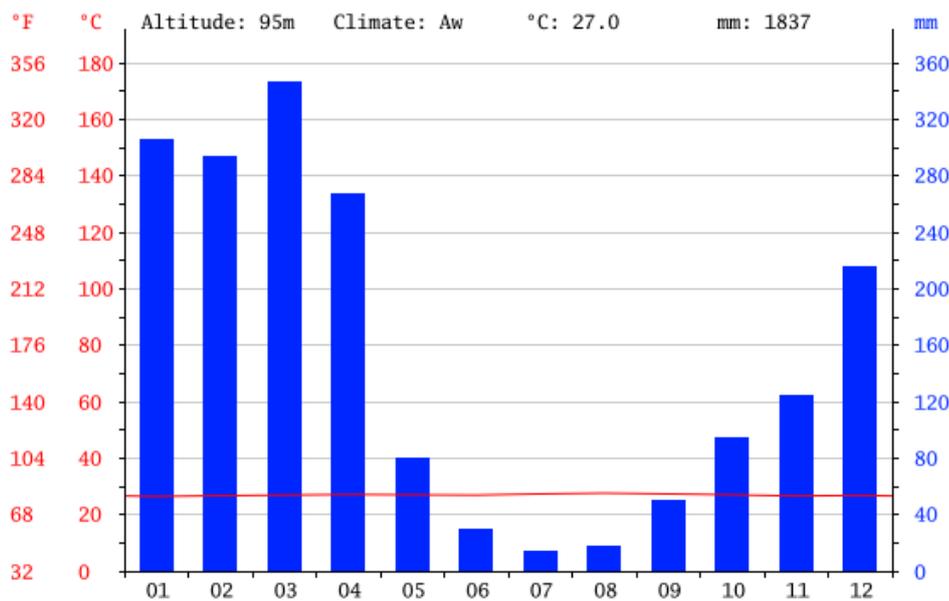


4.2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.2.1. CLIMA

Segundo a classificação de Köppen (1928), com base, principalmente, nas precipitações pluviométricas e nas temperaturas. O período de inverno com chuvas vai de janeiro a maio, com as mais elevadas precipitações em março e abril, sendo que o verão estende-se de junho a dezembro, constituindo-se nos dois períodos marcantes da região. Possui um clima equatorial quente e úmido com temperaturas médias mensais que variam de 22,9°C a 32,5°C com máximas atingindo 37°C (Figura 6).

Figura 6 – Gráfico Climático da Cidade de Marabá.



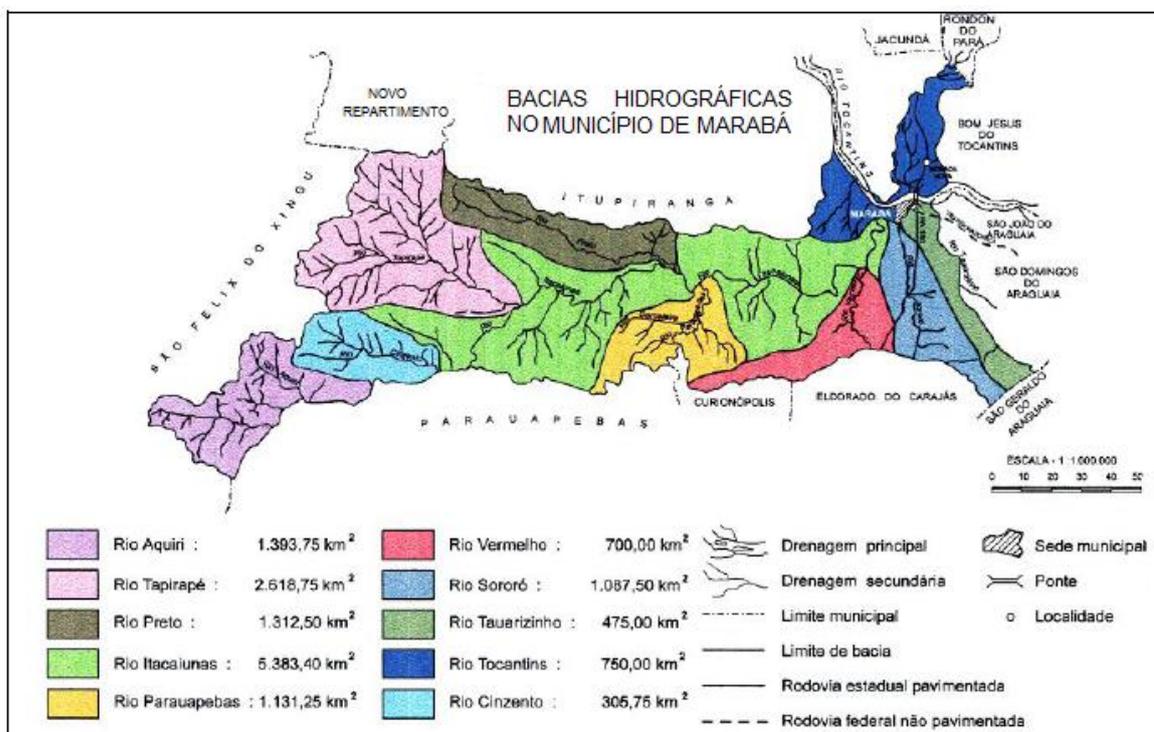
Fonte - <http://pt.climate-data.org/location/715120/>.

A umidade relativa do ar é alta variando de 73% a 93% com precipitação anual em torno de 2000 mm, sendo os meses mais chuvosos de janeiro, fevereiro e março e os mais secos em julho, agosto e setembro (CASA DA CULTURA DE MARABÁ, 2009).

4.2.2. HIDROGRAFIA

O município está inserido na Super Bacia do Araguaia/Tocantins, onde dez bacias hidrográficas cortam o município de Marabá, sendo que as bacias de Cinzento, Tapirapé e Preto estão inseridas totalmente na área do município. As outras sete: Aquiri, Itacaiúnas, Parauapebas, Vermelho, Sororó, Taurizinho e Tocantins tem suas nascentes em outros municípios (Figura 7).

Figura 7 – Bacias hidrográficas no município de Marabá.



Fonte - Primaz, 1996.

A área urbana da cidade, está dentro da área de influência de uma grande planície de inundação dos Rios Tocantins e Itacaiúnas, formando terraços aluvionares, a cidade sofre com cheias anuais em períodos chuvosos, provocada pelo aumento dos níveis de água dos rios Araguaia, Itacaiúnas e Tocantins.

4.2.3. VEGETAÇÃO

A zona que o Município encontra-se é floresta equatorial úmida da Hiléia Amazônica. Nessa região predomina a floresta densa, que pode ser chamada Floresta Ombrófila Tropical

ou Floresta Tropical Chuvosa. Encontra-se também como classe de formação vegetativa a Floresta Aberta Mista (cocal) e em menor escala a Floresta Aberta Latifoliada (cipóal). Além dessas unidades 8 fisionômicas típicas das terras firmes, encontra-se a Floresta dos Terraços, em trechos que margeiam o rio Tocantins, Florestas Ciliares e Matas de Galeria, acompanhando os cursos d'água de menor porte. (PRIMAZ, 1996).

4.2.4. SOLO

A região apresenta vários tipos de solo, a análise feita permitiu relacionar os tipos pedológicos com as principais unidades Geológicas (ROSATELLI ET AL. 1974). Foram individualizadas sete classes de solo: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Brunizém Avermelhado, Podzólico Vermelho-Amarelo, Areias Quartzosas, Solos Aluviais e Hidromórficos e Solos Litólicos - Podzólico Vermelho-Amarelo.

- Latossolo Amarelo – solos de estrutura maciça, bem drenado, textura argilosa, profundos e fertilidade natural baixa. São característicos das coberturas tércio-quaternárias e do domínio da Formação Itapecuru;
- Latossolo Vermelho-Amarelo – solos argilosos, bem drenados, de textura média, estrutura maciça e fertilidade baixa. É evidenciado entre os rios Tocantins e Araguaia, ocorre normalmente na formação Itapecuru, Codó, Motuca, Pedra de Fogo e das coberturas tércio-quaternárias;
- Brunizém Avermelhado – textura argilosa, estrutura em blocos subangulares e angulares, rasos, bem drenados, e fertilidade natural alta. Ocorre sobre as rochas básicas da Formação Mosquito;
- Podzólico Vermelho-Amarelo – solos argiloso e arenoso, fertilidade natural muito baixa rasos, bem drenados, estrutura maciça. São formados a partir de alteração de rochas dos cinturões Itacaiúnas e Araguaia, e pequenas porções da Bacia do Parnaíba;

- Areias Quartzosas – solos profundos de textura arenosa, estrutura em grãos simples e maciço, excessivamente drenados, de fertilidade natural muito baixa. Ocorrem nas formações Itapecuru, Motuca e Sambaíba;
- Solos Aluviais e Hidromórficos - Aluviões Eutróficos– medianamente profundos essa unidade é constituída de solos com textura indiscriminada, estrutura também indiscriminada e maciçamoderadamente drenados, e de fertilidade natural. Ocorrem nos *flats* aluviais dos principais rios como Tocantins, Araguaia e Itacaiúnas;
- Solos Litólicos - Podzólico Vermelho-Amarelo - Areias Quartzosas – solos argilosos e arenosos de textura indiscriminada, fertilidade natural variando de média a baixa, são fortemente drenados, rasos. Ocorrem nas cotas mais elevadas do Cinturão Itacaiúnas e da Formação Itapecuru.

4.3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

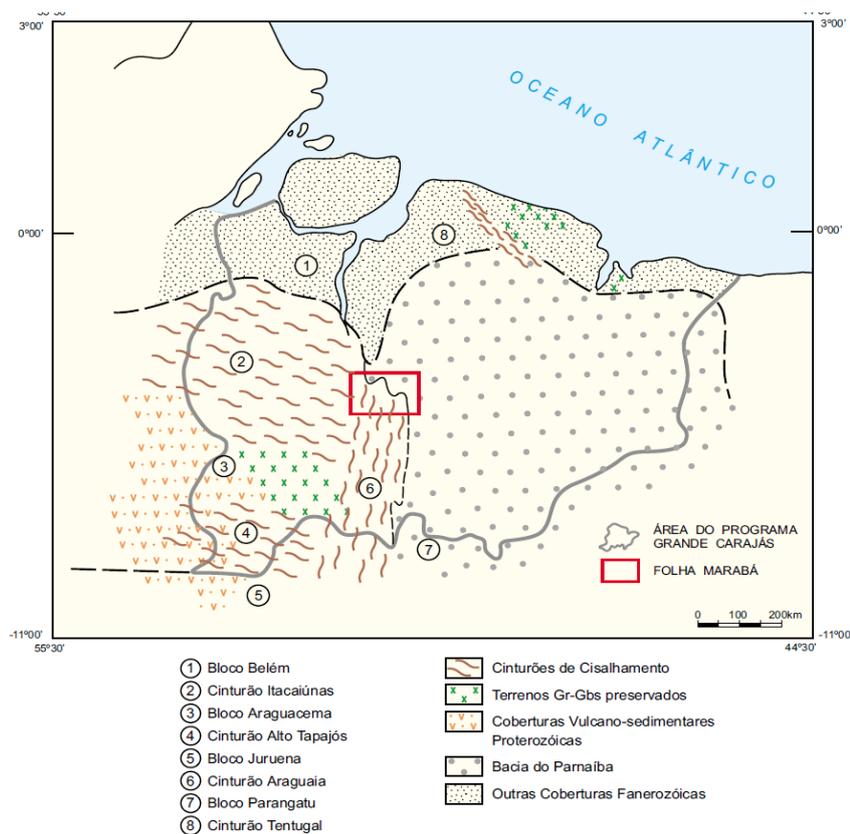
O município de Marabá, pertencente à Folha Marabá (SB.22-X-D), está inserido no contexto de três grandes províncias geotectônicas, as quais são denominadas de Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, Cinturão de Cisalhamento Araguaia e bacia do Parnaíba. (CPRM, 1996).

O Cinturão Itacaiúnas representa o contexto mais antigo deste quadro, sua evolução é atribuída a uma tectônica colisional oblíqua, que incorpora componente direcional sinistral e movimentação de massas rochosas de SW para NE no final do Arqueano a Proterozóico Inferior. Ocupa cerca de 10% da folha sendo dividido em dois domínios litoestruturais. O primeiro compreende o domínio imbricado com transcorrências associadas, envolvendo rochas da Suíte Metamórfica Bacajaí e do Complexo Xingu, dispostas em padrão anastomosado na direção geral E-W, com inflexões para NW-SE e NE-SW. O segundo representado pelo domínio transcorrente, com cavalgamentos associados onde aparecem rochas dos grupos Rio Novo, Tapirapé e Paredão, os quais encontram-se também dispostos em padrão anastomótico com orientação geral WNW-ESE (CPRM, 1996).

Segundo CPRM, 1996 o Cinturão Araguaia relacionado ao Proterozóico Inferior a Médio é resultante da atuação de regime compressivo oblíquo sinistral com vergência de SE para NW. Ocupa 40% da folha sendo representado pelas formações Xambioá, Pequizeiro e

Couto Magalhães, as quais se apresentam segundo um padrão de imbricamento generalizado. As grandes anisotropias observadas apresentam duas orientações preferenciais. Uma de direção submeridiana configurando os traços das zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento oblíquo sinistral e outra com orientação geral WNW-ESE, representando as zonas de cisalhamento transcorrentes (Figura 8).

Figura 8 – Contexto geológico/geotectônico regional de parte da Amazônia Oriental.



Fonte – Adaptado de Hasui et al., 1984 e Hasui e Haralyi, 1985 apud Almeida et al. 2001.

A Bacia do Parnaíba teve evolução e deposição de suas unidades geológicas, tanto no Paleozóico quanto no Mesozóico, através da implantação de um regime distensivo controlado pela estruturação antiga de seu embasamento. No Paleozóico, o referido regime extensional teve o eixo de estiramento máximo orientado segundo a direção NW-SE, enquanto no Mesozóico tal eixo orientou-se segundo a direção NE-SW. Completam o quadro geológico da folha as coberturas cenozóicas compreendendo lateritos, coluviões, eluviões e aluviões, muitas vezes controladas por neo-estruturações (CPRM, 1996).

São nas rochas da Formação Couto Magalhães, onde se observa a predominância de um aspecto bastante homogêneo, para a maior parte da unidade, o que se encontra refletido nos

sensores remotos de caráter fotográfico. Em termos regionais esta Formação compreende litótipos como filitos, ardósias, xistos (de granulação fina), quartzitos e calcários com baixo grau de metamorfismo. As fácies metamórficas situam-se de xisto-verde baixo a médio, alcançando o grau anquimetamórfico caracterizada pela predominância de componentes finos, com destaque para quartzo microcristalino, sericita e clorita. As rochas representativas dos xistos de granulação fina apresentam bandamento composicional paralelo à xistosidade. As espécies pelíticas têm constituição quase monominerálica, compreendendo essencialmente sericita com algum quartzo disseminado (CPRM, 1996).

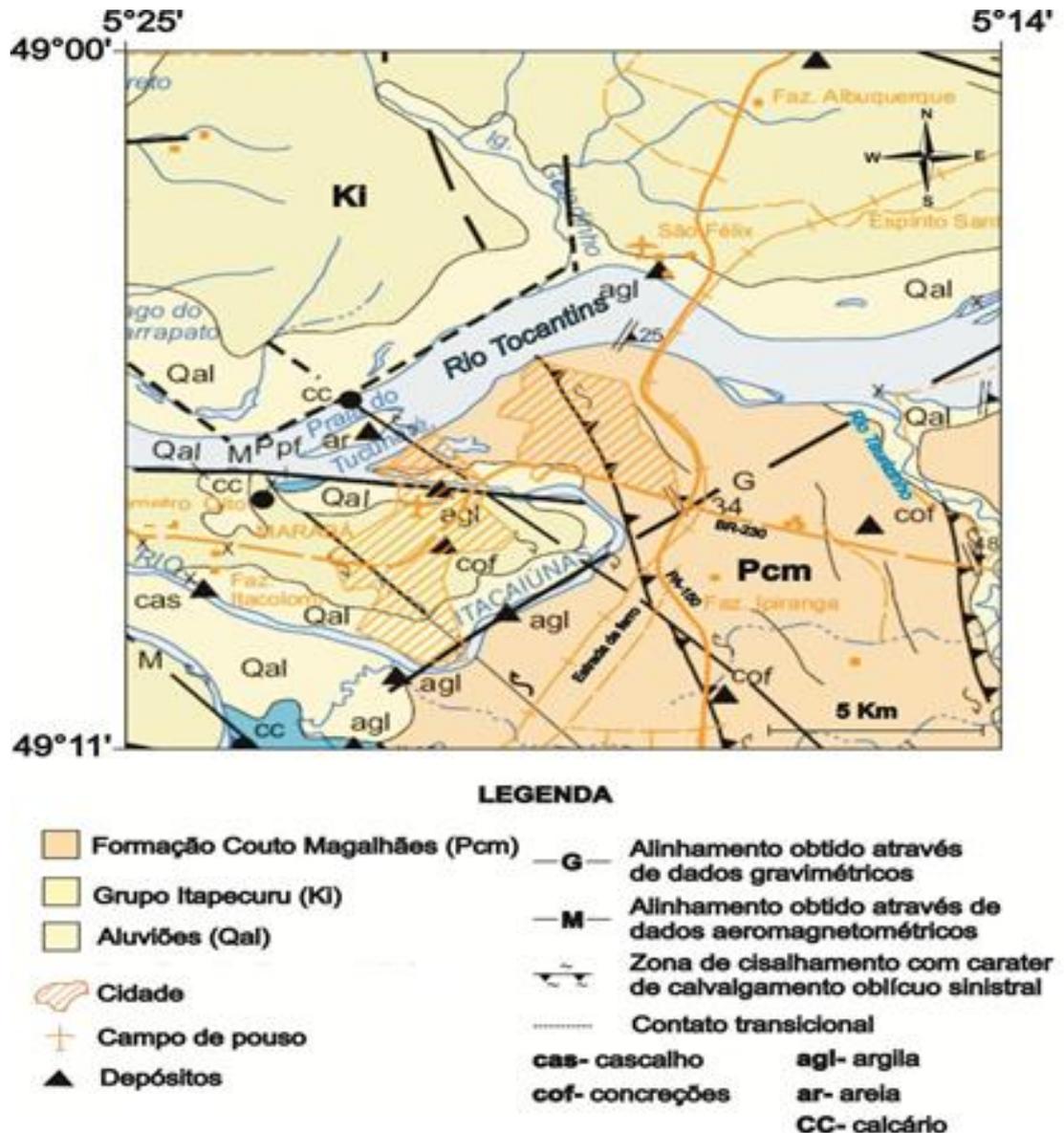
4.4. GEOLOGIA LOCAL

A formação mais antiga da cidade é Couto Magalhães, posicionada no Proterozóico Médio/Superior, formada por rochas dos tipos filitos, ardósias, xistos e subordinadamente quartzitos e calcários. No perímetro urbano o tipo dominante são os filitos de coloração cinza a tons avermelhados ou amarelados, principalmente quando alterados. Ocasionalmente, afloram xistos de granulação fina, coloração cinza a esverdeada. Estes apresentam uma proeminente foliação milonítica e abundantes fraturas rúpteis (PRIMAZ, 1996).

Outra litologia é dada por rochas correlacionáveis com sedimentos do depósito Itapecuru (CPRM, 1996) Barreiras (SOUZA, 2010), de idade cretácea, que ocorrem ao norte do rio Tocantins e no complexo Cidade Nova, estendendo-se além do limite oeste da cidade de Marabá. São rochas clásticas, constituídas por arenitos arcoseanos, cores avermelhadas, cinza e amarelada, granulação fina a média, heterogênea, friável, localmente com lentes de conglomerados, sendo frequentes as intercalações de pelitos avermelhados (PRIMAZ, 1996).

Por fim, completa o quadro geológico da cidade, a cobertura quaternária que cobre cerca as regiões mais proximais dos rios e seus tributários, merecendo registro os depósitos ao longo dos rios Tocantins e Itacaiúnas. Estes são constituídos de sedimentos inconsolidados, formados por siltes, argilas, areias e cascalhos (PRIMAZ, 1996). O mapa geológico da cidade de Marabá (Figura 9) mostra a disposição geográfica das formações citadas.

Figura 9 – Mapa geológico de Marabá. Mapa com coordenadas em grau.



Fonte – Modificado de Pimentel, 2013.

4.5. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DA CIDADE DE MARABÁ

Levantamentos hidrogeológicos feito pelo Projeto PIH e complementados pela equipe do PRIMAZ na área urbana e adjacências de Marabá referem-se, basicamente, a sistemas aquíferos fraturados e de porosidade granular (OLIVEIRA, 1996). O contexto geológico da área de Marabá é constituído em sua quase totalidade por rochas cristalinas da formação Couto Magalhães (50%) e secundariamente pelos sedimentos da formação Itapecuru/Barreiras (30%)

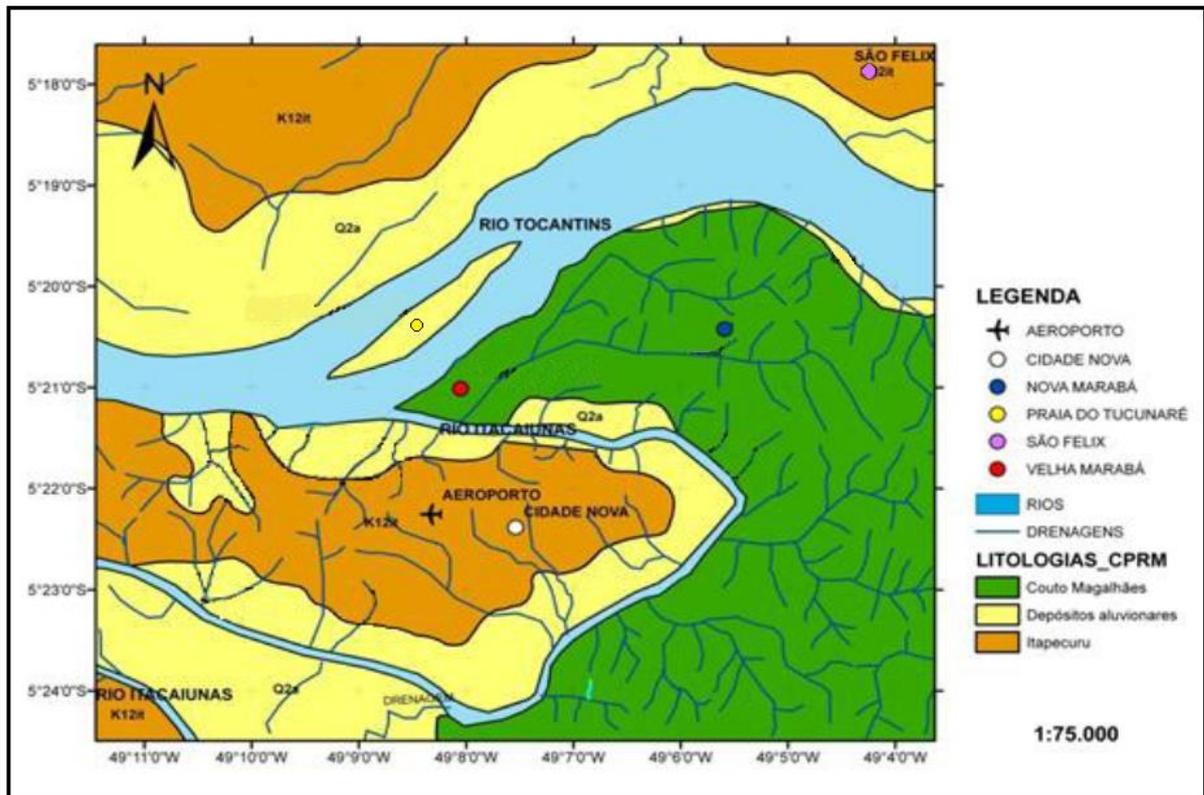
e, também, das coberturas de manto de intemperismo e aluviões (20%). Os recursos hídricos subterrâneos são explorados por institutos militares, particulares e por indústrias, com poços de até 130 metros de profundidade, que permitem caracterizar vazões da ordem de 2 m³/h a 30 m³/h (OLIVEIRA, 1996).

4.6. UNIDADES AQUÍFERAS

O Programa de Interação Mineral em Municípios da Amazônia (PRIMAZ, 1996), expôs informações que a região de Marabá está inserida em um contexto no qual contem distintas unidades aquíferas segundo a identificação e classificação. De acordo com as informações é possível individualizar três tipos de aquíferos (Figura 10).

Figura 10 – Unidades aquíferas do Município de Marabá.

Fonte – Modificado de Oliveira, 1996.



4.6.1. AQUÍFEROS FRATURADOS (FORMAÇÃO COUTO MAGALHÃES)

O aquífero Fraturado é constituinte da Formação Couto Magalhães, possui um sistema de potencialidade hidrogeologia fraca, a potencialidade está restringida as continuidades e anisotropia do meio, as condições de fraturas abertas e interligadas favorecem a exploração (OLIVEIRA, 1996).

4.6.2. *AQUÍFEROS POROSOS (FORMAÇÃO ITAPECURU/BARREIRAS)*

A Formação Itapecuru/Barreiras ocupa uma faixa subaflorante no perímetro urbano região Núcleo Cidade Nova e a principal unidade portadora de água subterrânea, aflorante tanto ao norte do Rio Tocantins como a oeste do Rio Itacaiúnas. As profundidades estão entre 12 a 18 metros, exceto poços de uso da Infraero que possui profundidade de 130 metros. Estudos regionais realizados nesta formação evidenciam que não se tem algo favorável quanto à exploração visando volumes expressivos de água, entretanto, quando sendo para abastecimento de pequenas demandas tal formação aquífera torna-se suficiente.

4.6.3. *AQUÍFEROS POROSOS (ALUVIÕES)*

Ainda entre os aquíferos porosos, temos ainda as aluviões que margeiam os rios Tocantins e Itacaiúnas, com espessuras entre 8 e 25 metros. Em função das características litológicas (areias, argilas e cascalhos), apresentam excelentes aspectos hidrogeológicos para baterias de poços de grandes diâmetros e uma boa permeabilidade e porosidade, as faixas aluvionares tem largura de até 2 km. A pouca profundidade proporciona restrição para o consumo, pois o caráter livre do aquífero o torna susceptível de poluição antrópica, a não ser que haja uma adequada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise dos dados e do processamento oriundos de várias fontes e as suas avaliações estão presente neste capítulo, apresentados em 4 temas principais, atingidos pela pesquisa, no qual são:

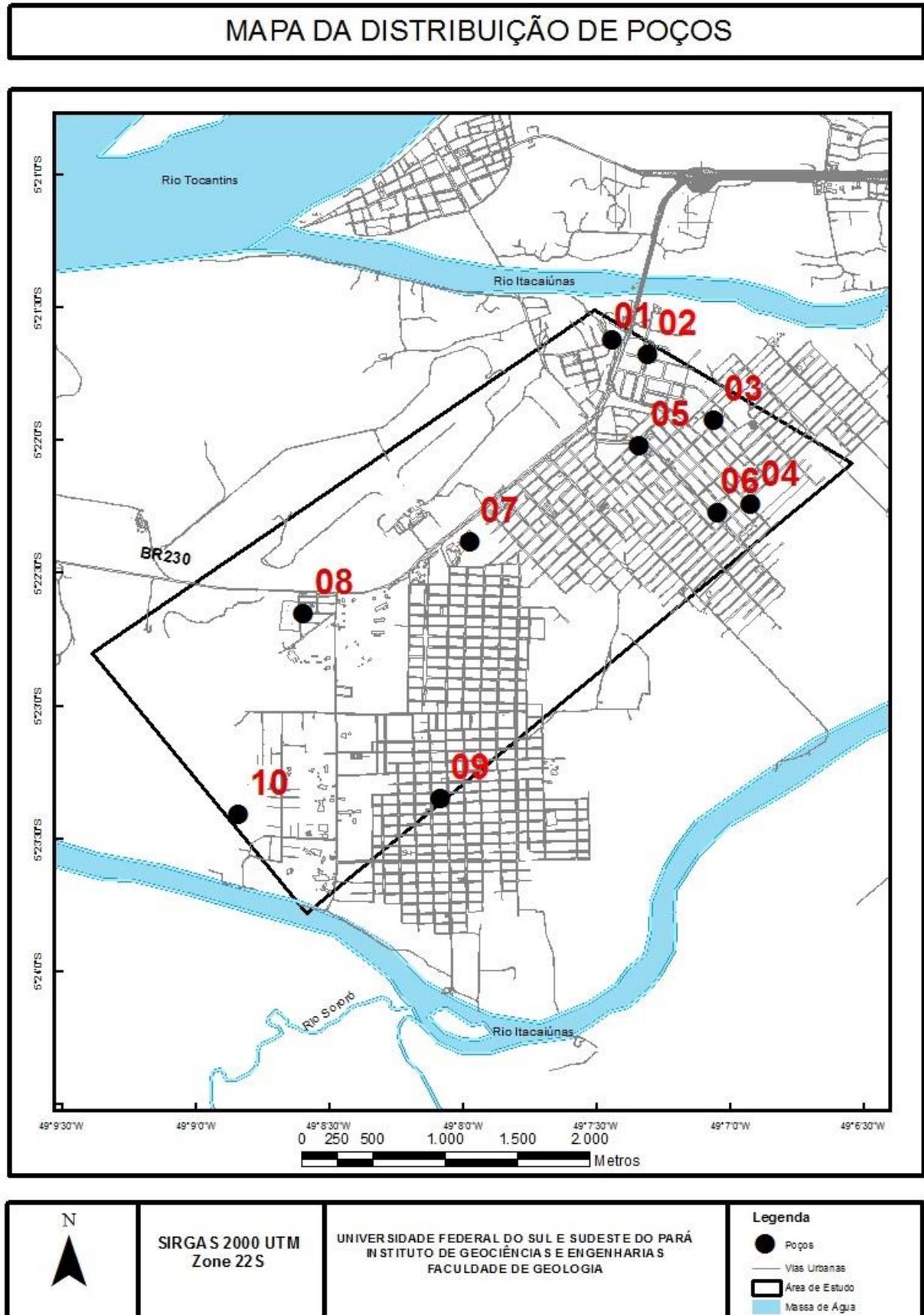
- 5.1) Cadastro dos poços e parâmetros hidrodinâmicos;
- 5.2) Mapeamento da vulnerabilidade natural do aquífero;
- 5.3) Identificação de fontes potenciais de contaminação;
- 5.4) Integração de informações: vulnerabilidade natural de aquíferos e fontes potenciais de contaminação.

5.1. CADASTRO DOS POÇOS E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

Na área de estudo foram cadastrado um total de 18 poços tubulares, dentre estes 8 foram cedidos pela empresa Construama e 10 pela empresa Poços Brasil. No entanto, somente 10 possuíam os parâmetros hidrodinâmicos necessários para a execução desta pesquisa. Vale ressaltar que, na área de estudo existe mais poços tubulares, contudo, os poços não são reconhecidos legalmente e não possui dados construtivos de poços.

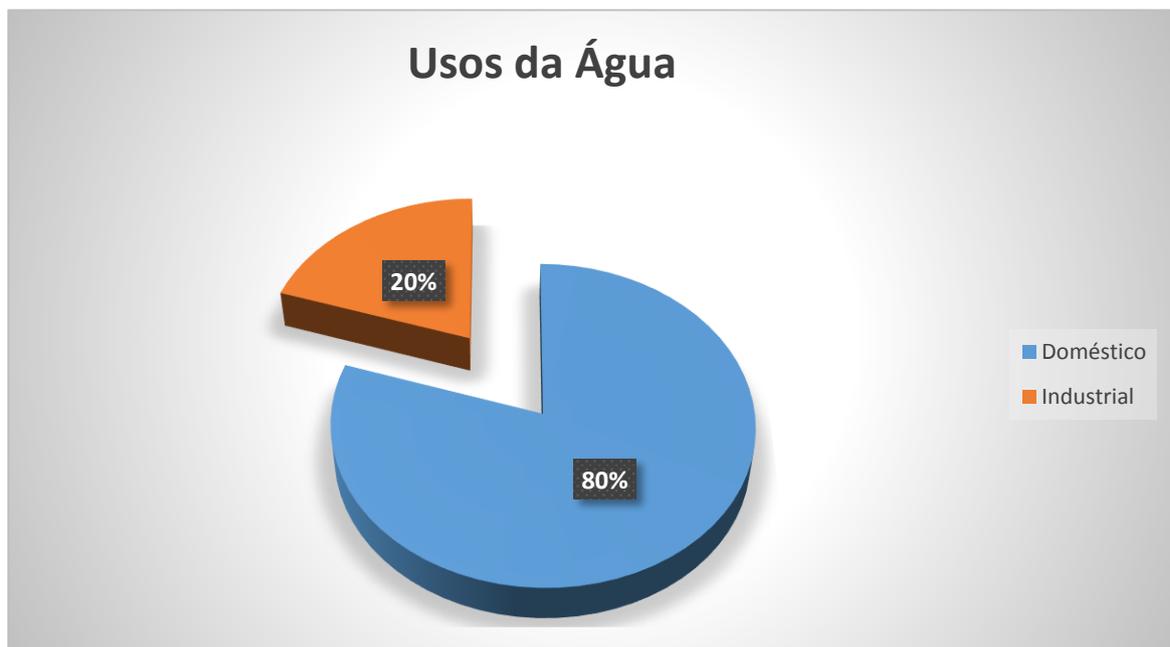
A maioria das residências da área é abastecida com a água subterrânea do aquífero Itapecuru, mas os poços são construídos ilegalmente e sem nenhum tipo de laudo, dificultando o acesso a mais informação sobre a região. Nesse sentido, os bancos de dados das empresas foram consultados, pois são reconhecidos pela Prefeitura Municipal de Marabá e pelos órgãos competentes, portanto tornaram-se confiáveis para a realização desta pesquisa. Os poços estão localizados no Núcleo Cidade Nova (Figura 11), a área de estudo abrange em 5 bairros, o Amapá, Novo Horizonte, Belo Horizonte, Laranjeiras e Liberdade.

Figura 11 – Mapa da distribuição de poços.



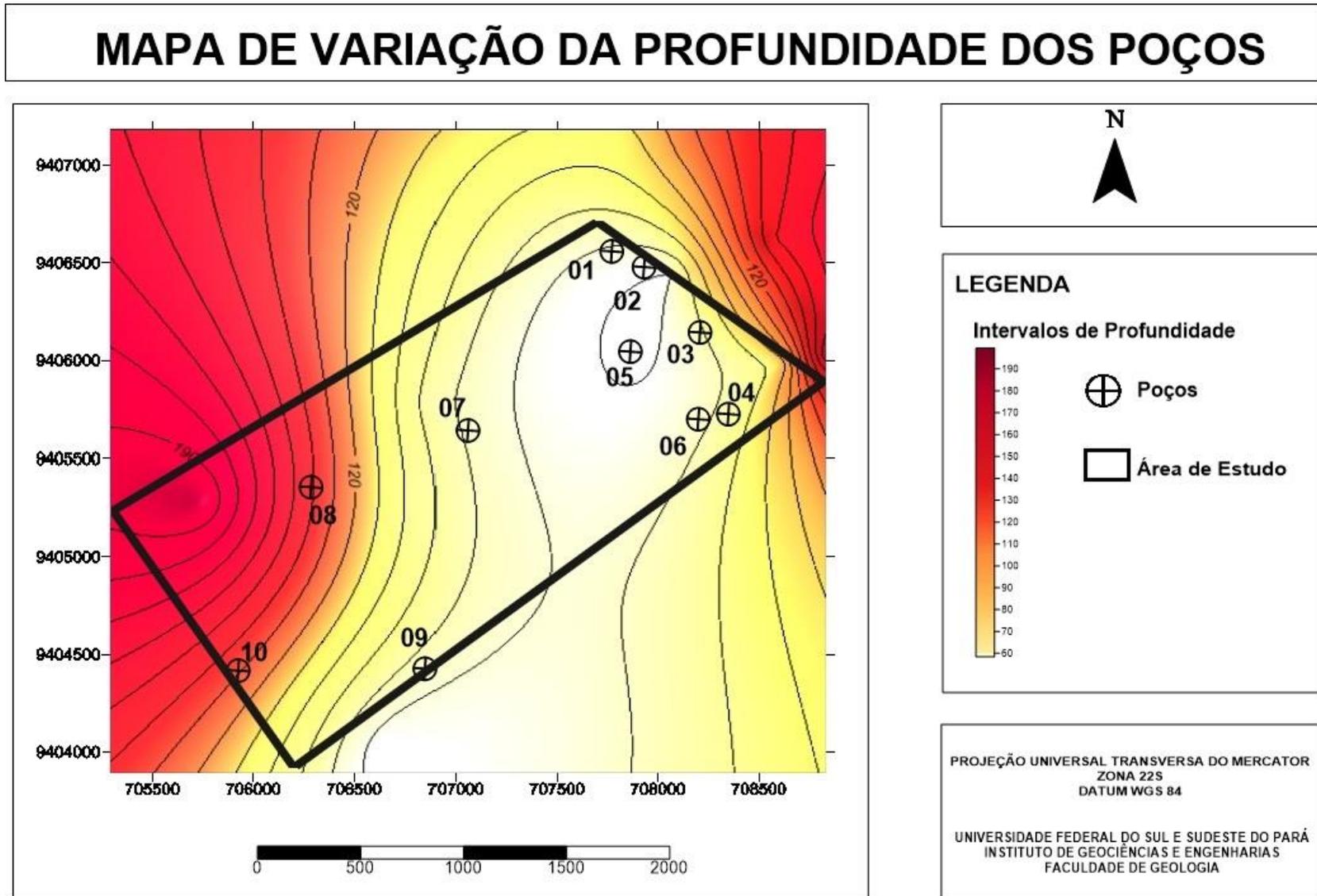
De acordo com os dados coletados os principais usos da água são para o consumo doméstico e industrial. Dos poços cadastrados dois estão em escolas municipais, onde há distribuição da água para a população da cidade pelo sistema SAC (Sistema de Atendimento Coletivo), pertencente a prefeitura de Marabá. Seis (6) poços em residências privadas, e dois (2) são de uso industrial, para uma empresa fabricante de refrigerantes e para uma rede hoteleira da cidade. O uso doméstico é predominante, porém observa-se que a maioria dos poços pertence a residências privadas, somente dois são de uso comunitário, esses poços comunitários estão localizados em uma zona periférica, beneficiando a população de baixa renda, a Figura 12 exibe o percentual do uso da água subterrânea na área de estudo.

Figura 12 – Gráfico indicando o principal uso da água subterrânea na área de estudo.



No que se refere a profundidade dos poços da região, observou-se a variação de 60m a 130m. Os poços mais profundos estão na porção oeste do mapa, só poço 7 e 8 atingiram o embasamento (Formação Couto Magalhães), os poços mais rasos estão localizados nas porções leste e central do mapa, e estão perfurados somente na Formação Itapecuru, a Figura 13 demonstra a espacialização dos intervalos de profundidades dos poços.

Figura 13 – Mapa da variação da profundidade dos poços.



As vazões dos poços, ocorrem em um intervalo de $1\text{m}^3/\text{h}$ a $6\text{m}^3/\text{h}$. As menores vazões estão localizadas nos poços 01, 02, 03, 04, 05 e 06, estão e localizados na porção noroeste do mapa, os valores de menor vazão coincidem com as porções de menor profundidade. Os poços que apresentam as maiores vazões são os 07, 08, 09 e 10, os poços estão na parte oeste do mapa, e também coincidem com as maiores profundidades da área. A Figura 14 demonstra a espacialização dos poços e as correspondentes vazões.

A superfície potenciométrica da área varia de 88m a 134m, cuja a direção preferencial do fluxo das águas subterrâneas, de oeste para o leste da área, outro fluxo marcante e de norte a sul, porém na parte central ocorre uma inversão do fluxo para leste. Neste caso pode-se concluir que na área tem-se divisores de fluxo de águas (Figura 15).

O Nível estático da região está no intervalo de 6m a 10m (Figura 16), mostrando a variação do nível estático na área, observa-se que a região central tem os níveis estáticos menores, sendo que na porção sudoeste tem-se os maiores níveis. Os poços com as maiores profundidades, estão relacionados ao nível estático maior, quanto mais elevado o nível estático mais distante estará da superfície, e em situação mais favorável de não ser atingido por alguns contaminantes. Os níveis estáticos com as profundidades menores estão vulneráveis a contaminação, pois o nível freático encontra-se próximo a superfície e qualquer atividade antrópica potencialmente contaminante pode atingir as águas subterrâneas.

Figura 14 – Mapa de Variação da Vazão dos poços.

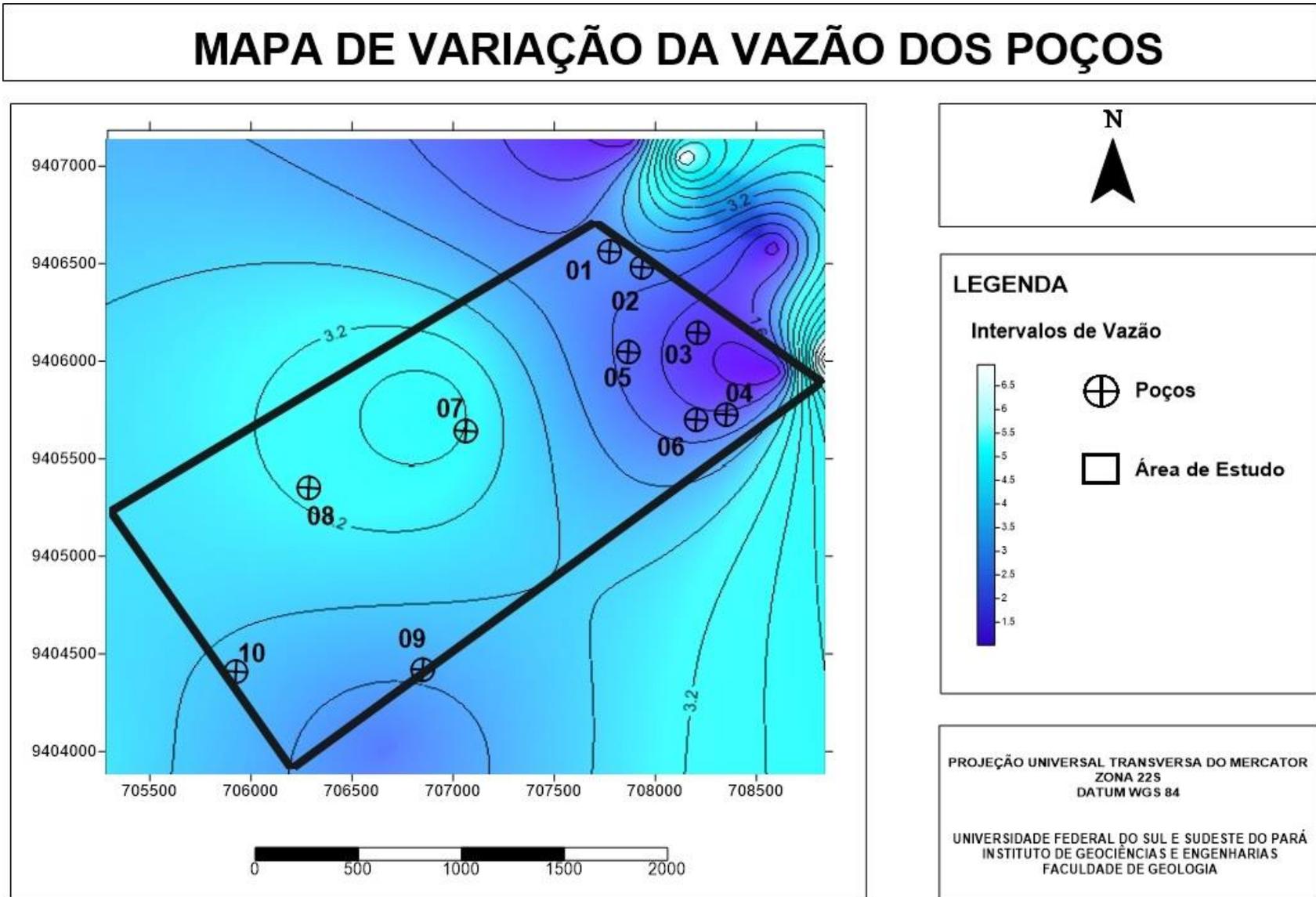


Figura 15 – Mapa potenciométrico

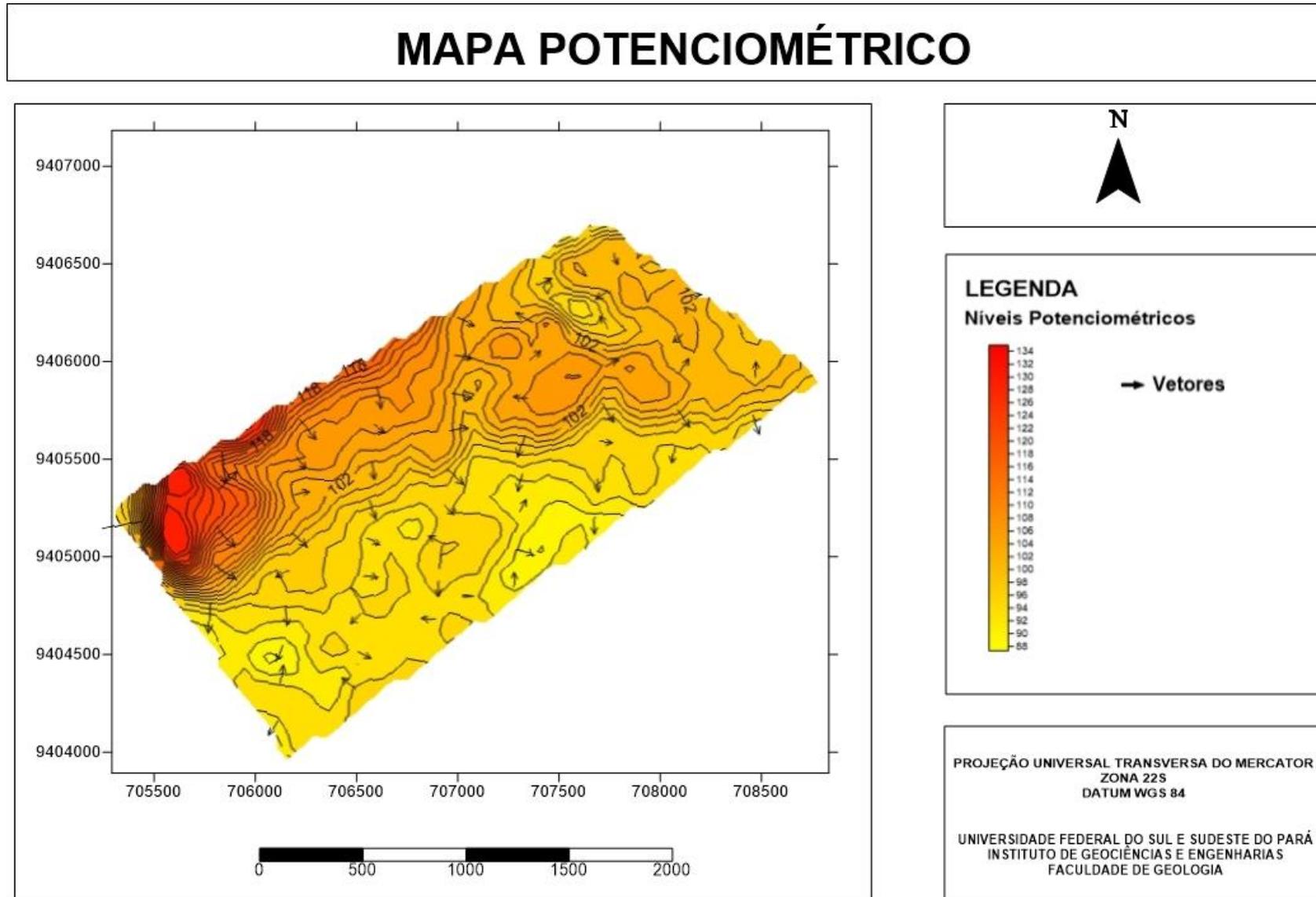


Figura 16 – Mapa de variação do nível estático dos poços.

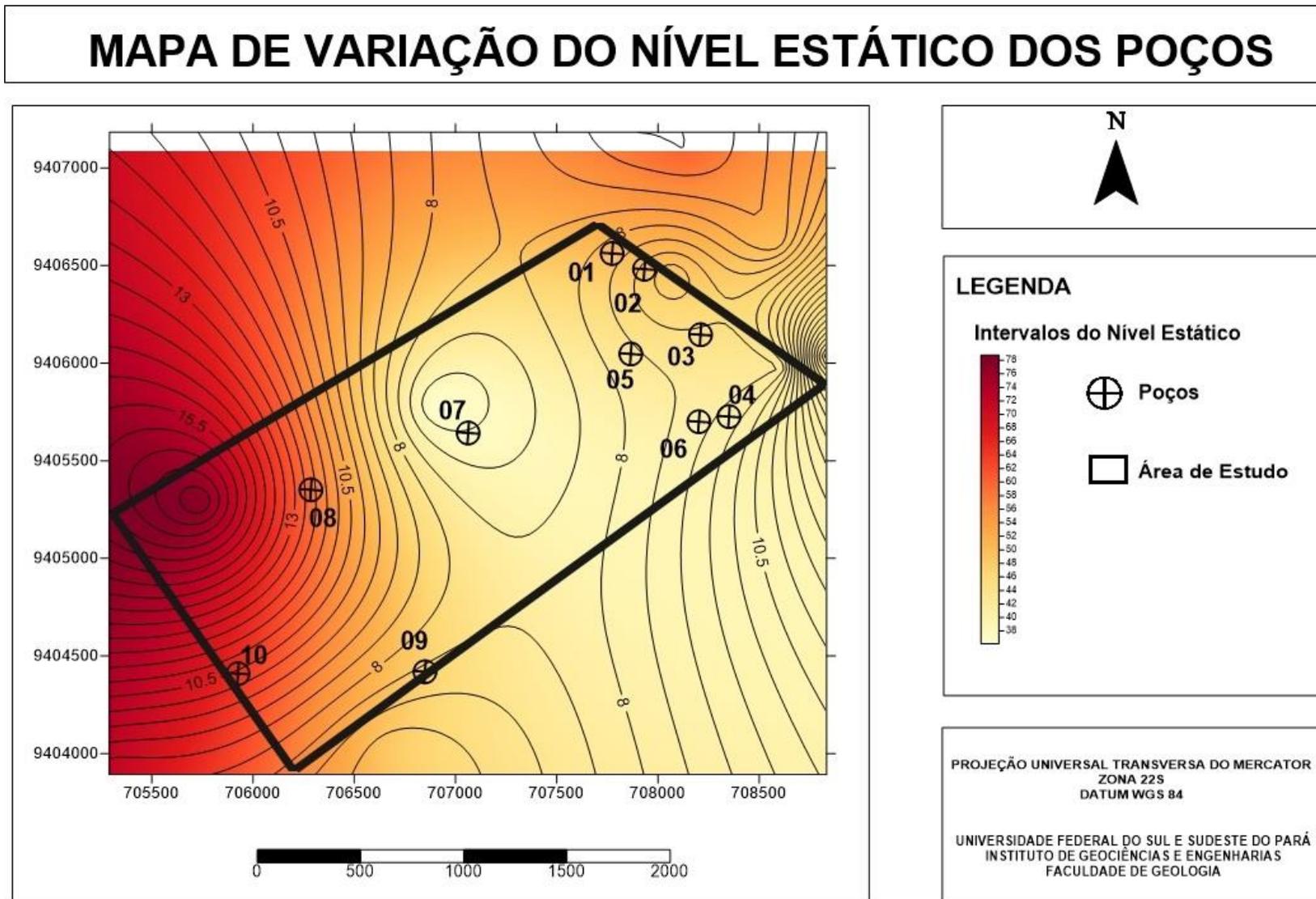
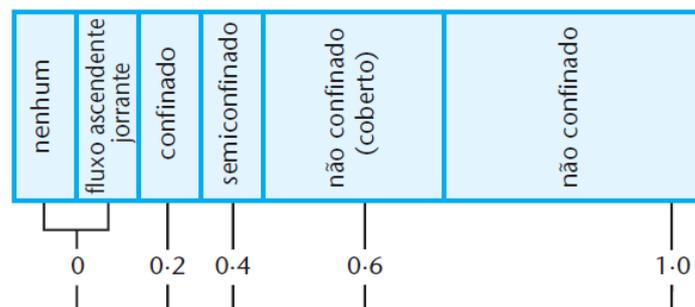


Figura 21 –Mapa de Vulnerabilidade.**5.2 – MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS**

A vulnerabilidade natural do método aplicado baseia-se em três fatores, as classes de vulnerabilidade foram seguidas de acordo com o método GOD (foster), os valores estão de acordo com características dos três parâmetros analisados. As classes de vulnerabilidades é o resultado da multiplicação dos parâmetros.

5.2.1. GRAU DE CONFINAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os poços da área foram classificados e inseridos no intervalo que corresponde ao não confinado, esse parâmetro foi diferenciado de acordo com a profundidade de cada poço analisado (Figura 17). Os poços 01, 02, 03, 04, 05, e 06 estão inseridos no aquífero poroso da Formação Itapecuru, e os poços 08 e 07 pertence ao aquífero fissural da Formação Couto Magalhães

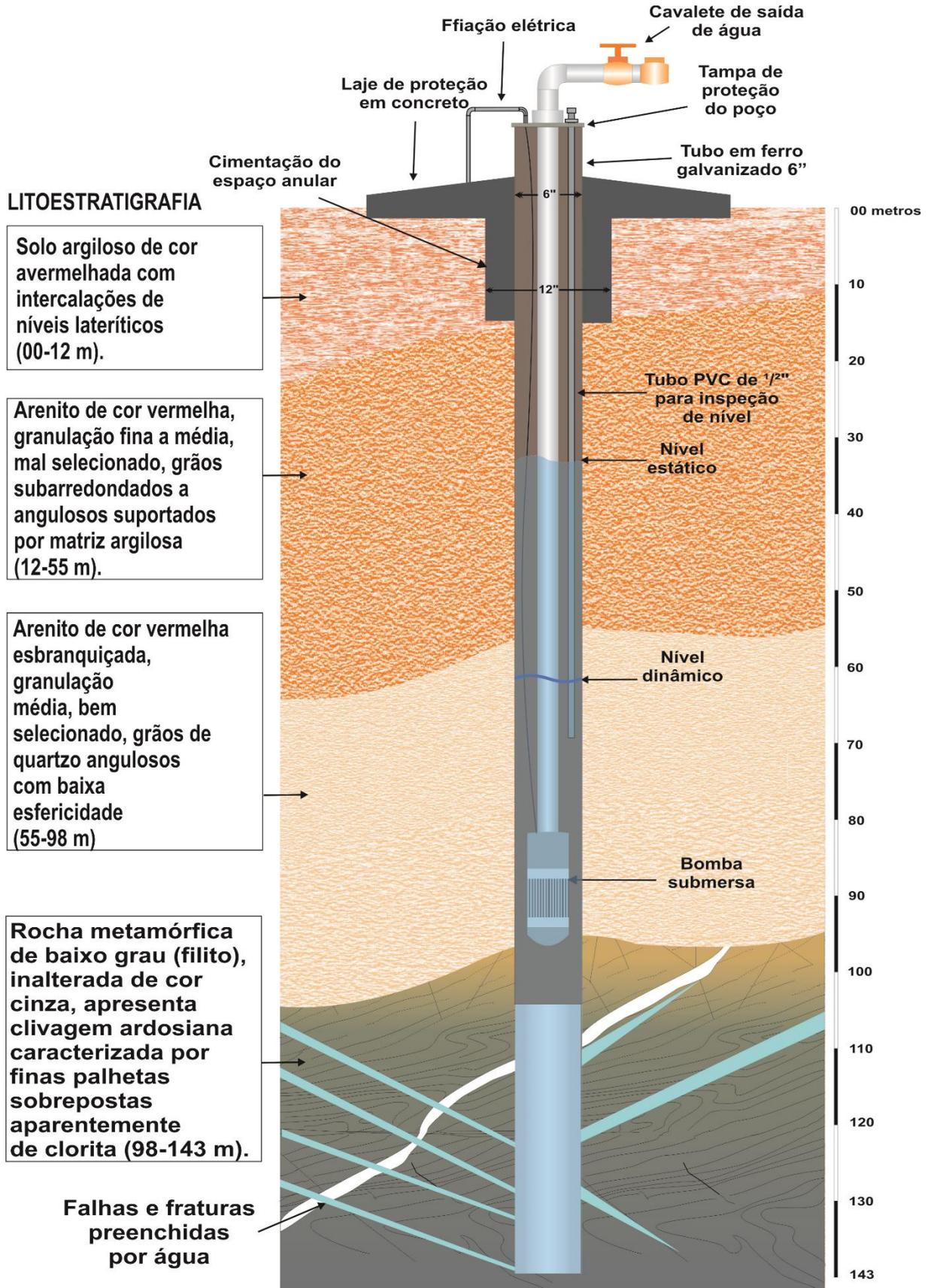
Figura 17–Valores para o Grau de Confinamento pelo método GOD

Fonte – Modificado de Foster, S. et al. 2006.

5.2.2. OCORRÊNCIA DE ESTRATOS DE COBERTURA (CARACTERÍSTICA LITOLÓGICA E GRAU DE CONSOLIDAÇÃO DA ZONA VADOSA OU CAMADA CONFINANTE).

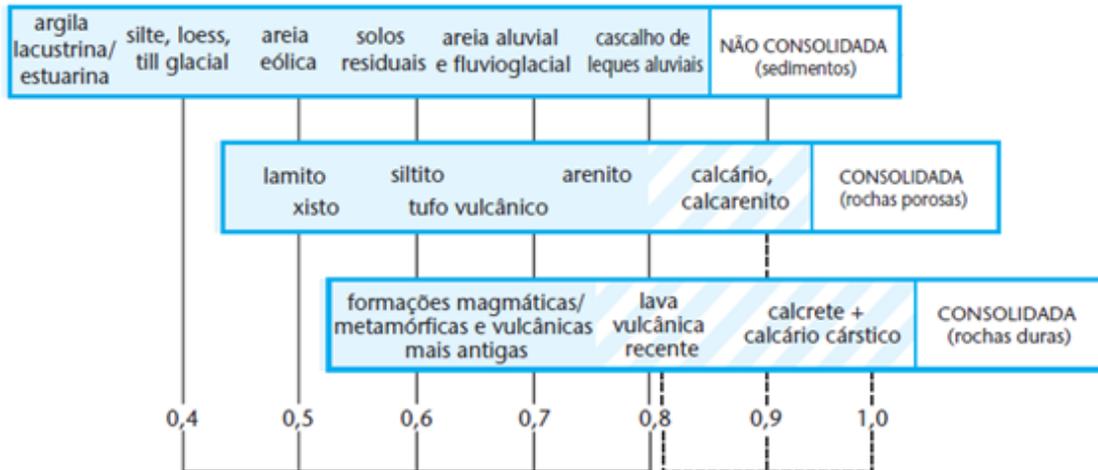
A maioria dos poços e são compostos por arenitos da Formação Itapecuru, composta por um solo arenoso, e foram atribuídos valores de 0,60 a 0,65. No entanto, os poços 08 e 07 estão localizados em uma profundidade maior, assim encontrar-se em uma segunda unidade aquífera, de litologia diferente aos demais poços, constituída por rochas metamórficas antigas da Formação Couto Magalhães (Figura 18), onde foram atribuídos o valor de 0,60 a 0,65, esse parâmetro foi classificado de acordo com os valores para ocorrência de estratos de cobertura pelo método GOD (Figura 19).

Figura 18– Perfil esquemático, com todas as unidades encontradas na área.



Fonte – Construama.

Figura 19 — Valores para Ocorrência de Estratos de Cobertura pelo método GOD



Fonte – Modificado de Foster, S. *et al.* 2006.

5.1.3. DISTÂNCIA ATÉ O LENÇOL FREÁTICO (OU O TETO DO AQUIFERO CONFINADO)

A distância até o aquífero foi definida de acordo com a metodologia. Quanto aos valores da distância esses foram baseados nos níveis estático dos poços, e posteriormente classificados com valores a partir da escala adotada para profundidade (Figura 20).

Figura 20 – Valores para Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado pelo método GOD

> 50	20-50 m	10-20 m	5 m	
0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

5.1.4. CORRELAÇÃO DOS PARÂMETROS

O índice indicado segundo a metodologia utilizada, e os valores de cada parâmetro estão inseridos nas colunas G, O, D (Quadro 5). O índice final de vulnerabilidade é gerado através da multiplicação dos três parâmetros, e são classificados de acordo com a escala do método GOD. As classes e a distribuição dos poços foram especializadas cartograficamente, gerando assim o mapa de vulnerabilidade da área (Figura 21).

Quadro 5 – Correlação dos valores dos parâmetros.

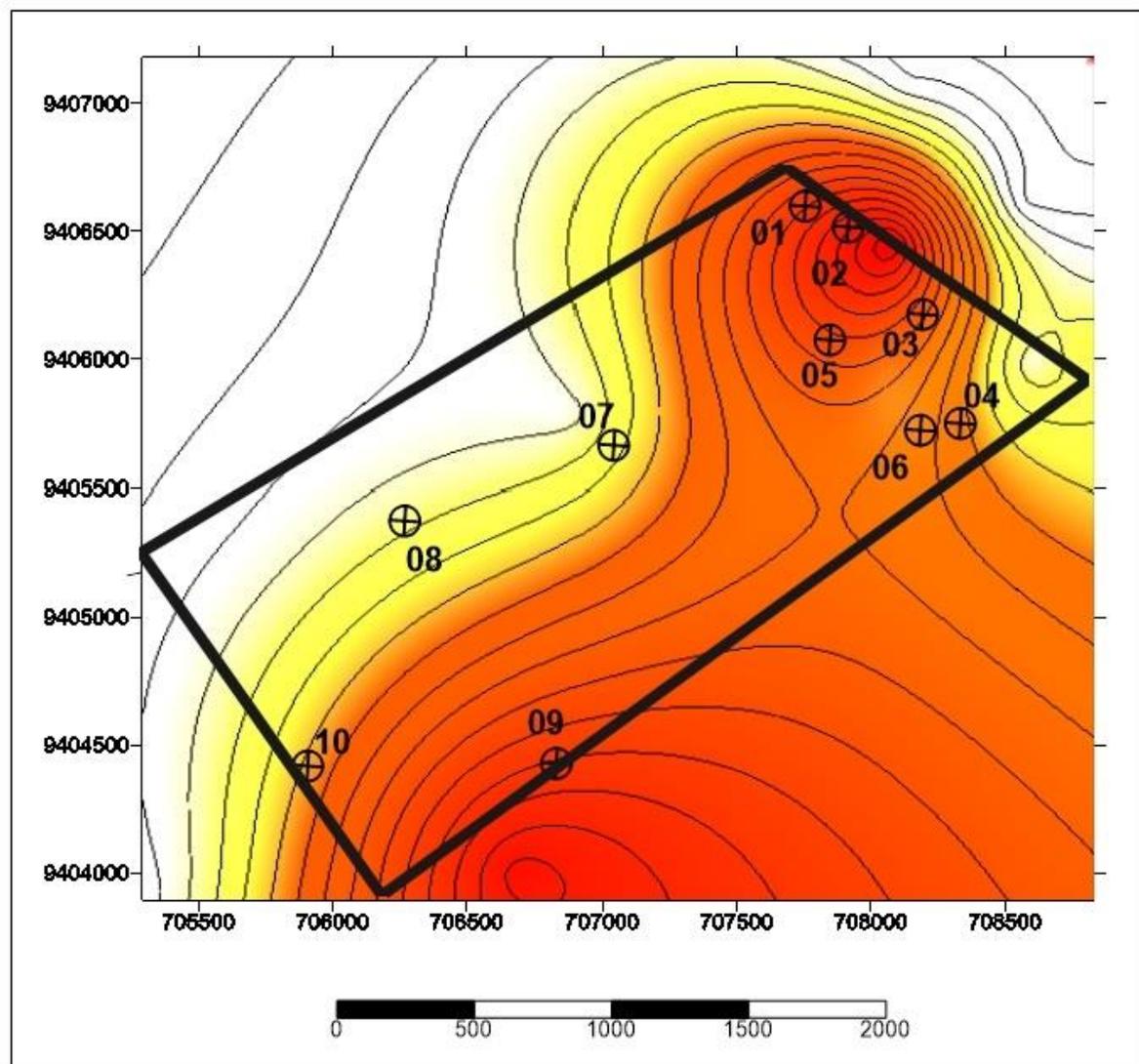
Nome do poço	G	O	D	IV GOD	Classes de vulnerabilidade (insignificante à extrema)
01	0,90	0,60	0,98	0,529	ALTA
02	0,89	0,63	0,96	0,538	ALTA
03	1	0,60	0,94	0,564	ALTA
04	0,95	0,65	0,90	0,555	ALTA
05	0,95	0,65	0,95	0,586	ALTA
06	0,92	0,63	0,94	0,521	ALTA
07	0,63	0,60	0,74	0,279	BAIXA
08	0,60	0,60	0,75	0,270	BAIXA
09	0,90	0,63	0,90	0,510	ALTA
10	0,68	0,60	0,92	0,375	MÉDIA

5.2. MAPA DE VULNERABILIDADE

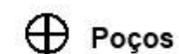
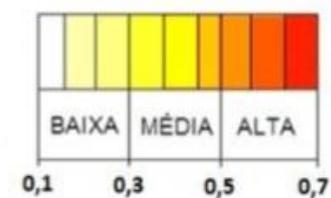
A partir dos dados obtidos em cada fator pode-se constatar que a vulnerabilidade natural dos aquíferos da área mapeada exhibe 3 classes de vulnerabilidade. A classe de baixa vulnerabilidade, está no intervalo de 0,1 a 0,3, e encontra-se na parte oeste da área, nesta classe verificou-se a presença de dois poços (08 e 07).

Somente um poço (10), apresentou vulnerabilidade média que corresponde ao intervalo de 0,3 e 0,5. A classe de vulnerabilidade que abrange a maior parte da área de estudo é alta, que abriga 7 dos 10 poços cadastrados, que estende-se desde a porção norte da área e permanece até o sul.

MAPA DE VULNERABILIDADE



LEGENDA



Poços



Área de Estudo

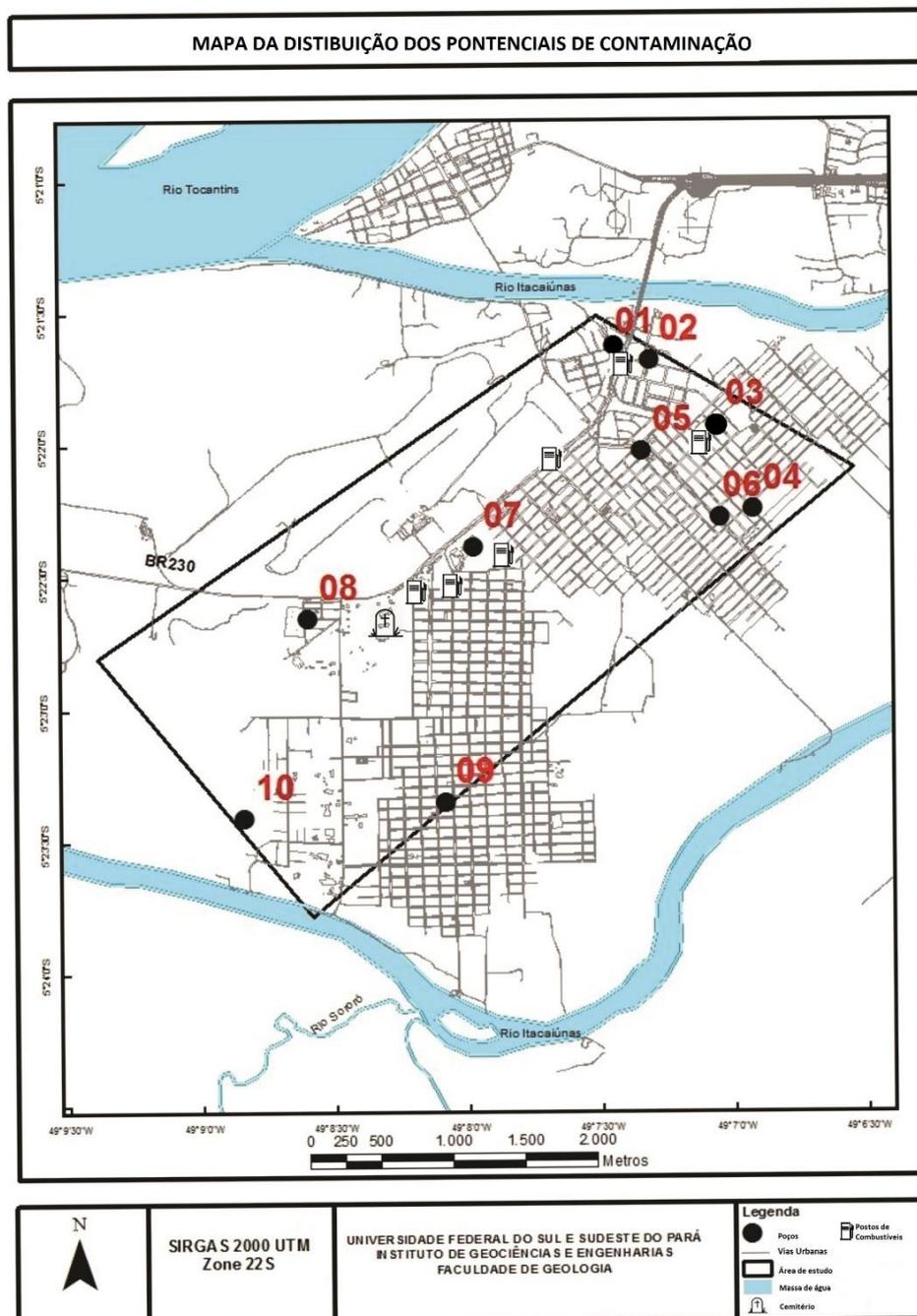
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DO MERCATOR
ZONA 22S
DATUM WGS 84

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

5.3. IDENTIFICAÇÃO DE FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO

As principais fontes de contaminação foram cadastradas e analisadas neste trabalho, incluindo: Postos de Combustíveis e Cemitério. Foram cadastrados 6 postos de combustíveis e apenas um cemitério (Figura 22). Porém a região também tem como fontes potenciais o saneamento in situ, pois na cidade não existe uma rede de tratamento e coleta de esgoto.

Figura 21 – Mapa de distribuição dos potenciais de contaminação.



As fossas sépticas são construídas nos quintais das residências, essa pratica de construção de fossas torna-se um potencial mais responsável pelas contaminações encontradas na área de estudo. Trabalhos anteriores de Leal (2010) e Silva (2013) mostraram que aquíferos rasos no núcleo cidade nova estão contaminados por coliformes fecais, bactéria coli e os compostos nitrogenadas principalmente o nitrato.

5.4. INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES: VULNERABILIDADE NATURAL DE AQUÍFEROS E FONTES POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO.

É de suma importância, avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos com as atividades antrópicas desenvolvidas em superfície, por mais que o meio apresente suas fragilidades, é o período de disposição que determinam o verdadeiro risco de contaminação que o aquífero é submetido. Por isso a integração das fontes potenciais de poluição e a vulnerabilidade natural do aquífero estão integralizadas na Figura 23.

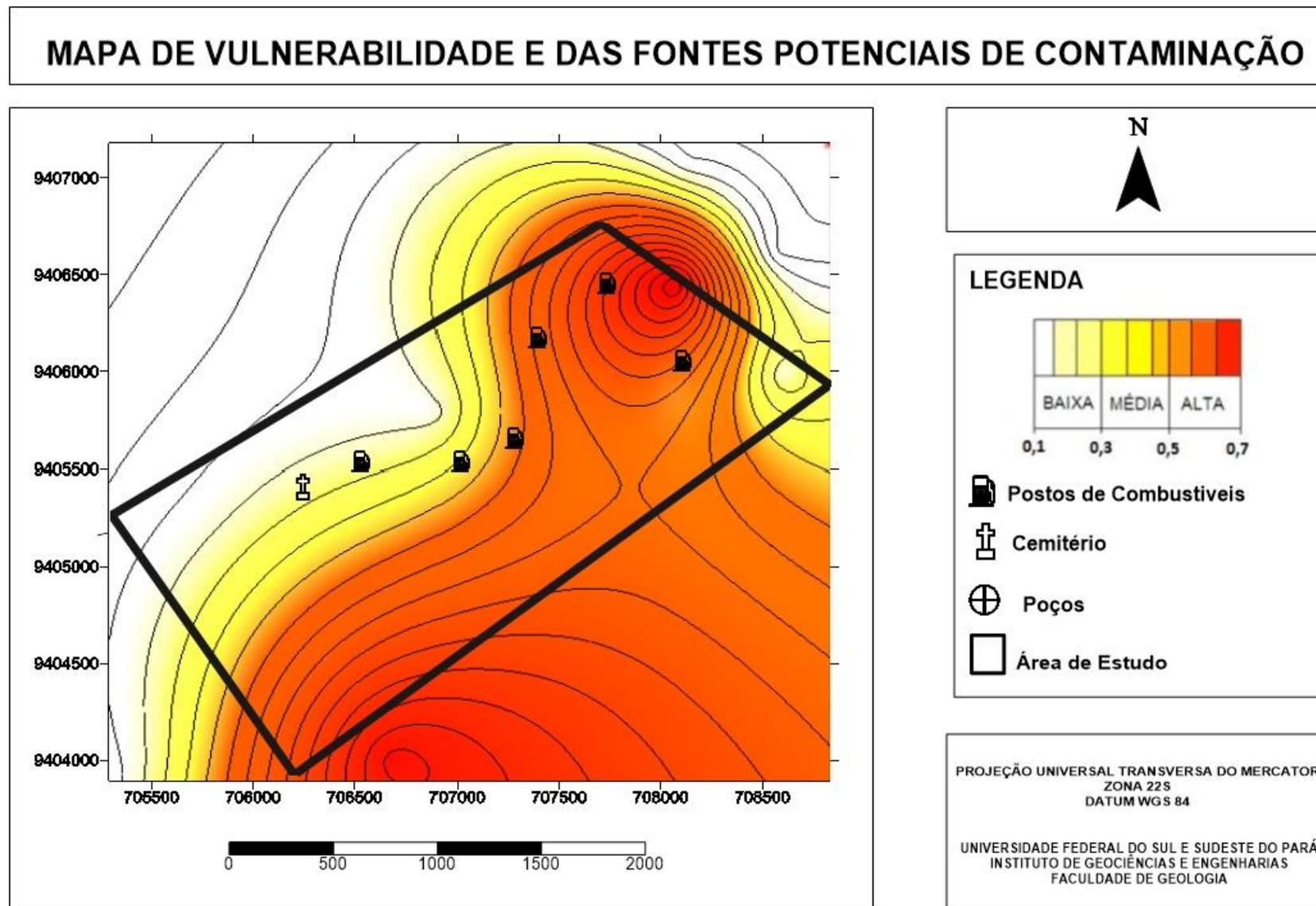
Na classe considerada como vulnerabilidade baixa, constatou-se a presença do cemitério e um posto de combustível. Na classe de média vulnerabilidade, observou-se a presença de um posto de combustível. E para a classe alta vulnerabilidade foram identificados 4 postos de combustíveis.

Os potenciais de contaminação, como os postos de combustíveis, devem ser analisados com muita cautela, pois utilizam produtos não biodegradáveis, considerando o tempo de execução, contato com solo e idade, os poluentes podem atingir o lençol freático.

Os cemitérios podem ser geradores de impacto ambiental, por isso, considera-se que a localização e operações inadequadas podem provocar a contaminação de mananciais hídricos por microrganismos que proliferam na decomposição dos corpos.

O saneamento in situ é o potencial de contaminação mais evidente na área, pois todas as residências, usam fossas sépticas para a disposição do esgoto.

Figura 22 – Mapa de vulnerabilidade das fontes potenciais de contaminação.



6. CONCLUSÃO

Com a preocupação crescente com o uso de recursos hídricos, preocupação latente da qualidade da água consumida pela população da Cidade de Marabá. O presente estudo contribuiu para o aprofundamento dos conhecimentos sobre a vulnerabilidade natural do Aquífero Itapecuru, e o risco de contaminação de suas águas subterrâneas. Para tal, utilizou-se as ferramentas SIG, proporcionando o estudo cartográfico desse equilíbrio e suas relações com as fontes potenciais de contaminação como: postos de combustíveis, cemitério e saneamento in situ.

A busca pelos poços para a realização da pesquisa, revelou que muitos poços perfurados na cidade foram de maneira clandestina. Os poços legalmente construídos são minorias, porém os dados repassados pelas empresas construtoras de poços foram de grande importância para este trabalho de conclusão de curso.

A caracterização da vulnerabilidade natural do Aquífero Itapecuru, obtida pelo modelo GOD o qual relaciona três fatores associado ao meio natural, possibilitando a representação cartográfica de três classes de vulnerabilidade (baixa, média e alta). Isso possibilitou a compreensão das áreas com maior e menor risco de contaminação das águas subterrâneas no núcleo Cidade Nova, assim sendo, pode-se a partir deste trabalho ter maior segurança quanto a locação de poços, elegendo as áreas mais favoráveis a construção de poços tubulares, expansão urbana, atividades econômicas e industriais.

Ainda neste sentido, pode-se estabelecer através dos dados obtidos nesta pesquisa, ações preventivas de proteção desse manancial hídrico subterrâneo. A utilização de Geotecnologias e cartografia hídrica subterrânea associados aos trabalhos de campo, possibilitaram a elaboração de mapas que proporcionaram a visualização em subsuperfície dos parâmetros hidrodinâmicos do Aquífero Itapecuru. Essas ferramentas até então inéditas em trabalho dessa magnitude na região, possibilitaram e facilitaram a compreensão, da hidrogeologia da área de estudo.

Quanto as fontes potenciais de contaminação cadastradas neste estudo como: postos de combustíveis, cemitérios e saneamento in situ, demonstram que os locais no qual essas fontes estão estabelecidas, devem ser alvos de ações investigativas e preventivas, pois são áreas mais sensíveis a acidentes que possam gerar a contaminação do Aquífero Itapecuru. Em relação ao cemitério, esse deve ser de pesquisa urgente, pois sua construção não foi planejada dentro das normas exigidas pelo CONAMA, haja vista, o tempo de atividade. Os poços de gasolina devem ser adequados a resolução do CONAMA, sendo neste caso de postos de combustíveis são mais intensas.

Ressalta-se que a maior fonte de contaminação na área estudada é representada pela falta de saneamento ou saneamento in situ nas residências do Núcleo Cidade Nova. Essa fonte é marcante em todo o município de Marabá pela falta de coleta e tratamento dos esgotos. Isso proporcionou, que a população implantasse sua própria forma de coleta de esgoto, construindo fossas sépticas nos quintais, com isso injetando agentes contaminantes no subsolo, aumentando a possibilidade da contaminação das águas subterrâneas. Outro fator que também aumenta a possibilidade de contaminação é a construção de poços clandestinos, que não obedece nenhum padrão construtivo, em muitos casos fossa e poço estão lado a lado nas residências.

Portanto essa fonte de contaminação representa o maior perigo para as águas subterrâneas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L., et al. **DRASTIC**: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting. United States: EPA, 1997

ALMEIDA, H.G.; MARINHO, P.A.C.; MARTINS, R.C. **Marabá Folha SB.22-X-D: estados 1518 do Pará, Maranhão e Tocantins: escala 1:250.000**. Brasília: CPRM, 2001. Programa 1519 Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

BATALHA, B. L. **Glossário de engenharia ambiental**. Brasília: D.N.P.M., 1986.

BURROUGH, P. A.; McDONNEL, R. A. **Principles of geographical information systems: spacial information systems and geostatistics**. Oxford: Clarendon Press, 1998, 333p.

CAMPOGARA, I. **Vulnerabilidade natural do sistema aquífero Guarani, em Santana do Livramento, RS, com uso de geotecnologias**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CASA DA CULTURA DE MARABÁ. Arquivo pessoal fornecido em mídia. Dados relevantes ao ano de 2009.

CLIMATE-DATA.ORG. Disponível em- <<http://pt.climate-data.org/location/715120/>> acesso 05 dezembro 2015.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1996. Disponível em: <www.cprm.gov.br>.

DANGERMOND, J. **What is a Geographic information System (GIS) In:** JOHNSON, A .I.; PETERSSON, C. B.; FULTON, J. L. **Geographic Information Systems (GIS) and Mapping – Practices and Standards**. Philadelphia: ASTM STP 1126, Eds. American Society for Testing and Materials, 1992, p.11-17.

DOYLE, T. M.; GRAY, N. F. **Protocol for monitoring and predicting the impact of acid mine drainage: Designing and setting up a geographical information system (GIS)**. Thecnical

Report: 25, Water Technology Research, Trinity College, University of Dublin, Dublin, 1995. 38p.

ESCADA, D.P.S. **Mapeamento da vulnerabilidade e perigo à contaminação das águas subterrâneas do Município de Cajamar – Sp.** 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2009.

Exemplo: MORETTI, Isabella. “**Regras da ABNT para TCC: conheça as principais normas**”. 2014. Disponível em: <<http://viacarreira.com/regras-da-abnt-para-tcc-conheca-principais-normas>>. Acesso em: 04/01/2016.

FOSTER, S. S. D e HIRATA, R. C. A – 1993 – **Determinação do Risco de contaminação das Águas Subterrâneas: Um Método Baseado em Dados Existentes.** São Paulo – Instituto Geológico, P. il., tabs. 23 cm (Boletim, 10).

FOSTER, S. S. D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability, Pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants.** TNO Committee on Hydrological Research Information, n. 38. 1987.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data.** Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

GUERRA, A. T. & GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HIRATA, R. & REBOUÇAS, A. **La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetro de protección de pozos y vulnerabilidade de acuíferos.** Boletín Geológico y Minero. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. v.110. 1999, 79-92p.

HIRATA, R. C. A. & FERREIRA, L. M. R. **Os aquíferos da bacia hidrográfica do alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição.** Revista Brasileira de Geociências, v. 31, n. 1, p. 43-50, 2001.

IRITANI, M.A. & EZAKI, S. 2009. **As águas subterrâneas do estado de São Paulo**. INSTITUTO GEOLÓGICO – IG/SMA. São Paulo, 2^a. Edição. p. 12 – 23

LEAL, V. M. C. **Avaliação físico-química e microbiológica das águas subterrâneas no entorno do cemitério Jardim da Saudade, bairro Aeroporto, núcleo Cidade Nova, cidade de Marabá, sudeste do estado do Pará**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Pará, Marabá-PA. 2010.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

MANOEL FILHO, J. **Contaminação da água subterrânea**. In: FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. Hidrologia - conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, UFPE, 1997, p. 109-114.

MARGAT, J. **As reservas secretas**. Correio da Unesco, 21 (7): 09-12. Rio de Janeiro: Brasileira.

MOTTA, Paulo Roberto. **Transformação Organizacional. A teoria e a Prática de Inovar**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark. 1997.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; CORRÊA Filho, Diogo (Coord.). **Ensaio de permeabilidade em solos: orientações para sua execução**. 3. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 1996. (Boletim, n. 4).

PEDROSA, C.A. & CAETANO, F.A. 2002. **Águas subterrâneas. Superintendência de Informações Hidrológicas/SIH**. Agência Nacional das Águas/ANA. BRASÍLIA, p. 19 – 24.

PIMENTEL, E. N. **Análise das estruturas rúpteis e suas relações com a hidrogeologia do núcleo Nova Marabá, cidade de Marabá, sudeste do estado do Pará**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Pará, Marabá-PA. 2013.

PRIMAZ. Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia. Superintendência Regional de Belém. **Potencialidades hidrogeológicas da área urbana de Marabá com proposta técnica para perfuração de poços tubulares para abastecimento de água subterrânea.** Marabá, 1996.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Doces no Brasil.** Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP. 2002.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Subterrâneas.** Academia Brasileira de Ciências. São Paulo: USP. 1996.

RIBEIRA, F. **Calidad, contaminación y protección de acuíferos** in III Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea. 4 de octubre al 3 de diciembre de 2004, Montevideo-UY.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction, Berlin:** Springer-Verlag. 1986.

ROSATELLI, J.S. , VIEIRA, L. S. , ARAUJO, M. P. de SOMMER, s. 1974. **Levantamentos Exploratórios de Solos da Folha SB.22. ARAGUAIA e a parte da Folha SC.22. TOCANTINS.** In: Brasil Projeto RADAN BRASIL Rio de Janeiro. 1974 (Levantamento dos Recursos Naturais, 4).

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS. **Estatística Municipal:** Marabá. Governo do Estado do Pará. Diretoria de estudos, pesquisas e informações socioeconômicas. Gerência de base de dados estatísticos do Pará.

SILVIA, C. **Vulnerabilidade das águas subterrâneas no Bairro Aeroporto, Nucleo Cidade Nova, cidade de Marabá, Sudeste do Pará.**2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Marabá: Universidade Federal do Pará, 2014.

SOUZA, S.C.R; SANTOS JÚNIOR, A.E.A. **Fácies e estratigrafia da sedimentação proximal da Formação Barreiras, sul do Sistema de Grabén do Marajó, região de Marabá.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45°, 2010, Belém. Desenvolvimento e

mudanças globais: a importância das geociências. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010.

TODD, D. K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1959.

WEGRE, M. **termos Hidrogeológicos Básicos**. Disponível em:
<http://www.abas.org.br/estudos/hidrogeologia/termos_hidrogeo.htm> acesso 16 janeiro 2016.