



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

THAIANY ARAÚJO TRINDADE

**ANÁLISE ESTRUTURAL PARA A COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO
HIDRÁULICO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA CIDADE DE PARAUAPEBAS-PA**

MARABÁ/PA

2018

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

THAIANY ARAÚJO TRINDADE

**ANÁLISE ESTRUTURAL PARA A COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO
HIDRÁULICO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA CIDADE DE PARAUAPEBAS-PA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para a formação de bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Valéria dos Reis Pinheiro.

MARABÁ-PA

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UNIFESSPA. Marabá,PA

Trindade, Thaiany Araújo

Análise estrutural para a compreensão do comportamento hidráulico de água subterrânea na cidade de Parauapebas-Pa / Thaiany Araújo Trindade; orientadora, Ana Valéria dos Reis Pinheiro. — 2018.

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, 2018.

1. Hidrogeologia – Parauapebas (PA). 2. Aquíferos. 3. Interpretação fotográfica. I. Pinheiro, Valéria dos Reis, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 551.49098115

Elaborado por Nádia Lopes Serrão
Bibliotecária-Documentalista CRB2/575

THAIANY ARAÚJO TRINDADE

**ANÁLISE ESTRUTURAL PARA A COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO
HIDRÁULICO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA CIDADE DE PARAUAPEBAS-PA**

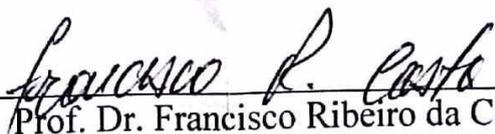
Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para a formação de bacharel em Geologia, orientado pela Profa. Dra. Ana Valéria dos Reis Pinheiro.

Aprovado em: Marabá, 07 / 12 / 2018

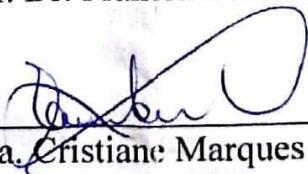
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Ana Valéria dos Reis Pinheiro



Prof. Dr. Francisco Ribeiro da Costa



Profa. Dra. Cristiane Marques de Lima Teixeira

AGRADECIMENTOS

A todos os professores da Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, pela dedicação e qualidade do ensino e, em especial, à minha orientadora, Valéria Pinheiro, por toda a ajuda e paciência.

Aos meus colegas de turma (e de Célula), pela amizade e união nestes cinco anos juntos.

E, por último e mais importante, à minha família. Em especial ao meu namorado, Tom, meus tios Maurício e Edna e aos meus pais, Gilmara e Jairo, por todo o amor e apoio em todos os momentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição vertical da água no subsolo.	17
Figura 2: Estruturas que permitem a acumulação de água subterrânea em terrenos cristalinos: a) juntas; b) falhas; c) contatos geológicos; d) estruturas dúcteis intemperizadas.	19
Figura 3: Mapa de localização e acesso ao município de Parauapebas.	21
Figura 4: Imagem de satélite da cidade de Parauapebas	22
Figura 5: Mapa da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, destacando o município de Parauapebas (em verde).	26
Figura 6: Províncias e domínios tectônicos do estado do Pará.	28
Figura 7: Mapa das litologias que ocorrem na área urbana de Parauapebas.	30
Figura 8: Mapa de Zonas Homólogas de Drenagem elaborado de acordo com análise do método de Soares & Fiori, destacando a área da cidade de Parauapebas (polígono amarelo)..	33
Figura 9: Mapa da rede de drenagem da área da cidade de Parauapebas.	35
Figura 10: Fraturas inferidas a partir de trechos retilíneos e formas anômalas na drenagem. .	36
Figura 11: Mapa do relevo da cidade de Parauapebas.	37
Figura 12: Divisão taxonômica do relevo, segundo IBGE (2009).	38
Figura 13: Relevo planáltico a nordeste da área.	38
Figura 14: A) Relevo plano a suavemente ondulado; B) Morros alinhados.	39
Figura 15: Mapa Estrutural da cidade de Parauapebas.	40
Figura 16: Esboço litoestrutural simplificado do Lineamento Cinzento. 1) Duplex distensivo Salobo; 2) Duplex Compressivo Cururu; 3) Rabo de cavalo Serra Pelada. Cruzes: Granitoides.	41
Figura 17: Mapa geológico simplificado do segmento norte da Província Mineral de Carajás (Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas).	42
Figura 18: Localização dos poços perfurados em Parauapebas.	43
Figura 19: Mapa de contornos do nível da água da cidade de Parauapebas	44
Figura 20: Modelo tridimensional do nível da água subterrânea em Parauapebas.	45
Figura 21: Modelo tridimensional do nível da água subterrânea em Parauapebas.	46
Figura 22: Modelo tridimensional do nível da água subterrânea em Parauapebas.	46
Figura 23: Afloramento no bairro Cidade Jardim. A) Rocha alterada com estruturas preservada; B) Veios de quartzo de pequena espessura; C) Bloco rolado com superfície	

coberta por mineral de hábito dendrítico; D) Veio de quartzo na rocha alterada; E) Epidotização.....	50
Figura 24: A) Visão geral do afloramento; B) Intercalação de veios; C) Veios espessos de quartzo; D) Porção da rocha formada apenas por anfibólio; E) veio de anfibólio; F) Amostra retirada do Afloramento.	52
Figura 25: A) Visão geral do afloramento; B) Rocha que forma o lajedo; C) Rocha que preenche os veios; D) Veios cortando uns aos outros em diferentes direções.	53
Figura 26: Diagramas de roseta mostrando os principais <i>trends</i> das fraturas (verde) e veios (azul) vistas no afloramento T-36.	54
Figura 27: A) Visão geral do afloramento; B) Amostra da rocha encontrada.	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de aquíferos e suas principais características	15
Quadro 2: Caracterização das Zonas Homólogas de Drenagem do município de Parauapebas	32
Quadro 3: Poços perfurados em Parauapebas e informações sobre o nível d'água e a vazão	43

RESUMO

As águas subterrâneas são um valioso recurso que, pela dificuldade de sua exploração em comparação à facilidade da exploração das águas superficiais, ainda têm um uso muito restrito, principalmente em terrenos cristalinos. Em cidades onde há problemas no abastecimento de água, como em Parauapebas, as águas subterrâneas são uma excelente alternativa para suprir esta demanda, entretanto, por se tratar de um terreno cristalino, nem sempre essa busca gera resultados satisfatórios. A hidrogeologia dos meios heterogêneos cristalinos é, em muitos aspectos, diferente da hidrogeologia clássica, dos meios porosos, onde a água se acumula, justamente, nos poros das rochas. Nos meios cristalinos a água depende dos espaços criados por falhas e fraturas na rocha e sua interconexão. Para entender tal relação, neste trabalho foram analisadas imagens de satélites e dados de poços perfurados por toda a cidade de Parauapebas, que permitiram a confecção de mapas estruturais e de drenagem, além de um modelo tridimensional do nível da água subterrânea na cidade.

Palavras-chave: Hidrogeologia. Aquífero Cristalino. Fotointerpretação.

ABSTRACT

Groundwater is a valuable resource that has a restrict use mainly in crystalline terrains, because the exploration it is harder compared to surface water. In cities where there are problems with water supplies such as Parauapebas, groundwater is an excellent alternative to supply this demand, however because this city lies in a crystalline terrain the search for groundwater not always generate good results. Heterogeneous crystalline terrains hydrogeology is, in many ways, different from classical hydrogeology, in porous terrains; in which water accumulates in rock pores. In crystalline terrains, water accumulation relies in spaces created by rock faults and fractures and their interconnection. To understand this relation, in this work were analyzed satellite images e data from wells from all over Parauapebas city, this data have allowed the construction of structural and drainage maps and also a groundwater level three-dimensional model.

Keywords: Hydrogeology. Crystalline Aquifer. Photointerpretation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	16
4.2 ASPECTOS LITOLÓGICOS	18
4.3 ASPECTOS ESTRUTURAIS	18
4.4 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO	19
5 TRABALHOS ANTERIORES	20
6 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	21
7 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	22
8 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	24
8.1 CLIMA	24
8.2 VEGETAÇÃO	24
8.3 SOLOS	24
8.4 RELEVO	25
8.5 HIDROGRAFIA	25
9 CONTEXTO GEOLÓGICO	27
9.1 GEOLOGIA REGIONAL	27
9.1.1 CRÁTON AMAZÔNICO	27
9.1.2 PROVÍNCIA CARAJÁS	27
9.1.3 DOMÍNIO RIO MARIA	27
9.1.4 DOMÍNIO CARAJÁS	27

9.2	GEOLOGIA LOCAL	30
9.2.1	CINTURÃO ITACAIÚNAS	30
10	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
10.1	HIDROGEOLOGIA LOCAL	33
10.2	RELEVO	37
10.3	ANÁLISE ESTRUTURAL	40
10.4	NÍVEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	43
11	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	47
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE	50

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Parauapebas surgiu e teve seu crescimento impulsionado em função dos projetos mineradores na região. Entre os anos de 2001 e 2004 a cidade teve um crescimento populacional de 8,9%, valor muito superior à média do estado, que foi de 2,0% (IBGE, 2010). Um crescimento desta magnitude traz consigo diversos problemas decorrentes da falta de planejamento urbano, como ocupação de áreas de risco e deficiências nos sistemas de saneamento básico e de distribuição de água.

Inicialmente a cidade se expandiu através da invasão desordenada de áreas de fazendas, mas a crescente demanda por espaço para acomodar a população fez com que nos últimos anos surgissem diversos loteamentos planejados. Para aumentar a área que será comercializada nestes empreendimentos as empresas responsáveis promovem o desmonte de colinas e morros e o aterramento de drenagens, alterando significativamente a paisagem da cidade.

As unidades geológicas presentes na cidade são a Formação Parauapebas, Grupo Rio Novo, Complexo Xingu, granitos Cigano e Igarapé Geladinho e Gnaisse Estrela. São rochas cristalinas arqueanas e complexos máfico-ultramáficos associados, de estruturação principal E-W e WNW-ESE, formando o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, implantado desde o Mesoarqueano. Eventos rúpteis posteriores e reativações formaram feições como as falhas Carajás e Cinzento, tornando a área estruturalmente ainda mais complexa.

A hidrogeologia dos terrenos cristalinos é intimamente ligada aos aspectos estruturais do meio. Por haver muito pouco ou nenhum espaço intergranular nestes tipos de rocha, estruturas rúpteis como fraturas e juntas são as responsáveis pelo armazenamento de água e sua interconectividade é de importância fundamental para a qualidade do aquífero.

As recentes alterações antrópicas na cidade de Parauapebas envolvendo o desmonte de morros por meio de detonações, além de alterarem a paisagem da cidade, afetando o microclima local, podem também estar afetando as estruturas rúpteis das rochas do entorno e, conseqüentemente, a dinâmica dos aquíferos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Cidades em expansão como Parauapebas enfrentam diversos problemas decorrentes de seu crescimento acelerado, um deles é a deficiência no abastecimento de água para a população. Neste contexto, a água subterrânea se torna uma excelente alternativa para suprir

esta demanda. Entretanto, a complexidade estrutural do aquífero cristalino faz com que nem sempre a busca por água subterrânea tenha resultados satisfatórios.

Sendo assim, faz-se necessário um estudo de reconhecimento dessas rochas e suas respectivas estruturas, tanto para a compreensão da dinâmica hídrica subterrânea, facilitando assim a busca por água, como para entender as alterações provocadas pela ação antrópica por se tratar de um meio hidrogeológico fissural em uma área urbana.

2 OBJETIVOS

Para melhor compreensão dos objetivos deste trabalho eles foram divididos em objetivos gerais e específicos.

2.1 OBJETIVOS GERAIS

- Conhecer a estruturação da área e a sua relação com a água subterrânea.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as estruturas tectônicas primárias.
- Verificar a existência de estruturas provocadas pela ação antrópica
- Analisar o comportamento hidráulico da água subterrânea.
- Estabelecer uma relação entre o comportamento hidráulico e as estruturas encontradas na área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em quatro fases:

- Fase preliminar: Nesta etapa do trabalho foram feitas as primeiras pesquisas em livros e artigos e acerca do tema proposto e em trabalhos de conclusão de curso desenvolvidos na cidade de Parauapebas, para obter um panorama geral das características da cidade, além do desenvolvimento do cronograma de trabalho.
- Fase pré-campo: Nesta fase foram confeccionados os mapas topográfico, de drenagem, de alinhamentos e litológico, através dos *softwares* QGis e *Global Mapper* e com o auxílio de imagens SRTM (Rabus *et al.* 2003) do *site Earth Explorer*, com resolução de 30m, do *software Google Earth* e *shapes* do *site Geobank*. A definição das zonas homólogas de drenagem foi feita de acordo com o método de Soares e Fiori (1976).
- Fase campo: A viagem de campo ocorreu nos dias 1, 2 e 3 de outubro de 2018. Utilizando os mapas confeccionados na fase anterior, uma câmera, bússola do tipo Brunton, um GPS Garmin e martelo petrográfico foi realizada a atividade de campo. Durante esta atividade buscou-se fazer o reconhecimento da rede de drenagem da cidade e sua relação com as estruturas e litologias aflorantes.
- Fase pós-campo: Nesta fase, para o desenvolvimento e finalização deste trabalho, os dados obtidos em campo e por meio de fotointerpretação foram descritos, analisados e interpretados, permitindo a elaboração dos produtos finais. Com o auxílio do *software Surfer* foram elaborados o mapa de nível da água e o modelo tridimensional do nível da água em Parauapebas, além dos mapas finais como *software* QGis.

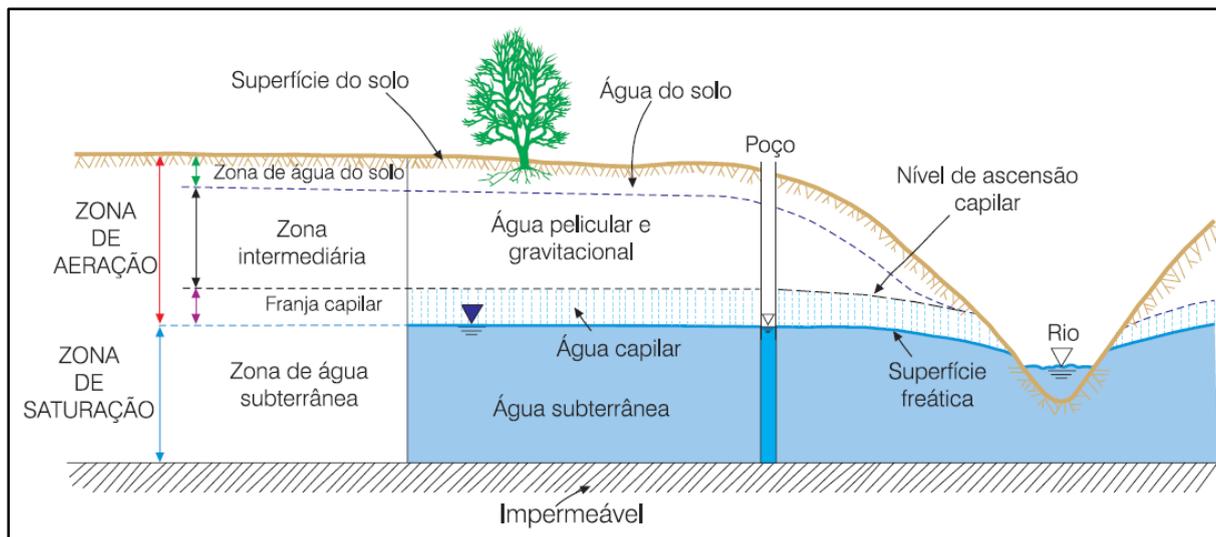
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A hidrogeologia dos meios cristalinos, como é o caso da cidade de Parauapebas, é bastante diferente da hidrogeologia clássica dos meios sedimentares porosos. Neste tipo de terreno o principal fator de interesse na busca por água subterrânea são as características estruturais das rochas.

4.1 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

- **Água Subterrânea:** água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as 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 (<http://www.abas.org/educacao.php>).
- **Superfície Freática:** lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida à pressão atmosférica.
- **Distribuição Vertical da Água no Subsolo:** a água contida no solo e nas rochas é dividida verticalmente em duas zonas horizontais: A) Zona Saturada: situa-se abaixo da superfície freática, nela todos os espaços estão preenchidos com água; B) Zona de Aeração (Não Saturada): situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno, nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases e água (Figura 1).
- **Água subterrânea em meios heterogêneos cristalinos:** Nestes meios a água se encontra nos espaços criados pelas fissuras, fraturas, juntas, falhas, vesículas, aberturas de dissolução, zonas de decomposição, entre outros. O escoamento da água através da trama de fraturas obedece à: A) Gradientes hidráulicos, se as fraturas preenchidas com água estão conectadas até a superfície; B) Gradientes litostáticos controlados pelo peso da coluna de rocha suprajacente, se as fraturas com água estão interrompidas ou seladas em direção à superfície; C) Gradientes de origem neotectônica, como falhas reativadas (Feitosa et al, 2008).
- **Aquífero:** é uma formação geológica constituída por rochas permeáveis, que armazena e transmite água em seus poros ou fraturas. Assim, uma litologia só será aquífera se, além de ter seus poros saturados (cheios) de água, permitir a fácil transmissão da água armazenada (<http://www.abas.org/educacao.php>).

Figura 1: Distribuição vertical da água no subsolo.



Fonte: Feitosa *et al*, 2008 (modificado de Bear & Verruijt, 1987).

- Tipos de Aquífero: os aquíferos podem ser analisados em relação a dois fatores, quanto à porosidade e quanto à pressão (Quadro 1).

Quadro 1: Tipos de aquíferos e suas principais características.

POROSIDADE			PRESSÃO	
POROSO	FISSURAL	CÁRSTICO	LIVRE/ FREÁTICO	CONFINADO/ ARTESIANO
É formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogênea distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia.	É formado por rochas cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. A capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houver fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos.	É formado em rochas calcárias ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais.	É constituído por uma formação geológica permeável e superficial, aflorante em toda a sua extensão e limitado na base por uma camada impermeável. Possuem a chamada recarga direta e são os que apresentam maiores problemas de contaminação.	É aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. Sua recarga acontece nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles, o nível da água encontra-se sob pressão, podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas.

Fonte: <http://www.abas.org/educacao.php> (adaptado).

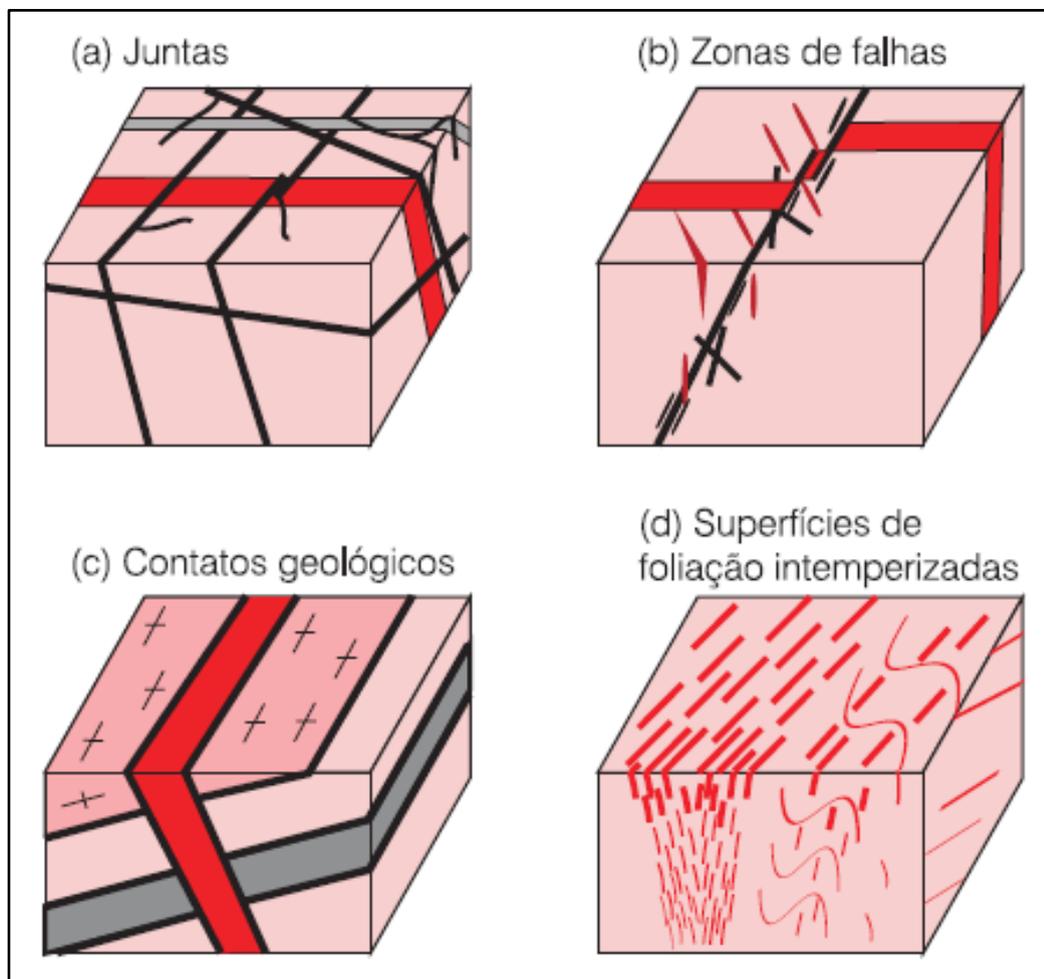
4.2 ASPECTOS LITOLÓGICOS

- Porosidade: porcentagem de interstícios vazios ou preenchidos por fases líquidas e/ou gasosas com relação ao volume da rocha (<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>).
- Permeabilidade: é a propriedade das rochas caracterizável pela maior ou menor facilidade com que um fluido percola um meio poroso. A permeabilidade pode ser o resultado da comunicação entre os espaços intergranulares das rochas ou materiais inconsolidados ou, ainda, entre os espaços produzidos por fraturamento. (Soares & Fiori, 1976).
- Plasticidade: é a capacidade de um material ser deformado sem sofrer ruptura, seu inverso é a ruptibilidade. Rochas com diferentes plasticidades apresentarão diferentes comportamentos em relação aos esforços geológicos de compressão e tensão (Soares & Fiori, 1976).
- Isotropia: condição de constância de propriedades físicas de um corpo rochoso ou mineral segundo todas as direções (<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>).
- Anisotropia: condição de variabilidade de propriedades físicas de um corpo rochoso ou mineral segundo direções diferentes (<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>).

4.3 ASPECTOS ESTRUTURAIS

- Estruturas rúpteis: são discontinuidades na rocha, locais em que esta se rompeu formando fraturas, juntas e falhas, formando espaços, de tamanhos variados, que permitem o armazenamento de água. Embora sejam representadas nos mapas como planos discretos, estas estruturas, em especial as falhas, usualmente correspondem a enxames de planos de menor porte, em sua maior parte subparalelos (Feitosa *et al*, 2008).
- Estruturas dúcteis: são deformações ocorridas em altas temperaturas como dobras, foliações e zonas milonítica. Embora originalmente “fechadas” (no sentido de que não constituem, originalmente, planos de partição nas rochas, nem propiciam taxas de fluxo de fluidos elevadas e localizadas), estas estruturas, formadas em profundidade e alta temperatura, podem ser “abertas” quando submetidas a processos de reativação, intemperismo e decompressão, próximos à superfície da Terra (Figura 2) (Feitosa *et al*, 2008).

Figura 2: Estruturas que permitem a acumulação de água subterrânea em terrenos cristalinos: a) juntas; b) falhas; c) contatos geológicos; d) estruturas dúcteis intemperizadas.



Fonte: Feitosa *et al*, 2008.

4.4 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

- Sensoriamento Remoto Aplicado à Hidrogeologia: técnicas de sensoriamento remoto podem ser aplicadas na identificação de feições geológicas de interesse à prospecção de água subterrânea, locais para locação de poços, identificação preliminar de discontinuidades geológicas de grande a médio porte, dentre outros. Trata-se de uma forma de pesquisa preliminar de baixo custo e, por vezes, a única fonte de dados em determinadas regiões.
- Geoprocessamento aplicado à Hidrogeologia: o geoprocessamento compreende atividades de aquisição, armazenamento, tratamento, análise e interpretação de dados geográficos. Os produtos gerados por ferramentas de geoprocessamento são essenciais para obter dados precisos, fazer previsões e análises estatísticas, dentre outros.

5 TRABALHOS ANTERIORES

A primeira referência à região de Carajás foi feita por Moraes Rego (1933), que registrou a presença de formação ferrífera na área. Na década de 1960 surgem os primeiros trabalhos com descrição de litotipos e propostas de empilhamento estratigráfico (Barbosa *et al* 1966, Ramos 1967 e Almeida *et al* 1968). Na década seguinte foram produzidos dezenas de trabalhos sobre a litologia, estratigrafia, correlação e estruturação da região de Carajás. Nos anos 80 trabalhos como o da DOCEGEO (1988) e Cordani & Brito Neves (1982) e Tassinari *et al* (1987) deram enfoque aos cinturões móveis Neoproterozoicos que envolvem núcleos cratônicos, como é o caso da região.

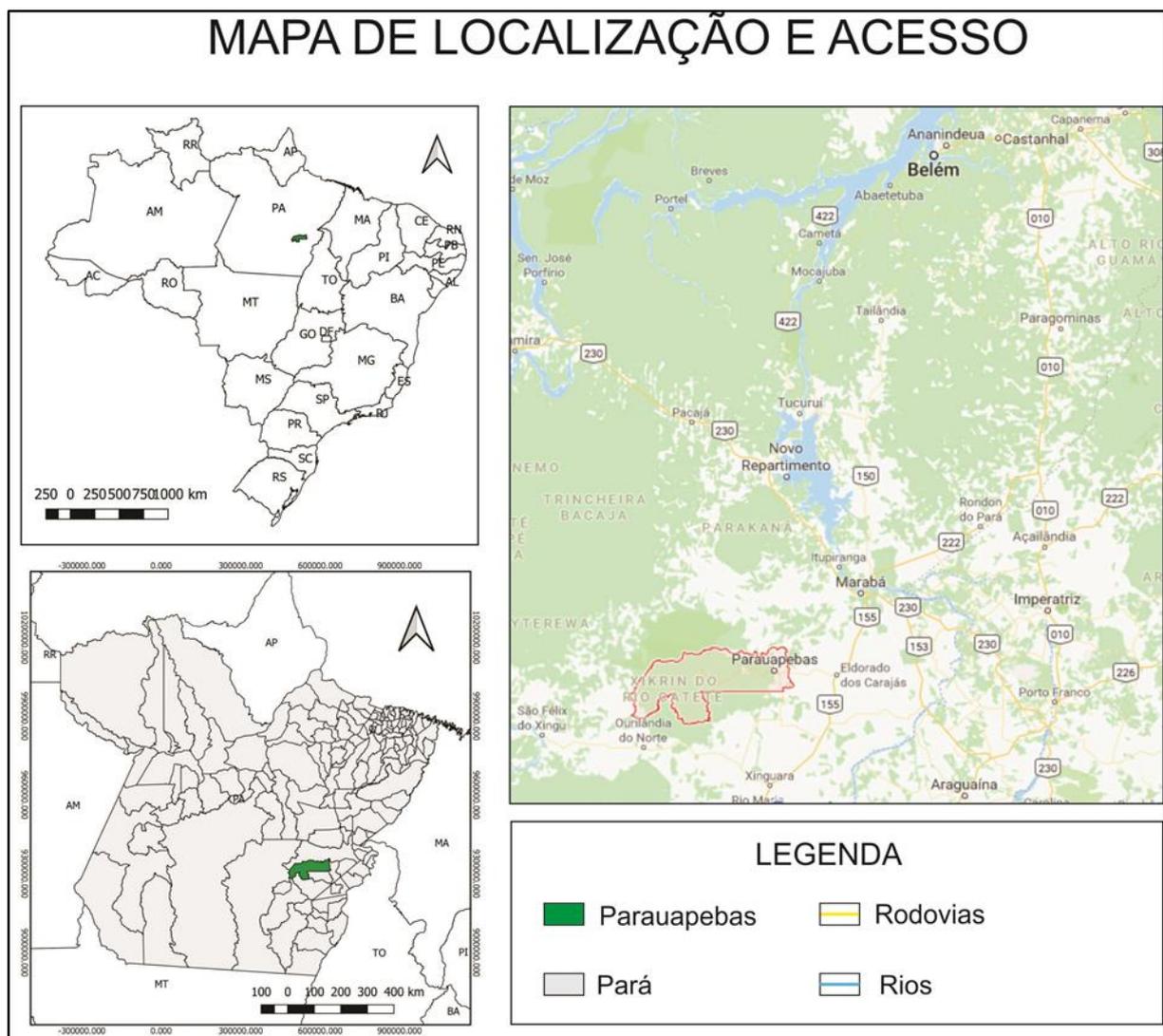
Na década de 1990 e início dos anos 2000, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Pinheiro (1997) e Pinheiro & Holdsworth (1991b, 1995, 1997a e 2000) evidenciando os aspectos estruturais das rochas do Cinturão Itacaiúnas, na região de Serra Pelada e Serra dos Carajás, principalmente os sistemas transcorrentes das falhas Carajás e Cinzento, além da estrutura do depósito de minério de ferro N4, na Província Mineral de Carajás (PMC). Braga (2016) analisou a estrutura “pseudocárstica” das cavernas formadas nas formações ferríferas bandadas da PMC e avaliou a influência neotectônica sobre as mesmas.

Especificamente na cidade de Parauapebas, Souza (2015) analisou a relação entre o crescimento demográfico desordenado na cidade e a ocupação de áreas de risco, identificou as principais áreas deste tipo e as classificou de acordo com o grau de risco que oferecem à população próxima. Leite (2015) descreve os problemas decorrentes da ocupação humana e das modificações no relevo e drenagem da cidade, como inundações, e propõe um conjunto de medidas para minimizá-los. Nascimento (2015) caracterizou os principais problemas socioambientais urbanos do município, principalmente os de caráter erosivo, correlacionando-os às características geológicas da área e propôs medidas para solucioná-los.

6 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Parauapebas está localizado na região sudeste do estado do Pará, fazendo fronteira com os municípios de Curionópolis, Marabá, São Félix do Xingu, Ourilândia do Norte, Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás. Está localizado a aproximadamente 719 km de quilômetros de distancia da capital, Belém, e o acesso ao município se dá através das rodovias PA-275 e PA-160 (Figura 3).

Figura 3: Mapa de localização e acesso ao município de Parauapebas.



Fonte: Autora (a partir de imagens do Google Earth).

7 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Os empreendimentos mineradores que surgiram na região sudeste do Pará a partir da década de 60 fizeram com que pessoas de todo o país migrassem para a região, aumentando a população das cidades já existentes e fazendo com que surgissem novos povoados, assim como o que se formou ao pé da Serra dos Carajás, em terras do município de Marabá e que, mais tarde, se tornou a cidade de Parauapebas (Figura 4).

A vila se tornou município em 10 de maio de 1988 e, segundo o último censo, sua população era de 153.908 habitantes e a população estimada em 2018 é de aproximadamente 203.000 pessoas (IBGE). O IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) do município, em 1991, era de 0,439 (baixo), enquanto em 2010 o resultado subiu para 0,715, considerado um IDH alto.

Figura 4: Imagem de satélite da cidade de Parauapebas



Fonte: Google Earth.

A principal atividade econômica do município é a mineração, que, em 2015 empregava mais de 10 mil pessoas, seguida do setor de serviços, que empregava mais de 11 mil. Além destas, a construção civil, a administração pública e o comércio são as outras atividades que mais geram emprego na cidade, conferindo ao município um PIB de aproximadamente 15,5 bilhões de reais em 2014.

8 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

8.1 CLIMA

Segundo a classificação de Köppen a região possui clima do tipo Aw, descrito como tropical-úmido de monção com excesso de chuvas durante alguns meses, o que compensa os poucos meses com baixa precipitação. Segundo o Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira a região possui uma média anual de umidade relativa de 85% e insolação média anual de 1.800 horas por mês. A temperatura varia entre 20° e 35° C e a pluviosidade média anual é de 1827 mm, sendo junho, julho, agosto e setembro os meses menos chuvosos.

8.2 VEGETAÇÃO

Segundo dados do Projeto RADAM, cinco tipos de vegetação são encontradas na região:

- Floresta Densa Montana: ocorre na área da Serra dos Carajás e caracteriza-se por árvores de grande porte e copas amplas, intercaladas por espécies mais finas, implantadas em rochas do Grupo Grão-Pará, onde predomina a espécie pau-preto (*Cenostigma Tocantins*).
- Floresta Densa Sub-montana: ocorre nas regiões mais baixas que circundam a Serras dos Carajás. É formada por árvores de porte médio, onde predominam as quarubas (*Vochysias sp.* e *Erismia sp.*) e, nos vales, castanheiras (*Bertholetia excelsa*).
- Floresta Aberta: a mais devastada pela pastagem e exploração, esta vegetação ocorre em terrenos de rochas gnáissicas e granitoides, destacando-se pelos cocais, cipoais e babaçuzais. Dentre as espécies de grande porte se destaca a castanheira.
- Área de Mistura: ocorre principalmente no sul da Serra dos Carajás e caracteriza-se por uma vegetação densa e baixa, semelhante à do cerrado.
- Vegetação Esclerófila: composta por arbustos esparsos, ervas e ciperáceas, ocupa as porções onde ocorrem as formações ferríferas.

8.3 SOLOS

Segundo Rosatelli *et al* (1974) pode-se distinguir os seguintes tipos de solos na Serra dos Carajás:

- Latossolos: desenvolvem-se sobre rochas vulcânicas máficas e são solos profundos, com fertilidade baixa, friáveis, porosos e permeáveis. Ocorre na região da Serra dos Carajás, onde o relevo é ondulado e a vegetação é densa.

- Solos podzólicos: são solos ácidos, de baixa fertilidade, textura argilosa, desenvolvidos em áreas de relevo suave a ondulado sob floresta mista de babaçu e floresta aberta.
- Solos litólicos: ocorrem como manchas dentro da superfície de ocorrência dos solos podzólicos. São rasos, de fertilidade variável, relacionados a relevo montanhosos e vegetação do tipo arbórea.

8.4 RELEVO

Para a análise do relevo da folha Serra dos Carajás foram utilizadas as informações obtidas por Boaventura *et al.* (1974). Três unidades de relevo foram identificadas na região:

- Relevo de serras: foi dividido em dois domínios. A) O domínio centro-norte é localmente controlado pela Falha Carajás (NW-SE) e possui elevações que podem ultrapassar 400m de altura, com vertentes predominantemente retilíneas e topos planos. Dele fazem parte as serras Norte e Sul e coincide quase totalmente com as rochas de idade arqueana da região, as do grupo Grão-Pará e Rio Novo. B) O domínio sul-sudoeste é representado pela serra da Seringa e possui morros com elevação máxima de 300m, com vertentes côncavo-convexas e topos alongados com formas que variam entre arredondados, planos e angulares.
- Relevo de morros: ocorre na porção central a centro-oeste da folha. É caracterizado por morros isolados, alongados ou alinhados, com vertentes côncavo-Convexas e topos geralmente arredondados, formados pelas rochas dos Complexos Xingu e Pium e Suíte Plaquê. Apresenta cotas de até 500m nas serras Arqueada e Parauapebas e *trend* WNW-ESSE.
- Relevo colinoso: ocorre na região central a centro-leste, correspondendo à parte mais arrasada das rochas do regime compressivo do Cinturão Itacaiúnas. Neste domínio o relevo é colinoso e aplainado, as maiores altitudes atingem 300m e as vertentes possuem perfil retilíneo, com topos esparsos e restritos.

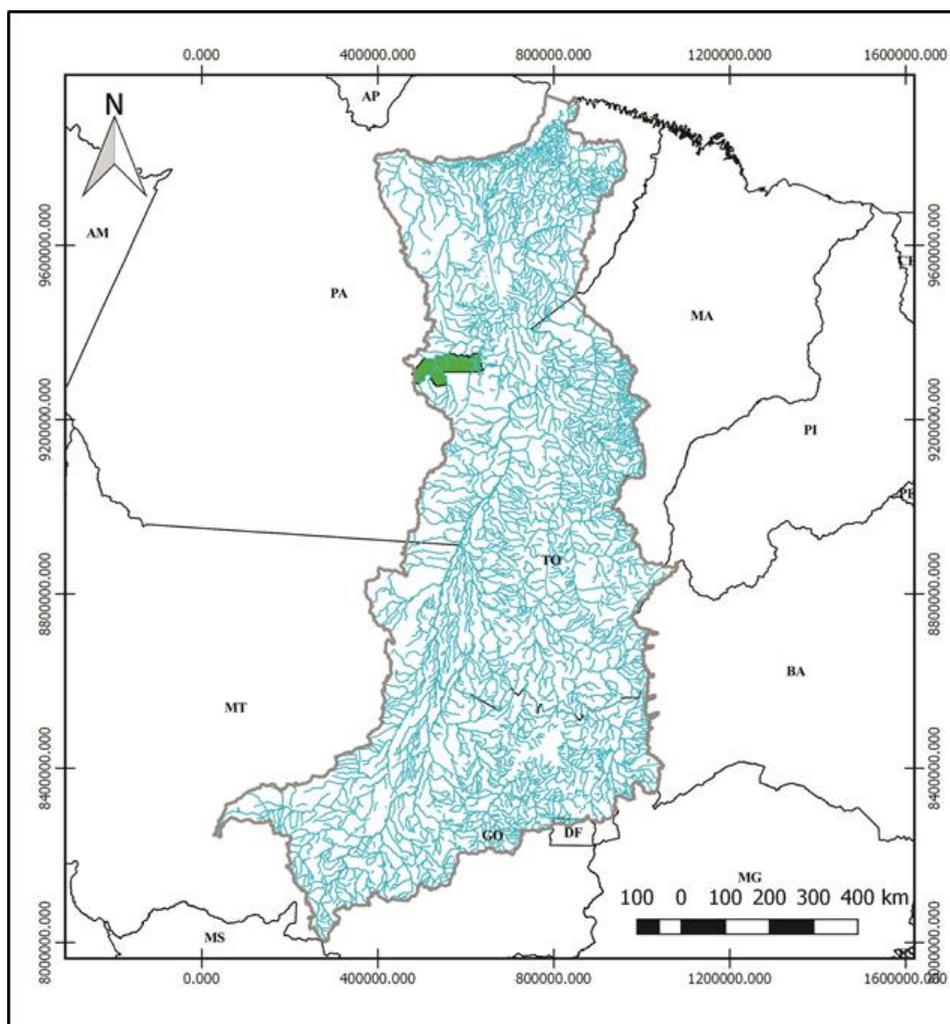
8.5 HIDROGRAFIA

Parauapebas está localizada na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, a segunda maior do país (Figura 5). As principais sub-bacias hidrográficas da região são as dos rios Parauapebas e Itacaiúnas.

O rio Parauapebas é afluente do Itacaiúnas e tem como afluentes os igarapés Canastrão, Sossego (margem esquerda) e rio Plaquê (margem direita); atravessa a folha de sul (onde tem suas nascentes) para norte, apresentando ao longo de seu curso cachoeiras e corredeiras.

O rio Itacaiúnas tem seus principais afluentes na margem esquerda: rios Pium, Cateté, Tucum e igarapé Piranhas. Possui sentido principal S-N, mas seu curso desvia para NW quando encontra a Serra Sul. Assim como o Parauapebas, o rio Itacaiúnas possui inúmeras cachoeiras e corredeiras.

Figura 5: Mapa da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, destacando o município de Parauapebas (em verde).



Fonte: Autora. (Adaptado de CPRM, 2018).

9 CONTEXTO GEOLÓGICO

Localizada na folha Serra dos Carajás (SB.22-Z-A), a área estudada faz parte da Província Carajás (Figura 6), a mais antiga do Cráton Amazônico e uma das maiores províncias minerais do mundo .

9.1 GEOLOGIA REGIONAL

9.1.1 Cráton Amazônico

Localizado no Norte da América do Sul e ocupando uma área de 4.500.000 Km², o Cráton Amazônico é composto pelo Escudo das Guianas e Escudo Brasil Central, se estendendo por parte do Brasil, Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia. Composto pelas províncias Carajás, Transamazonas, Tapajós-Parima, Amazônia-Central, Rondônia-Juruena, Rio Negro e Sunsás (Santos, 2003), o Cráton se mantém estável desde 1.0 Ga.

9.1.2 Província Carajás

Esta localizada no sudeste do estado do Pará e é a porção mais antiga e bem preservada do Cráton Amazônico, que foi dividida por Santos (2003) em dois domínios: Rio Maria e Carajás, onde se localiza a área alvo deste trabalho. Entre eles, Dall’Agnol *et al.* (2000), com base em anomalias magnetométricas, definiu uma zona de transição.

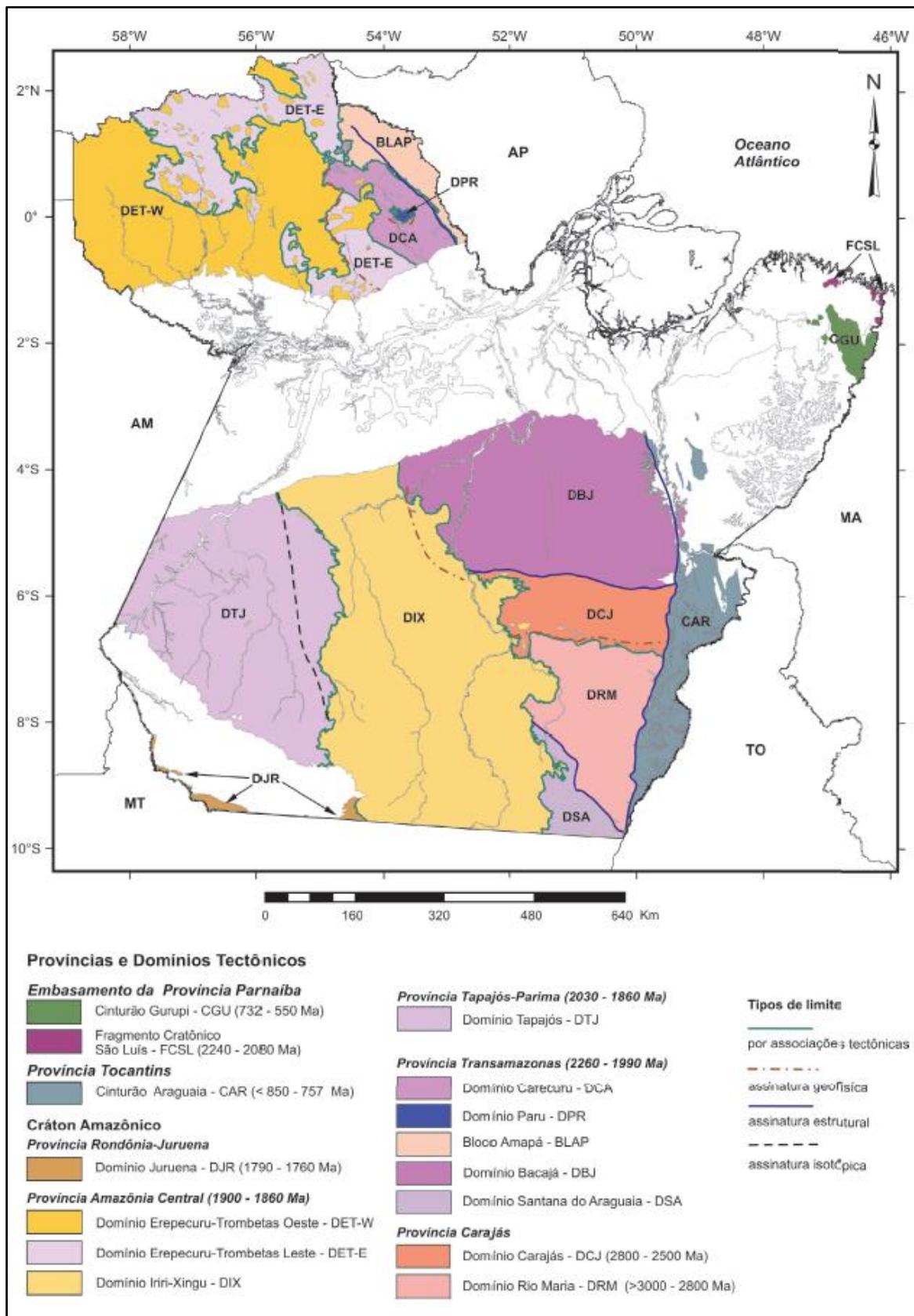
9.1.3 Domínio Rio Maria

Este Domínio esta localizado a sul da Província e contém as rochas mais antigas do Cráton Amazônico. É composto por associações tectônicas mesoarqueanas de *greenstone belts*, complexos máfico-ultramáficos, granitoides e ortognaisses TTG, granitos de alto K, além de associações de bacias sedimentares paleoproterozoicas e granitos e diques relacionados a um magmatismo anorogênico no Orosiriano.

9.1.4 Domínio Carajás

Localizado na porção norte da Província, o Domínio Carajás é constituído por uma associação de alto grau que representa o embasamento mesoarqueano de sequencias metavulcano-sedimentares neoarqueanas e complexos máfico-ultramáficos associados.

Figura 6: Províncias e domínios tectônicos do estado do Pará.



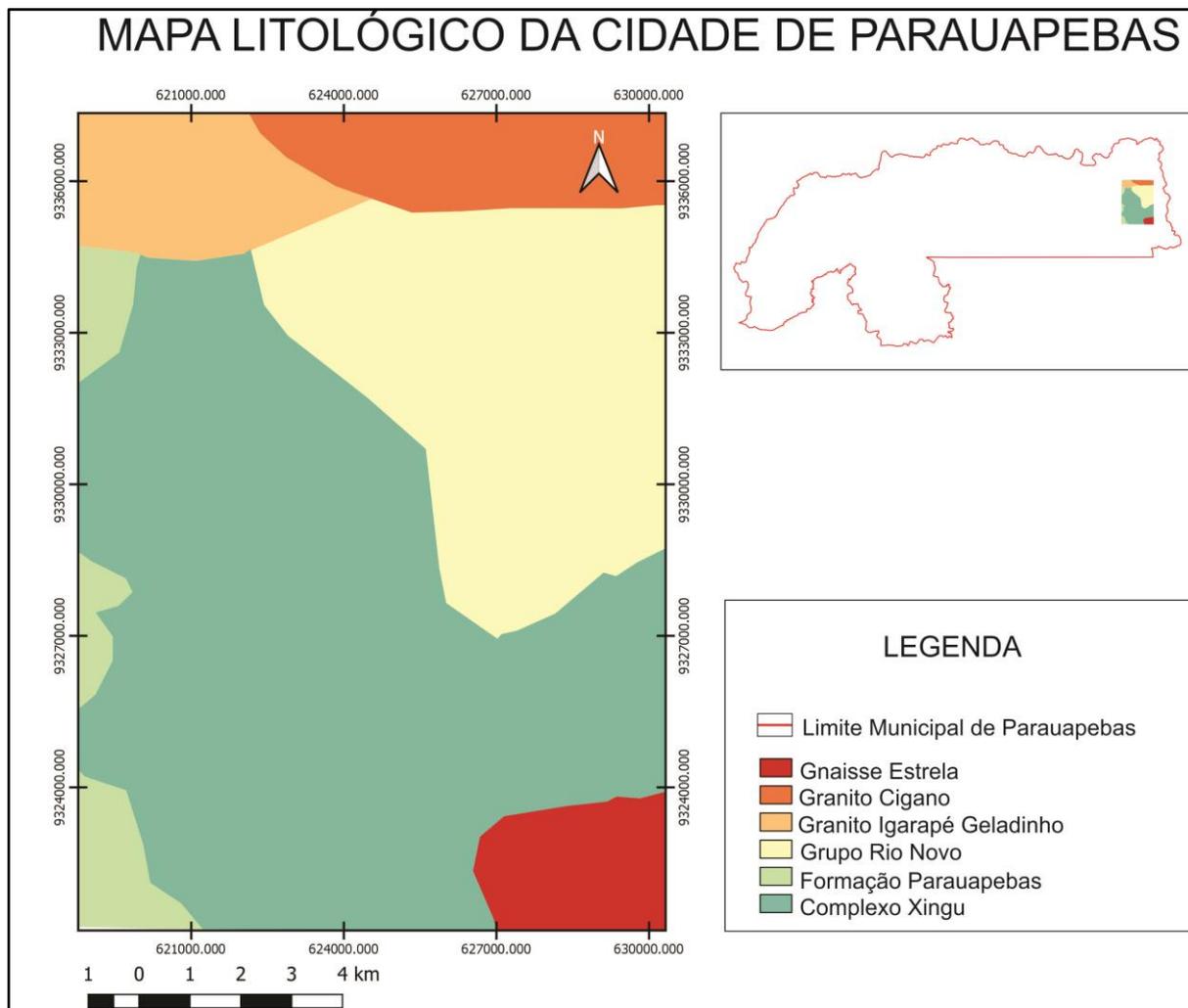
Fonte: Vasquez & Rosa-Costa, 2008.

A estruturação geral do Domínio Carajás é marcada por estruturas E-W e WNW-ESE, formando o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, implantado desde o Mesoarqueano. Reativações regionais rúpteis no Neoarqueano desenvolveram os sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento na porção norte (Pinheiro e Holdsworth 2000), enquanto a porção sul é controlada por um sistema compressivo, com leques imbricados de cavalgamentos oblíquos dúcteis (Araújo e Maia 1991, Costa et al. 1995). Formas sigmoidais formam a mais proeminente feição destes sistemas transcorrentes. Outra feição marcante é a Falha Carajás, com cerca de 130 km de comprimento, constituída por feixes curvilíneos e retos de direção geral WNW-ESE e seus splay subordinados, cuja reativação gerou dobras e falhas diversas e complexas no Grupo Grão Pará e Formação Águas Claras (Pinheiro 1997, Pinheiro e Holdsworth 2000). Conjuntos de falhas N-S e NE-SW são atribuídos a eventos distensivos no Proterozoico.

9.2 GEOLOGIA LOCAL

O presente trabalho foi realizado dentro dos limites da área urbana da cidade de Parauapebas, nesta localidade ocorrem unidades pertencentes ao Cinturão Itacaiúnas (Figura 7).

Figura 7: Mapa das litologias que ocorrem na área urbana de Parauapebas.



Fonte: Autora (Adaptado de CPRM, 2018).

9.2.1 Cinturão Itacaiúnas

- **Complexo Xingu:** é a unidade de maior representatividade, ocorrendo por toda a área, formando um relevo de morfologia predominantemente arrasada e, raramente morrotes. As rochas desta unidade são metamórficas, heterogêneas, apresentando ampla variação textural e deformacional, bem como milonitização. Seus minerais principais são quartzo, feldspatos, biotita e hornblenda. Outras variedades litológicas

como granitos e trondhjemitos granodioríticos, apresentando diversas taxas de deformação e migmatização também são encontradas nesta unidade.

- **Gnaiss Estrela:** ocorre na porção NE da folha Serra dos Carajás, formando um relevo montanhoso, ligeiramente elíptico, alongado na direção WNW-ESSE. Apresenta composição variando entre tonalítica, granodiorítica e granítica, variando a anisotropia ao longo do corpo. A mineralogia é composta por plagioclásio, microclina, quartzo, hornblenda, allanita, biotita, zircão, titanita, epidoto e opacos.
- **Granito Igarapé Geladinho:** O Granito Igarapé Gelado, individualizado por Barbosa (2004), aflora no extremo norte do Domínio Carajás, e corta rochas dos grupos Grão-Pará, Igarapé Pojuca, Rio Novo, e Igarapé Salobo. Barbosa *et al.* (2001) descreveram um *stock* granítico em contato com a porção sudoeste do Granito Cigano e denominaram de *Stock* Granítico Geladinho. Os tipos petrográficos são granodioritos e monzogranitos, que predominam amplamente sobre tonalitos, leucomonzogranitos e sienogranitos, por vezes cortados por veios pegmatíticos e apresentando localmente xenólitos de rochas supracrustais. Estas rochas exibem uma foliação incipiente a fortemente penetrativa, com direção WNW-ESE e E-W, concordante ao *trend* regional, principalmente com mergulhos de alto ângulo, porém localmente mergulhos sub-horizontais são observados. A foliação é contínua, regular e marcada pela orientação preferencial dos minerais máficos e dos feldspatos, e ressaltada por veios graníticos/ quartzosos concordantes, por vezes boudinados.
- **Grupo Grão-Pará:** ocupando aproximadamente 1/3 da área da folha, esta unidade ocorre em sua porção central formando um megassigmoide rotacionado sinistralmente nas direções WNW/ESSE, conferindo ao relevo serras e cristas mais alongadas nas bordas e formas abauladas no centro. Trata-se de uma bacia neoarquena que contém três formações:
 - **Formação Parauapebas:** é uma sequencia metavulcânica com rochas máficas e félsicas, sendo metabasaltos e metadacitos as litologias mais comuns, apresentando características de metamorfismo na fácies xisto verde baixo à alto. Nos metabasaltos a paragênese é composta por plagioclásio, actinolita, diopsídio reliquiar, matriz microcristalina, quartzo, titanita e opacos. Metarriolitos e metadacitos são compostos por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, matriz microcristalina e minerais ferromagnesianos alterados.
 - **Formação Águas Claras:** sequencia sedimentar constituída por metarenitos na base, siltitos e argilitos no topo. O metarenitos são conglomeráticos, subarcozianos, mal selecionados, com fragmentos de rochas, matriz sericítica e

localmente com aspecto brechóide. Os siltitos e argilitos apresentam cores variadas e laminação evidente com aspecto rítmico.

- **Formação Carajás:** compreende a formação ferrífera bandada (BIF) e corpos de minério associados. Ocorre alternância de camadas jaspilíticas finamente laminadas com níveis milimétricos de quartzo micro a criptocristalino e níveis de óxido de ferro (hematita, martita e magnetita).

- **Grupo Rio Novo:** a unidade tem área de ocorrência restrita à porção NE da folha. Seu relevo é montanhoso, com serras de crista alongada. Compreende uma sequência supracrustal de natureza metavulcano-sedimentar metamorfizada e epimetamorfizada com metamafitos, metaultramafitos, formações ferríferas bandadas e xistos paraderivados. Os metamafitos são fortemente anisotrópicos, com foliação milonítica e paragênese composta por hornblenda, plagioclásio e quartzo. Os metaultramafitos são intensamente metamorfizados e milonitizados e apresentam mineralogia formada por tremolita, clorita e actinolita. Os xistos apresentam assembleia mineral formada por biotita, muscovita, quartzo e feldspatos, indicando metamorfismo de fácies xisto verde alto.

- **Suíte Intrusiva Serra dos Carajás:** Dall’Agnol *et al.* (2005) propuseram a Suíte Granítica Serra dos Carajás para englobar corpos graníticos com características geoquímicas de granitos tipo-A, representados pelos granitos *Serra dos Carajás*, *Cigano*, *Pojuca* e *Rio Branco*. Estes corpos intrudem tanto rochas do embasamento como sequências metavulcano-sedimentares, granitoides e rochas sedimentares arqueanas, apresentam diâmetro/comprimento maior variando entre 7 e 22 km, e possuem formas geralmente elípticas. São rochas de coloração rosada, avermelhada até cinza esbranquiçada, granulação média a grossa, isotrópicas, com textura equigranular, podendo variar localmente para tipos porfí rítmicos, e em alguns casos desenvolver texturas *rapakivi*. Caracterizam-se por uma marcante homogeneidade composicional, essencialmente monzogranítica e subordinadamente sienogranítica, ocorrendo ainda álcali-feldspato granitos. A mineralogia essencial é constituída de k-feldspato, quartzo e plagioclásio. Como acessórios são comuns cristais de minerais opacos, zircão, apatita e allanita. Como minerais secundários ocorrem sericita, martita, titanita, turmalina, muscovita, uraninita, topázio, calcita e rutilo. Fluorita, epidoto e clorita podem ser tanto acessórios como secundários.

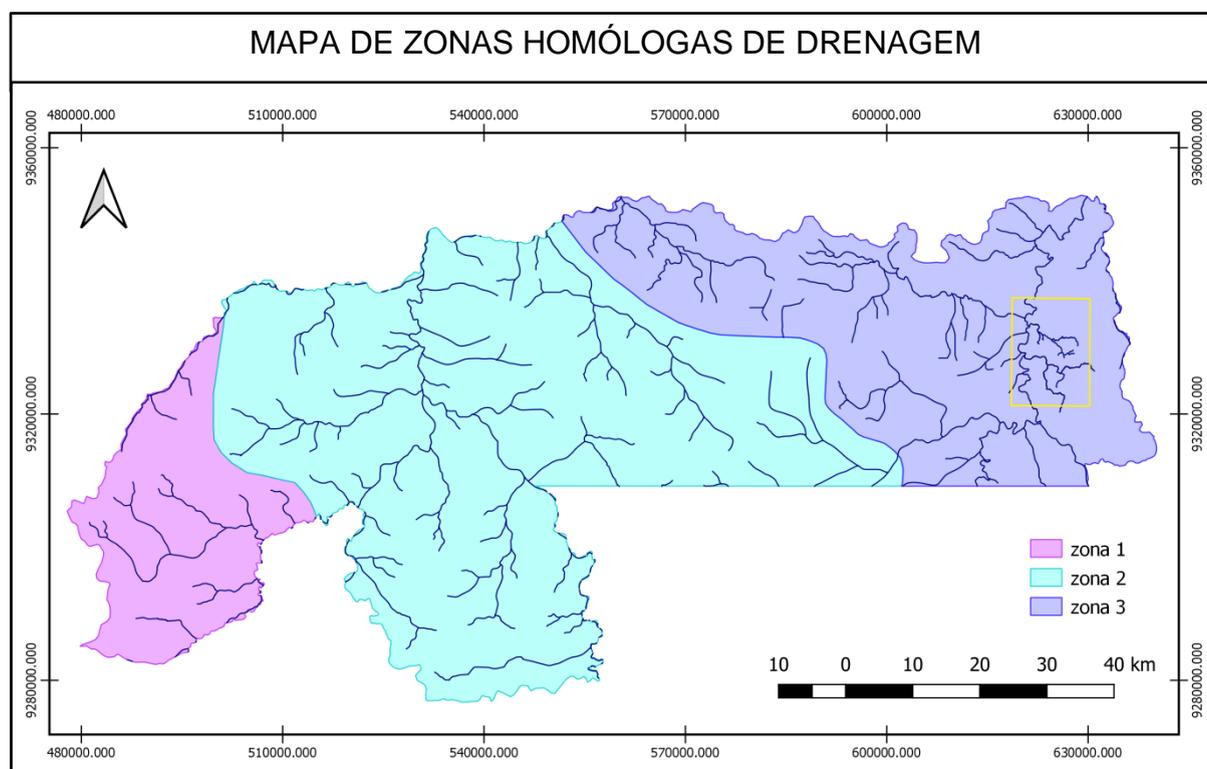
10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos neste trabalho através da viagem de campo, fotointerpretação e dados obtidos de poços perfurados em Parauapebas.

10.1 HIDROGEOLOGIA LOCAL

A rede de drenagem do município foi analisada de acordo com o método de Soares & Fiori (1976), e foi dividida em três zonas homólogas (Figura 8 e tabela 2). A cidade de Parauapebas esta situada na Zona Homóloga 3.

Figura 8: Mapa de Zonas Homólogas de Drenagem elaborado de acordo com análise do método de Soares & Fiori, destacando a área da cidade de Parauapebas (polígono amarelo).



Fonte: Autora.

A Zona Homóloga de Drenagem 1 possui a menor área e está localizada na porção oeste do município. Sua densidade é a mais baixa e ela se destaca por possuir uma forte assimetria e formas anômalas mais pronunciadas que as demais.

A Zona Homóloga de Drenagem 2 ocupa a porção central do município e é a que possui as maiores área e densidade. Esta zona possui um padrão mais espalhado e homogêneo, com tropia multidirecional, fraca assimetria e poucas formas anômalas.

A Zona Homóloga de Drenagem 3 ocupa o leste do município e possui características intermediárias em relação às outras zonas. Possui um padrão mais espalhado como a zona 2, porém com uma densidade menor e mais assimetria, além de muitas formas anômalas, como a zona 1.

Quadro 2: Caracterização das Zonas Homólogas de Drenagem do município de Parauapebas.

ZONA	DENSIDADE	SINUOSIDADE	ANGULARIDADE	TROPIA	ASSIMETRIA	FORMAS ANÔMALAS
1	BAIXA	MISTA	MÉDIA	UNIDIRECIONAL	FORTE	ARCOS E COTOVELOSO
2	ALTA	MISTA	MÉDIA	TRIDIRECIONAL	FRACA	ARCOS E MEANDROS ISOLADOS
3	MÉDIA	MISTA	MÉDIA	MULTIDIRECIONAL	MÉDIA	ARCOS, COTOVELOSO E MEANDROS ISOLADOS

Fonte: Autora.

A cidade está situada sobre o espesso manto de intemperismo que recobre o Complexo Xingu e as demais unidades do Cinturão Itacaiúnas que ocorrem na área. Dessa forma, há dois tipos principais de aquíferos utilizados para o abastecimento da população local: fissural e freático.

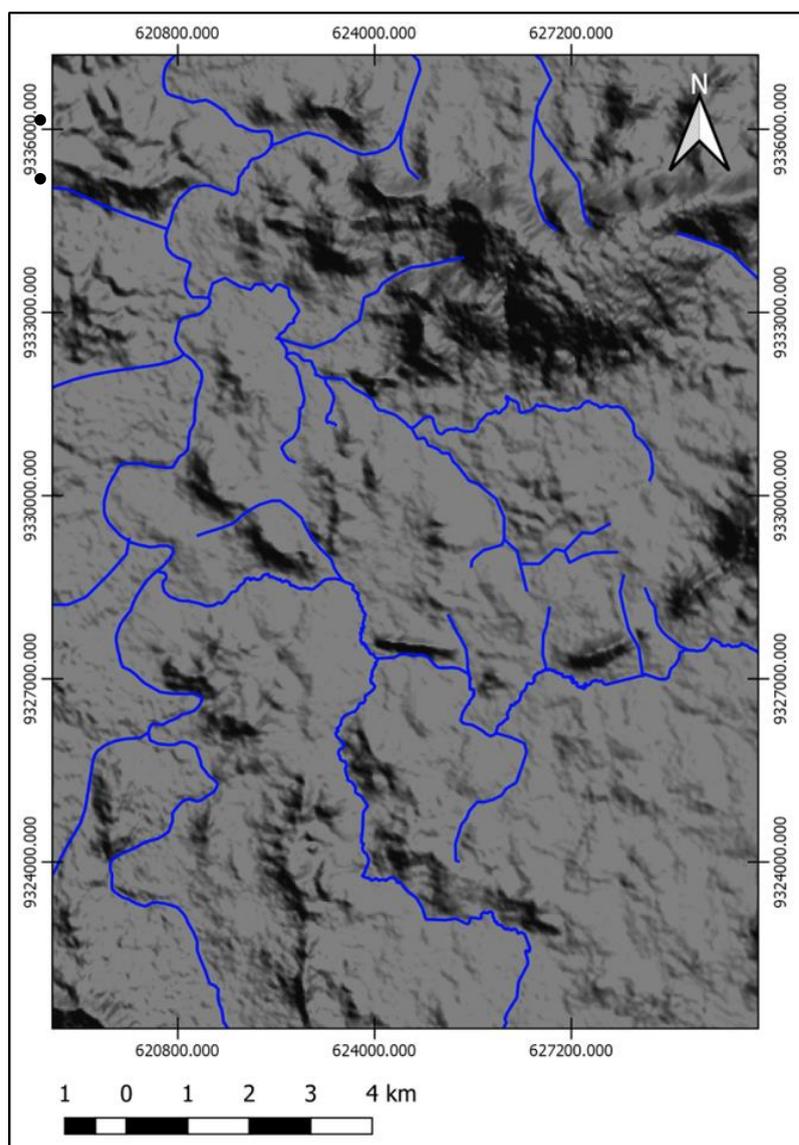
O aquífero fissural ocorre no domínio das rochas cristalinas, denominado meio heterogêneo, onde a porosidade varia de muito baixa à inexistente, diferente do meio heterogêneo poroso, onde esta é a característica mais importante. Os principais fatores que irão determinar as características hidrodinâmicas deste tipo de aquífero são: amplitude, abertura e frequência (ou espalhamento) das fissuras; forma e rugosidade das paredes das fissuras, assim como as propriedades do material que a preenche; número de famílias ou sistemas de fissuras, sua orientação e distribuição; em menor escala a porosidade e permeabilidade da rocha (Feitosa *et al*, 2008). A exploração deste tipo de aquífero é mais restrita na cidade, uma vez que os custos para perfuração de poços mais profundos e em rochas cristalinas são bem mais altos.

Já o aquífero freático é o resultado do acúmulo de água nas camadas sedimentares inconsolidadas, de solo e rocha alterada, constituindo um meio poroso, de espessura variada, que recobre a maior parte da área estudada. As características hidrodinâmicas deste tipo de

aquífero são praticamente as mesmas dos aquíferos em rochas sedimentares. Segundo Feitosa *et al* (2008) existem diversas vantagens em explorar água em sedimentos inconsolidados, dentre elas: facilidade na perfuração, alta capacidade de infiltração e permeabilidade, além de proximidade com as áreas de recarga. Estas características, aliadas ao baixo custo para a perfuração de poços neste meio o torna a opção mais utilizada, principalmente para o abastecimento doméstico.

A cidade de Parauapebas está inserida na Zona Homóloga de Drenagem 3, que, no geral, se destaca por possuir um caráter mais estruturado, com assimetria e muitas formas anômalas. Através da foteointerpretação e das observações de campo, foi possível desenvolver um mapa da rede de drenagem da cidade (Figura 9) e interpretar seu comportamento em relação a fatores como a permeabilidade, porosidade e plasticidade (e ruptibilidade) no material sobre o qual ela se desenvolveu.

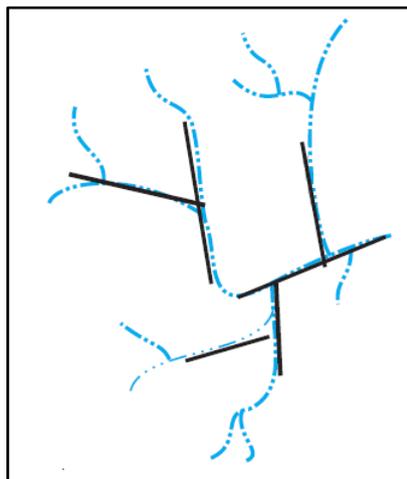
Figura 9: Mapa da rede de drenagem da área da cidade de Parauapebas.



Fonte: Autora.

- Porosidade e permeabilidade: A relação entre a quantidade de espaços vazios existentes no meio e a facilidade com que um fluido percola por eles influencia diretamente na densidade da drenagem. Em terrenos de baixa permeabilidade formam-se longas e densas redes de drenagem, pois a água não é absorvida pelas rochas com facilidade. Já em terrenos muito porosos e de boa permeabilidade, a água é facilmente absorvida, logo, na superfície formam-se poucos e curtos elementos de drenagem. A rede de drenagem de Parauapebas possui uma densidade mediana e seus elementos de drenagem, em sua maioria, são longos. Isto indica que, tanto o substrato de rochas cristalinas (menor permeabilidade), quanto espesso manto intempérico que o recobre (maior permeabilidade), influenciam nas características da rede de drenagem. O resultado da interação entre estes materiais de diferentes propriedades é uma drenagem de características intermediárias.
- Plasticidade e ruptibilidade: para o armazenamento de água subterrânea em rochas cristalinas, sua ruptibilidade é mais interessante que sua plasticidade, uma vez que a rocha, ao ser submetida a esforços em condições mais dúcteis, se dobra, já quando isto acontece em condições rúpteis, a rocha se parte, formando uma descontinuidade e abrindo espaço para a percolação da água. Segundo Soares & Fiori (1976), zonas de fraturamento favorecem o desenvolvimento de drenagens fortemente estruturadas, retilíneas ou em arco. Na área urbana de Parauapebas é marcante a presença de diversas formas anômalas em arco. Essas feições normalmente se formam no cruzamento de fraturas com diferentes direções (Figura 10), mostrando que as rochas da área passaram por eventos que ocasionaram fraturas de direções diversas e orientaram a drenagem.

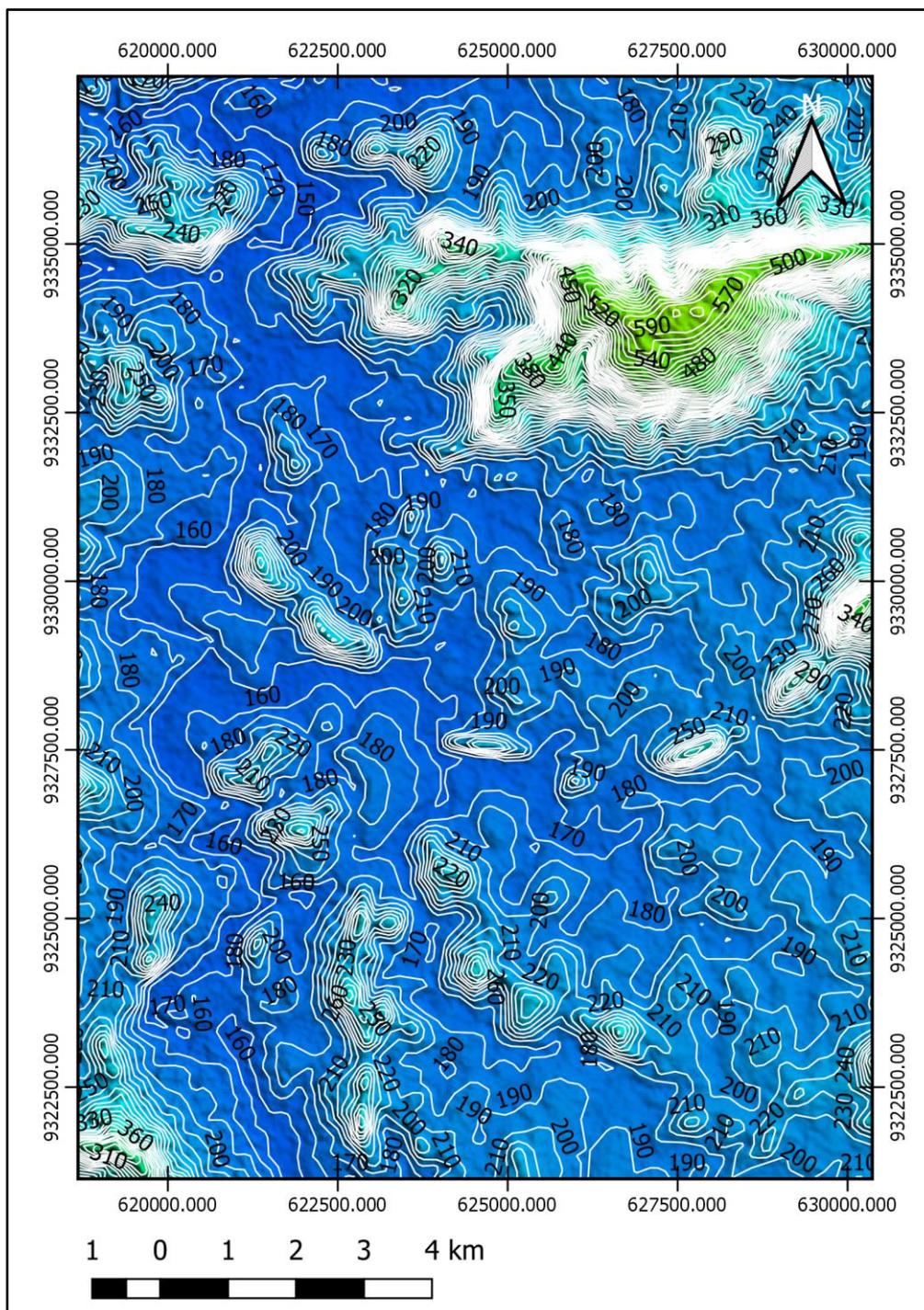
Figura 10: Fraturas inferidas a partir de trechos retilíneos e formas anômalas na drenagem.



10.2 RELEVO

O modelado do relevo é o resultado da interação entre os fatores climáticos, litológicos e estruturais, que, ao longo do tempo geológico, esculpam estas formas tal como as vemos hoje (Figura 11). O relevo da cidade de Parauapebas foi analisado segundo os parâmetros de classificação do Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009).

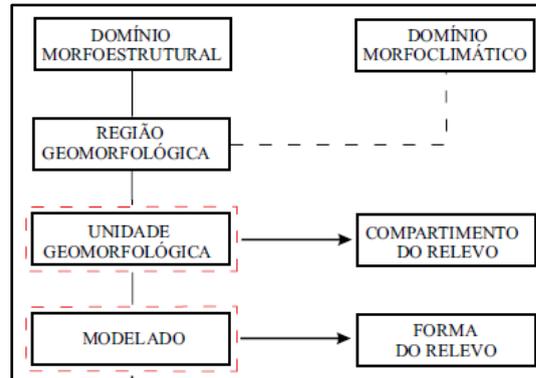
Figura 11: Mapa topográfico da cidade de Parauapebas.



Fonte: Autora (Adaptado de CPRM, 2018).

Segundo a divisão taxonomica do relevo proposta pelo IBGE (2009) (Figura 12), a cidade está inserida no Domínio Morfoestrutural dos Crátons Neoproterozoicos (Cráton Amazônico), na Região Geomorfológica da Serra dos Carajás.

Figura 12: Divisão taxonômica do relevo, segundo IBGE (2009).



Fonte: IBGE, 2009 (Adaptado).

O relevo na área da cidade de Parauapebas é caracterizado por ser, predominantemente, arrasado, em sua porção central e sul, com uma grande feição à nordeste, onde ocorrem as maiores altitudes da área. Desta forma, pode-se identificar duas unidades geomorfológicas na área:

- Planalto: restrito à porção NE da área, é caracterizado por uma grande feição contínua, de topo plano à arredondado, com até 590 metros de elevação e alongada na direção E-W (Figura 13).

Figura 13: Relevo planáltico a nordeste da área.



Fonte: Autora.

- Depressão: relevo consideravelmente mais arrasado que o de seu entorno. Ocorre em toda a região central e sul da área, apresentando um relevo planificado à suavemente ondulado, com elevação de 150 a 170 metros (Figura 14-A). Uma feição marcante desta unidade de relevo são os morros alinhados, com elevações entre 180 e 260 metros e topos convexos (Figura 14-B).

Figura 14: A) Relevo plano a suavemente ondulado; B) Morros alinhados.



Fonte: Autora.

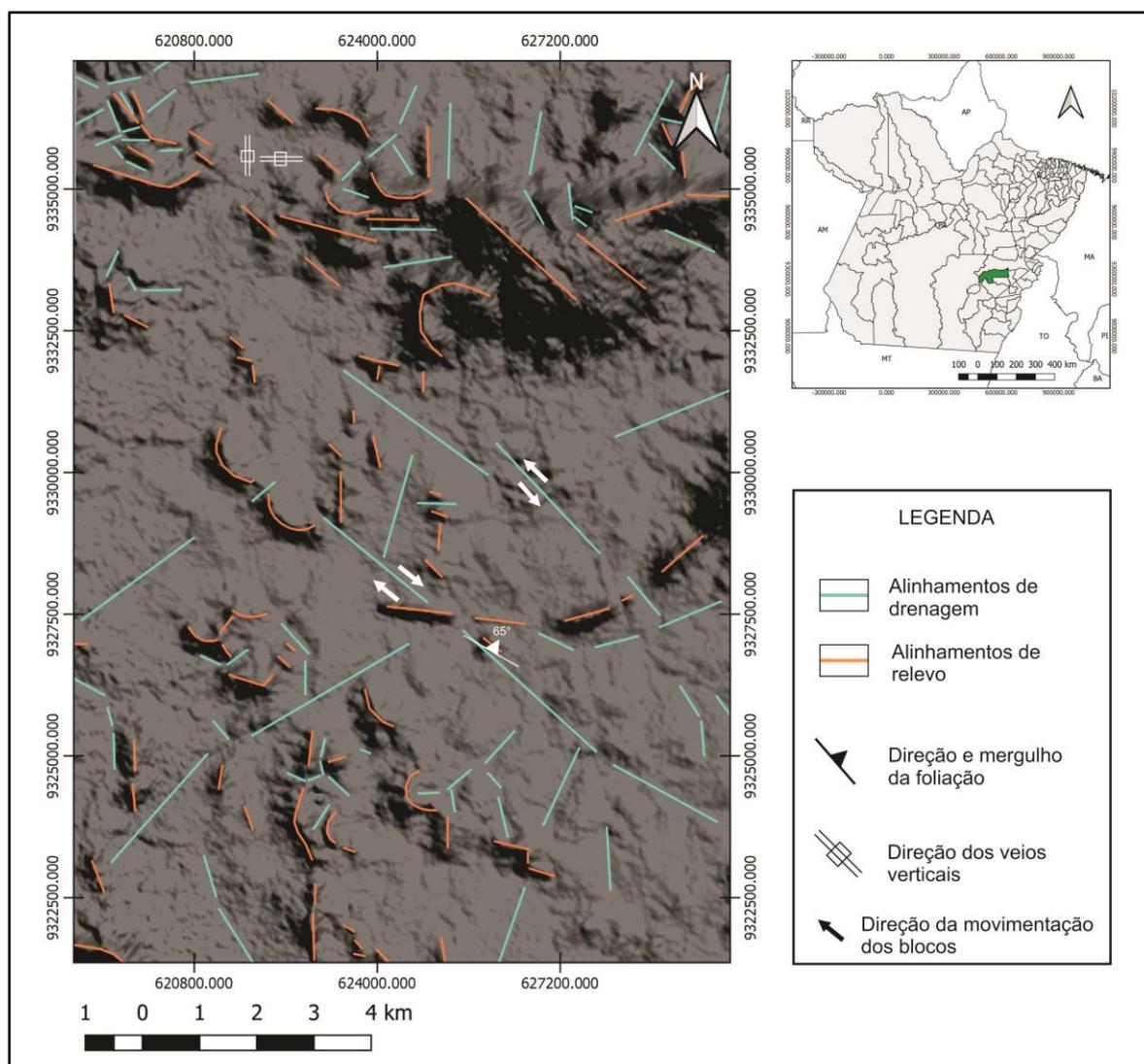
A unidade geomorfológica de planalto ocorre na área referente à porção norte das rochas do Grupo Rio Novo, enquanto o relevo de depressão ocorre na parte sul do Grupo Rio Novo e por toda a extensão das demais unidades geológicas da área. Isto permite inferir que o fator estrutural foi o que mais influenciou no modelado do relevo, uma vez que rochas de unidades diferentes foram igualmente afetadas pelo o intemperismo e erosão que ocorreu na área, enquanto rochas de uma mesma unidade apresentam padrões de dissecamento completamente diferentes. Estas características evidenciam que o tipo de Modelado de relevo da área é o de dissecação estrutural, em que a deformação estrutural condiciona a atuação do intemperismo e da erosão, uma vez que rochas mais deformadas apresentam mais fragilidades e facilitam a ação dos agentes intempéricos e erosivos.

10.3 ANÁLISE ESTRUTURAL

Parauapebas esta localizada na borda leste do Cráton Amazônico, na região do Cinturão Itacaiúnas. Esta estrutura de idade arqueana é limitada a leste pelo Cinturão Araguaia, a oeste pela Província Proterozoica, a sul pelo Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria e ao norte esta encoberto por rochas paleozoicas da Bacia Sedimentar do Amazonas e sedimentos cenozoicos.

A cidade se encontra em uma área de relevo consideravelmente mais arrasado que o de seu entorno, onde se destacam grandes alinhamentos de drenagem e pequenas formas de relevo residuais, muitas vezes alinhadas (Figura 15).

Figura 15: Mapa de alinhamentos de relevo e drenagem da cidade de Parauapebas.



Fonte: Autora.

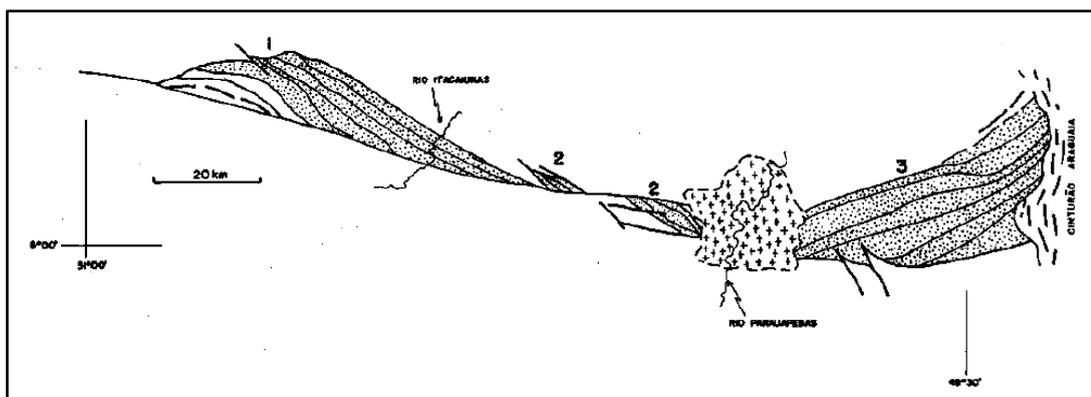
Os alinhamentos de relevo possuem direção principal NW-SE e secundária N-S. No geral, tratam-se de morros alongados e colinas, alguns de aspecto curvado e frequentemente segmentados pela drenagem. A parte superior da área é a que possui maior densidade de formas de relevo, com alinhamentos mais longos, tanto retilíneos quanto curvados. Na parte central da área os alinhamentos formam uma ampla estrutura em forma de arco, com concavidade voltada para norte. Na porção inferior as formas de relevo, tanto retilíneas quanto curvas estão alinhadas segundo duas direções principais: N-S e NW.

Os alinhamentos de drenagem estão distribuídos por toda a área do mapa. Na parte norte da cidade, onde há a maior densidade de formas de relevo, os alinhamentos ocorrem em direções variadas, principalmente como incisões no relevo. Na região central e sul da cidade observa-se dois conjuntos de alinhamentos: os menores, que possuem direções variadas, e os maiores, com direção NE-SW e NW-SE, que se cruzam no centro do mapa.

A cidade de Parauapebas esta situada entre sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, localizados no norte da Província Mineral de Carajás, no Cinturão Itacaiúnas (Figura 17). Estas estruturas marcam importantes eventos de deformação rúptil-dúctil, com movimentação predominantemente sinistral, ocorridos na região (Pinheiro, 1997). A falha Carajás tem direção WNW-ESSE, enquanto a falha Cinzento apresenta a mesma direção em sua porção oeste, mas tem direção oposta na porção leste, ambas terminando em falhas secundárias, como é comum em falhas transcorrentes.

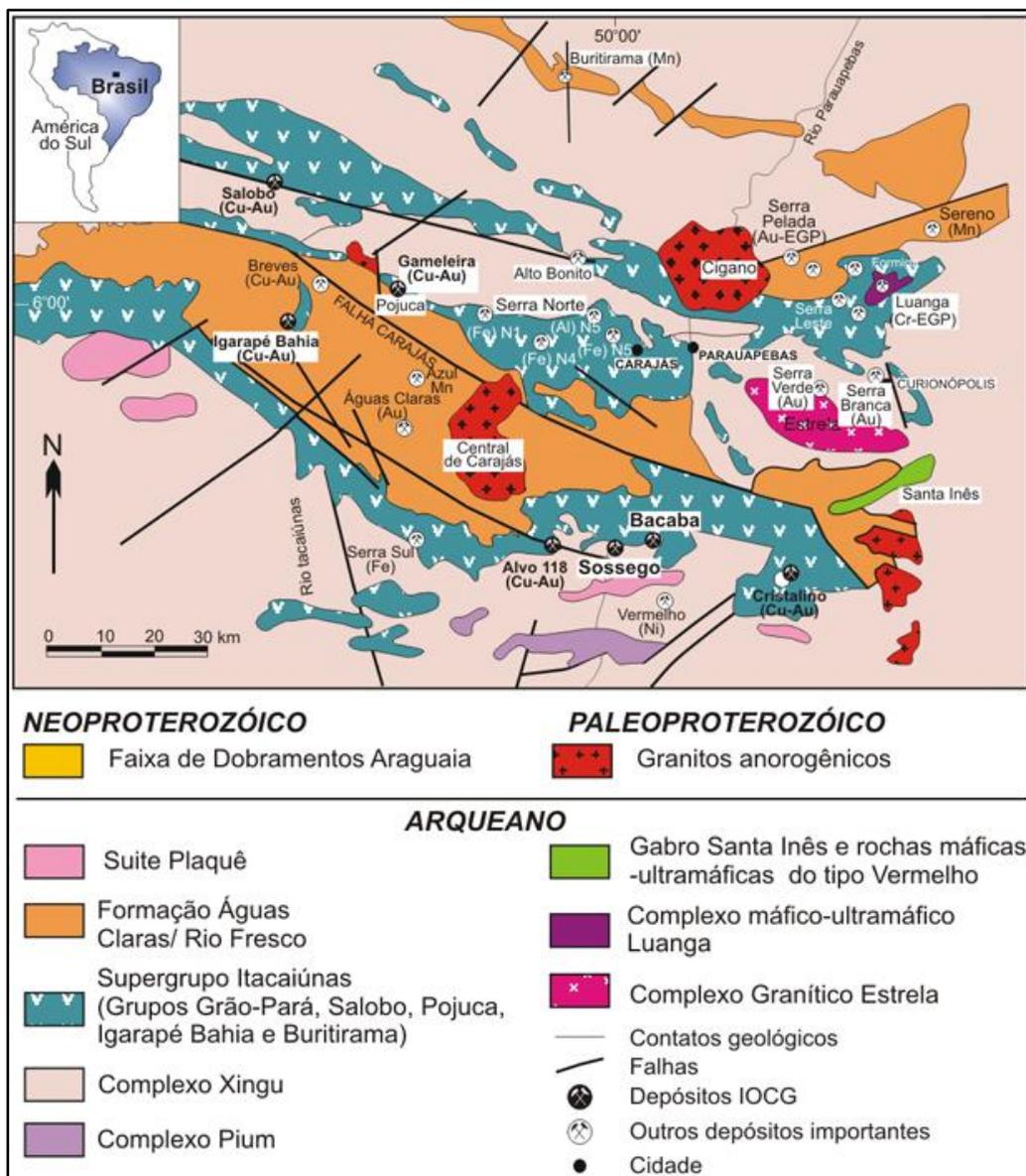
O Lineamento Cinzento é formado por três estruturas principais: o duplex distensivo Igarapé Salobo, o duplex compressivo Cururu e pelo rabo de cavalo compressivo Serra Pelada (Figura 16). A cidade está situada próxima à porção leste deste lineamento, entre o duplex Cururu e o rabo de cavalo Serra pelada. Estas estruturas possuem direções opostas, que são as mesmas observadas nos principais alinhamentos de drenagem da cidade: NE-SW e NW-SE.

Figura 16: Esboço litoestrutural simplificado do Lineamento Cinzento. 1) Duplex distensivo Salobo; 2) Duplex Compressivo Cururu; 3) Rabo de cavalo Serra Pelada. Cruzes: Granitoides.



Além da direção dos alinhamentos, a influencia da movimentação de blocos causada pela falha transcorrente Cinzento também pode ser observada na porção central do mapa estrutural de Parauapebas, onde se destaca uma extensa estrutura de formato arqueado, formada por diversos morros alongados. Esta feição se formou como resultado da movimentação deste bloco de rochas, no sentido SE, empurrando as formas de relevo da área, originando um arco com concavidade voltada para norte.

Figura 17: Mapa geológico simplificado do segmento norte da Província Mineral de Carajás (Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas).

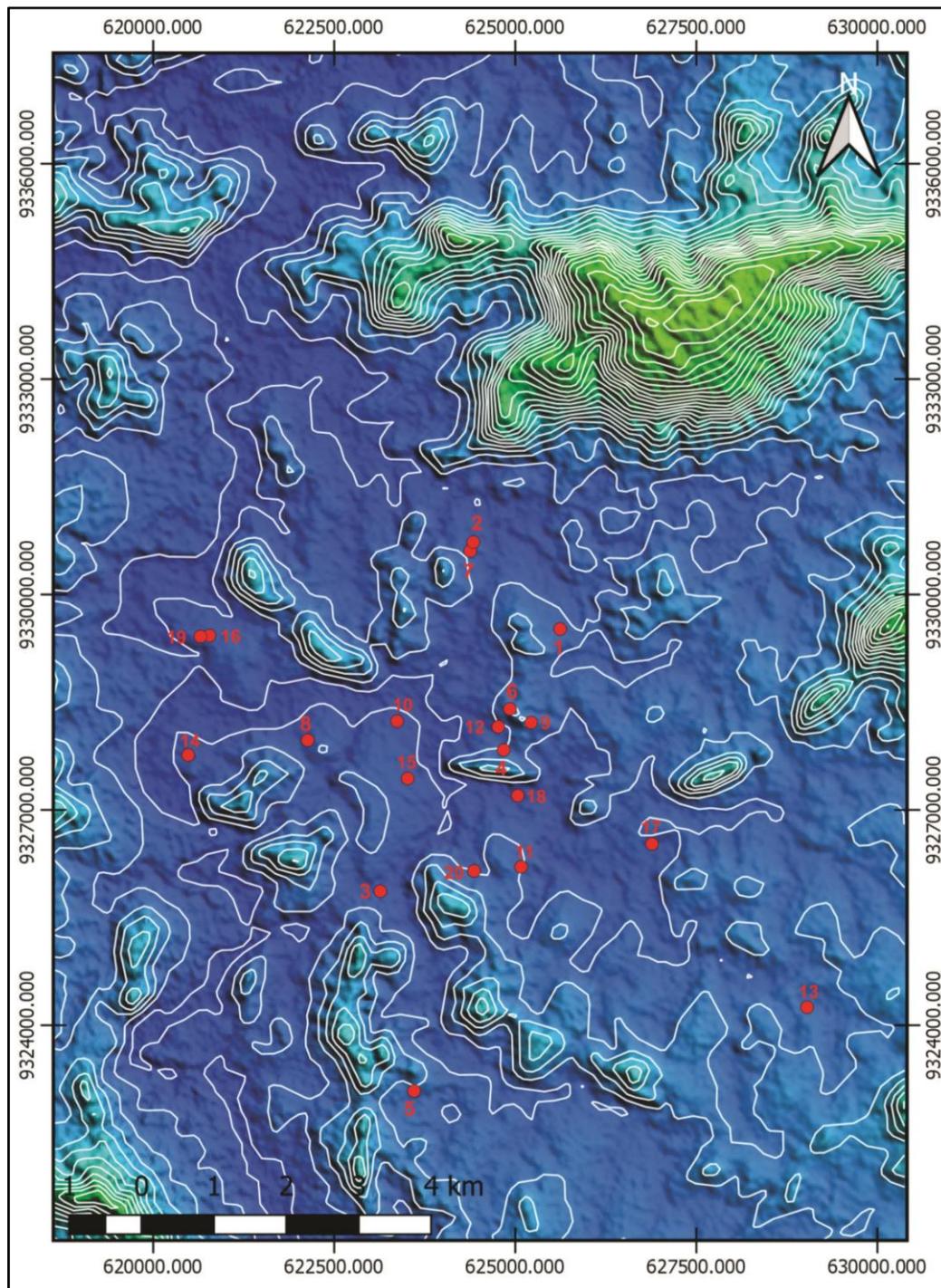


Fonte: Dardenne & Schobbenhaus, 2001.

10.4 NÍVEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Em Parauapebas é constante a procura por poços para suprir a demanda da população, pois o abastecimento público não é eficiente. Utilizando dados de poços perfurados na cidade (Figura 18 e Quadro 3) foi elaborado um mapa do nível da água subterrânea na cidade (Figura 19) e seu respectivo modelo 3D (Figuras 20, 21 e 22).

Figura 18: Localização dos poços perfurados em Parauapebas.



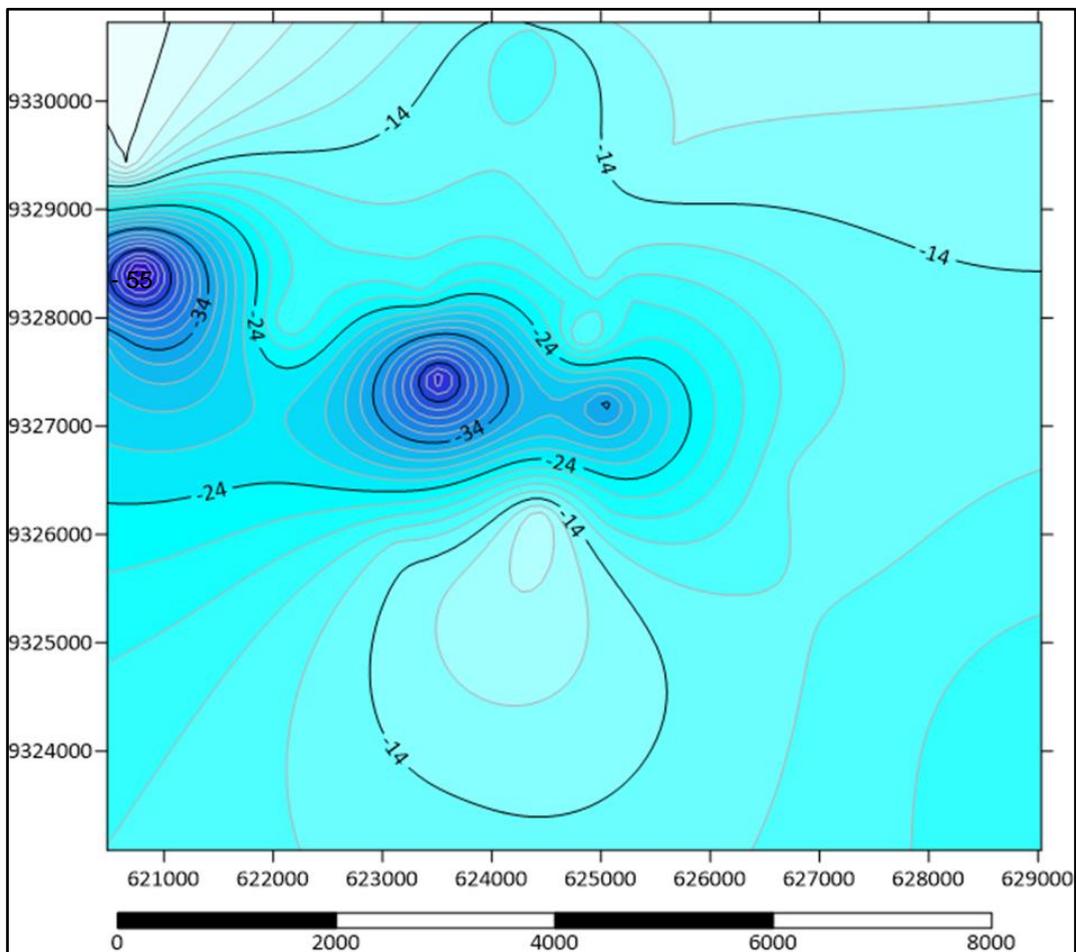
Quadro 3: Poços perfurados em Parauapebas e informações sobre o nível d'água e a vazão.

Poço	Nível d'água	Vazão (m³/dia)	Poço	Nível d'água	Vazão
1	12		11	20	40
2	12	8	12	20	50
3	15	15	13	20	30
4	15	20	14	30	50
5	15	2,5	15	50	20
6	15		16	55	25
7	18	30	17	4	
8	18	40	18	8	
9	20	50	19	15	
10	20	11	20	35	

Fonte: Autora.

Foram utilizadas neste trabalho dados de 20 poços distribuídos por boa parte da área da cidade e a partir do nível da água medido nestes poços foi possível elaborar o mapa de contornos do nível da água subterrânea em Parauapebas.

Figura 19: Mapa de contornos do nível da água da cidade de Parauapebas

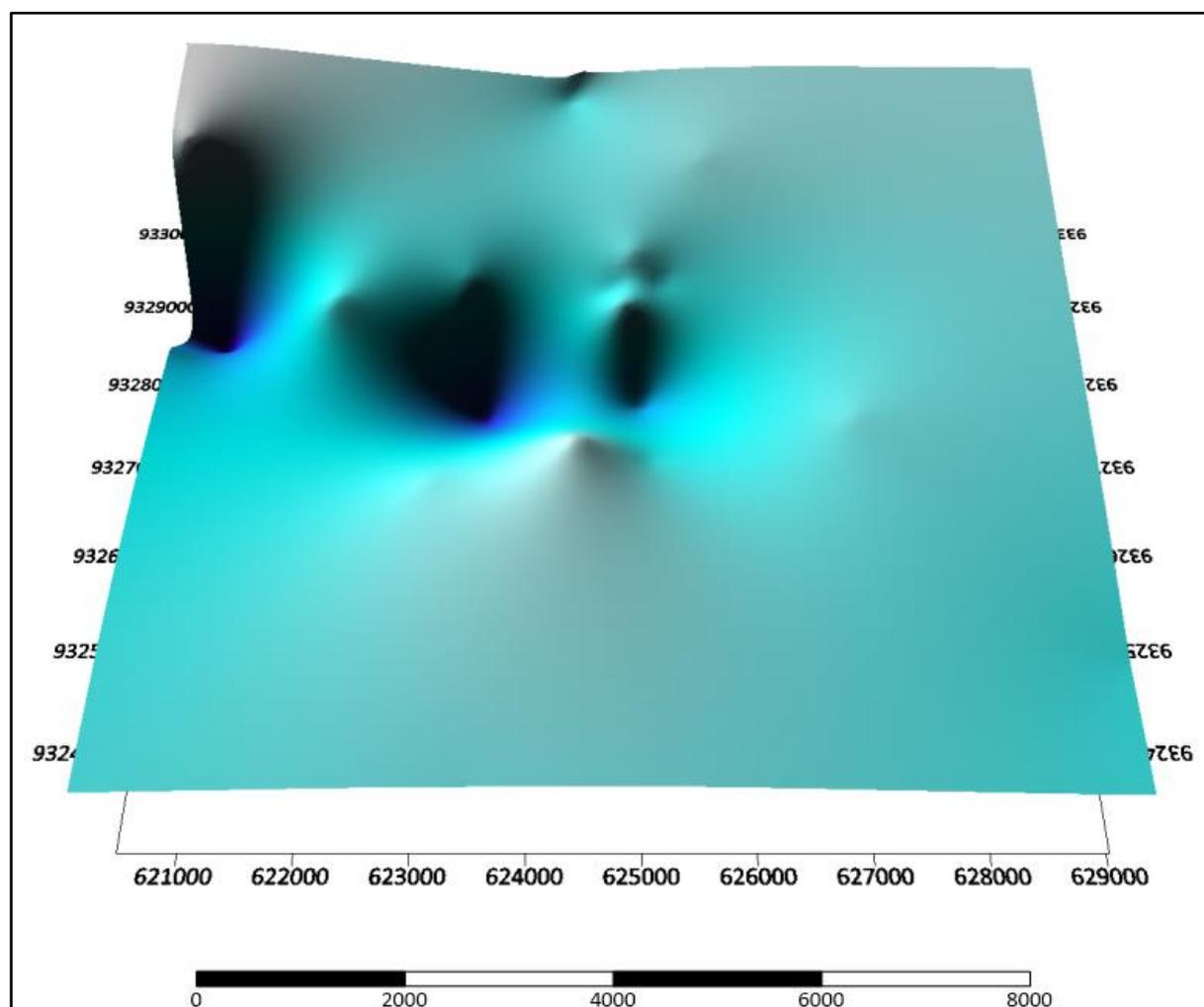


Fonte: Autora.

Este mapa permite visualizar a distribuição do nível da água subterrânea pela cidade. As cores mais claras no mapa representam as regiões em que o nível d'água é mais raso e as mais escuras mostram os pontos em que o nível d'água é mais profundo. Na maior parte da área o nível d'água esta no intervalo entre 14 e 24 metros de profundidade, mas se destacam os pontos em que a água está a uma maior profundidade (50 e 55 metros) e o ponto mais raso (4 metros). O elemento mais marcante do mapa é o alinhamento dos pontos de maior profundidade do nível d'água, com direção, aproximadamente, WNW-ESSE.

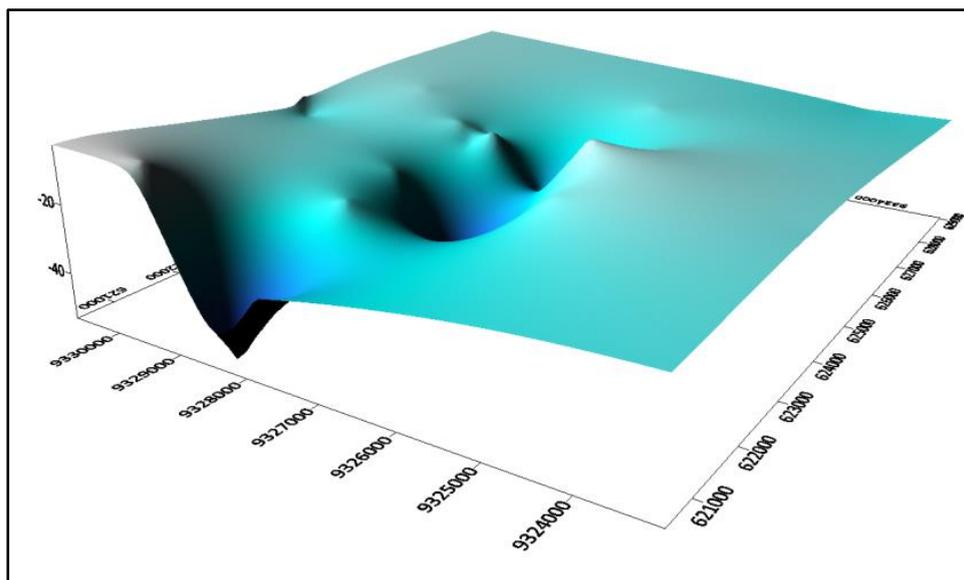
As variações da profundidade do nível da água subterrânea podem ser melhor visualizadas com o modelo tridimensional (Figuras 17, 18 e 19) gerado a partir do mapa de contornos.

Figura 20: Modelo tridimensional do nível da água subterrânea em Parauapebas.



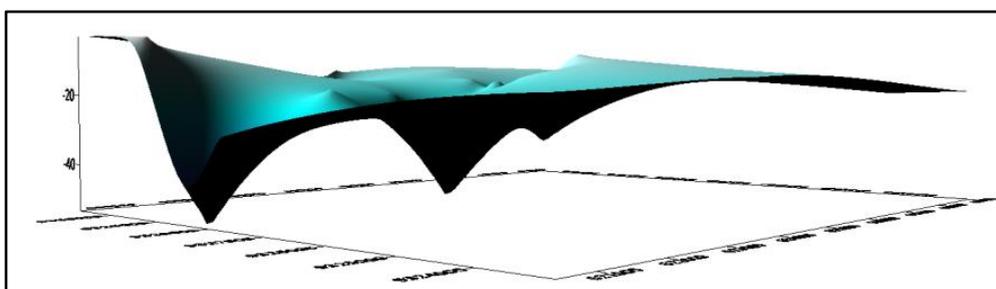
Fonte: Autora.

Figura 21: Modelo tridimensional do nível da água subterrânea em Parauapebas.



Fonte: Autora.

Figura 22: Modelo tridimensional do nível da água subterrânea em Parauapebas.



Fonte: Autora.

Não houve sucesso na tentativa de estabelecer uma relação entre o nível d'água, os valores das vazões dos poços e sua proximidade com os alinhamentos, para interpretar o comportamento da água subterrânea em Parauapebas com base em aspectos estruturais, já que se trata de um terreno cristalino. No caso dos poços em Parauapebas, as maiores vazões não estão totalmente relacionadas à proximidade com as estruturas rúpteis, assim como os poços com as menores vazões não estão relacionados à distancia destas estruturas.

A maioria destes poços foi perfurada no aquífero freático, a camada inconsolidada correspondente ao manto de alteração das rochas do embasamento. Apesar de possuir relação com o aquífero cristalino subjacente, o aquífero freático possui características hidrodinâmicas próprias, sendo assim, os padrões apresentados pelos poços perfurados neste aquífero são mais variados, diferente do esperado para poços em aquíferos fraturados.

11 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo do condicionamento hidrogeológico da água subterrânea depende de diversos fatores: hidrológicos, geomorfológicos, litológicos, estruturais e intempéricos. Cada um destes influencia a forma com que um aquífero se comporta e é de fundamental importância entendê-los, para que haja um melhor aproveitamento deste recurso.

Parauapebas está situada em um antigo terreno cristalino, fortemente estruturado e intensamente intemperizado. A cidade enfrenta problemas no abastecimento público de água, afetando toda a população, neste contexto, a construção de poços torna-se a saída mais viável para melhorar o abastecimento. Existem dois tipos principais de aquífero na área da cidade, o fraturado, formado pelas rochas do embasamento (Complexo Xingu, Grupo Rio Novo, dentre outros), e o freático formado pelo manto de intemperismo destas rochas.

O método utilizado para analisar o comportamento do aquífero na cidade indicou que as características observadas através do comportamento da drenagem, da vazão e nível da água subterrânea e das feições estruturais, mostram que há uma interação entre os dois tipos de aquíferos, como se resultasse em um terceiro aquífero, de características intermediárias. Esperava-se encontrar uma relação direta entre feições estruturais rúpteis e poços com boas vazões, no entanto, justamente pela maioria dos poços estar situada no aquífero freático, este padrão não foi constatado neste estudo, evidenciando a forte influência do manto de intemperismo nas características hidráulicas do aquífero freático, que tem comportamento semelhante a um aquífero poroso.

O relevo fortemente arrasado evidencia um modelado de dissecação estrutural, influenciado pelas grandes estruturas transcorrentes da região: os lineamentos Carajás e Cinzento. A estruturação principal da área apresenta direções NW-SE e NE-SW, concordantes com as direções do duplex Cururu e o rabo de cavalo Serra Pelada (componentes do Lineamento Cinzento), respectivamente.

Os resultados obtidos permitiram uma melhor compreensão das condições hidrogeológicas da água subterrânea na cidade de Parauapebas, entretanto, trata-se de uma área complexa, que precisa de estudos mais aprofundados no assunto, de preferência empregando métodos mais precisos, como a geofísica, e que permitam obter melhores informações sobre o aquífero fissural, principalmente, delimitando o aquífero fissural e o contato com o manto de intemperismo e/ou coberturas sedimentares para o entendimento dos sistemas aquíferos locais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F *et al.* **Radiometric age determinations from Northern Brazil.** Boletim da Sociedade Brasileira da Geologia. São Paulo. 1968.
- ARAÚJO, O.J.B; MAIA, R.G.N. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Serra dos Carajás. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará.** DNPM/CPRM, 1991.
- BOAVENTURA, R.S. *et al.* **Geomorfologia da Folha SB.22 - Araguaia e parte da Folha SC.22 – Tocantins.** Projeto RADAM, 1974. Rio de Janeiro (Levantamento de Recursos Naturais, 4).
- BRAGA, A.A.J. **Avaliação estrutural e influencia neotectônica sobre cavernas em formações ferríferas, Carajás – PA.** Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Geologia. Curitiba, 2016.
- CORDANI, U.G; BRITO NEVES, B, B. **The Geologic evolution of South America during the archean and earlyproterozoic.** Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, 1982.
- COSTA, J.B.S. *et al.* **A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos.** Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, v. 7, p. 199-235, 1995. (Série Ciências da Terra, 7).
- COSTA, J.B.S; SIQUEIRA, J.B. **Transtração e Transpressão ao longo do lineamento cinzento (região da Serra dos Carajás).** Revista Brasileira de Geociências, 1990.
- DALL’AGNOL, R. *et al.* **The Precambrian evolution of the amazonian craton: one of the last unknown Precambrian terranes in the world.** In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. Abstracts. Rio de Janeiro: SBG, 2000. 1 CD-ROM.
- DOCEGEO. **Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. Anexo aos anais. Belém: CVRD/SBG, 1988. p. 11–59.
- FEITOSA, F.A.C; FILHO, M.J; FEITOSA; C.E; DEMETRIO, J.G.A. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** CPRM, UFPE, CTG, 3ª ed. Rio de Janeiro, 2008. 812p.
- IBGE. **Manual técnico de geomorfologia.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p. – (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598 ; n. 5)
- LEITE, D.M.F. **Caracterização e avaliação das mudanças na rede de drenagem do município de Parauapebas – PA.** Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Geologia, 2015.
- NASCIMENTO, S.F. **Caracterização dos principais problemas socioambientais urbanos do município de Parauapebas – PA: Erosão acelerada e disposição irregular de resíduos sólidos.** Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Geologia, 2015.

PINHEIRO, R.V.L. **Reactivation history of the Carajás and Cinzento strike-slip systems, Amazon, Brazil.** 1997. 408 f. Tese (Doutorado) - University of Durham, England, 1997.

PINHEIRO RVL & HOLDSWORTH RE. 1995. **Significado tectônico da clivagem transversa (transecting cleavage) em dobras na Mina de Serra Pelada, Pará.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 7, 259-278.

PINHEIRO RVL & HOLDSWORTH RE. 1991b. **The structure of the Carajás N-4 ironstone deposit and associated rocks: relationship to Archaean strike-slip tectonics and basement reactivation in the Amazon region, Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, 10:305-319.

PINHEIRO, R.V.L.; HOLDSWORTH, R.E. **Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará.** Revista Brasileira de Geociências, v. 30, n. 4, p. 597-606, 2000.

ROSATELLI, J.S. *et al.* **Projeto RADAM; Folha SB.22 – Araguaia e parte da Folha SC.22 – Tocantins; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1974 (Levantamento de Recursos Naturais, 4).

SANTOS, J.O.S. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG.** Brasília: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2003.p. 169-226, il.

SOARES, P. C., & FIORI, A. P. **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia.** Revista Notícia Geomorfológica, Campinas–São Paulo, 1976. 71-140 p.

SOUZA, A.D.S. **Análise da mudança da paisagem nos morros aplainados de Parauapebas – PA; Geologia e Geomorfologia.** Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Geologia, 2015.

TASSINARI, C.C.G *et al.* **Geological evolution and evaluation of recente geochronological data in Amazonian Craton.** In: Final meetint of the working group-project 204, IUGS-UNESCO, 1987, Carajás-PA. Extended Abstract, p 20-31.

VASQUEZ, L.V., ROSA-COSTA, L.R., SILVA, C.G., RICCI, P.F., BARBOSA, J.O., KLEIN, E.L., LOPES, E.S., MACAMBIRA, E.B., CHAVES, C.L., CARVALHO, J.M., OLIVEIRA, J.G., ANJOS, G.C., SILVA, H.R. **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.** 328p, 2008.

<http://www.abas.org/educacao.php>. Acesso em 12/09/2018.

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/parauapebas/panorama>. Acesso em 4/11/2018.

<http://www.parauapebas.pa.gov.br/index.php/component/sppagebuilder/48-historia-de-parauapebas.html>. Acesso em 4/11/2018.

<http://sigep.cprm.gov.br/glossario>. Acesso em 18/11/2018.

APÊNDICE

DESCRIÇÃO DOS PONTOS

PONTO: T-29			
Coordenada X: 0625830	Coordenada Y: 9326966	Elevação: 186m	Zona: 22M

Afloramento em um morro localizado no bairro Cidade Jardim. Na encosta observa-se apenas rocha intemperizada, enquanto na base há blocos rolados de rochas não alteradas.

Nas rochas aflorantes na encosta do morro (Figura 23-A), apesar do intemperismo, foi possível distinguir duas litologias principais, uma de granulação mais fina e outra de granulação mais grossa (entre as linhas pontilhadas) que se alternam ao longo do afloramento. Em ambas se observa a preservação de estruturas originais da rocha como a foliação, fraturas e veios (Figura 23-D).

Figura 23: Afloramento no bairro Cidade Jardim. A) Rocha alterada com estruturas preservada; B) Veios de quartzo de pequena espessura; C) Bloco rolado com superfície coberta por mineral de hábito dendrítico; D) Veio de quartzo na rocha alterada; E) Epidotização.



Fonte: Autora.

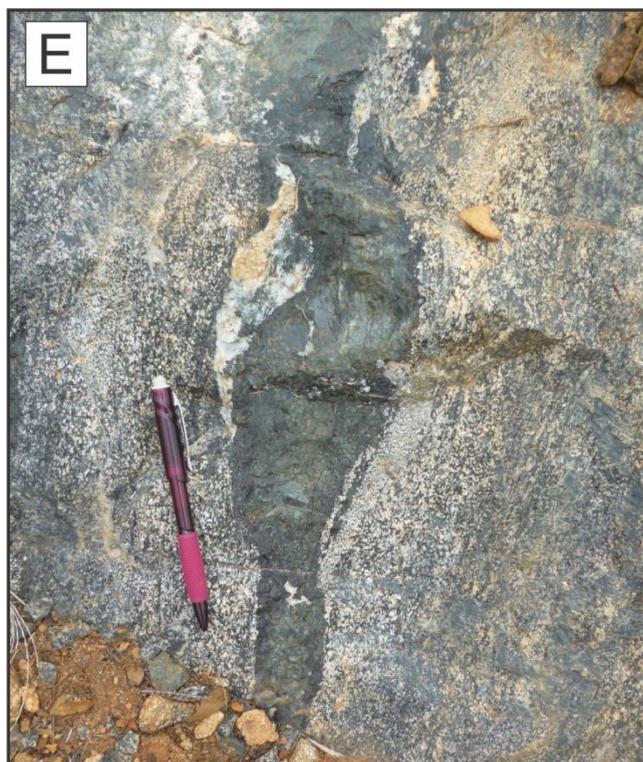
Na base do morro há blocos de diversos tamanhos, centimétricos a métricos. Trata-se de uma rocha de coloração branca a cinza-claro, de granulação fina a média, foliada, formada por plagioclásio, quartzo e até aproximadamente 5% de anfibólio, formando finas bandas ou disseminado. Ocorrem frequentemente veios de quartzo de tamanhos variados (Figura 23-B), porções epidotizadas (Figura 23-E) e minerais com hábito dendrítico.

Pelas semelhanças entre a rocha alterada e os blocos rolados pode-se dizer que se trata da mesma rocha, um gnaisse.

PONTO: T - 31			
Coordenada X: 0626185	Coordenada Y: 9327093	Elevação: 181m	Zona: 22M

Afloramento situado na encosta de um morro, no bairro Cidade Jardim, formado por porções de rocha in situ e blocos rolados centimétricos a métricos (Figura 24-A). A rocha aflorante possui coloração geral cinza escuro a preto, granulação grossa (cristais de até 4 mm) e mineralogia principal formada por anfibólio, plagioclásio, quartzo, biotita e calcita. A rocha apresenta porções formadas apenas por anfibólio, com veios de calcita e outras em que todos os minerais se misturam. Também ocorrem veios milimétricos a centimétricos de quartzo e plagioclásio, por vezes intercalados a veios milimétricos de anfibólio (Figura 24-B). Trata-se, possivelmente, de um migmatito.

Figura 24: A) Visão geral do afloramento; B) Intercalação de veios; C) Veios espessos de quartzo; D) Porção da rocha formada apenas por anfibólio; E) veio de anfibólio; F) Amostra retirada do Afloramento.

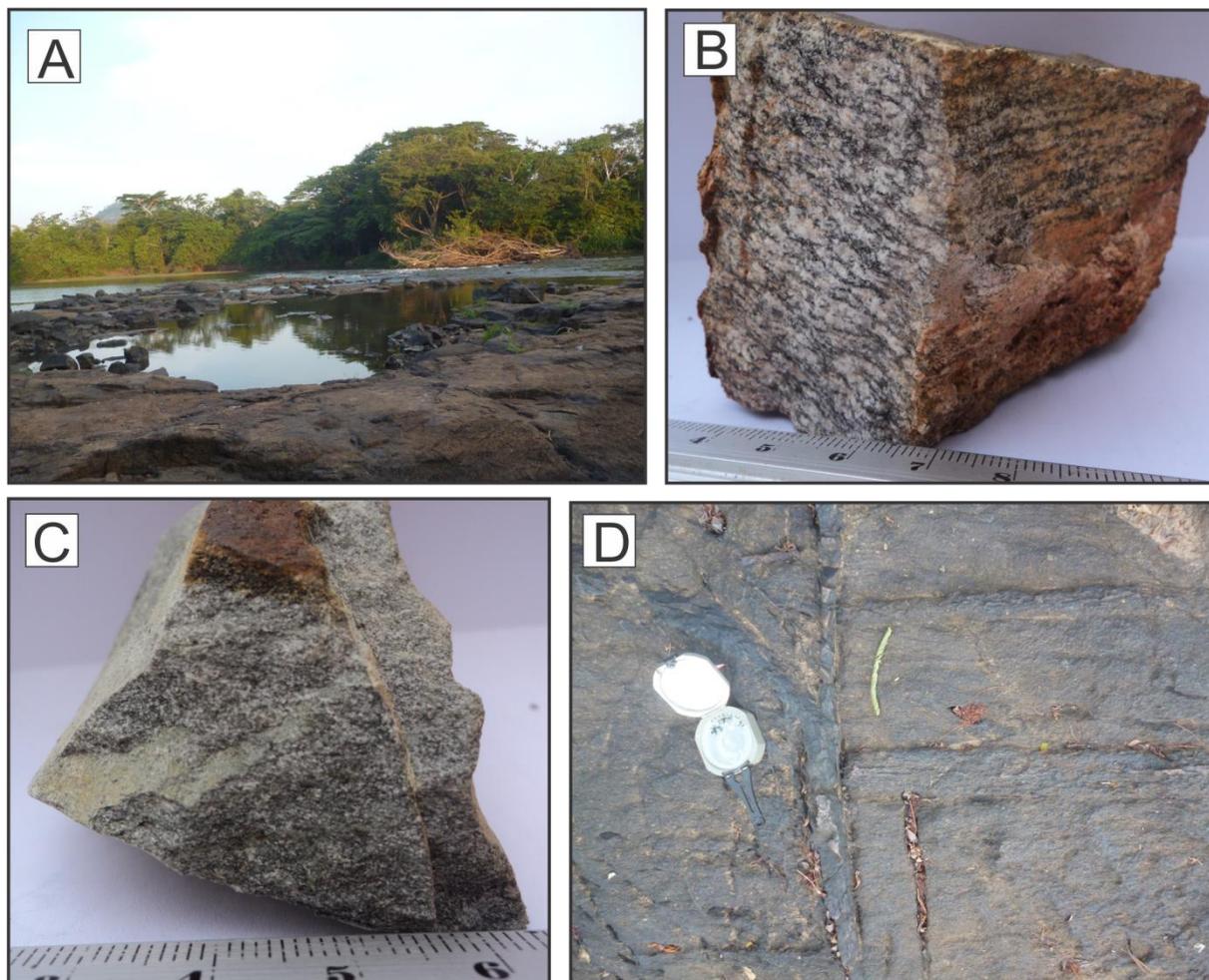


PONTO: T - 36			
Coordenada X: 0621846	Coordenada Y: 9335369	Elevação: 144 m	Zona: 22M

Afloramento localizado em um sítio, às margens do rio Parauapebas (Figura 25 – A). Consiste em um lajedo com aproximadamente 40 metros de extensão, com grande quantidade de blocos rolados, e cortado por diversas fraturas e veios. (Figura 25 – D). No afloramento ocorrem dois tipos de rocha: a que forma o lajedo (Figura 25 – B) e a que preenche os veios (Figura 25– C).

O lajedo é formado por uma rocha metamórfica bem preservada, foliada, de coloração geral cinza, granulação fina a média, formada por quartzo, plagioclásio, biotita e anfibólio. Trata-se de um xisto. A rocha que preenche os veios possui cor cinza, no entanto, encontra-se mais alterada, não sendo possível identificar sua mineralogia.

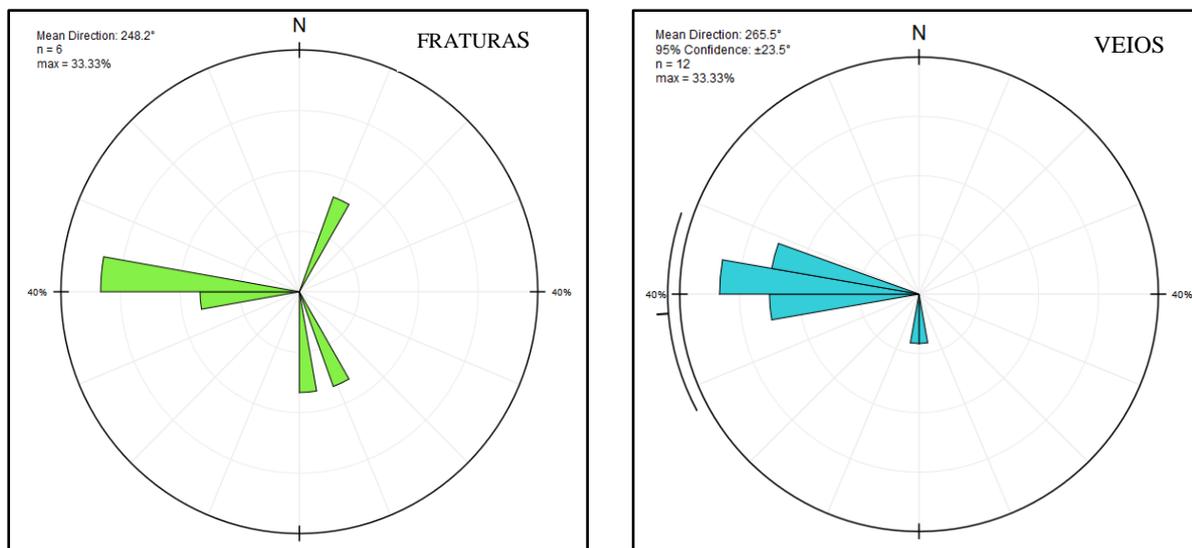
Figura 25: A) Visão geral do afloramento; B) Rocha que forma o lajedo; C) Rocha que preenche os veios; D) Veios cortando uns aos outros em diferentes direções.



Fonte: Autora.

Por toda a sua extensão o afloramento é cortado por fraturas e veios de largura milimétrica a centimétrica, que, por vezes, cortam uns aos outros (Figura 25 –D). Os diagramas de roseta abaixo mostram os *trends* principais destas estruturas (Figura 26).

Figura 26: Diagramas de roseta mostrando os principais *trends* das fraturas (verde) e veios (azul) vistas no afloramento T-36.

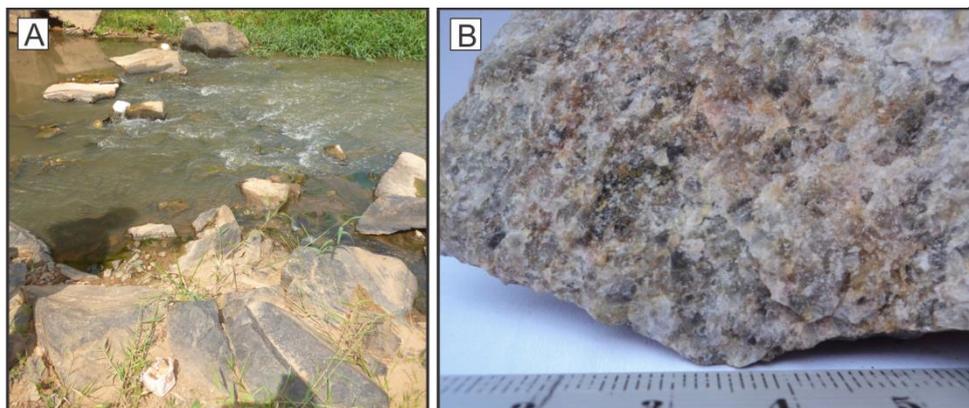


Fonte: Autora.

PONTO: T - 38			
Coordenada X: 0623784	Coordenada Y: 9327687	Elevação: 160m	Zona: 22M

Afloramento às margens de uma drenagem de direção 170 Az (Figura 27-A), composto por blocos *in situ* e rolados e camadas sedimentares inconsolidadas na margem. Os blocos são formados por uma rocha cristalina composta por quartzo (Figura 27-B).

Figura 27: A) Visão geral do afloramento; B) Amostra da rocha encontrada.



Fonte: Autora.