



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

BRENO DUTRA MEIRELES

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E
CONSIDERAÇÕES DOS PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS E
HIDROMETEOROLÓGICOS NA FOLHA 17, NOVA MARABÁ,
MARABÁ-PA**

MARABÁ-PA

2018

BRENO DUTRA MEIRELES

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E
CONSIDERAÇÕES DOS PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS E
HIDROMETEOROLÓGICOS NA FOLHA 17, NOVA MARABÁ,
MARABÁ-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
como requisito básico para conclusão do
Bacharelado em Geologia.

Orientador (a): Prof^ª Dr.^a Ana Valéria dos Reis
Pinheiro.

MARABÁ-PA

2018

BRENO DUTRA MEIRELES

**ANÁLISE DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E
CONSIDERAÇÕES DOS PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS E
HIDROMETEOROLÓGICOS NA FOLHA 17, NOVA MARABÁ,
MARABÁ-PA**

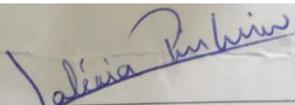
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
como requisito básico para conclusão do
Bacharelado em Geologia.

Orientador (a): Prof^ª Dr.^a Ana Valéria dos Reis
Pinheiro.

Data de Aprovação: ___/___/___

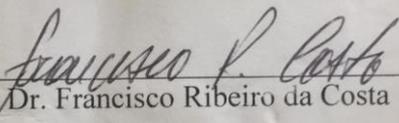
Conceito: _____

Banca Examinadora



Prof.ª Dra. Ana Valéria dos Reis Pinheiro

Orientadora/UNIFESSPA



Prof. Dr. Francisco Ribeiro da Costa

Docente/UNIFESSPA



Msc. Aderson David Pires De Lima

Docente/UNIFESSPA

Dedicatória

À Deus.

Aos meus pais.

Aos meus irmãos e amigos quase irmãos.

Aos meus professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais, Benedito e Raildes, que sempre me apoiaram em todas as etapas da minha vida e que mesmo com todas as adversidades nunca mediram esforços para que tudo desse certo. Agradeço também às minhas irmãs Fernanda, Rafaela e Luna, por quem nutro o mais verdadeiro e puro dos afetos.

A todos os professores do curso de Geologia (Gilmar Feio, Valéria Pinheiro, Antônio Emídio, José de Arimatéia, Raimundo Nonato, Daniel Silvestre, Alice Cunha, Márgia Carvalho, Leonardo Brasil, Aderson Pires, Francisco Ribeiro e Alberto Jacques) e de outros colegiados da Unifesspa, que compartilharam sua experiência e seus valiosos conhecimentos.

Aos amigos que tive durante todo esse tempo... Érica Lima, Renato Cantão, Maria José, Kelly Cruz, Amanda Waléria, Camila Danyelly, Rômulo Oliveira, Ingrid Correa, Brissa Parentoni, Willian Nascimento, Giglianne Borges, Fadislan Nauã, Debora Nascimento, Elianne Conde, Deborah Ferreira, Flávia Gava, Marcos Nonato, Paula Ramiro e Hugo Rodrigues, que sem dúvida foram importantes, pois viver longe da família não é fácil. Levarei todos no meu coração.

Às turmas de 2010, 2011, 2012 e 2013, das quais vou guardar as maravilhosas lembranças que ficaram na memória.

Agradecimento especial a banca pelas contribuições.

“Uma flor nasceu na rua! Furou o asfalto, o
tédio, o nojo e o ódio”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Neste trabalho foi feita a análise dos níveis de água subterrânea e considerações dos seus respectivos parâmetros hidrogeológicos e hidrometeorológicos na Folha 17, bairro do núcleo Nova Marabá, Marabá-PA, que está inserida no contexto geológico da Formação e aquífero fissural Couto Magalhães. Dentre os parâmetros analisados estão: as profundidades dos níveis da água subterrânea em períodos de alta e baixa pluviosidade; a geologia; clima; hidrografia; solo; vegetação; topografia; estruturas rúpteis e quadro geomorfológico da área de estudo. Constatou-se a relação direta das taxas pluviométricas e níveis fluviométricos na variação dos níveis do lençol freático, com estimativa média de até 8 metros na variação das profundidades obtidas em períodos distintos, bem como a importância da cobertura vegetal, parâmetro diferencial da área em relação às zonas urbanas circundantes. A interpretação quantitativa dos dados supracitados considera que os níveis de água subterrânea na Folha 17 sejam relativamente rasos quando comparados com os níveis de outras áreas em condições semelhantes de relevo e topografia, devido à conservada cobertura vegetal e arbórea, associada à litologia degradada a níveis mais superficiais e coberturas eluviais menos espessas.

Palavras-chave: Hidrogeologia; Água Subterrânea; Hidrometeorologia.

ABSTRACT

In this work, groundwater levels and their hydrogeological and hydro-meteorological parameters were analyzed in Folha 17, Nova Marabá, Marabá-PA, which is part of the geological context of the fissural aquifer and Couto Magalhães formation. Among the analyzed parameters are: depths of groundwater levels in periods of high and low rainfall; geology; climate; hydrography; soil; vegetation; topography; brittle structures and geomorphological picture of a the study area. It was verified the direct relation of the pluviometric and pluviométricos levels in the variation of the underground water levels, average estimate of up to 8 meters in the variation of the depths obtained in distinct periods, as well as the importance of the vegetal cover, differential parameter of the area in relation to the urban zones surrounding. The quantitative interpretation of the data considers groundwater levels in Sheet 17 to be relatively shallow compared to the levels of other areas under similar conditions of relief and topography, due to the conserved vegetal and arboreal cover, associated to the degraded lithology to more superficial levels and less thick eluvial coverings.

Word-key: Hydrogeology; Underground water; Hydrometeorology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de Localização e Acesso	17
Figura 2: Medidor de Nível de Água fabricado pela Sauber System.	18
Figura 3: Medições do nível d'água. A) um dos locais de medição. B) e C) medição.	19
Figura 4: Tipo de aquíferos de acordo com a porosidade da rocha que armazena a água.	21
Figura 5: Contexto Geotectônico.....	27
Figura 6: Hidrogeologia das unidades aquíferas e geológicas.	30
Figura 7: Vegetação da Folha 17.....	32
Figura 8: Encontro entre os Rios Tocantins a esquerda e Itacaiúnas a esquerda, no núcleo Marabá Pioneira.....	33
Figura 9: Níveis Fluviométricos. A) Setembro de 2017; B) - Agosto de 2018. E C)- Fevereiro de 2018.	34
Figura 12: Perfil esquemático do poço 2.	37
Figura 13: Perfis esquemáticos dos poços 1 e 5, Figura a e b, respectivamente.	38
Figura 14: Níveis de água do poço 3.	39
Figura 15: Perfis esquemáticos dos poços 1,3 e 5, figuras a, b e c, respectivamente.....	43
Figura 16: Perfil esquemático do poço 7.	44
Figura 17: Perfil esquemático do poço 9.	45

LISTRA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores que influenciam na água subterrânea em rochas cristalinas.	23
Tabela 2: Dados agrupados dos poços usados para análises de níveis de água e condicionantes.	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PRIMAZ	Programa de Integração Mineral dos Municípios da Amazônia
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Semas-PA	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará
DIMEH	Diretoria de Meteorologia e Hidrologia
CIMAM	Centro Integrado de Monitoramento Ambiental
Construama	Construtora Amazonas
Siagas	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
Conama	Conselho Nacional de Meio Ambiente
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivos Específicos.....	16
1.3	Localização e Acesso	16
2	MATERIAS E MÉTODOS	17
2.1	levantamentos de dados pré-existentes	17
2.2	Mensuras dos níveis d'água na folha 17	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1	Água Subterrânea.....	20
3.2	aquífero.....	20
3.2.1	Conceito	20
3.2.2	Classificações.....	21
3.3	Áreas de recarga e descarga	22
3.4	Condicionantes.....	23
3.4.1	Exógenas	23
3.4.2	Endógenas	25
3.5	Nível de água subterrânea e a escassez pluviométrica	25
4	CONTEXTO GEOLÓGICO	26
4.1	Unidades Geotectônicas	26
4.1.1	Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas	27
4.1.2	Cinturão de Cisalhamento Araguaia	28
4.1.3	Bacia do Parnaíba.....	28
4.1.4	Gráben do Marajó.....	28

4.2 Unidades Geológicas Locais.....	29
4.3 Hidrogeologia da cidade de Marabá e aquíferos	29
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	30
5.1 Clima.....	30
5.1.1 Precipitação pluviométrica	30
5.2 SOLOS.....	31
5.3 Relevo.....	31
5.4 Vegetação.....	32
5.5 Hidrografia.....	32
6 RESULTADOS	35
7 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso presente em toda a natureza, nos estados sólido, líquido e gasoso, também parte integrante dos seres vivos e essencial à vida, é utilizada em todo o mundo para diversas finalidades e à medida em que as cidades se desenvolvem, maior a necessidade de seu abastecimento.

Outro aspecto fundamental da água é o desequilíbrio provocado pelos eventos hidrológicos extremos, como as secas e as inundações. As secas trazem enormes problemas à imensa população brasileira das regiões semi-áridas, causam pobreza, desnutrição e êxodo para as grandes cidades. As enchentes, agravadas pelo desmatamento e pela impermeabilização do solo urbano, são responsáveis por prejuízos econômicos e sociais incalculáveis e pelos riscos à saúde e à qualidade de vida dos habitantes das áreas assoladas.

Segundo o relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento de recursos hídricos de 2015, a demanda por água deve crescer 55% em todo o mundo até 2050. No mais, se nada for feito, as reservas de água no mundo devem encolher 40% até 2030. A maior demanda por água no Brasil, como acontece nos países em desenvolvimento, é a agricultura, sobretudo a irrigação, com 65% do total, o uso doméstico corresponde a 18%, contudo, lembremos que o mesmo ostenta as maiores reservas de água doce no mundo e poderá, através de políticas públicas e investimentos na área, utilizar essas águas para suprir necessidades humanas.

As águas subterrâneas, segundo BORGHETTI *et al.* (2004), constituem o maior reservatório de água doce do mundo, representando mais de 97% de toda a água doce disponível no planeta (excluindo glaciares e calotas polares). A captação de água subterrânea tem como principal foco a locação de poços perfurados sobre aquíferos, formações rochosas capazes de permitir o armazenamento natural da água, que dependem de fatores geológicos e fisiográficos para instalação satisfatória.

Poucas tarefas em hidrogeologia são mais difíceis do que a locação de poços em rochas ígneas e metamórficas (Meio Anisotrópico/Fissural/Cristalino). Variações extremas de litologia e estruturas geológicas, associadas com zonas produtoras de água, localizadas em pontos preferenciais, dificultam as investigações geológica e geofísica (Davis & De Wiest, 1979). A configuração do relevo é de grande importância para a capacidade ou volumes de água produzidos nos terrenos cristalinos (FEITOSA, AC; MANOEL FILHO, 2000), segundo REBOUÇAS (2002), os maiores sucessos das taxas de recargas diretas ocorrem nas regiões planas, boa cobertura vegetal e bem arborizadas.

De acordo com Oliveira (1996), os dados hidrogeológicos levantados em parte pelo Projeto PIH e complementados pela equipe do PRIMAZ na área urbana e adjacências de Marabá, alvo desta pesquisa, referem-se basicamente a sistemas aquíferos em meios fraturados e de porosidade granular. A geologia de Marabá, constituída predominantemente por rochas cristalinas pertencentes à formação Couto Magalhães, está inserida no contexto do aquífero fissural Couto Magalhães, cujas respectivas condicionantes de níveis d'água no núcleo da Nova Marabá, mais precisamente na Folha 17, serão neste estudo analisadas.

1.1 Justificativa

A cidade de Marabá é locus de toda uma problemática relacionada à grande explosão demográfica iniciada a partir da década de 70, cuja quadruplicou a área urbana da cidade impactando negativamente nas condições de abastecimento hídrico. Dentre os núcleos que a compõe, o déficit hídrico se expressa em maior magnitude no núcleo Nova Marabá, no qual a natureza do principal aquífero é de meio anisotrópico, do tipo fissural, em que a locação de poços para captação de água subterrânea pode não passar de tentativa frustrada.

Outra implicação no núcleo Nova Marabá é a condição de abastecimento comprometido nas zonas mais elevadas topograficamente (acima de 100 m), em especial na Folha 17, que no ano de 2017 sofreu um desabastecimento em consequência da estiagem nos níveis do Rio Tocantins, de onde é feita a captação de água superficial bruta para abastecimento, sendo necessária medida extraordinária de reabastecimento por carros-pipa para a população da região e instalação do sistema emergencial de captação, que de acordo com a Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA), contava com estrutura de duas bombas de sucção e tubulação de 147 metros, para captação em níveis mais rebaixados.

Consequentemente, as pesquisas que tangem a prospecção da água subterrânea foram impulsionadas nas duas últimas décadas, bem como, os investimentos nesta modalidade de abastecimento. Diante disso, faz-se necessária maiores colaborações no que diz respeito ao potencial hídrico do aquífero fissural Couto Magalhães e suas condicionantes pela perspectiva de zonas topograficamente mais elevadas, como a Folha 17, a fim de esclarecer suas peculiaridades, contribuindo de forma direta ou indireta na investigação para locação de poços mais produtivos inseridos neste contexto.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é a análise dos níveis de água subterrânea do aquífero fissural Couto Magalhães nas dependências da Folha 17, bairro Nova Marabá localizado na cidade de Marabá-PA, sob a ótica das suas condicionantes exógenas e endógenas.

1.2.1 Objetivos Específicos

Dos objetivos específicos foram estabelecidos os seguintes direcionamentos:

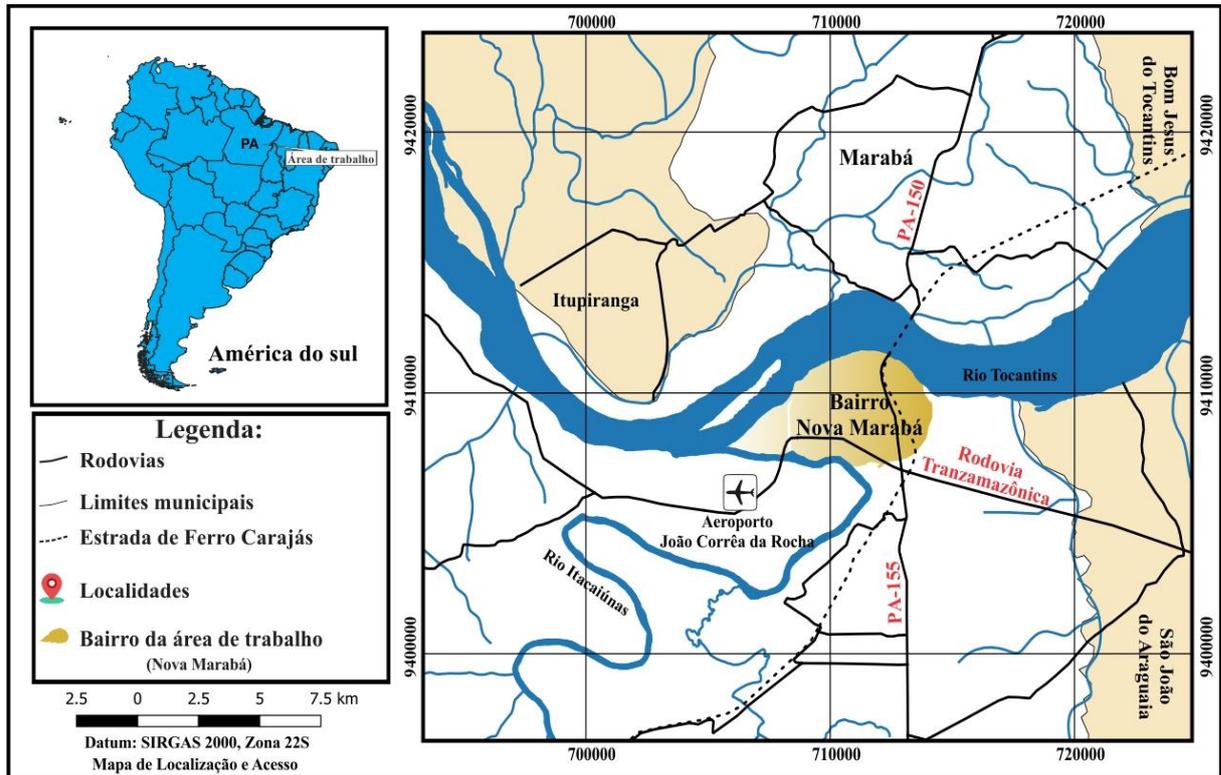
- Mensuração dos níveis de água subterrânea nos poços tubulares disponíveis.
- Georreferenciamento dos poços analisados para confecção de mapa hipsométrico.
- Verificar a influência dos parâmetros hidrogeológicos e hidrometeorológicos nos níveis d'água.
- Correlacionar os níveis de água subterrânea e camadas intempéricas dos furos de sondagem da área entre si e posteriormente com os níveis e sondagens das áreas urbanas circundantes dentro.
- Considerações dos parâmetros aplicados às medidas e correlações dos níveis de água subterrânea da Folha 17, afim de gerar um diagnóstico hidrometeorológico e/ou hidrogeológico para área.

1.3 Localização e Acesso

A cidade de Marabá encontra-se localizada no Sudeste paraense situada entre as coordenadas geográficas 05°17'38'' e 49°03'00'' e 49°08'53'' W (IBGE, 1995) está entre o limite das cidades Itupiranga, Jacundá e Rondon do Pará ao Norte, São Geraldo do Araguaia, Curionópolis, Parauapebas e São Félix do Xingu ao Sul, Bom Jesus do Tocantins e São João do Araguaia ao Leste e Senador José Porfírio ao Oeste do estado. A distância que separa Marabá, da capital Belém é de 485 km (PREFEITURA MUNICIPAL DE MARABÁ, 2016).

O acesso principal é a partir de Belém, por via aérea. Por via terrestre, a cidade de Marabá é alcançada através de rodovias BR-222 e BR-230. A área de trabalho, localiza-se no núcleo Nova Marabá (Figura 1), subdividido em bairros enumerados e denominados por “folhas”.

Figura 1: Mapa de Localização e Acesso



Fonte: Autor

2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 levantamentos de dados pré-existent

As condições hidrometeorológicas no Rio Tocantins em Marabá-PA, dos anos de 2016 a 2018, foram extraídas do boletim hidrológico da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (Semas-PA), Diretoria de Meteorologia e Hidrologia (DIMEH) e Centro Integrado de Monitoramento Ambiental (CIMAM).

Os dados de sondagem das áreas subjacentes à Folha 17 do Núcleo Nova Marabá, também inseridas no Aquífero Fissural Couto Magalhães, foram concedidos pelas empresas GEOTEC, Poços Brasil, Construama (Construtora Amazonas) e pelo portal Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), bem como seus respectivos resultados de vazão, profundidade, nível estático e dinâmico das águas, quando disponíveis.

Os relatórios de sondagem e demais levantamentos foram importados com o intuito de projetar uma seção geológica da área para correlação com o seu entorno, almejando maior compreensão das suas peculiaridades hidrogeológicas. O georreferenciamento foi feito a partir da aplicação das coordenadas dos furos e poços no software *Google Earth Pro* e *QGIS 2.2*.

2.2 Mensuração dos níveis d'água na folha 17

Para a análise do nível dinâmico das águas subterrâneas na Folha 17, foi usado o Medidor de Nível de Água (Figura 2) fabricado pela Sauber System, que possibilita praticidade e precisão no trabalho de verificação da água subterrânea, reunindo em um único produto tecnologia, segurança, funcionalidade e praticidade com medidas precisas em até 500 metros de profundidade. A escolha dos poços para análise foram baseadas na variação das cotas topográficas na área, afim de obtermos um panorama dos níveis d'água sob a ótica de diferentes elevações, houve obstáculos durante a coleta no que diz respeito à forma cuja os poços estavam isolados, inviabilizando a análise direta em alguns alvos, como foi o caso do poço locado na EMEF Prof^a Terezinha Souza Ramos (Figura 3A) localizada nos limites da Folha 17 com a Folha 18. Composto por cabo, sonda articulada e carretel que em contato imediato com a água entoa o alarme, indicando a medida exata do nível d'água. A execução parte de 2 etapas básicas: 1) Introdução do carretel no poço tubular (Figura 3B); 2) Controle manual ou por manivela da sonda até atingir o nível d'água, acionado pelo painel eletrônico (Figura 3C). É importante que durante o processo o carretel seja conduzido de forma retilínea e progressivamente, afim de não se entrelaçar entre as tubulações.

Figura 2: Aparelho medidor de nível de água.



Fonte: Sauber System

Figura 3: Mensuração dos níveis d'água. A) E.M.E.F Profª Terezinha Souza Ramos . B) Introdução do piquete no poço tubular e C) Acompanhamento do alarme.



Fonte: Valéria Pinheiro (2018).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Água Subterrânea

A água subterrânea, segundo BORGHETTI et al. (2004), é toda água que se encontra abaixo da superfície terrestre de uma determinada área ou região, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas e que, sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos.

Embora toda água situada abaixo da superfície da terra seja evidentemente subterrânea, na hidrogeologia a denominação água subterrânea é atribuída apenas à água que circula na zona saturada, isto é, na zona situada abaixo da superfície freática (REBOUÇAS, apud SOUZA, 2009, p. 39).

Tundisi (2003) refere-se à água subterrânea, como a parcela hídrica que se encontra em subsuperfície, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras. Neste contexto, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, por meio da resolução 396 de 2008, define que um corpo hidrológico, que tem a capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos, é denominado de aquífero. Para tanto, a quantidade de água subterrânea produzida em uma região, depende das características e da frequência de recarga do corpo rochoso (WENDLAND, 2003).

A água subterrânea constitui o maior reservatório de água doce do mundo, representando mais de 97% de toda a água doce disponível no planeta (excluindo glaciares e calotas polares). Os restantes 3% são, sobretudo, constituídos por águas superficiais (lagos, rios e pântanos) e pela umidade da zona superficial do solo (BORGHETTI et al., 2004).

3.2 aquífero

3.2.1 Conceito

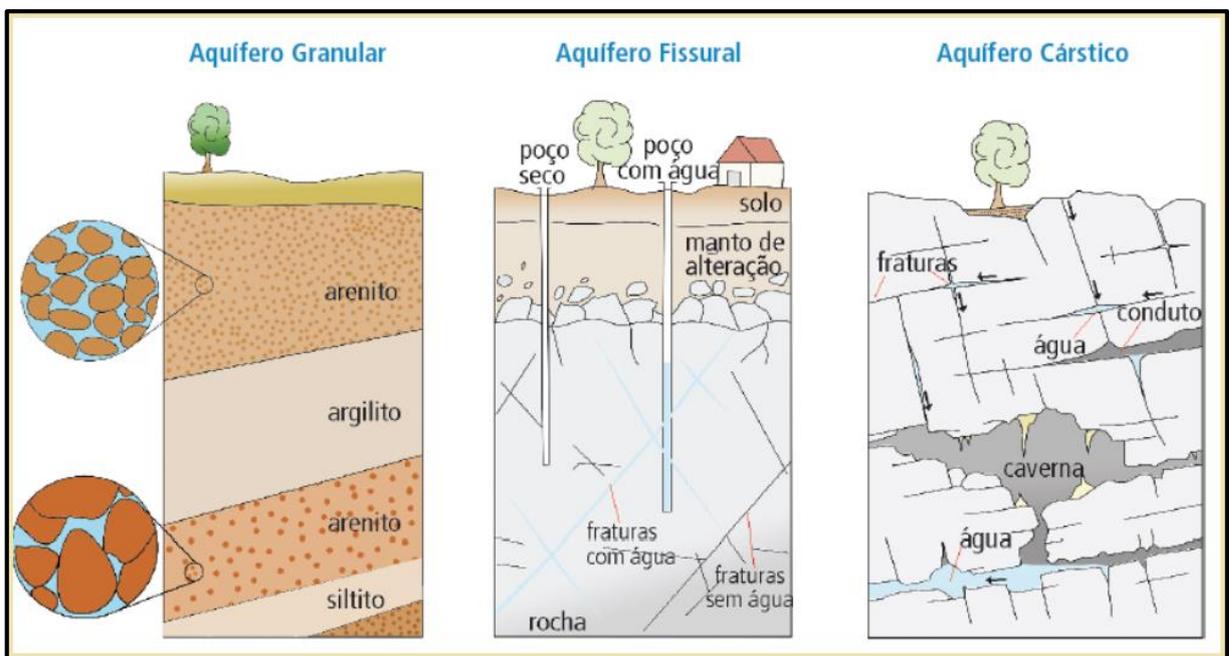
Cientificamente, aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituída por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas (BORGHETTI et al., 2004). A porosidade e a permeabilidade intergranular ou de fissuras da rocha irão determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. (REBOUÇAS, apud BORGHETTI et al., 2004, p. 105).

3.2.2 Classificações

Os aquíferos podem ter diferentes características e podem ser classificados quanto ao tipo de porosidade da rocha que armazena a água, podendo ser granular, fissural ou cárstico (Figura 4).

Outra classificação dos aquíferos é baseada nas características hidráulicas dos aquíferos (Figura 5), que depende da pressão na qual o Aquífero está submetido pode ser classificado em aquífero livre ou confinado.

Figura 4: Tipo de aquíferos de acordo com a porosidade da rocha que armazena a água.

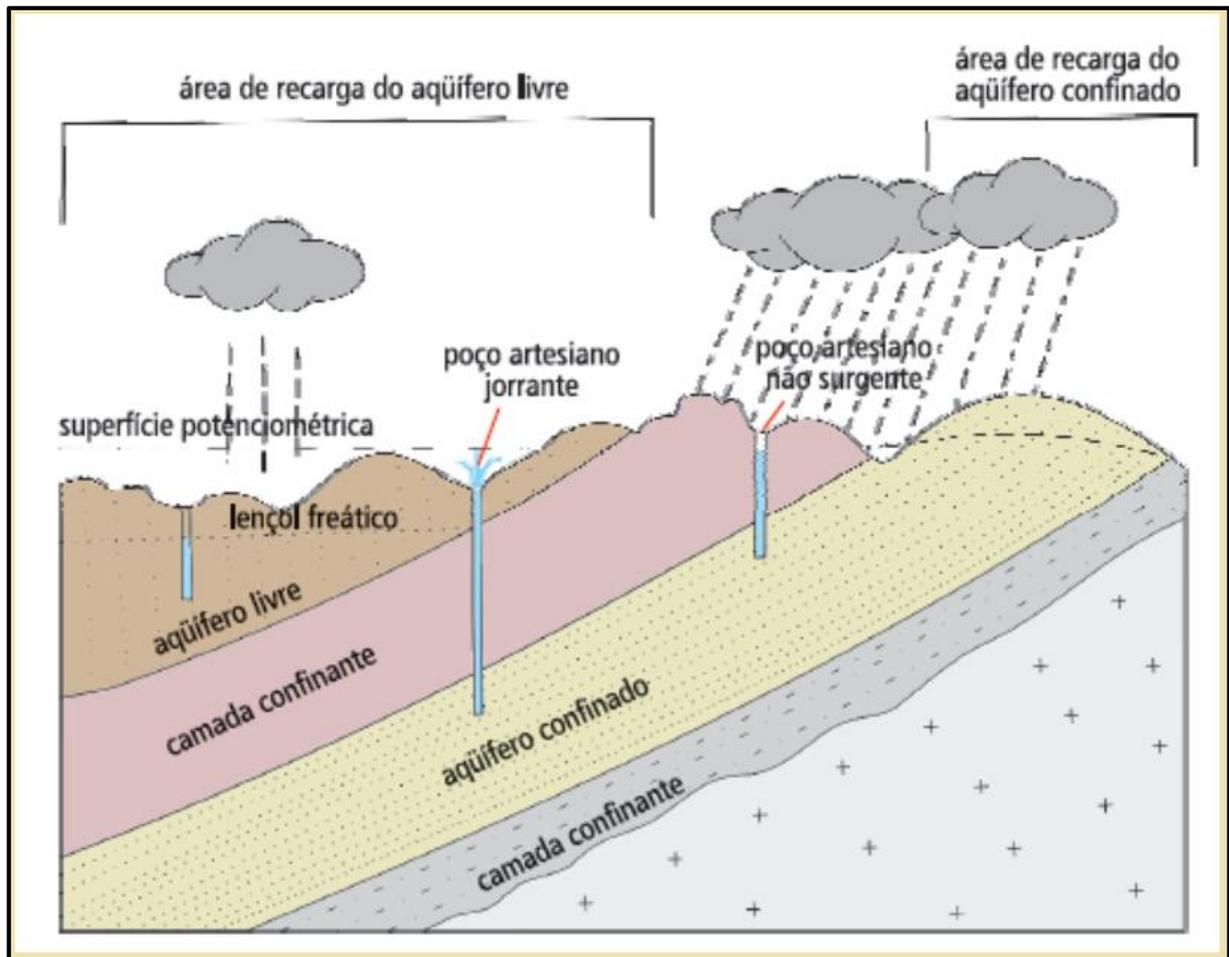


Fonte: Iritani e Ezaki (2009)

O aquífero livre, ou freático, está mais próximo da superfície, localiza-se onde a zona saturada tem contato direto com a zona não saturada, ou seja, está submetido à pressão atmosférica. Neste tipo de sistema, a água que infiltra no solo atravessa a zona não saturada e recarrega diretamente o aquífero.

O aquífero confinado é limitado no topo e na base por camadas de rocha de baixa permeabilidade, como argila, folhelho, rocha ígnea maciça, denominados aquíclude ou aquitardo. Não há área não saturada e assim, conseqüentemente, a pressão, a qual o aquífero está submetido, é maior do que a atmosférica. Essa pressão da água é suficiente para que o nível da água atinja uma altura superior a do aquífero, porém, a área confinante acima dele não permite. Em aquíferos confinados, o nível da água é chamado de potenciométrico, ao contrário de freático, no caso anterior.

Figura 5: Tipos de aquíferos de acordo com suas características hidráulicas.



Fonte: Iritani e Ezaqui (2009)

3.3 Áreas de recarga e descarga

Zona de recarga direta é aquela em que as águas da chuva se infiltram diretamente no aquífero através de suas áreas de afloramento e fissuras de rochas sobrejacentes. Sendo assim, a recarga sempre é direta nos aquíferos livres, ocorrendo em toda a superfície acima do lençol freático. Nos aquíferos confinados, o reabastecimento ocorre preferencialmente nos locais em que a formação portadora de água aflora à superfície.

Zona de recarga indireta são aquelas em que o reabastecimento do aquífero se dá a partir da drenagem (filtração vertical) superficial das águas e do fluxo subterrâneo indireto, ao longo do pacote confinante sobrejacente, nas áreas em que a carga potenciométrica favorece os fluxos descendentes.

Zona de descarga é aquela por onde as águas emergem do sistema, alimentando os rios e jorrando com pressão por poços artesianos. Segundo REBOUÇAS (2002), os maiores

sucessos das taxas de recargas ocorrem nas regiões planas, boa cobertura vegetal e bem arborizada.

3.4 Condicionantes

Na Tabela 1 Costa (1985) relacionou os fatores exógenos e endógenos e sua influência na qualidade e quantidade de água armazenada, portanto utilizou-se a classificação de elevada, moderada e baixa que reflete as faixas de variação do controle sob tais fatores.

Tabela 1: Fatores que influenciam na água subterrânea em rochas cristalinas.

FATORES		INFLUÊNCIA NA	
		QUALIDADE	QUANTIDADE
EXÓGENOS	Clima	Elevada	Moderada
	Relevo	Moderada	Elevada
	Hidrografia	Moderada	Moderada
	Vegetação	Baixa	Moderada
	Infiltração de soluções	Baixa	Moderada
ENDÓGENOS	Cobertura Sedimentares	Moderada	Elevada
	Constituição Litológica	Moderada	Baixa
	Estruturas	Moderada	Elevada
	Soluções Mineralógicas	Baixa	Moderada

Fonte: Costa, 1985.

3.4.1 Exógenas

Clima

O clima exerce sua principal influência na qualidade da água, potencial de recarga direta e na espessura das camadas resultantes da alteração intempérica. De acordo com Neves (2005) em regiões de elevada pluviosidade, os sais solúveis são lixiviados resultando em baixos teores de salinidade das águas subterrâneas, apresentando manto de intemperismo que pode ultrapassar 130 metros. Enquanto isso, nos climas semiáridos, que a pluviosidade é baixa e a evaporação é muito elevada, os sais vão se concentrando gradualmente nas fraturas das rochas, acarretando elevados índices de salinidade e uma camada de intemperismo que normalmente não excedem mais de 1 metro de espessura.

Relevo

A configuração do relevo é de grande importância para a capacidade ou volumes de água produzidos em meio anisotrópico (cristalino). Legrand (1959) constatou a partir do estudo de mais de 700 poços em diversas situações morfológicas, que as vazões nas vertentes das colinas são muito inferiores às dos baixios, sobretudo nas depressões de bacias. Estudos realizados por Parizek e Siddiqui (1969) apud Neves (2005), revelam que a pior situação para locação de poços é no topo de morros e colinas seguida das encostas e vertentes, ao passo que, poços perfurados em vales circundados por áreas de planícies são mais produtivos.

As análises sobre os dados de Legrand (1967) mostraram, todavia, que a topografia isolada não poderia explicar a variação de vazão, assim como uma maior importância dos traços de fraturas na produtividade dos poços. No entanto, como os vales seguem traços de fraturas, bem como funcionam como zonas de recarga, Singhal e Gupta (1999) apud Neves (2005) destacaram que poços produtivos nessas regiões são incontestáveis.

Hidrografia

A associação da hidrografia com a geologia é representada pelo termo riacho-fenda (Siqueira, 1963), que corresponde a coincidência da drenagem superficial com zonas de fraturas do embasamento rochoso, proporcionando melhores condições de infiltração e armazenamento de água em rochas cristalinas fraturadas, com possibilidades favoráveis de armazenamento na subsuperfície. Nessa situação, pode ser facilmente reconhecida por meio de fotografias aéreas devido a trechos retilíneos ou altamente estruturados.

Vegetação

A atuação da vegetação para proporcionar maiores volumes armazenada de água no subsolo é de maneira indireta, pois na medida em que dificulta o escoamento superficial, propicia condições de maior infiltração. Quanto maior a cobertura vegetal, maiores os índices de evapotranspiração e conseqüentemente maiores serão as precipitações que irão proporcionar melhores condições de recarga aos aquíferos. Segundo REBOUÇAS (2002), os maiores sucessos das taxas de recargas ocorrem nas regiões planas, boa cobertura vegetal e bem arborizada.

3.4.2 Endógenas

Constituição Litológica

A produtividade em um mesmo litotipo pode variar de alta a muito baixa em diferentes situações (NEVES, 2005), contudo, com base nos estudos de Costa (1959) há litipos com maior potencial de vazão (L/h) que outros, bem como, influência direta na qualidade da água por tipos de rocha.

Rochas quartzo-feldspáticas como gnaisses, micaxistos, granitos, quartzitos e migmatitos obtiveram valores mais elevados de vazão, logo, aparentando ser mais produtivas em relação a ardósias, filitos e sericita-xistos. Por serem normalmente considerados litotipos mais competentes, o primeiro grupo possui sistema de fraturas mais aberto, formado durante a deformação, enquanto que o segundo apresenta o sistema de fraturas mais fechado nas rochas ricas em filossilicatos.

No mais, é de se esperar que o processo de alteração das micas para argilas colmatem as fraturas das rochas, entretanto, não só os resultados do estudo de Legrand (1959) como também os de Costa (1979) apresentam bons resultados de vazão, entre 2,5 a 3,25 L/h, aos micaxistos.

Estruturas Geológicas

A deformação que envolve a plastificação dos maciços rochosos sem chegar a romper (deformação dúctil), somente piora as condições de permeabilidade desses maciços, já que a recristalização reduz sua porosidade intersticial. As estruturas de interesse ao estudo do meio fraturado são os diversos tipos de fraturas, seguidos de dobras e fraturas associadas a estas últimas e, por fim, a foliação (FEITOSA *et al.*; 2008).

A deformação rúptil (Fraturas, juntas e falhas) ocorre quando a resistência à ruptura de um corpo rochoso é excedida, é comum a níveis mais superficiais da crosta, ocorrendo em áreas onde os esforços se acumulam em níveis que superam o limite local de resistência. Para perfuração bem-sucedida no meio fissural, o furo deve interceptar um elevado número de fraturas interconectadas, com boa transmissividade.

3.5 Nível de água subterrânea e a escassez pluviométrica

De acordo com Iritani e Ezaqui (2008) o limite entre as zonas não saturada e saturada é comumente chamado de lençol freático. Quando perfuramos um poço raso, o nível da água

observado representa a profundidade do lençol freático naquele ponto, o qual é chamado de nível freático, nível d'água ou nível potenciométrico. Quando um aquífero freático se iguala ao nível do lençol freático, forma-se essa superfície potenciométrica, não servindo só de base para o potencial total da água, mas servindo como base para o contorno físico do lençol freático (CLEARY, 2007).

Os estudos de Tucci (1993) mostram que ao atingir o solo, a precipitação que possuir uma intensidade menor que a capacidade de infiltração, permitirá que toda água penetre no solo, provocando uma progressiva diminuição da própria capacidade de infiltração, já que o solo está se umedecendo. Ao término da precipitação e não havendo mais aporte de água à superfície do solo a taxa de infiltração real anula-se rapidamente e a capacidade de infiltração volta a crescer, porque o solo continua a perder umidade para as camadas mais profundas (recarga do aquífero), além das perdas por evapotranspiração.

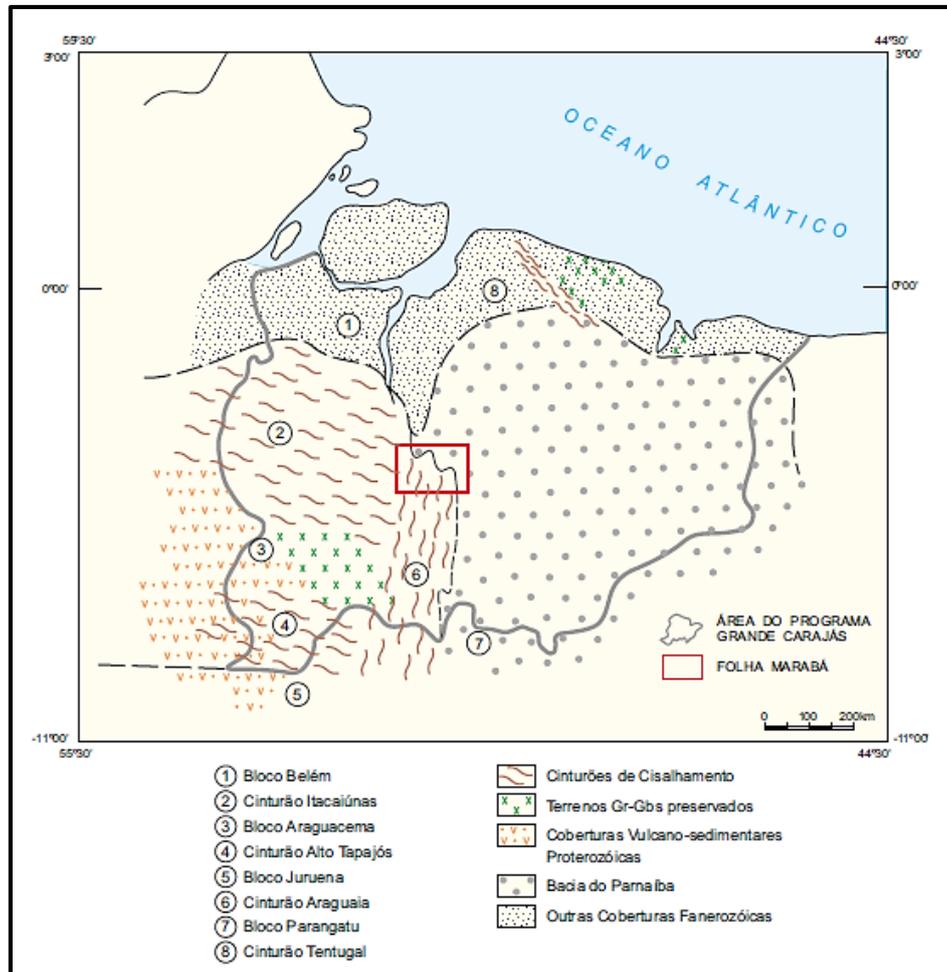
As recargas dos aquíferos e manutenção dos níveis de água subterrâneos dependem das precipitações incidentes na superfície terrestre, bem como dos níveis freáticos das unidades aquíferas abastecedoras.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 UNIDADES GEOTECTÔNICAS

A Folha Marabá (SB.22-X-D) esta inserida no Programa Grande Carajás (840.000 Km²) que abrange parte dos Estados do Pará (leste), Tocantins (norte) e Maranhão (oeste) sendo compartimentada em oito grandes províncias geotectônicas (Bloco Belém, Cinturão Itacaiúnas, Bloco Araguacema, Cinturão Alto Tapajós, Bloco Juruena, Cinturão Araguaia, Bloco Parangatu e Cinturão Tentugal). Esta Folha por si só, engloba somente três das grandes províncias geotectônicas supracitadas, são elas: Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, Cinturão de Cisalhamento Araguaia e partes da Bacia do Parnaíba (CPRM, 2001), assim como o Gráben do Marajó (BARBOSA, 2011; SILVA, 2012; SOUZA, 2012).

Figura 5: Contexto Geotectônico



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

4.1.1 Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas

O Cinturão Itacaiúnas (Arqueano/Proterozóico) ocupa cerca de 10% da FM, onde sua evolução é atribuída a uma tectônica colisional oblíqua, que incorpora componente direcional sinistral e movimentação de massas rochosas SW-NE. É dividido em dois domínios litoestruturais sendo a primeira com domínio imbricado, composta por rochas da Suíte Metamórfica Bacajá e Complexo Xingu, que possui padrões anastomosados com direção preferencial E-W e subordinadas NW-SE e NE-SW, já a segunda apresenta domínio transcorrente, composta por rochas do Grupo Rio Novo, Grupo Tapiraré, Grupo Paredão com o mesmo padrão porem, apresenta direção preferencial WNW-ESSE (CPRM, 1996).

4.1.2 Cinturão de Cisalhamento Araguaia

O Cinturão Araguaia (Proterozóico inferior a médio) ocupa cerca de 40% da FM, é resultado da atuação de regime compressivo oblíquo sinistral com orientação de SE-NW. Na Folha Marabá é representado somente pela Formação Xambioá com idade 550-560 Ma (MACAMBIRA, 1983; GORAYEB *et al.*, 2008), sendo constituída predominantemente por muscovita-biotita xistos, calcita-muscovita-biotita xistos, mica xistos ricos em estauroлита, cianita e granada, contendo ainda raras intercalações quartzitos, xistos grafitosos, anfíbolitos e mármore (ABREU, 1978; DALL'AGNOL *et al.*, 1988); Formação Pequizero é constituída por clorita xistos, quartzo-muscovita xistos, clorita-muscovita-quartzo xistos e biotita-clorita-quartzo-muscovita xistos, com intercalações subordinadas de magnetita-muscovita filitos, quartzitos, talco xistos e calco-xistos (GORAYEB, 1981) e Formação Couto Magalhães é constituída essencialmente por um conjunto de rochas de baixo grau metamórfico representada por filitos pelíticos e filitos grafitosos, metarcósios, metassiltitos e lentes de quartzitos (GORAYEB, 1981; GORAYEB *et al.*, 2008).

4.1.3 Bacia do Parnaíba

Essa Bacia possui evolução e deposição de suas unidades geológicas, tanto no Paleozoico (Formações Pimenteiras, Poti, Piauí, Pedra de Fogo e Motuca) quanto no Mesozoico (Formações Samambaia, Mosquito, Pastos Bons, Corda, Sardinha, Codó e Itapecuru) através de um regime distensivo controlado pela estruturação antiga de seu embasamento. No Paleozoico, o referido regime extensional teve o eixo de estiramento máximo orientado segundo a direção NW-SE, enquanto no Mesozóico o eixo orientou-se segundo a direção NE-SW (CPRM, 2001).

4.1.4 Gráben do Marajó

Abrange uma área de aproximadamente 180.000 Km², originando-se durante abertura do oceano Atlântico Equatorial, no Eocretáceo, sendo formado por quatro sub-bacias: 1 - Mexiana, 2 - Limoeiro, 3 - Cameté e 4 - Mocajuba. A sub-bacia de Mocajuba é sub-dividida pelas formações: Jacarezinho/Breves (Albo-Cenomaniano), Anajás (Cenomaniano/Turoniano), Limoeiro (Cretáceo Superior/Terciário Inferior), Marajó (Paleoceno/Mioceno) e Tucunaré/Pirarucu (Quaternário). Já em depósitos sedimentares observados superficialmente, que afloram nas proximidades das cidades de Marabá, Paragominas, Itupiranga têm sido designados de formações: Itapecuru (Albo-Cenomaniano),

Ipixuna (Cretáceo Superior/Terciário Inferior), Barreiras (Mioceno), Sedimentos Pós-Barreiras (Plio-Pleistoceno) e coberturas holocênicas (SUGUIO & FULFARO, 1977; LIMA et al., 1987; MELO JR., 1998; VASQUEZ et al., 2008).

4.2 Unidades Geológicas Locais

A cidade de Marabá é constituída pela Formação Couto Magalhães, Formação Barreiras e coberturas sedimentares Quaternárias. A Formação Couto Magalhães é a de maior representatividade, pertencendo ao Proterozóico Médio/Superior sendo formada litologicamente por filitos, ardósias, xistos e subordinadamente quartzitos e calcários. Todavia no perímetro urbano o litotipo dominante são filitos de coloração cinza a tons avermelhados ou amarelados, e por vezes, afloram xistos de granulação fina, coloração cinza a esverdeada apresentando uma proeminente foliação milonítica e abundantes fraturas rúpteis (PRIMAZ, 1996).

A Formação Barreiras de acordo com Souza & Santos Junior (2010) e Felipe (2012) tem idade Oligomiocena aflorando no núcleo Cidade Nova e no norte do rio Tocantins, estendendo-se além do limite oeste da cidade de Marabá. Composta litologicamente por rochas clásticas, constituídas por arenitos arcoseanos de 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).

A cobertura quaternária recobre as regiões mais proximais dos rios e seus tributários, em Marabá seu principal registro é depositado principalmente ao longo dos rios Tocantins e Itacaiúnas. São constituídos de sedimentos inconsolidados, formados por siltes, argilas, areias e cascalhos (PRIMAZ, 1996).

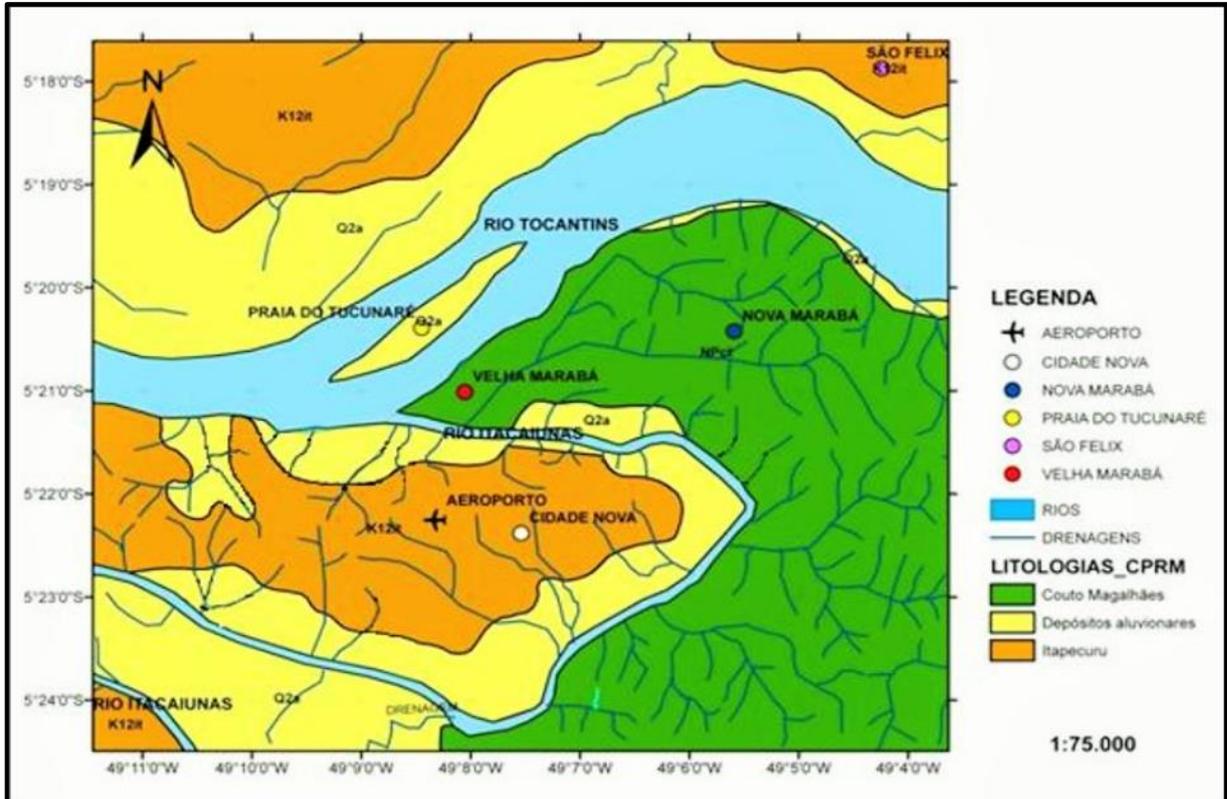
4.3 Hidrogeologia da cidade de Marabá e aquíferos

Segundo os levantamentos apresentados pelo Programa de Interação Mineral em Municípios (PRIMAZ), a hidrologia de Marabá e suas adjacências contam com sistemas de aquíferos do tipo fraturado, poroso e também aqueles ligados a aluviões. Órgãos militares e industriais assim como entidades particulares, utilizam desses recursos hidrológicos onde a profundidade dos poços pode chegar a 130m e sua vazão pode variar de 2m³/h – 30m³/h dependendo das características do aquífero explorado (OLIVEIRA, 1996).

Na cidade de Marabá especificamente o meio fraturado é representado pela Formação Couto Magalhães, principalmente onde está localizado o núcleo Nova Marabá (Figura 7). De acordo com Oliveira (1996) este aquífero se apresenta restrita à descontinuidades e

anisotropia do meio, assim como ao condicionamento de fraturas interconectadas que favoreçam a exploração de água, por isso neste caso a potencialidade hídrica é fraca.

Figura 7: Mapa das unidades aquíferas e geológicas, com destaque para núcleos de Marabá.



Fonte: Oliveira et al., 1996.

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

5.1 Clima

A cidade de Marabá apresenta clima equatorial quente e úmido (Aw) com temperaturas médias mensais que oscilam entre 23°C e 32°C e média anual de 26°C, segundo a classificação de Köppen. A umidade relativa do ar varia entre 73% a 93% com precipitação anual em torno de 1.976 mm. O primeiro trimestre do ano é o período mais chuvoso do município enquanto o terceiro o mais seco (CASA DA CULTURA DE MARABÁ, 2009).

5.1.1 Precipitação pluviométrica

A média anual da precipitação pluviométrica é de 2.052,5 mm, sendo que no período entre os meses de dezembro a abril o índice de precipitação são maiores que nos meses de

junho a outubro de menor precipitação anual. O período de transição do inverno para o verão ocorre no mês de maio, ao passo que ao inverso ocorre no mês de novembro.

As taxas pluviométricas nos últimos anos, entre 2016 e 2018, sobre a bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia permaneceu dentro dos padrões, ocorrendo variação de maiores taxas de pluviosidade no ano de 2018 em relação ao ano de 2017, cujo registrou os menores valores do século XXI. Contudo, com a retomada de valores plausíveis no ano de 2018, descarta-se, por enquanto, a ocorrência de anomalia climática persistente.

5.2 SOLOS

Os tipos de solos encontrados na região de Marabá são latossolo vermelho - amarelo, podzólico vermelho - amarelo, bem como solos aluviais, litólicos e areias quartzosas hidromórficas. O solo podzólico constitui a cobertura dos núcleos urbanos Marabá Pioneira, Cidade Nova e Nova Marabá. Nas demais localidades predominam coberturas de areia quartzosa hidromórfica e latossolo vermelho - amarelo (CASA DA CULTURA, 2009).

Os resultados do estudo de Souza (2018), de acordo com as observâncias da NBR 7250, caracterizam um solo argilo siltoso predominante para região da Nova Marabá e subordinadamente um solo siltoso argiloso, com areia a ocorrência frequente de areia em forma de veios. Corroborando com os resultados obtidos por pesquisadores da EMBRAPA (1998), que classificam os solos de Marabá como Latossolo, Argissolo distroférico e Cambissolo, são típicos de textura argilosa e textura argilosa cascalhenta respectivamente, provenientes de filitos, rochas xistosas, siltitos entre outros.

5.3 Relevo

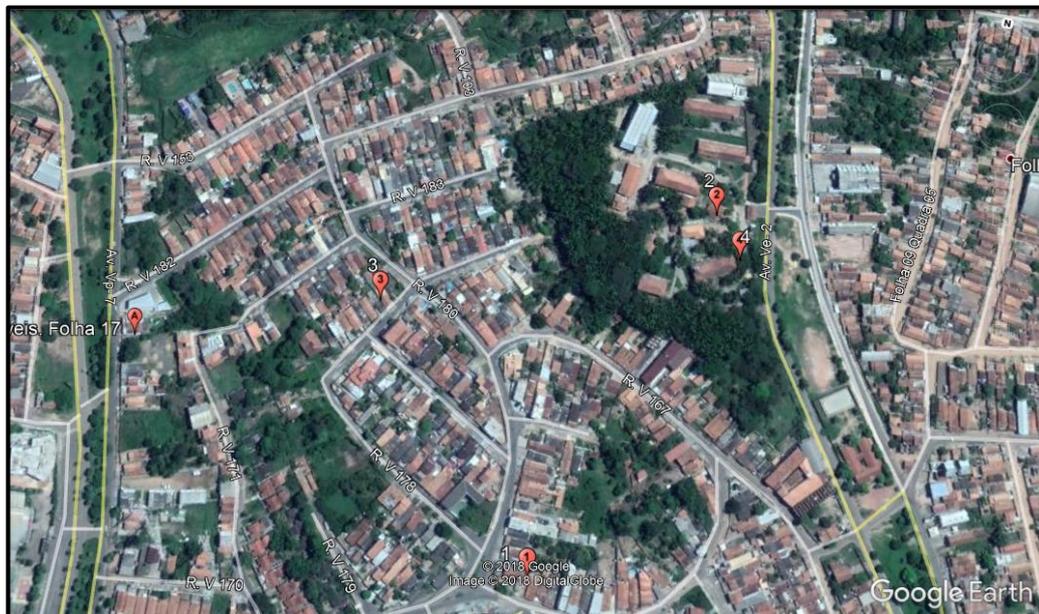
No núcleo urbano da Nova Marabá, o ponto mais elevado, em relação ao nível do mar, situa-se na Folha 18 com pico de 119 m. Os pontos urbanizados de menores altitudes situam-se nas Folhas 13, 14 e 33.

Na Folha 17, alvo deste estudo, as cotas topográficas variam entre 100 m e 114 m, consideradas como a zona mais elevada, em uma perspectiva espacial homogênea.

5.4 Vegetação

A vegetação em Marabá é constituída por floresta equatorial úmida com predominância de florestas ombrófila tropical, pluvissilva ou chuvosa. No município ocorrem, ainda, florestas abertas mistas, bem como florestas abertas latifoliadas. De modo geral, essa vegetação apresenta-se bastante descaracterizada nos setores urbanos em virtude do crescimento populacional e urbano, bem como em setores rurais devido à utilização das terras da região para agricultura, pecuária e extração vegetal (CASA DA CULTURA DE MARABÁ, 2009). A Folha 17 e áreas circundantes detêm das maiores coberturas vegetais (Figura 8) dentre as áreas urbanizadas do núcleo Nova Marabá.

Figura 8: Vegetação da Folha 17.



Fonte: *Google Earth*.

5.5 Hidrografia

Os correspondentes hidrográficos de Marabá são o rio Itacaiúnas, principal rio da sub-bacia Itacaiúnas, e o rio Tocantins (Figura 9), segundo maior rio totalmente brasileiro. Tem como drenagens subordinadas os afluentes Tauarizinho, para o rio Tocantins, e Sororó para o rio Itacaiúnas. O núcleo Marabá Pioneira é afetado anualmente por enchentes em decorrência das baixas cotas topográficas e influência direta dos níveis de água desses quatro rios.

Figura 9: Encontro entre os Rios Tocantins a esquerda e Itacaiúnas a direita, no núcleo Marabá Pioneira.

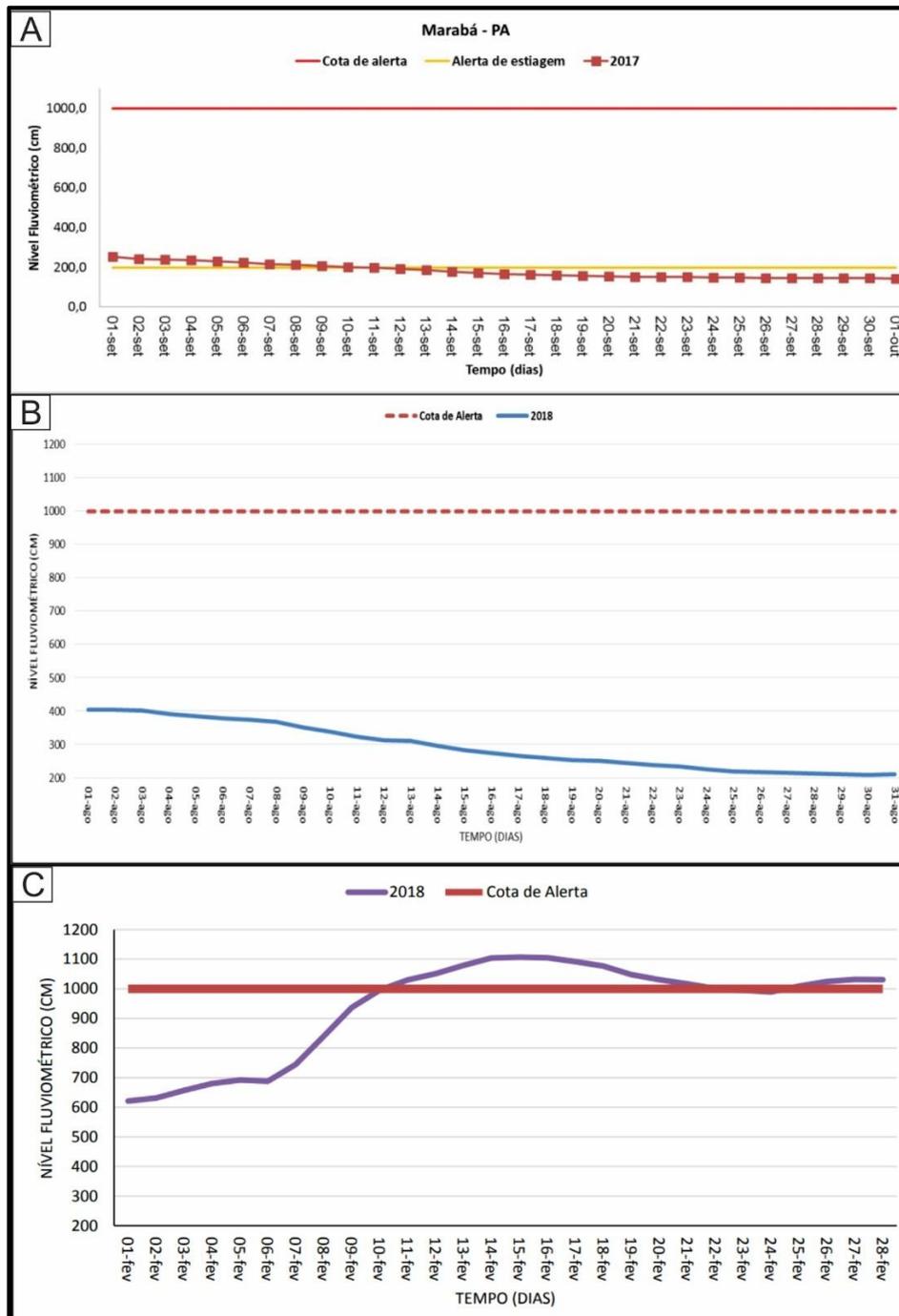


Fonte: Fundação Casa da Cultura de Marabá.

O rio Tocantins nasce na serra Dourada, no estado de Goiás, no Brasil, e deságua na foz do rio Amazonas, depois de banhar os estados de Tocantins, Maranhão e Pará. O rio Itacaiúnas nasce na Serra da Seringa, na região de Água Azul do Norte. No município de Marabá, percorre um trecho de 200 km² interagindo receptivamente com as águas do rio Sororó.

No terceiro trimestre de 2017, mais precisamente nos meses de setembro (Figura 10A), os níveis fluviométricos do rio Tocantins foram os mais baixos nas duas últimas décadas, enquanto que no mesmo período, no mês de agosto, no ano de 2018 (Figura 10B), ainda que tenha batido cota de alerta (estiagem), os níveis mantiveram-se criticamente estáveis, condição que está diretamente ligada às taxas pluviométricas, que no período chuvoso de 2018 foram maiores em relação a 2017, expressos pelos valores do intervalo de 11 a 22 de fevereiro de 2018, no qual os níveis fluviométricos marcaram a segunda maior cheia (Alerta Cheia), desde 2009 (Figura 10C) em Marabá.

Figura 10: Níveis Fluviométricos. A) Setembro de 2017; B) - Agosto de 2018. C)- Fevereiro de 2018.



Fonte: Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (2017/2018).

6 RESULTADOS

6.1 Níveis da água subterrânea

Iritani e Ezaki (2008) afirmam que a profundidade do nível d'água pode variar ao longo do ano, pois sofre ação da variação do clima. Assim, em períodos chuvosos, há maior infiltração de água e o nível de água subterrânea se eleva. No período de estiagem, com pouca infiltração e maior processo de evapotranspiração, o nível de água pode ficar mais profundo.

Todavia, não seria plausível a correlação, tampouco interpretações comparativas, entre os valores de níveis d'água obtidos em períodos antagônicos. Os dados de níveis de água subterrânea (Tabela 2) dos poços 1, 3, 5, 7 e 9 (Grupo A) foram analisados durante períodos de baixa pluviosidade (abril-setembro), enquanto que os dos poços 2, 4, 6, 8 e 10 (Grupo B) em períodos de alta pluviosidade (outubro-março), conforme os padrões hidrometeorológicos da Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia.

Tabela 2: Dados agrupados dos poços usados para análises de níveis de água e condicionantes.

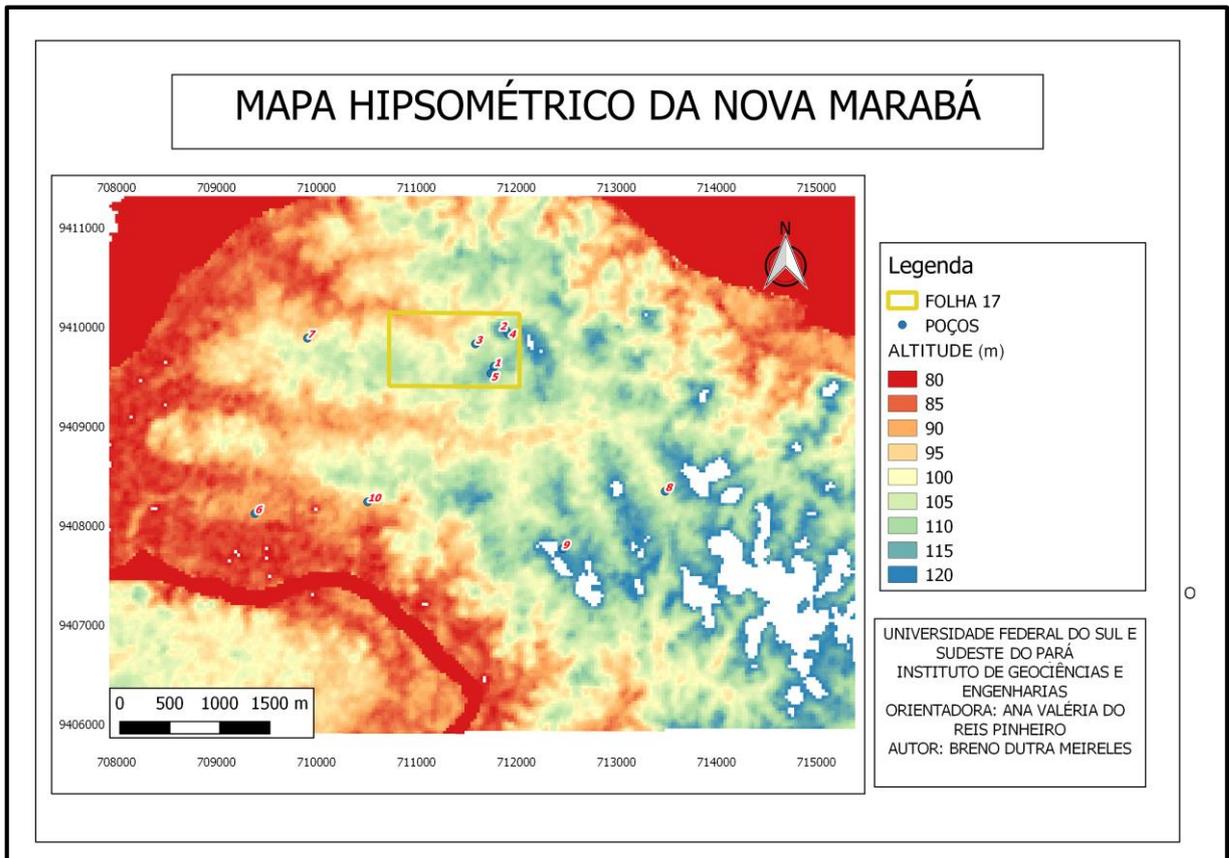
Poço	Latitude	Longitude	Localização	Profundidade	Elevação (m)	Nível d'água (m)	Vazão (m ³ /h)
1	9409605	711774	Folha 17	102	112	15	2
2	9409973	711892	Folha 17	14	105	2	-
3	9409834	711588	Folha 17	24	104	11	-
4	9409933	711921	Folha 17	180	111	8	2
5	9409538	711743	Folha 17	60	112	14	1.5
6	9408125	709382	Folha 33	150	90	4	1
7	9409892	709908	Reserva	80	98	10	7
8	9408349	713486	Km 7	26	105	1,78	-
9	9407769	712458	Folha 34	50	117	30	2
10	9408244	710510	Folha 32	47	95	5	20

Fonte: Autor.

5.1.1 Folha 17

A média dos níveis d'água dos poços na Folha 17 para o Grupo A (período seco), foi de aproximadamente 13 metros, enquanto que para o Grupo B (período chuvoso) foi de 5 metros, com elevações médias de 109 e 108 metros, respectivamente (Figura 11).

Figura 11: Mapa Hipsométrico do Núcleo Nova Marabá.

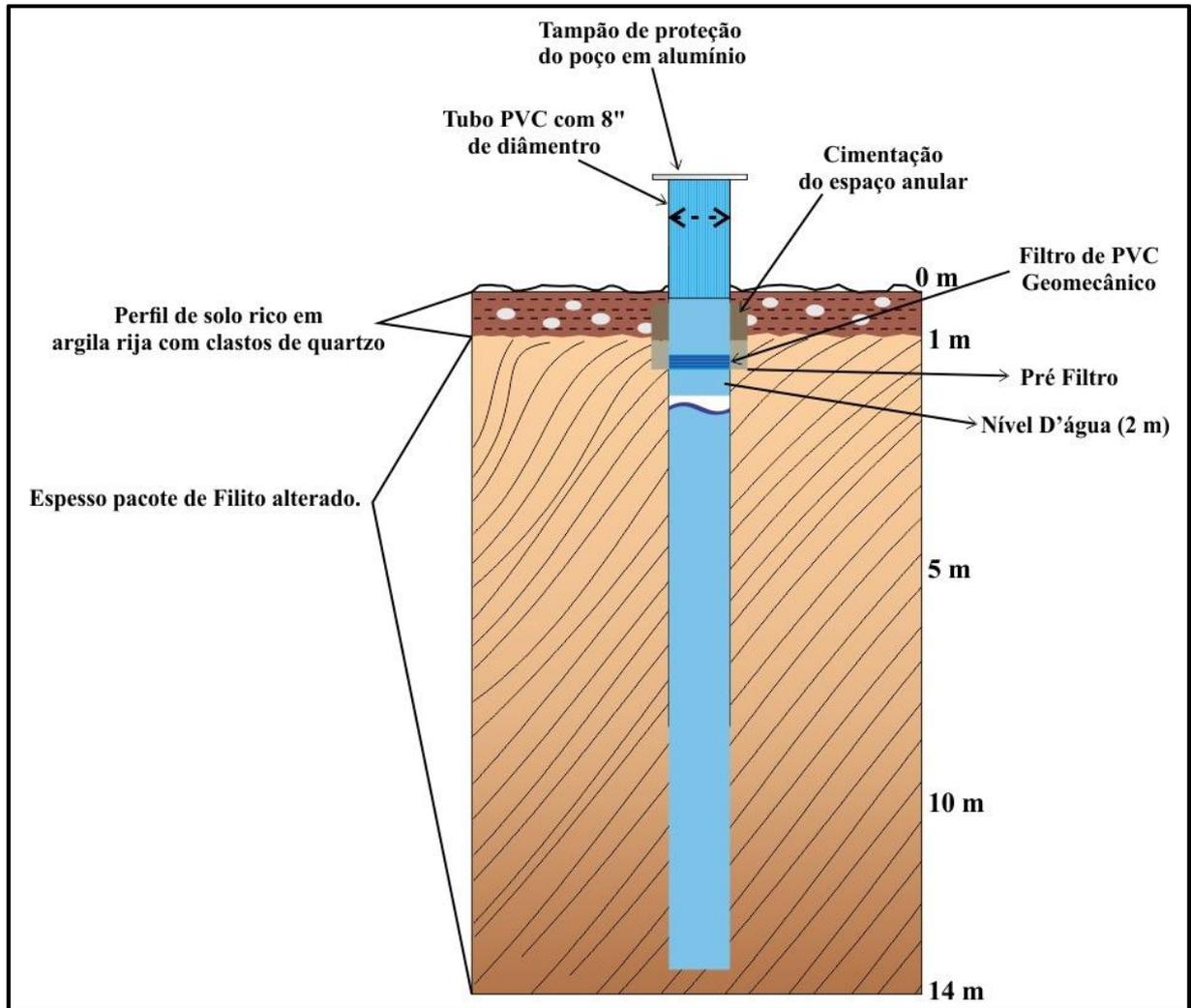


Fonte: Autor

Os poços 2 (N.A – 2m) e 4 (N.A – 8 m), representantes do Grupo B (período chuvoso) na Folha 17, apresentaram em projeção o mesmo nível d'água, considerando que o segundo (Elevação – 111 m) está 6 metros de altitude mais elevado em relação ao primeiro (Elevação – 105m), o mesmo valor correspondente à diferença de mensura dos níveis (6 metros). Sobretudo, ambos se localizam nas zonas com maior cobertura vegetal e arbórea da área de estudo, o que possibilita menores taxas de deflúvio, que normalmente tendem a ser mais altas em áreas elevadas, o que resulta em maior potencial de infiltração proporcionado pelas porosidade interconectada no solo e pela retardação na velocidade do escoamento.

O poço 2 (Figura 12), que tecnicamente apresenta os níveis mais rasos de água, encontra-se no contexto de uma zona de falha, nas adjacências de uma falha normal, na qual porções da Folha 10, que faz fronteira com o norte da Folha 17, compõe a porção rebaixada (bloco do teto), onde verifica-se alagamento nos setores com cotas topográficas inferiores a 101 metros.

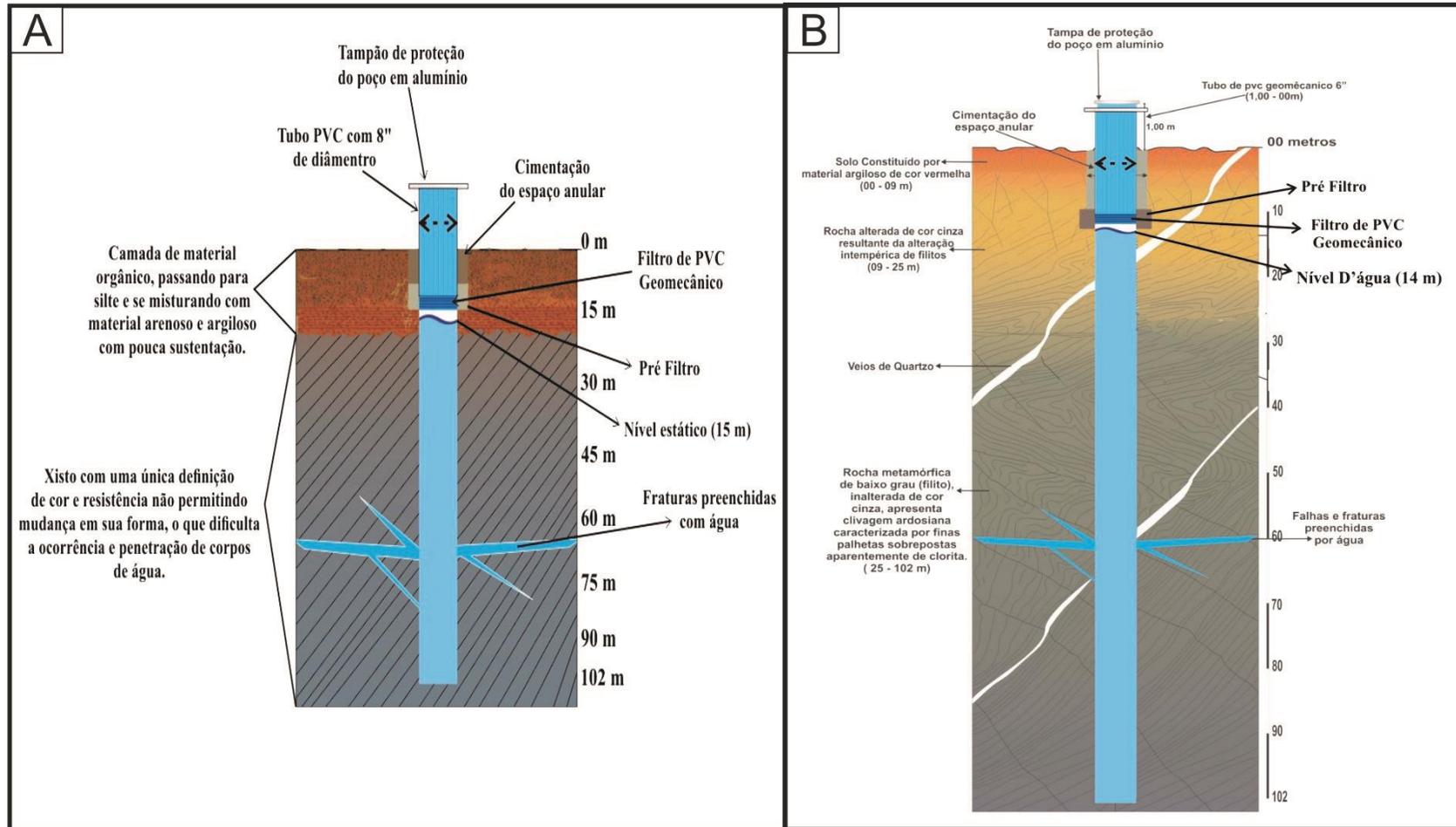
Figura 12: Perfil esquemático do poço 2.



Fonte: Autor

Os poços 1 (N.A – 15m) e 5 (N.A – 14m), representantes do Grupo A na Folha 17, apresentam mesma cota topográfica (112 metros) e níveis d'água excessivamente próximos, com intervalo de 1 metro (Figura 13), novamente evidenciando caracterização homogênea para as condições do subsolo na área, bem como para as discontinuidades presentes e demais parâmetros hidrogeológicos de aquíferos fissurais, também refletido pelos índices de vazão (m^3/h) semelhantes.

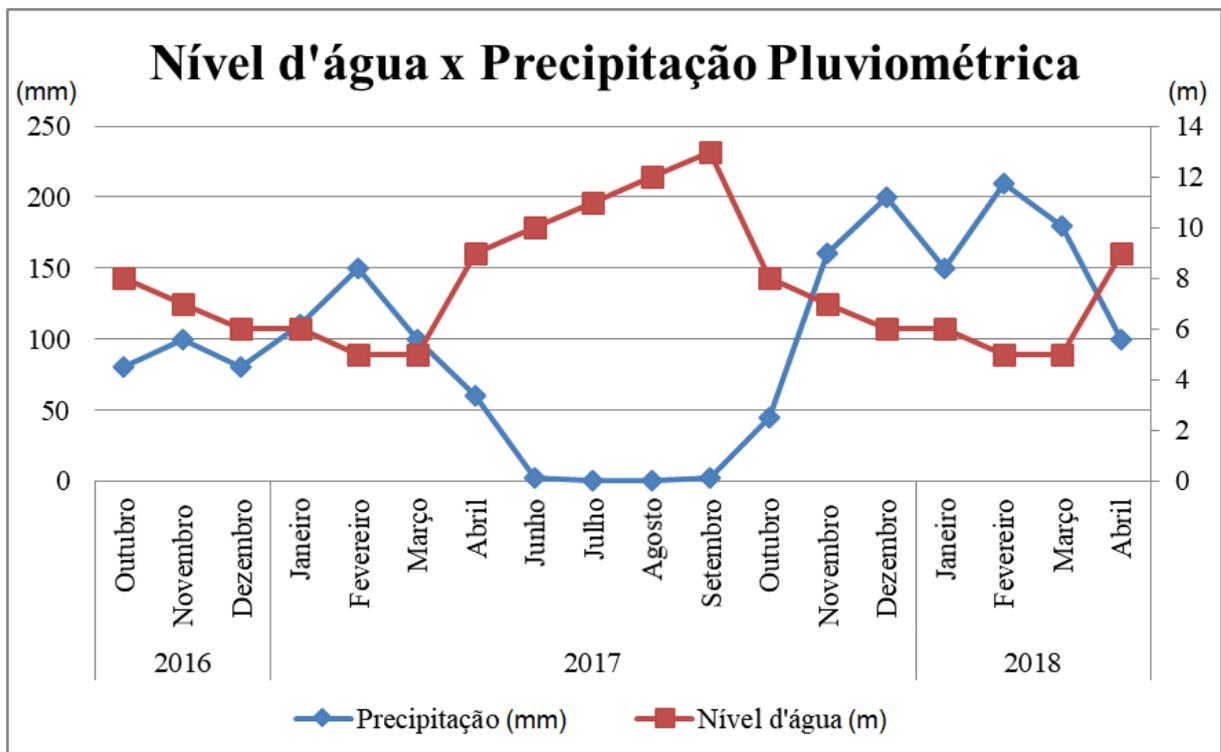
Figura 13: Perfis esquemáticos dos poços 1 e 5, Figura a e b, respectivamente.



Fonte: Autor

O poço 3 (N.A – 11m/Elevação – 104m) expõe os índices mais próximos das médias gerais de elevação e nível d'água dentre os 5 referentes à Folha 17, sendo considerado, portanto, genericamente como o mais representativo da área. Dispõe de variação aproximada de 3 metros nos níveis de água subterrânea, tanto no período de cheia, marcando de 5 a 8 metros, como no de estiagem, em que os níveis variam entre 10 e 13 metros (Figura 14).

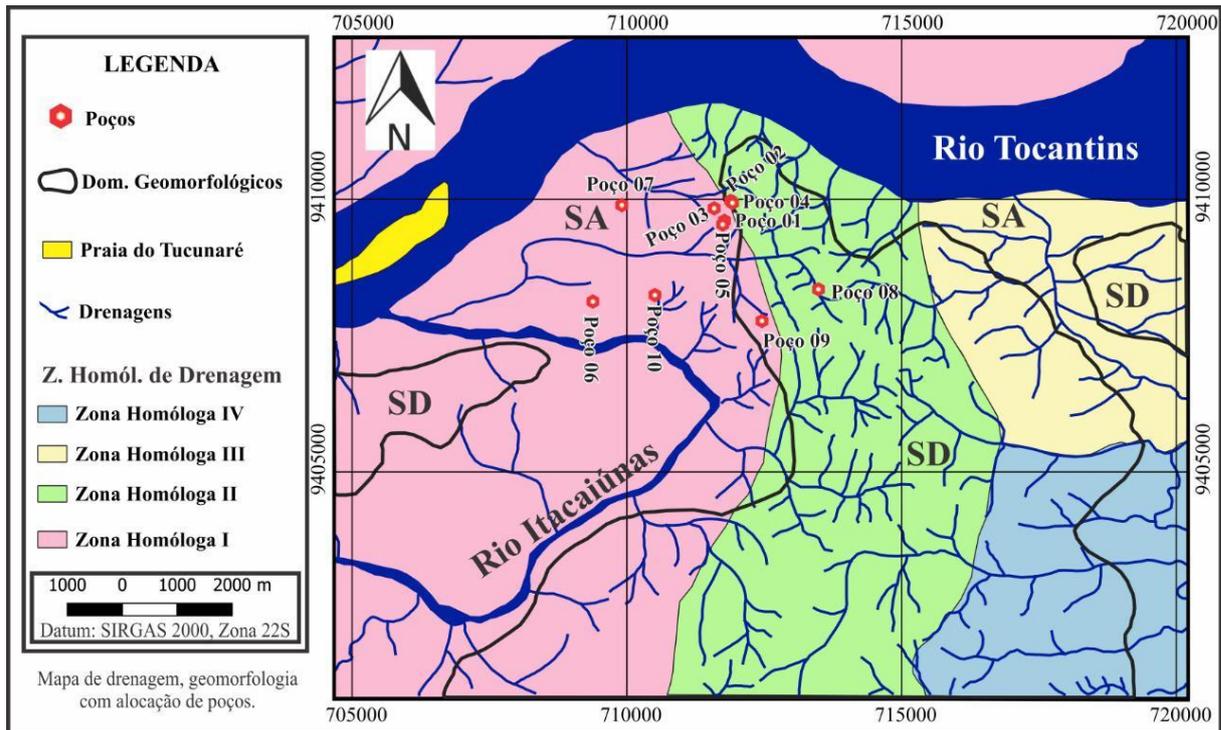
Figura 14: Representação gráfica hipotética dos níveis d'água x precipitação pluviométrica baseada nas variações anuais apresentadas pelo poço 3.



Fonte: Autor

No mais, a Folha 17 encontra-se inserida num contexto geomorfológico transicional entre os SD - sistemas denudacionais - (Poços 2 e 4) e SA – sistemas agradacionais - (Poços 1, 3 e 5) que representam o nível 1 na classificação de relevos sugerida por Latrubesse (2006), que sistematiza o quadro geomorfológico em diversos níveis. O levantamento das geoformas reconhecidas em Marabá, neste sistema, foi anteriormente executado por Felipe (2012), Passos, Pinheiro e Hentz (2013) e Passos (2017). A partir do mapa integralizado de drenagem e geoformas (Figura 15), identificaram-se quatro zonas homólogas de drenagem, cujas principais propriedades são exibidas na Tabela 3.

Figura 15: Mapa de zonas homogêneas de drenagem e sistemas geomorfológicos



Fonte: Autor

Tabela 3: Propriedades da rede de drenagem no núcleo Nova Marabá

Propriedade	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
Padrão	Subdendrítico	Subdendrítico	Subdendrítico	Subparalelo
Densidade	Baixa	Média a Alta	Média	Baixa
Sinuosidade	Mista	Mista	Mista	Mista
Angularidade	Média-Alta	Média-Alta	Média-Alta	Média-Alta
Tropia	Multidirecional N-S, E-W, NW-SE, NE-SW	Multidirecional N-S, E-W, NW-SE, NE-SW	Tridirecional E-W, NW-SE, NE-SW	Tridirecional E-W, NW-SE, NE-SW
Assimetria	Forte	Forte	Fraca	Forte
Anomalias	Cotovelos, arcos e meandros isolados	Cotovelos, arcos, canais retilíneos	Cotovelos, arcos	Meandros isolados

Fonte: Autor

Diante disso, independente das divergências pluviométricas dos períodos de análise, é possível inferir que os poços localizados dentro do sistema denudacional (SD) e da zona homogênea II possuem maior probabilidade de alcançar níveis d'água mais rasos (Poços 2 e 4), uma vez que neste quadro estão intrínsecas condicionantes estruturais anômalas portadoras de feições lineares que se interceptam, corroborando com os estudos de Costa (1965), no qual se constata que fraturas do tipo transversais interceptadas proporcionam melhores condições de armazenamento e percolação da água.

A relação dos níveis d'água com as cotas topográficas, inseridas na segmentação do contexto geomorfológico na Folha 17, de modo geral, foram concordantes, expressando uma relação proporcional tanto nos períodos de alta pluviosidade (Poços 2 e 4), quanto nos de baixa (Poços 1 e 5).

As camadas intemperizadas no contexto da área variam entre 15 a 20 metros e foram classificadas, predominantemente, como coberturas autóctones, devido à ocorrência restrita dos materiais procedentes de processos de intemperismo da própria rocha subjacente.

Tais medidas de espessura, situadas abaixo da média (30 m) para regiões úmidas, colaboram significativamente para altas taxas de recarga direta do aquífero em apreço, considerando que quanto menor a cobertura eluvial, maior a taxa de recarga. Relação que pôde ser visualizada a partir da verificação de níveis de saturação no meio eluvial, mais representativamente no poço 2 (Figura 13). Esse manto e a zona fissurada subjacente formam o que se pode denominar de um sistema livre, cujo nível de saturação ora se encontra no elúvio, ora no meio fissurado subjacente (Filho, 1996).

5.1.2 Correlação com outras áreas do núcleo Nova Marabá

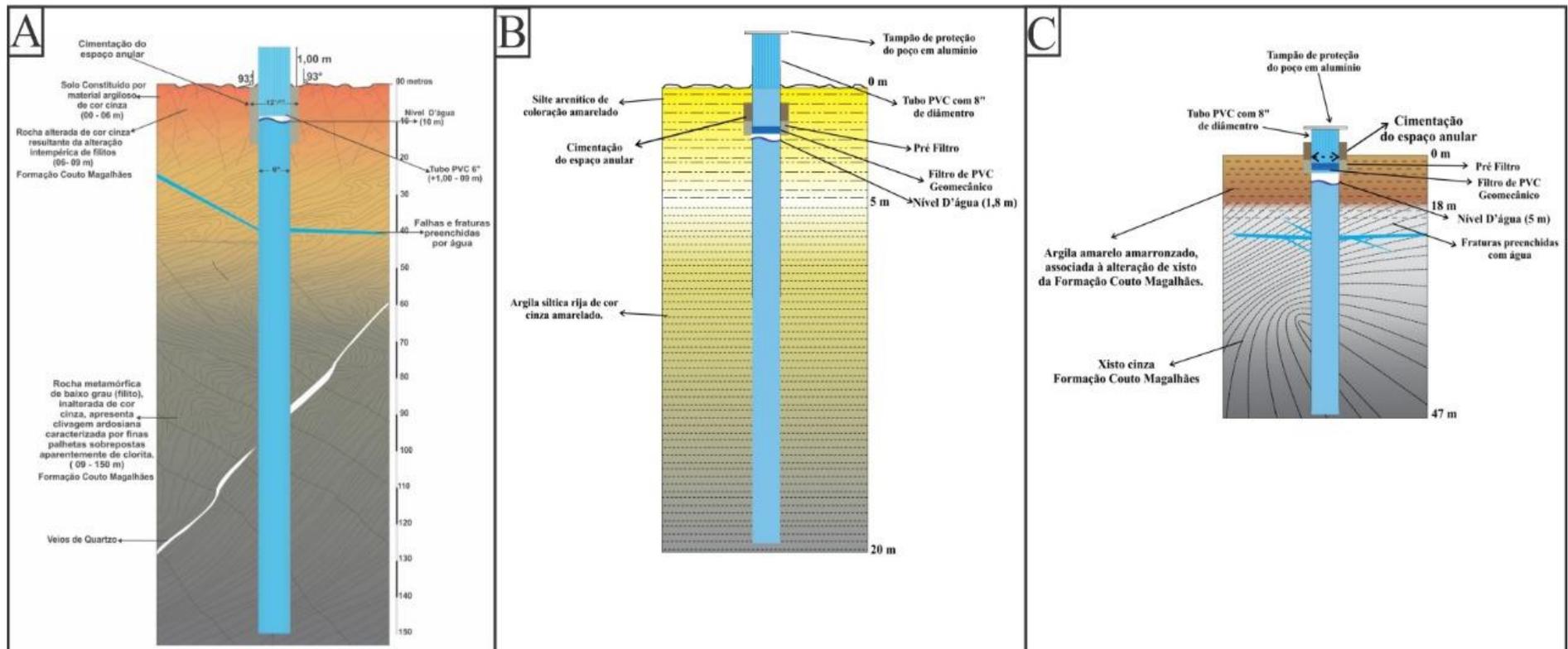
De modo geral, a Folha 17 apresenta níveis d'água proporcionalmente semelhantes às demais áreas, mesmo sob condições de maiores elevações. Nesse contexto, para o Grupo B podemos comparar os níveis d'água dos poços 1, 3 e 5 como mostrados nas figuras 13A, 13B e 14. de cotas mais elevadas, ao nível do poço 7 (Figura 17). Para o Grupo A os valores obtidos para os poços 2 e 4 podem ser proporcionalmente comparados aos poços 6, 8 e 10 (Figura 16).

Quando comparamos os poços 1 (N.A – 15m) e 5 (N.A – 14m) com o poço 9 (N.A – 30m) (Figura 18), podemos concluir que a Folha 17 apresenta níveis de água subterrânea relativamente rasos para suas condições topográficas de área homogeneamente mais elevada do núcleo.

As coberturas eluviais no núcleo Nova Marabá não apresentam aspectos relevantes de heterogeneidade composicional para a hidrogeologia. No geral, a média dessas camadas varia

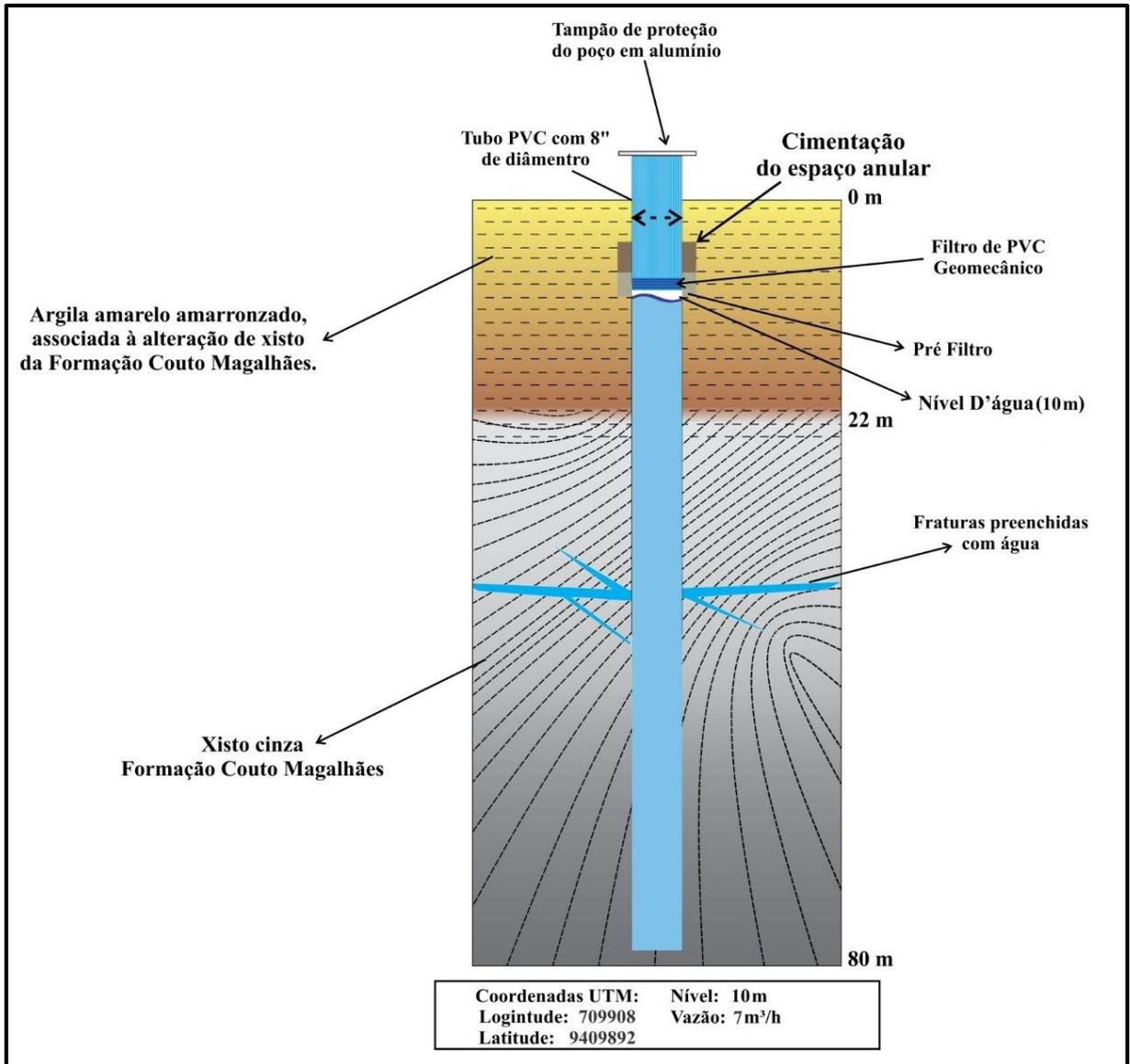
entre 10 a 25 metros de espessura, como ilustrado nos perfis construtivos apresentados, expondo medidas menores que a média para regiões úmidas, cujas medidas podem ultrapassar a marca de 130m de espessura. Não foi possível fazer análise definitiva com os índices de vazão, que além de estarem incompletos e inexpressivos, os valores não obedecem a nenhum padrão lógico de correlação com as elevações.

Figura 16: Perfis esquemáticos dos poços 6, 8 e 10, figuras a, b e c, respectivamente.



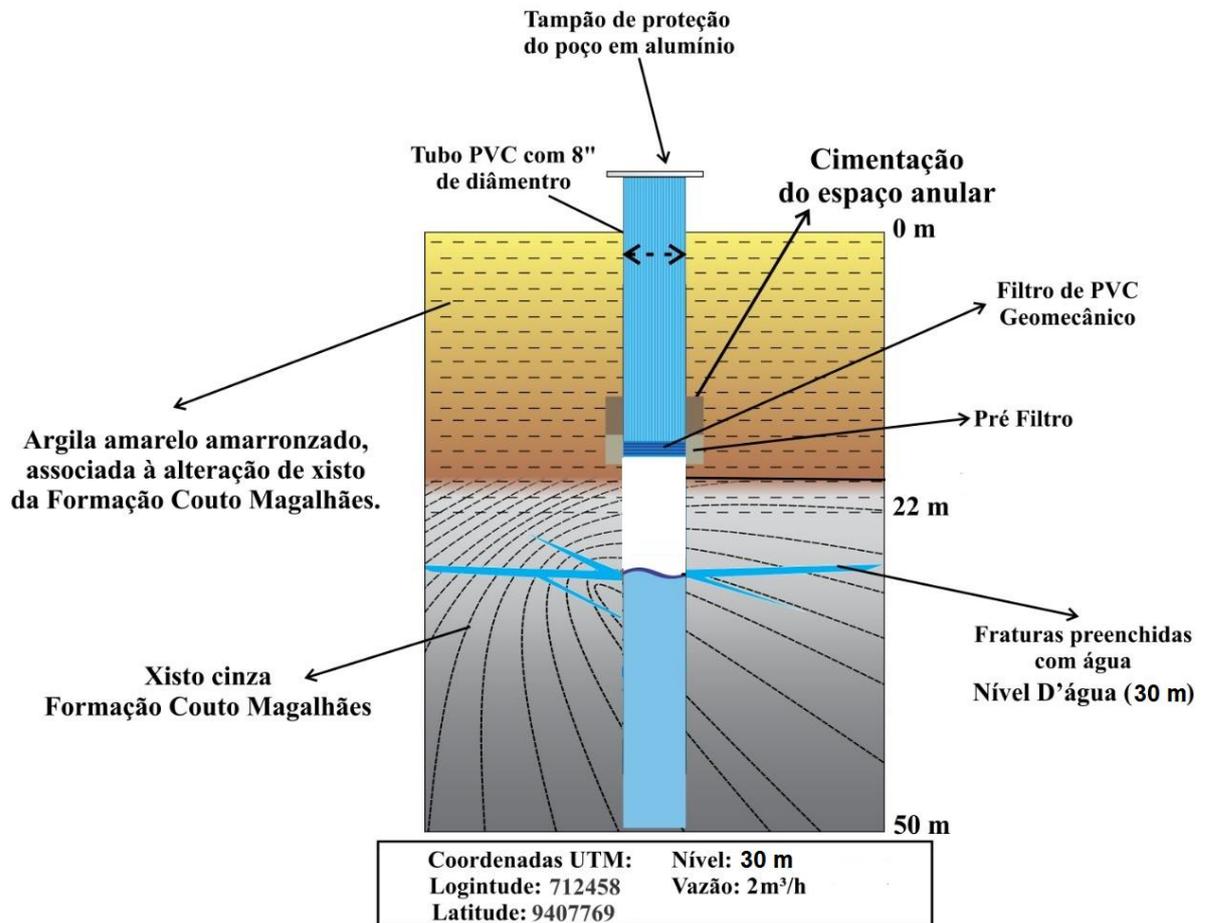
Fonte: Autor

Figura 17: Perfil esquemático do poço 7.



Fonte: Autor

Figura 18: Perfil esquemático do poço 9.



Fonte: Autor

7 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feita a análise dos níveis de água subterrânea e suas condicionantes exógenas e endógenas na Folha 17, bairro pertencente ao núcleo Nova Marabá, Marabá-PA, que está inserida no contexto geológico da Formação Couto Magalhães e do seu respectivo aquífero fissural Couto Magalhães. A partir da mensura dos níveis de água em 5 poços e o georreferenciamento de 3 relatórios de sondagem, adquiridos nas empresas construtoras, referentes à área de estudo e dados georreferenciados de outros 5 poços das zonas circundantes para correlações. Os fatores considerados para a abordagem, além da profundidade do nível da água em períodos distintos, foram a geologia, clima, hidrografia, solo, vegetação, topografia, estruturas rúpteis e quadro geomorfológico.

A média dos níveis d'água na Folha 17 para o Grupo A (período seco), foi de aproximadamente 13 metros, enquanto que para o Grupo B (período chuvoso) foi de 5 metros, variando de 2 a 15 metros, independentemente do período, nos 5 poços usados para esta análise.

As coberturas eluviais no núcleo Nova Marabá não apresentam aspectos relevantes de heterogeneidade composicional para a hidrogeologia. No geral, a média dessas camadas varia entre 10 a 25 metros de espessura, colaboram significativamente para altas taxas de recarga direta do aquífero em apreço, considerando que quanto menor a cobertura eluvial, maior taxa de recarga, em decorrência de menores perdas por evapotranspiração. As falhas e fraturas preenchidas por água estão normalmente posicionadas entre 20 e 60 metros de profundidade.

No poço 2, verificou-se a formação de um sistema livre devido a ocorrência de água no meio eluvial, no qual os níveis costumam ser pouco profundos e mais dependentes de recarga proveniente das águas da chuva.

A relação dos níveis d'água com as cotas topográficas, inseridas na segmentação do contexto geomorfológico na Folha 17, entre os poços locados no sistema denudacional (2 e 4) e agradacional (1, 3 e 5), de modo geral, foram concordantes, expressando uma relação diretamente proporcional tanto nos períodos de alta pluviosidade (Poços 2 e 4), quanto nos de baixa pluviosidade (Poços 1 e 5), com variação de 1 metro neste último.

A litologia descrita nos perfis de sondagem é típica, predominantemente constituída por filitos e subordinadamente por xistos. Os estudos de Legrand (1959) descrevem vazões em torno de 2.4 m³/h para filitos, enquanto que o Poço 10, concebido pelo SIAGAS, reconhece vazão de 20 m³/h para o mesmo litotipo. Não foi possível fazer análise definitiva com os índices de vazão, que além de estarem incompletos e inexpressivos, os valores não obedecem nenhum padrão lógico de correlação com as elevações, logo, estes estão associados a condições de estruturação que não necessariamente fazem parte do foco deste estudo. No mais, calcula-se uma mediana de 2 m³/h para os poços na Folha 17.

A partir das análises aqui descritas, concluiu-se que a Folha 17 apresenta níveis de água subterrânea relativamente rasos quando comparados com os níveis de outras áreas nas mesmas condições de relevo e topografia, até mesmo em relação à áreas menos elevadas. Segundo REBOUÇAS (2002), os maiores sucessos das taxas de recargas ocorrem nas regiões planas, boas coberturas vegetais e bem arborizadas.

Logo, acredita-se que a conservada cobertura vegetal e arbórea, associada à litologia degradada a níveis mais superficiais e coberturas eluviais menos espessas garantem altos índices de recarga direta na área, bem como, uma maior dependência desse tipo de recarga, cuja exerce considerável influência sobre os níveis de água subterrânea, dentro de uma estimativa limítrofe de 8 metros do período de alta pluviosidade para os de baixa pluviosidade (Tabela 4), expressa pela equação x (nível d'água obtido) - 8 (m) para o grupo A (período seco) e $x+8$ para o grupo B (período chuvoso), considerando margem de erro de 2 metros (para mais ou menos), comumente usada nos padrões hidrometeorológicos da região.

Tabela 4 – Resultados após aplicação das estimativas médias nos níveis de água subterrânea na Folha 17

Poço	Latitude	Longitude	Grupo	Nível d'água obtido (m)	Elevação (m)	Estimativa do nível d'água em período antagônico (m)
1	9409605	711774	A	15	112	7 (5 a 9)
2	9409973	711892	B	2	105	10 (8 a 12)
3	9409834	711588	A	11	104	3 (1 a 5)
4	9409933	711921	B	8	111	16 (14 a 18)
5	9409538	711743	A	14	112	6 (4 a 8)

Fonte: Autor

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. de A. M. de. **Evolução estrutural do Super-Grupo Baixo Araguaia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. Anais do...** Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 1978, v.1, p. 257-269.

BARBOSA, R.C.F. 2011. **Análise do Nível de Metais no Rio Itacaiúnas e Afluentes nas Proximidades do Distrito Industrial de Marabá, Sudeste do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso** – Universidade Federal do Pará, Marabá.. 83f.

BORGHETTI, N. R. B; BORGHETTI, José Roberto; DA ROSA FILHO, Ernani Francisco. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul.** Ed. Dos Autores, 2004.

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

COSTA, W. D. - 1985, **Avaliação dos Critérios de Locação de Poços em Rochas Cristalinas.** Anais do 1º Simpósio Nacional de Água Subterrânea em Rochas Fraturadas, Belo Horizonte.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1996. **Disponível em: <www.cprm.gov.br>.** CPRM/DIEDIG/DEPAT. 2001. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Marabá – Folha SB.22-X-D, Estado do Pará, Maranhão e Tocantins. Escala 1:250.000 /** Organizado por Herbert Georges de Almeida, Paulo Augusto da Costa Marinho e Ruy Célio Martins – Brasília.

DALL'AGNOL, R. *et al.* **Estado atual do conhecimento sobre as rochas granitóides da porção sul da Amazônia Oriental.** Revista Brasileira de Geociências, v. 16, n.1, p.11- 23, mar. 1986.

FEITOSA, AC; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações,** v. 2, p. 13-33, 2000.

FEITOSA, F. A. C. et al. **HIDROGEOLOGIA: conceitos e aplicações**. Organização e coordenação científica: 3º ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, v. 812, 2008.

FELIPE, L. B. **GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E MORFOTECTÔNICA DA REGIÃO DE MARABÁ – PA**. 2012. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

GORAYEB, P .S. de S. **Evolução geológica da região de Araguacema - Pequizeiro**. Tese (Mestrado, CG), Belém: UFPa, 1981. il. (Mestrado, CG), Belém: UFPa, 1981, il.

GORAYEB, P.S.S.; Moura, C.A.V.; Abreu, F.A.M. **Geologia do Parque Andorinhas e Região Adjacente**. In: GORAYEB, P.S.S (Ed.). Parque Martírios e Andorinhas: Conhecimento, história e Preservação. Belém: Edufpa, 2008. p.57-80.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acessado em Novembro de 2011.

IRITANI M. A., Ezaki S., 2008. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**, Caderno de Educação Ambiental, Instituto Geológico, 104 p.

LEGRAND, H. E. **Groundwater of the Piedmont and Blue Ridge Provinces of the Southeastern States**. US Geol. Survey. Circular. 238: 11. 1967.

LATRUBESSE, E. M. Geomorfologia do Estado do Goiás e Distrito Federal. Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás, 2006.

LIMA, H.P., 1987. **Notas sobre a análise estratigráfica da Bacia de Marajó**. Belém: Petrobrás, p. 34.

MACAMBIRA, J.B. **Geologia e ocorrências minerais do braquianticlinal do Lontra (GO)**. 1983. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Geologia) - Curso de Pós Graduação em Ciências Geofísicas, Geológicas Universidade Federal do Pará, Belém, 1983.

MELO JR., H. R., 1998. **Neotectônica na região da cidade de Marabá-Pa**: 1-63. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará, Belém.

NEVES, Mirna Aparecida. **Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do rio Jundiá (SP)**. 2005.

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).

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.

PASSOS, J. P; PINHEIRO, A.V.R; HENTZ A.; Subsídio para a Elaboração de EIA/RIMA para a extração de argila a partir da caracterização geológica na planície de inundação do rio Itacaiúnas em Marabá/PA. 13º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, 2013.

PASSOS, J. **Nova abordagem do condicionamento hidrogeológico do aquífero Couto Magalhães na cidade de Marabá-Pa**, sudeste do estado do Pará. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Pará, Marabá-PA. 2018

REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUDINISI, José Galizia. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. 702p.

SALATI, Enéas; LEMOS, Haroldo Mattos; SALATI, Eneida; Águas e o Desenvolvimento Sustentável. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUDINISI, José Galizia. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação** 2.ed. rev. E ampl. São Paulo: Escrituras Editoras, 2002. P. 39-63.

SILVA, A.N.P., 2012. **Levantamento Hidrogeológico no núcleo Cidade Nova, Marabá – PA**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará, Marabá. 77f.

SIQUEIRA, L. **Contribuição da geologia à pesquisa de Água Subterrânea no Cristalino.** Sudene, Recife/PE, 51p. 1963.

SOUZA, Luciana Cordeiro. *Águas Subterrâneas e a Legislação Brasileira.* Curitiba, Jaruá, 2009.

SOUZA, S. C. R.; 2012. **Fácies e estratigrafia da sedimentação proximal da Formação Barreiras, Sub-Bacia de Mocajuba, Sul do Sistema de Gráben do Marajó, região de Marabá.** 1-48. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará, Marabá.

SOUZA, O. **Análise geotécnica do núcleo Nova Marabá baseado em relatórios de sondagem,** cidade de Marabá, sudeste do estado do Pará. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Pará, Marabá-PA. 2018

SUGUIO, Kenitiro; FULFARO, Vicente José., 1977. **Geologia da margem ocidental da bacia do Parnaíba (Estado do Pará).** Bol. IG (online)., vol. 8 pp. 31-54.

TUCCI C. E. M., 1993. **Hidrologia Ciência e Aplicação, ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos,** 941 p.

TUNDISI, José Galizia. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado.** Ciência e Cultura, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

VASQUEZ, M. L. et al.; 2008. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG:** texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.

WENDLAND, E. **Modelos Matemáticos e Métodos Numéricos em Águas Subterrâneas.** São Carlos, SP: SBMAC, 2003 xii, 95 p. - (Notas em Matemática Aplicada; 3).