

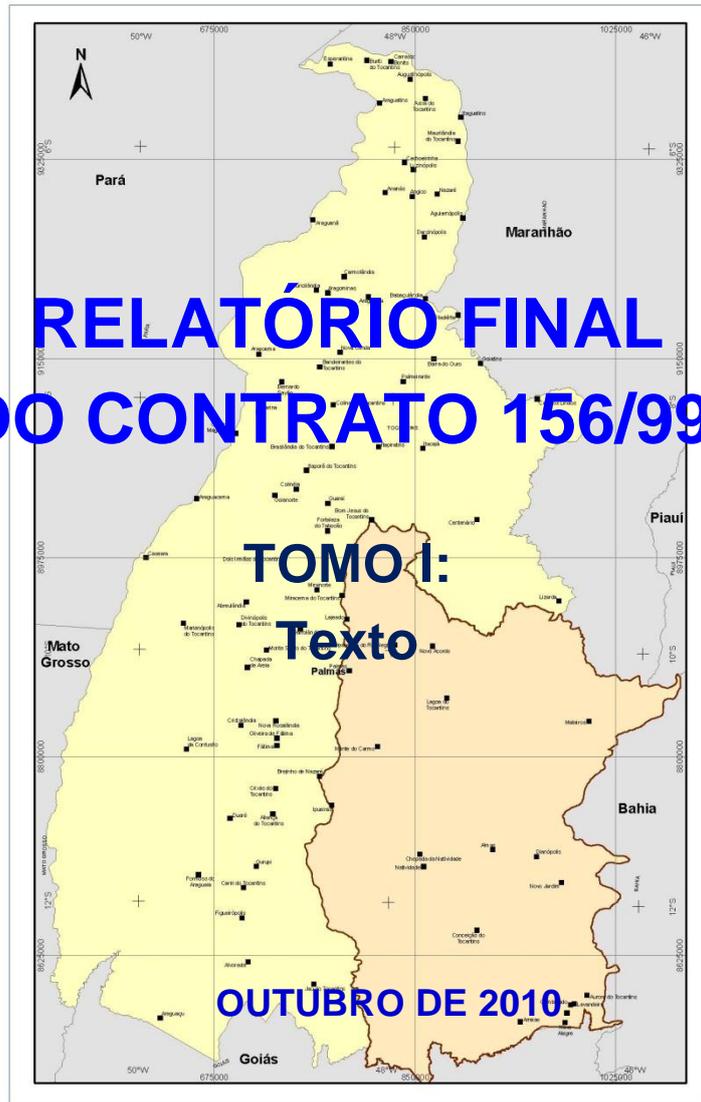


SECRETARIA DE
RECURSOS HÍDRICOS E
MEIO AMBIENTE

RELATÓRIO FINAL DO CONTRATO 156/99

TOMO I: Texto

OUTUBRO DE 2010



CONSÓRCIO



EQUIPE TÉCNICA:

Geol^o Waldir Duarte Costa.

(Coordenador Geral e Editor do Relatório)

Geol^o Luis Siqueira

(Coordenador dos trabalhos de campo)

Geol^o Ricardo Ribeiro Dias

(Responsável pela Geomorfologia/Geologia e
Geoprocessamento de Imagens de Satélite)

Eng.Civil Valmir de Albuquerque Pedrosa

(Responsável pela Hidroclimatologia)

Geol^a Lise Carry (da BRGM-França)

(Responsável pelos estudos hidroquímicos)

Geol^o Edilton Carneiro Feitosa

(Responsável pelos estudos hidrodinâmicos)

Geol^o João Manoel Filho

(Responsável pelo Banco de Dados)

Academ.Direito Humberto Sousa Henrique

(Gerente do Projeto)

Academ.Eng.Comp. Rodrigo José Costa Santos

(Digitalização de textos e fichas de poços)

Empresas subcontratadas para serviços específicos:

ULBRA –Universidade Luterana do Brasil

(Responsável pela realização das análises químicas)

UFT – Universidade Federal do Tocantins

(co-responsável pela realização de análises químicas)

TRHIMIL- Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda.

(Responsável pela realização dos testes de aquífero e pela campanha de medição de níveis e nivelamento)

PERFIL MASTER Comércio e Serviços de Perfilagem Ltda.

(responsável pelas perfilagens óptica, elétrica por resistividade e raios gama dos poços)

SINOPSE

1.	INTRODUÇÃO.....	03
2.	LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE DADOS, INFORMAÇÕES E ESTUDOS EXISTENTES.....	05
3.	ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS.....	07
3.1.	Geomorfologia.....	07
3.2.	Geologia.....	24
4.	ESTUDOS HIDRO-CLIMATOLÓGICOS.....	55
4.1.	Identificação e coleta de registros históricos.....	56
4.2.	Classificação climática da região.....	62
4.3.	Variação dos parâmetros climatológicos.....	64
4.4.	Balanço hídrico climático.....	77
4.5.	Estimativa de recarga dos sistemas aquíferos na região.....	85
5.	LEVANTAMENTO SÓCIO-ECONÔMICO.....	95
6.	CADASTRAMENTO DE POÇOS.....	98
6.1.	Considerações gerais sobre o cadastro dos poços.....	98
6.2.	Análise dos poços cadastrados.....	107
7.	SELEÇÃO DE UMA REDE DE POÇOS PARA MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO.....	129
8.	COLETA DE ÁGUA E RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	138
9.	ESTUDO HIDROQUÍMICO DAS ÁGUAS.....	154
9.1.	Considerações iniciais sobre a qualidade das análises das águas.....	154
9.2.	Estudo geral da qualidade das águas subterrâneas do Tocantins.....	155
9.3.	Estudo das águas dos distintos aquíferos.....	161
9.4.	Conclusões.....	177
10.	NIVELAMENTO DE POÇOS E ELABORAÇÃO DE MAPA POTENCIOMÉTRICO.....	178
11.	PERFURAÇÃO DE POÇOS	181
11.1.	Características previstas para os poços.....	181
11.2.	Relatório dos poços perfurados e testados.....	185
12.	ENSAIOS DE BOMBEAMENTO.....	197
13.	PERFILAGENS ÓPTICA E ELÉTRICA COM RAIOS GAMA.....	203

13.1. Metodologia do trabalho.....	204
13.2. Resultados obtidos.....	206
14. AVALIAÇÃO DE RESERVAS, POTENCIALIDADES E DISPONIBILIDADES DOS AQUÍFEROS.....	210
14.1. Conceituação de Reservas, Potencialidades e Disponibilidades.....	210
14.2. Avaliação das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades.....	217
15. EXECUÇÃO DO ZONEAMENTO DE EXPLOTAÇÃO.....	221
16. DIAGNÓSTICO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	241
16.1. Condições de recarga, circulação e exutórios dos aquíferos.....	241
16.2. Reservas, potencialidades e disponibilidades.....	245
16.3. Qualidade das águas subterrâneas.....	247
17. PLANO DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	250
17.1. Sugestão de legislação específica para as águas subterrâneas.....	250
17.2. Diretrizes para o enquadramento das águas subterrâneas.....	265
17.3. Critérios e procedimentos gerais para a proteção e conservação das águas subterrâneas.....	269
17.4. Plano de monitoramento dos aquíferos.....	277
18. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	282

ANEXOS

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho corresponde ao Relatório Final dos “**Estudos Hidrogeológicos da Região Sudeste do Estado do Tocantins**” contratado pela Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado de Tocantins ao Consórcio COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda./BRGM Bureau de Recherches Geologiques et Menieres, pelo Contrato nº 156/2009, assinado em 11/08/2009.

A área objeto do estudo foi o quadrante sudeste do Estado do Tocantins (figura na capa do relatório), limitada a leste pela divisa com os estados do Maranhão, Piauí e Bahia; a Sul com o Estado de Goiás; a Oeste pelo Rio Tocantins; a ao norte inclui a bacia hidrográfica do Rio do Sono, no trecho a montante da confluência com o Rio Perdida, da barra com o Rio Perdida até o Rio Tocantins. Situa-se nas regiões político-administrativas IX, XII, XIII, XV, XVI, XVII e XVIII conforme Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2005), com um total de 92.262,77 Km² de área, representando 33,22% da área do Estado. Contempla os municípios de Aliança do Tocantins, Almas, Aparecida do Rio Negro, Arraias, Aurora do Tocantins, Bom Jesus do Tocantins, Brejinho de Nazaré, Chapada da Natividade, Combinado, Conceição do Tocantins, Dianópolis, Gurupi, Ipueiras, Lagoa do Tocantins, Lajeado, Lavandeira, Lizarda, Mateiros, Miracema do Tocantins, Monte do Carmo, Natividade, Novo Acordo, Novo Alegre, Novo Jardim, Palmas, Palmeirópolis, Paranã, Pedro Afonso, Peixe, Pindorama do Tocantins, Ponte Alta do Bom Jesus, Ponte Alta do Tocantins, Porto Alegre do Tocantins, Porto Nacional, Rio da Conceição, Rio dos Bois, Rio Sono, Santa Rosa do Tocantins, Santa Tereza do Tocantins, São Félix do Tocantins, São Salvador do Tocantins, São Valério da Natividade, Silvanópolis, Taguatinga, Taipas do Tocantins, Tocantínia, Tupirama.

A metodologia de estudo envolveu atividades de campo, laboratório e escritório segundo uma sequência cronológica pré-estabelecida, em que determinadas ações serviriam de base para ações posteriores.

Assim, foram realizadas as seguintes atividades, na ordem cronológica:

- a) Levantamento e sistematização de dados, informações e estudos existentes;
- b) Estudos geológicos e geomorfológicos

- c) Estudos hidro-climatológicos
- d) Cadastramento de poços nos aquíferos intersticial, cárstico-fissural e fissural em toda a área de estudo.
- e) Seleção de uma rede de poços para monitoramento quali-quantitativo
- f) Perfuração de um poço em cada um dos tipos de aquíferos
- g) Coleta e realização de análises físico-químicas em 100 poços nos três tipos de aquíferos
- h) Nivelamento de poços e elaboração de mapa potenciométrico
- i) Realização de 20 ensaios de bombeamento em poços do aquífero intersticial
- j) Realização de perfilagens óptica e elétrica com raios gama em 20 poços no aquífero intersticial
- k) Avaliação de reservas, potencialidades e disponibilidades dos distintos aquíferos;
- l) Estudo hidroquímico das águas dos diversos aquíferos;
- m) Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos e riscos de contaminação
- n) Execução do Zoneamento de exploração
- o) Diagnóstico dos Recursos Hídricos Subterrâneos;
- p) Realização do Plano de Gestão das Águas Subterrâneas

2. LEVANTAMENTO E SISTEMATIZAÇÃO DE DADOS, INFORMAÇÕES E ESTUDOS EXISTENTES

Os principais dados levantados na área foram os seguintes:

- Mapas plani-altimétricos nas escalas de 1:500.000 e 1:250.000
- Mapa geológico na escala de 1:1.000.000
- Imagens de satélite LANDSAT na escala de 1:50.000
- Fichas de poços da SANEATINS
- Fichas de poços outorgados, da NATURATINS
- Fichas de poços da FUNASA
- Fichas de poços da TRHIMIL
- Fichas de poços da HIDRONORTE
- Atlas de Recursos Naturais da SRHMA

Além disso, foram levantados e analisados os seguintes estudos:

1. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves (Tocantins). Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável do Tocantins (BIRD). Trabalho desenvolvido para a Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins – SRHMA/TO. Consórcio GAMA Engenharia de Recursos Hídricos Ltda. e Office International de L'eau. Período: 2007-2008.
2. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Palma (Tocantins). Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável do Tocantins (BIRD). Trabalho desenvolvido para a Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins – SRHMA/TO. Consórcio GAMA Engenharia de Recursos Hídricos Ltda. e Office International de L'eau. Período: 2007-2008.
3. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Tocantins e Araguaia. Consórcio COHIDRO/Magna Engenharia Ltda. e ANA. Período: janeiro de 2006 a agosto de 2008.
4. Projeto Hidrogeologia no Tocantins – Folha Palmas – SD.22-Z-B-TO. Goiânia; CPRM. 81 p. + mapas. Frasca, A.A.S. & Araújo, V.A. de 2001.

5. Sistema aquífero Urucuia: caracterização regional e propostas de gestão. Márcia Tereza P. Gaspar. Tese de Doutorado apresentada no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 2006. 160p.

Para cada um dos estudos acima citado foi apresentada uma síntese que demonstrou a importância para o trabalho que ora se inicia na região sudeste. Os dados acima descritos podem ser considerados todos como de relevante contribuição ao estudo, tendo sido processados para elaboração da cartografia básica que foi fornecida aos cadastrantes na etapa seguinte desse trabalho.

Uma análise preliminar dos dados de poços e de análises físico-químicas revelou que, na maioria são *confiáveis* de vez que possuem informações amplas sobre as condições do poço ou da água. Assim mesmo, podem ser considerados incompletos, pois faltam informações sobre a geologia, sobre o uso da água, regime de exploração, dentre outros.

Quanto à *exatidão das avaliações* essa análise somente poderá ser constatada a partir da realização das nossas próprias avaliações acerca das condições hidrodinâmicas dos aquíferos.

A *correlação de informações e resultados* mostrou que não ocorre duplicidade de informações sobre o mesmo material levantado, até porque o acervo de dados disponíveis é muito reduzido, considerando a extensão da área.

Com os dados levantados foi efetuada a *organização e classificação* por assunto, obedecendo ao princípio de pré-requisito. Assim é que em primeiro lugar foi efetuada a padronização e escolha de escalas de mapa plani-altimétrico a ser utilizada.

Por último veio a *sistematização de dados* que somente foi concluída após o levantamento de campo com a complementação das informações do cadastro existente e ampliação do cadastro final com novos poços catalogados no campo.

3. ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOLÓGICOS

3.1. GEOMORFOLOGIA

3.1.1. Generalidades do relevo

O relevo da área estudada foi caracterizado com base nos trabalhos de Barbosa, Boaventura e Pinto (1973); Mamede, Ross e Santos (1981); Mamede, Nascimento e Franco (1981); Moura, Dantas e Roso (1982); Del'Arco *et al.* (1995); Bertrand (1971); IBGE (2007a), Seplan (2009). Este último trabalho foi a referência principal da compartimentação apresentada neste relatório, com pequenas adaptações quanto aos limites de alguns domínios e unidades geomorfológicas.

Analisando-se tais trabalhos, constatou-se que a área estudada mostra uma compartimentação geomorfológica hierarquizada em quatro domínios da forma exibida na Figura 3.1.

Os domínios I, II e III acham-se divididos em 13 unidades geomorfológicas, conforme apresentado na Figura 3.2 e no Apêndice A, que estão caracterizadas na *Seção 3.1.2 Unidades geomorfológicas*.

São encontrados, nos domínios I e II: modelados de aplainamento Pri, Pru, Pgi e Pgu; de dissecação diferencial com topos aguçados (Da), convexos (Dc), tabulares (Dt) e dissecação em ravinas (Dr); dissecação estrutural (De); encostas íngremes (Dei); e modelados de dissolução (Kc e Kd) conceituados no Quadro 3.1. As áreas com topos aguçados mostram densidade de drenagem de média a muito fina, e aprofundamento das incisões fraco e médio. Os terrenos com topos convexos e tabulares têm densidade de drenagem variando de muito grosseira a muito fina, todas com aprofundamento das incisões muito fraco.

O Domínio IV está representado por depósitos sedimentares inconsolidados quaternários, não tendo, portanto, uma localização geográfica restrita. Ele perpassa os domínios I, II e III.

A maior concentração de depósitos, que geram modelados de acumulação (Af, Atf e Aptf – conceitos no Quadro 3.2), está situada no Domínio Bacias e Coberturas

Sedimentares Fanerozoicas, na unidade dos Patamares das Mangabeiras. Outros depósitos expressivos também podem ser encontrados na margem dos rios Tocantins, Paranã, Palmas e do Sono.

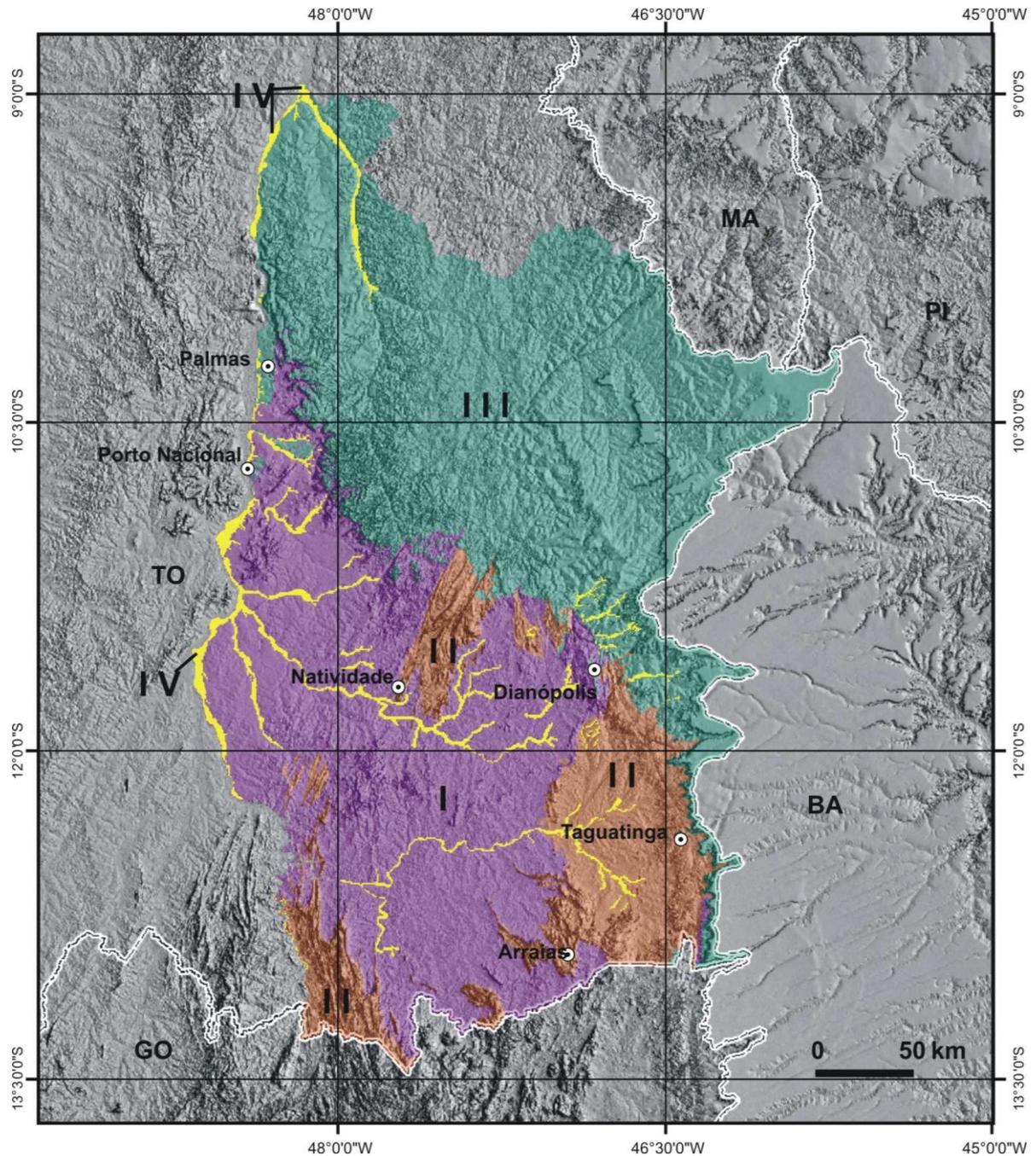


Figura 3.1 – Domínios morfoestruturais: (I) Embasamentos em Estilos Complexos; (II) Faixas de Dobramentos e Coberturas Metassedimentares Associadas; (III) Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas; (IV) Depósitos Sedimentares Inconsolidados Quaternários

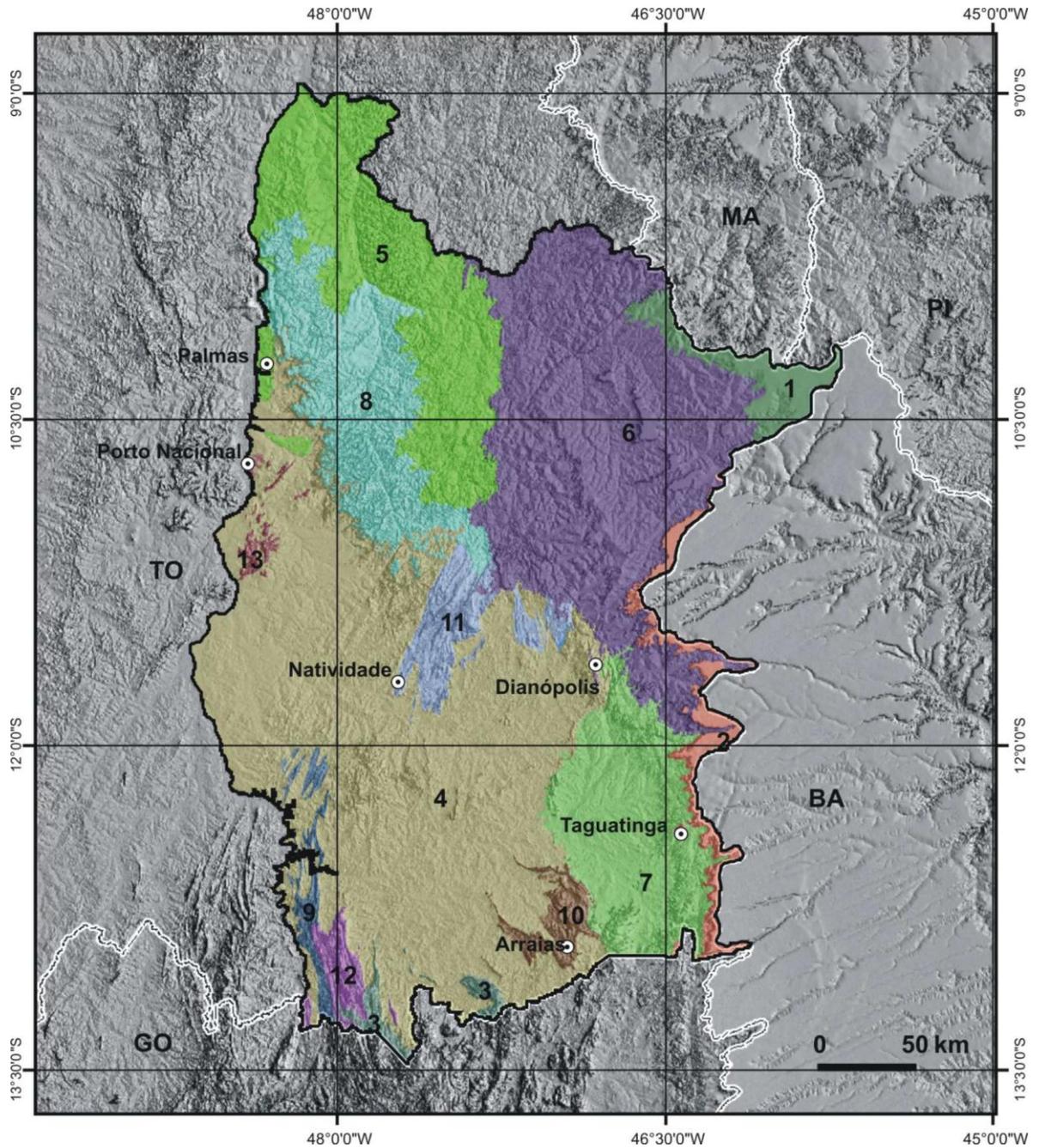


Figura 3.2 – Unidades geomorfológicas: 1 – Chapada das Mangabeiras; 2 – Chapadão Ocidental Baiano; 3 – Complexo Montanhoso Veadeiro-Araí; 4 – Depressão do Alto Tocantins; 5 – Depressão do Médio Tocantins; 6 – Patamares das Mangabeiras; 7 – Patamares do Chapadão Ocidental Baiano; 8 – Planalto Dissecado do Tocantins; 9 – Planalto do Alto Tocantins; 10 – Serra Branca ou de Arraias; 11 – Serra da Natividade; 12 – Serra Traíras ou de Palmas; 13 – Serras de Santo Antonio-João Damião

Quadro 3.1. Modelados de aplainamento e dissecação

Simb.	Nome	Descrição
Pri	Pediaplano retocado inumado	Superfície de aplainamento elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão, sem, no entanto, perder as características de aplainamento, cujos processos geram sistemas de planos inclinados às vezes levemente côncavos. Pode apresentar cobertura detrítica e/ou encouraçamentos, indicando remanejamentos sucessivos
Pru	Pediaplano retocado desnudado	Superfície de aplainamento elaborado durante fases sucessivas de retomada de erosão, sem, no entanto, perder suas características de aplainamento, cujos processos geram sistemas de planos inclinados, às vezes levemente côncavos. Pode apresentar cobertura rasa de material de alteração, mas geralmente apresenta rochas pouco alteradas, truncadas pelos processos de aplainamento que desnudaram o relevo
Pgi	Pediaplano degradado inumado	Superfície de aplainamento parcialmente conservada, tendo perdido a continuidade em consequência de mudança do sistema morfogenético; em geral conservada ou levemente dissecada e separada por escapas ou ressaltos de outros modelados de aplainamento e de dissecação correspondentes aos sistemas morfogenéticos subsequentes. Aparece inumada por coberturas detríticas e/ou de alteração, constituídas de couraças e/ou latossolos.
Pgu	Pediaplano degradado desnudado	Superfície de aplainamento parcialmente conservada, tendo perdido a continuidade em consequência de mudança do sistema morfogenético; geralmente dissecada e separada por escarpas e ressaltos de outros modelados de aplainamento e de dissecação correspondentes aos sistemas morfogenéticos subsequentes; desnudada em consequência de exumação de camada sedimentar ou retirada de cobertura preexistente
Da	Conjunto de formas de relevo de topos estreitos e alongados, esculpidas em rochas metassedimentares cristalinas, em geral denotando controle estrutural, definidas por vales encaixados. Os topos de aparência aguçada são resultantes de interceptação de vertentes de declividade acentuada, entalhadas por sulcos e ravinas	
Dc	Conjunto de formas de relevo de topos convexos, esculpidas em diferentes tipos de rochas, às vezes denotando controle estrutural. São definidas por vales pouco profundos, apresentando vertentes de declividade mediana a suave, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem	
Dt -	Conjunto de formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e de lombadas, esculpidas em rochas sedimentares e cristalinas, denotando eventual controle estrutural. São, em geral, definidas por vales rasos, apresentando vertentes de baixa a média declividade. Resultam da instauração de processos de dissecação atuando sobre superfície de aplainamento.	
De	Dissecação fortemente controlada pela estrutura, geralmente identificada em área de rochas metassedimentares intensamente dobradas e falhadas. É caracterizada por compartimentos de formas de relevo irregulares enquadrando planos desnudados, com sulcos e ravinas entalhados na rocha sã ou pouco alterada	
Dei	Encosta íngreme de erosão. Feição de relevo com declives muito acentuados, ligando dois planos altimétricos distintos, podendo exibir trechos de paredão desnudado na parte superior.	
Kd	Conjunto de formas de dissolução originadas em superfície, ou descobertas por erosão de coberturas preexistentes	
Kc	Conjunto de formas de dissolução parcialmente expostas em superfície, por erosão de uma cobertura preexistente.	
Dr	Ravinas. Dissecação caracterizada por grande densidade de incisões resultantes da atuação predominante da erosão pluvial sob a forma de escoamento concentrado (torrencial).	

Quadro 3.2. Modelados de acumulação

Simb.	Nome	Descrição
Af	Planície Fluvial	Área plana resultante da acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. Ocorre nos vales com preenchimento aluvial holocênico
Atf	Terraço Fluvial	Acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio e às várzeas recentes situadas em nível inferior, entalhada devido às mudanças de condições de escoamento e consequente retomada de erosão
Aptf	Planície e Terraço Fluvial	Área plana resultante de acumulação fluvial, periódica ou permanentemente alagada, podendo comportar cordões arenosos e meandros abandonados, ligada com ou sem ruptura de declive a patamar mais elevado.

As áreas de ocorrência dos modelados de acumulação, em termos de erodibilidade, pertencem às classes muito fraca a fraca e especial. Os declives na classe muito fraca a fraca não ultrapassam os 3%, e os processos de escoamento são difusos e lentos. Para a classe especial, encontram-se solos imperfeitamente drenados a mal drenados, e com lençol freático normalmente elevado, onde os processos são de: escoamentos concentrados ao longo da drenagem; remobilização e deposição de sedimentos finos; escoamento difuso e lento nas planícies, terraços fluviais e margens de lago; e eventuais inundações.

3.1.2. Unidades geomorfológicas

3.1.2.1. Chapada das Mangabeiras (1)

A unidade Chapada das Mangabeiras localiza-se na parte leste do Domínio III, e encontra-se inserida no município de Mateiros (Figura 3.3). A unidade recobre uma área de 1.887,2 km² (2,0% da área total). A Chapada das Mangabeiras funciona como divisor dos sistemas fluviais formados pelos rios Tocantins, a oeste, São Francisco, a leste, e Parnaíba, ao norte. A erosão acelerada nas vertentes tende a reduzir continuamente o topo da chapada.

Na unidade, predominam as litologias da Formação Urucuia. Tem como características predominantes superfícies de aplanamento degradadas, em consequência de mudança do sistema morfogenético, apresentando topos conservados, geralmente separados por escarpas ou ressaltos de outros modelados de aplanamento, de dissecação e/ou de dissolução.

A erodibilidade pertence à classe ligeira, que compreende áreas formadas por solos variando entre bem a fortemente drenados. São solos profundos e ocorrem em relevo suave ondulado (predomínio de declives entre 3 a 8%). A ecodinâmica da paisagem varia de estável à de transição (pedogênese □ morfogênese). Os processos de escoamento superficial são difusos e lentos, com eventuais escoamentos concentrados (SEPLAN, 2009).

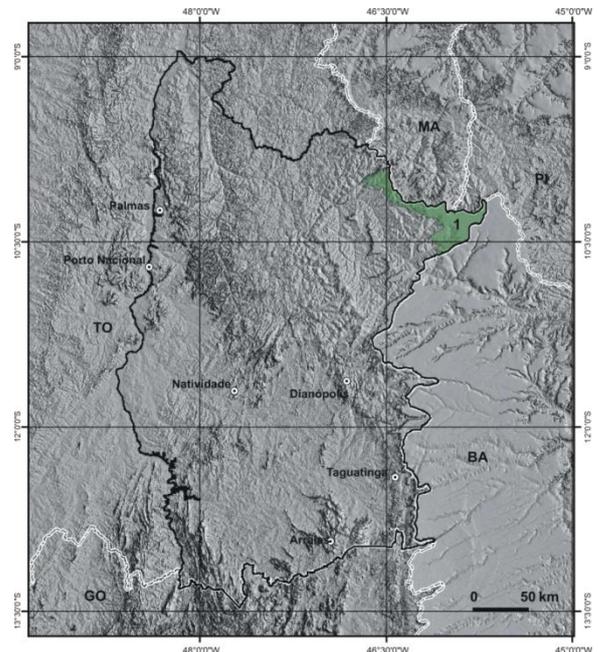


Figura 3.3. Unidade Chapada das Mangabeiras (1).

3.1.2.2. Chapadão Ocidental Baiano (2)

A unidade Chapadão Ocidental Baiano encontra-se em todo o seguimento leste e sudeste, recobrando áreas dos municípios de Lavandeira, Aurora do Tocantins, Taguatinga, Ponte Alta do Bom Jesus, Novo Jardim, Dianópolis, Rio da Conceição e Mateiros e ocupa 2.096,1 km² (2,2% da área total).

Representada essencialmente pelos sedimentos cretáceos que constituem os tabuleiros da Formação Urucuia, o Chapadão Ocidental Baiano (Figura 4.4) caracteriza-se por suaves platôs, identificados onde se destaca a Serra Geral do Tocantins e a Serra Rio do Santo.

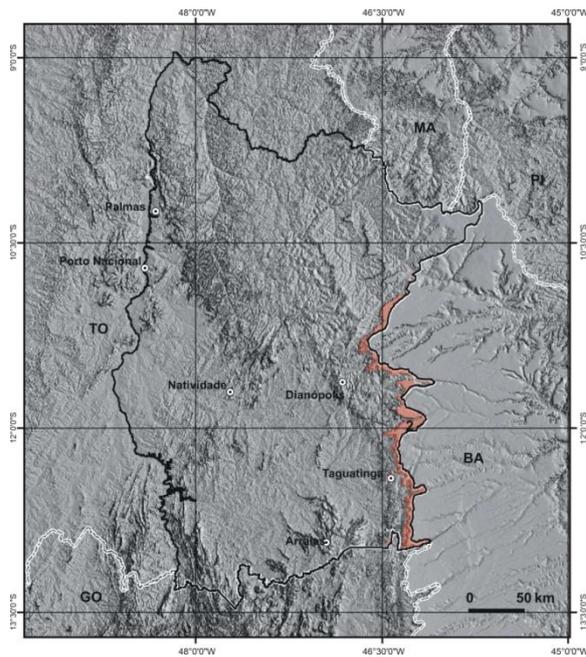


Figura 3.4. Unidade Chapadão Ocidental Baiano (2).

A unidade, em sua maior parte, é capeada por material detrítico e solos lateríticos, de onde nascem importantes rios formadores da bacia do Rio São Francisco, tais como: Sapão, Riachão, Ponta d'Água, Branco, Roda Velha, do Algodão ou das Fêmeas, de Ondas, do Santo e do Borá.

Em termos de erodibilidade, a unidade apresenta comportamento similar ao da Chapada das Mangabeiras.

3.1.2.3. Complexo Montanhoso Veadeiro-Araí (3)

O Complexo Montanhoso Veadeiro-Araí (Figura 3.5) localiza-se no extremo sul da área, em terrenos dos municípios de Arraias e Paraná, e limita-se com a Depressão do Alto Tocantins. A unidade é inexpressiva na área de estudo, pois ocupa apenas 723,7 km² da área estudada (0,7%).

O relevo é caracterizado pela influência dos dobramentos perturbados pela tectônica de falhas. Constitui-se por dois grandes blocos planálticos, limitados por escarpas e serras com prolongamento seguindo a orientação desses dobramentos. As altitudes variam de 600 a 1200 m.

A rigidez litológica refletiu-se no estilo estrutural, condicionando a predominância de formas como: patamares estruturais, escarpas de falha, cristas assimétricas, facetas triangulares, planos de falha ou de dobra, e vales e sulcos de paredes íngremes, peculiaridades que o diferenciam de outras unidades.

Na unidade Complexo Montanhoso, as águas são drenadas para os rios Canabrava, Extrema, Claro, Dois Bois e, por conseguinte, para os rios Paranã e São Domingos.

A erodibilidade é classificada como muito forte. A classe contém as áreas formadas por solos rasos e muito rasos, com presença de afloramentos de rochas. O relevo predominante vai do montanhoso até o escarpado, com declives maiores ou iguais a 45%. A ecodinâmica da paisagem é *muito instável* (pedogênese << morfogênese). Os processos de escoamento superficial são concentrados. Os movimentos de massa são do tipo deslizamento, desmoronamento, rastejamento e solifluxão, com eventuais quedas de blocos. A Erodibilidade é muito forte (SEPLAN, 2009).

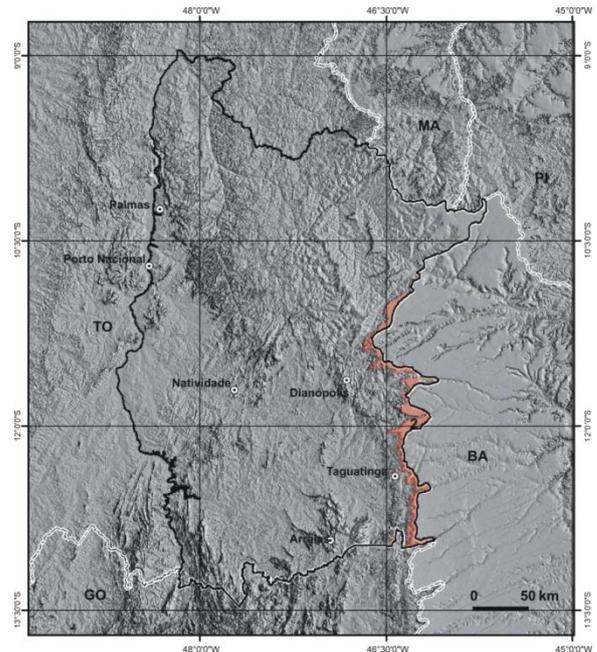


Figura 3.5. Unidade Complexo Montanhoso Veadeiro-Araí (3).

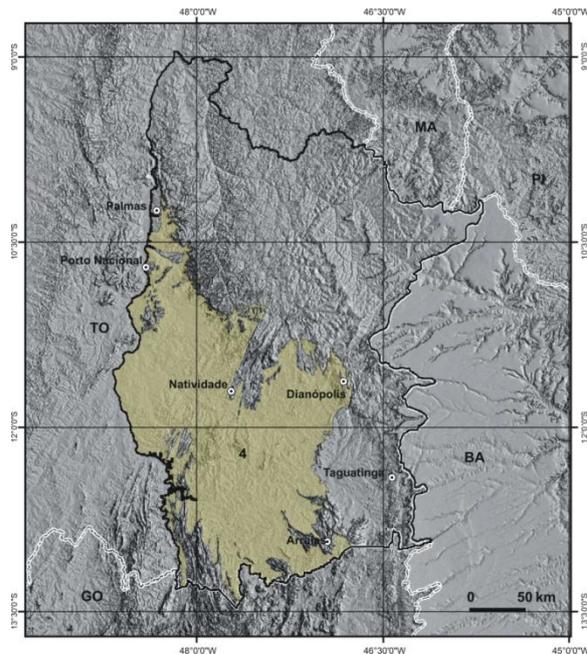
3.1.2.4. Depressão do Alto Tocantins (4)

A Depressão do Alto Tocantins (Figura 3.6) é a unidade de maior extensão na área estudada. Ela recobre, com os seus 34.958,4 km², 37,6% da área total, mantendo-se nos municípios de Arraias, Paranã, Taipas do Tocantins, Dianópolis, Porto Alegre do Tocantins, Almas, Natividade, Peixe, São Valério da Natividade, Chapada da Natividade, Santa Rosa do Tocantins, Ipueiras do Tocantins, Silvanópolis, Monte do Carmo e Porto Nacional.

Ela compreende uma superfície rebaixada e descontínua, esculpida em litologias do embasamento cristalino (granitos e gnaisses pré-cambrianos). Acha-se interrompida, ao sul, sudoeste e sudeste, por conjuntos de relevos residuais, como a Serra Malhada Alta, Serra Bom Despacho, Serra Traíras ou das Palmas, Serra Branca ou de Arraias e Serra de Santa Brígida. A Depressão do Alto Tocantins inclui

modelados de aplainamento e formas de dissecação homogênea, às vezes diferencial.

A unidade constitui um conjunto homogêneo, com altimetria entre 200 e 300 m, mais ao norte, e 300 a 800 m mais ao sul. As maiores altitudes correspondem aos trechos rampeados da depressão no contato com o Complexo Montanhoso Veadeiros-Araí.



As menores altitudes são encontradas ao longo dos rios Paranã e Palma. Apresenta relevo de dissecação suave, predominando extensivamente as formas tabulares. As menores altitudes são encontradas ao longo dos rios Paranã e Palma.

As classes de erodibilidade encontradas na unidade Depressão do Alto Tocantins são muito fraca a fraca (Vão do Paranã), ligeira (predomina), moderada (região de Conceição do TO). A classe muito fraca a fraca ocorre concentrada no Vão do Paranã. Compreende áreas formadas por

Figura 3.6. Unidade Depressão do Alto Tocantins (4).

solos normalmente de grande significado agrícola. São solos muito profundos, porosos, bem permeáveis – mesmo quando muito argilosos –, friáveis, situados em relevo plano, com declividades que raramente ultrapassam 3%. A ecodinâmica da paisagem é *estável* (pedogênese > morfogênese) e os processos de escoamento superficial são difusos e lentos (SEPLAN, 2009).

As áreas de erodibilidade ligeira são predominantes, distribuem-se por toda a unidade e compreendem os terrenos formados por solos variando entre bem a fortemente drenados. São solos profundos e ocorrem em relevo suave ondulado (predomínio de declives entre 3 a 8%). A ecodinâmica da paisagem varia de *estável* à de *transição* (pedogênese \square morfogênese). Os processos de escoamento superficial são difusos e lentos, com eventuais escoamentos concentrados.

Por fim, a erodibilidade moderada, encontrada na região de Conceição do Tocantins, caracteriza-se por solos variando entre profundos a pouco profundos, com perfis

permeáveis e pequenas diferenciações entre horizontes. Ocorrem normalmente em relevos ondulados (8 a 20% de declive). A ecodinâmica da paisagem é de *transição* (pedogênese □ morfogênese). Os processos de escoamento superficial são difusos e lentos e com ocorrência dos de tipo concentrado.

3.1.2.5. Depressão do Médio Tocantins (5)

A unidade Depressão do Médio Tocantins (Figura 3.7) tem uma extensão de 11.402,4 km² (12,2% da área total). É encontrada nas partes central, norte e noroeste do Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas. Associa-se aos terrenos dos municípios de Ponte Alta do Tocantins, Palmas, Lagoa do Tocantins, Novo Acordo, Rio Sono, Aparecida do Rio Negro, Lajeado, Tocantínia, Pedro Afonso e Bom Jesus do Tocantins.

Na unidade, observa-se a ocorrência de relevos elaborados em coberturas sedimentares fanerozoicas, configurando em um corredor deprimido, cortado, em sua maior, parte pelo curso dos rios Tocantins e do Sono. Ela comporta variações altimétricas entre 200 e 350 m.

No geral, a unidade apresenta um conjunto de formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e lombas esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas, denotando eventual controle estrutural.

São observáveis as erodibilidades ligeira (predominante) e forte. A primeira já foi descrita anteriormente, e a erodibilidade forte está restrita à margem esquerda do Rio do Sono, terras dos municípios de Novo Acordo e Rio Sono. Ela encerra solos pouco profundos, com drenagem moderada, que possuem poucos agentes agregadores e uma estrutura maciça, sem coesão no horizonte superficial (A). A matéria orgânica é inexpressiva e restrita a esse horizonte. Eles ocorrem geralmente

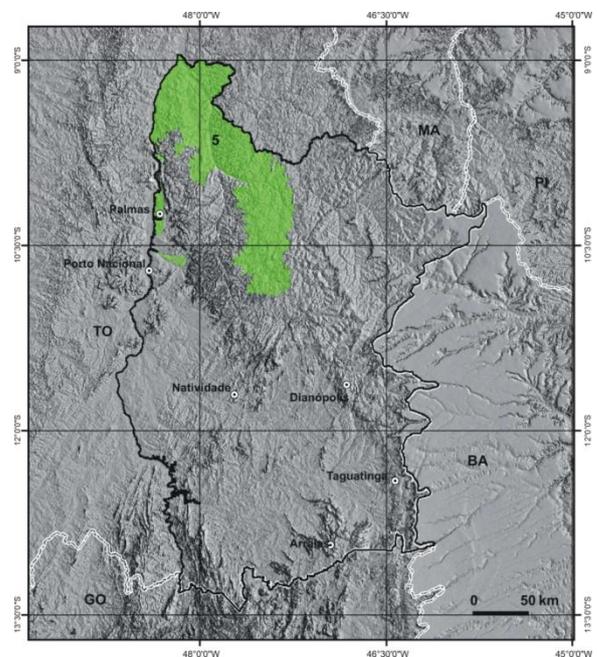


Figura 3.7. Unidade Depressão do Médio Tocantins (5).

em relevo forte ondulado (declives com predomínio de 20 a 45%) e têm permeabilidade um tanto restrita, o que os torna muito erodíveis. A ecodinâmica da paisagem é *instável* (pedogênese < morfogênese). Os processos de escoamento superficial são difusos e rápidos, concentrados, podendo ocorrer até mesmo movimentos de massa, do tipo rastejamento e solifluxão (SEPLAN, 2009).

3.1.2.6. Patamares das Mangabeiras (6)

Os Patamares das Mangabeiras estão distribuídos nos municípios de Ponte Alta do Bom Jesus, Novo Jardim, Dianópolis, Porto Alegre do Tocantins, Rio da Conceição, Almas, Ponte Alta do Tocantins, Mateiros, São Félix do Tocantins, Lizarda, Novo Acordo e Rio Sono, recobrando um total de 20.019,0 km², o que corresponde 21,6% da área estudada.

Os patamares caracterizam-se, predominantemente, por relevos planos ou

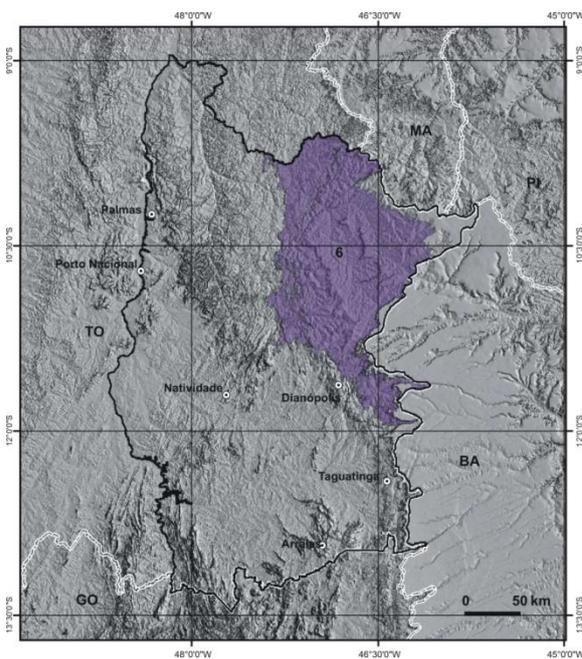


Figura 3.8. Unidade Patamares das Mangabeiras (6).

suavemente dissecados em feições de topos tabulares, realçando platôs isolados e com altitudes mais elevadas, com destaque para a Serra do Meio, Serra do Cinzeiro, Serra do Espírito Santo, Serra da Piabanha e Serra do Jalapão.

Os contatos dessa unidade (Figura 3.8) são bem marcados nos diversos níveis topográficos escalonados que levam aos topos conservados da Chapada das Mangabeiras e aos níveis rebaixados das Cabeceiras do Parnaíba e da Depressão do Médio Tocantins.

As erodibilidades encontradas na unidade são muito fraca a fraca, ligeira e muito forte. Todas já foram caracterizadas nas unidades anteriores. Nos Patamares das Mangabeiras, predomina a erodibilidade ligeira, sendo a muito forte localizada nas

mudanças de níveis altimétricos mais acentuados, ou seja, nas franjas da serras que compõem a paisagem da unidade.

3.1.2.7. Patamares do Chapadão Ocidental Baiano (7)

A unidade (Figura 3.9) encontra-se distribuída nos terrenos dos municípios de Arraias, Novo Alegre, Combinado, Lavandeira, Aurora do Tocantins, Taguatinga, Ponte Alta do Bom Jesus, Novo Jardim e Dianópolis e ocupa 7.909,0 km², equivalente a 8,5% da área. Os Patamares do Chapadão Ocidental Baiano limitam-se, a norte, com os Patamares das Mangabeiras; a leste, com o Chapadão Ocidental Baiano; e, a oeste, com a Depressão do Alto Tocantins e Serra Branca ou de Arraias.

Os Patamares do Chapadão Ocidental Baiano apresentam trechos elaborados em rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, permitindo a evolução de modelados cársticos. Os topos aplainados presentes na área retratam a atuação de processos de pediplanação atuando sob condições de morfogênese mecânica.

No geral, os patamares retratam o conjunto de formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e lombas esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas, denotando eventual controle estrutural.

Conforme Seplan (2009), nos patamares do Chapadão Ocidental Baiano, ocorrem as classes de erodibilidade muito fraca a fraca, ligeira, moderada, forte e muito forte. Predominam as classes muito forte e moderada. As classes muito fraca a fraca e ligeira distribuem-se próximas às cidades de Combinado e Lavandeira, e a forte, nas imediações de Ponte Alta do Bom Jesus e Novo Alegre, em pequenas áreas.

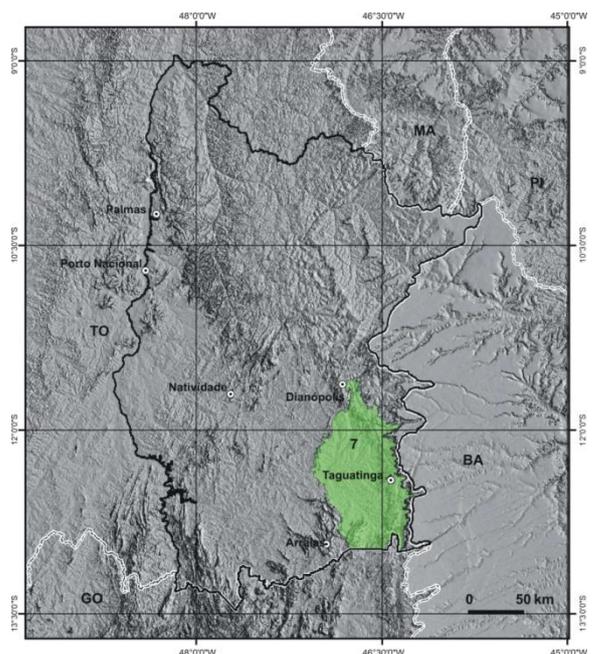


Figura 3.9. Unidade Patamares do Chapadão Ocidental Baiano (7).

3.1.2.8. Planalto Dissecado do Tocantins

A unidade está distribuída nos municípios de Aparecida do Rio Negro, Lajeado, Tocantínia, Novo Acordo, Palmas, Santa Tereza do Tocantins, Ponte Alta do Tocantins, Pindorama do Tocantins, Chapada da Natividade, Silvanópolis e Monte do Carmo, recobrando um total de 7.983,4 km², correspondente a 8,6%.

O Planalto Dissecado do Tocantins (Figura 3.10) é uma unidade que, na área, está representada por dois compartimentos de relevo, que recebem a denominação local de serras do Lajeado e do Carmo, com cotas em torno de 500 m, atingindo até 600 m, na borda ocidental do planalto.

O Planalto é individualizado por escarpas abruptas, sob a forma de frentes de cuesta e pela existência de superfícies estruturais tabulares. A Serra do Lajeado constitui uma frente de cuestas com escarpas abruptas. A Serra do Carmo caracteriza-se por dissecação predominante em interflúvios tabulares, chegando a formar vales profundos, do tipo *canyons*.

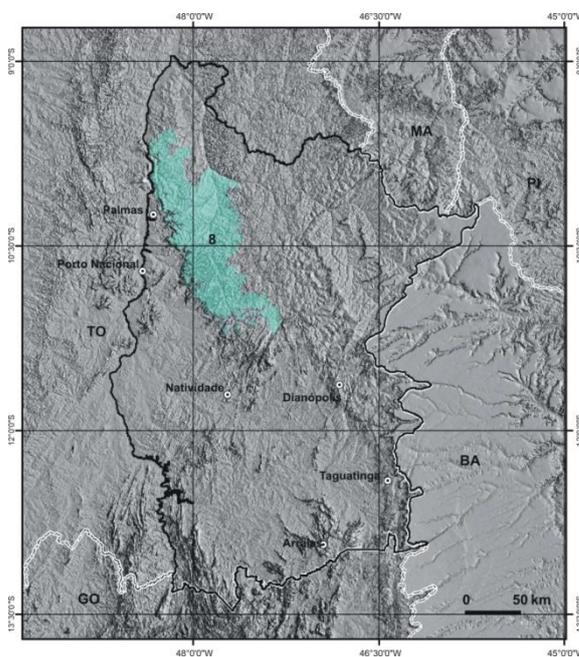


Figura 3.10. Unidade Planalto Dissecado do Tocantins (8).

Resumem, no conjunto, formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e lombas esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas, denotando eventual controle estrutural, todos resultantes da instauração de processos de dissecação em arenitos e siltitos da Formação Pimenteiras, de idade devoniana.

Em função de relevos com diferentes declives e rupturas, a erodibilidade caracteriza-se pela presença de cinco classes: forte, muito forte, moderada, ligeira e muito fraca a fraca. As classes forte e muito forte associam-se com vertentes das serras do Lajeado e do Carmo (encostas). A classe moderada é observável nas imediações de Aparecida do Rio Negro e Santa Tereza do Tocantins, enquanto a

classe muito fraca a fraca restringe-se a pequenas áreas isoladas a oeste do Rio do Sono.

3.1.2.9. Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba (9)

O Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba ocupa uma área de 946,3 km² (1,0% da área estudada). Ele recobre pontos isolados da Depressão do Alto Tocantins e uma estreita faixa vizinha à unidade Serras Traíras ou da Palmas.

É uma unidade pouco expressiva, em termos de distribuição em extensão, estando distribuída nos municípios de Peixe, São Valério da Natividade e Paranaíba. Apresenta associação com os terrenos contendo litologias da Formação Traíras e do Grupo Serra da Mesa.

O Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba (Figura 3.11) caracteriza-se por uma variedade de formas de relevo dissecados em cristas com variação de cotas altimétricas entre 400 e 900 m.

Toda unidade é drenada pelas nascentes dos tributários formadores da bacia dos rios Tocantins e Paranaíba.

Os terrenos do Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba apresentam uma erodibilidade muito forte. Dominam os solos rasos e muito rasos, e aparecem com frequência afloramentos rochosos.

Os relevos são montanhosos e escarpados, com declives maiores ou iguais a 45%. A ecodinâmica da paisagem é *muito instável*. Os processos de escoamento superficial são

concentrados. Os movimentos de massa são do tipo deslizamento, desmoronamento, rastejamento e solifluxão, com eventuais quedas de blocos.

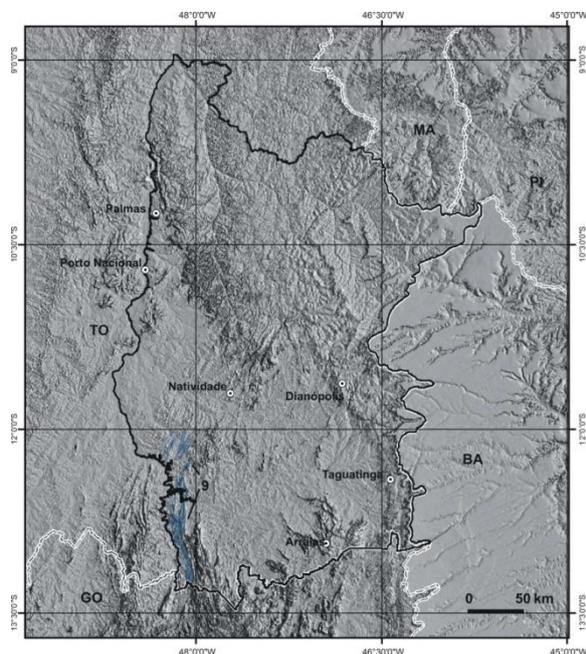


Figura 3.11. Unidade Planalto Dissecado do Tocantins (9).

3.1.2.10. Serra Branca ou de Arraias (10)

A unidade geomorfológica Serra Branca ou de Arraias (Figura 4.12) localiza-se na parte central do município de Arraias.

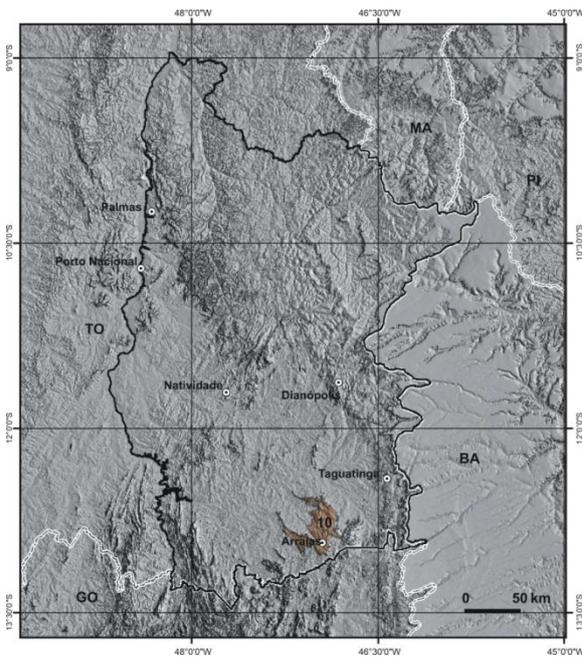


Figura 3.12. Unidade Serra Branca ou de Arraias (10).

Com uma área de 1.098,0 km² (1,2% da área estudada), ela limita-se, a leste, com os Patamares do Chapadão Ocidental Baiano, e é envolvida pela Depressão do Alto Tocantins. Na unidade, encontram-se os tributários formadores dos rios Arraias e São Domingos. Suas altitudes variam de 400 a 900 m.

Os contatos com a Depressão do Alto Tocantins, a sul, são marcados por desníveis íngremes, geralmente na forma de escarpas, enquanto que, a norte, os contatos são graduais e suaves ou assinalados por ressaltos.

As rochas da Formação Arraias (Grupo Araí) constituem fatos geomorfológicos muito importantes para a configuração das formas relevo da unidade Serra Branca ou de Arraias, que são nitidamente controlados pela estruturas tectônicas.

Predominam modelados de dissecação diferencial. Tratam-se de relevos com geometria bem definida e com morfologia típica de relevo estrutural. As classes de erodibilidade existentes são forte e muito forte, com predomínio desta última.

3.1.2.11. Serra da Natividade (11)

Com uma área de 2.405,0 km² (2,6% da área total), a unidade Serra da Natividade encontra-se distribuída nos terrenos dos municípios de Chapada da Natividade, Porto Alegre do Tocantins, Almas, Pindorama do Tocantins e Natividade (Figura 3.13).

Apesar da pouca extensão, a Unidade Serra da Natividade destaca-se por estrutura dobrada e altitudes que chegam a atingir 800 m, na serra homônima. Encontra-se associada às áreas de ocorrência de litótipos do Grupo Natividade.

Os afluentes dos rios Balsas e Manuel Alves são a rede de drenagem que corta a unidade. Alguns dos afluentes desses rios, na estação seca, apresentam leitos secos e preenchidos por seixos e matacões de quartzo e quartzitos trabalhados.

A unidade mostra erodibilidades comuns de ambiente serrano: forte e muito forte. Os relevos são montanhosos e escarpados, com declives maiores ou iguais a 45%. Com predomínio de solos rasos e muito rasos, e afloramentos rochosos, a ecodinâmica da paisagem é *muito instável*. Os movimentos de massa são do tipo deslizamento, rastejamento e quedas de blocos.

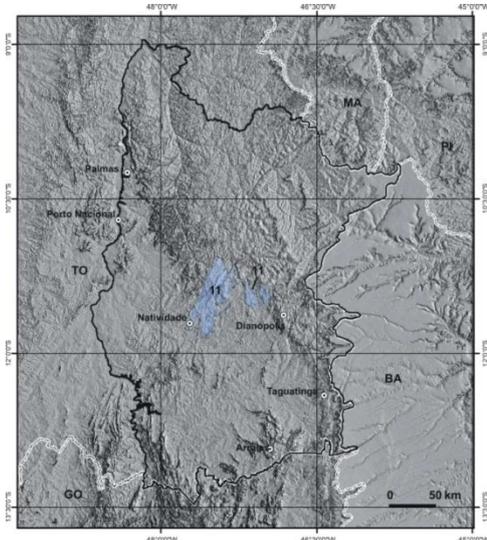


Figura 3.13. Unidade Serra da Natividade (11).

3.1.2.12. Serra Traíras ou da Palmas (12)

A unidade Serra Traíras ou da Palmas (Figura 3.14) tem apenas 949,3 km² (1,0% da área). Ela está restrita ao município de Paranã, já próximo à divisa com Goiás.

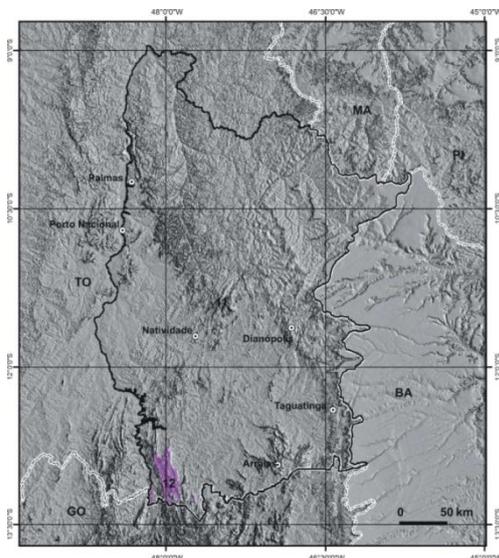


Figura 3.14. Unidade Serras Traíras ou da Palmas (12).

Na Serra Traíras, observa-se erodibilidade do tipo muito forte, onde estão instalados relevos montanhosos e escarpados, com declives maiores ou iguais a 45%.

A ecodinâmica da paisagem é *muito instável*, e são frequentes os movimentos de massa do tipo deslizamento, rastejamento e quedas de blocos.

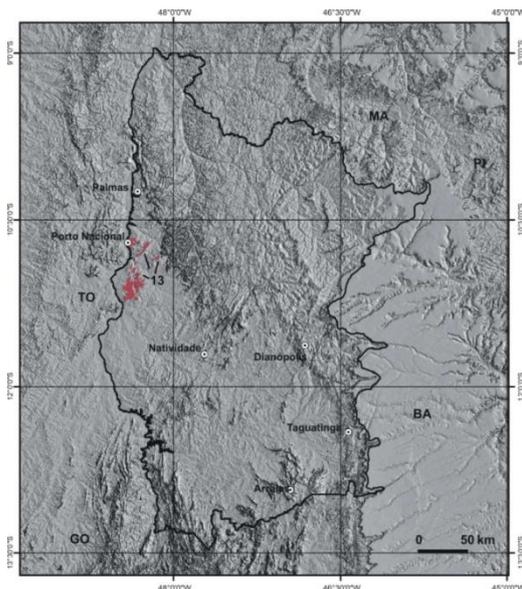
A Serra Traíras configura uma paisagem singular no extremo sul do Tocantins. As maiores altitudes são encontradas nesta unidade, alcançando pouco mais de 1.300 m. Com forte controle estrutural, a unidade mostra inteira associação com rochas da Formação Traíras e Complexo Almas-Cavalcante (gnaisse-migmatítica).

Dessa unidade, nascem importantes tributários pela margem esquerda do Rio Paranã. Ela apresenta-se dissecada por inúmeros cursos d'água que contêm vales fechados e com encostas íngremes.

3.1.2.13. Serras de Santo Antônio-João Damião (13)

Encontram-se distribuídas pelos terrenos dos municípios de Ipueiras do Tocantins, Monte do Carmo, Porto Nacional e Silvanópolis. É a unidade mais sem expressão, em termos de extensão. A unidade (Figura 3.15) está restrita a uma superfície de apenas 389,4 km² (0,4% da área total).

A unidade compreende o conjunto de relevos residuais de direção NE-SW, constituídos pelas serras de Santo Antônio (margem esquerda do Rio Tocantins), João Damião e Manoel do Carmo. As duas últimas serras estão nas proximidades de Porto Nacional.



A unidade Serras de Santo Antônio-João Damião caracteriza-se por um conjunto de formas de relevo de topos estreitos e alongados. O relevo está esculpido em rochas cristalinas e, eventualmente, em sedimentos, denotando controle estrutural, definidas por vales encaixados.

Figura 3.15. Unidade Serras de Santo Antônio-João Damião (13).

3.2. GEOLOGIA

3.2.1. Método de trabalho

O processo de preparação de uma base geológica para o projeto resulta da compilação de dados e informações provenientes: (i) das Cartas do Brasil ao Milionésimo do Serviço Geológico do Brasil - CPRM (SCHOBENHAUS *et al.*, 2004); (ii) do Banco de Dados do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - Censipam, cedido pela Secretaria do Planejamento do Estado do Tocantins (Seplan-TO); (iii) do Mapa de Geologia do Estado do Tocantins ao Milionésimo (IBGE, 2007b); (iv) Relatório do Projeto Hidrogeologia no Tocantins, Folha Palmas (FRASCA; ARAÚJO, 2001); (v) dados de Modelo Digital de Elevação do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) obtidos no Centro Nacional de Pesquisas e Monitoramento por Satélites (CNPM, 2009); (vi) de teses e dissertações de universidades, e artigos científicos.

Os dados cartográficos de geologia da CPRM e do Censipam disponíveis em meio digital (planos de informação) encontravam-se estruturados em Sistema de Informações Geográficas (ArcGIS), o que facilitou o uso para a montagem da base de dados geológicos do Projeto de Hidrogeologia. O Mapa Geológico do Estado do Tocantins do IBGE (2007) foi digitalizado (unidades e estruturas geológicas) e inserido na base de dados do projeto.

Os planos de informação da CPRM, Censipam e IBGE, contendo as unidades geológicas e estruturas, foram recortados para a área de interesse. Posteriormente, os planos de unidades geológicas dessas fontes foram superpostos, com o intuito de verificação da convergência entre os limites das unidades e a denominação delas em cada um dos planos. Os limites ora eram coincidentes, ora divergiam, assim como a nomenclatura. Para resolver essas questões e elaborar um mapa geológico em escala de 1:250.000, adotou-se: (i) reinterpretar os limites das unidades, com base em imagem Landsat 2007 ortorretificada e mosaicada, e nos dados topográficos do SRTM; (ii) manter as unidades cartografadas anteriormente pela CPRM, Censipam e IBGE, cujos perímetros fossem coincidentes com feições de imagens e SRTM; (iii) preservar a nomenclatura das unidades geológicas utilizada pela CPRM.

A reinterpretação geológica aconteceu mediante a aplicação dos conceitos e procedimentos de interpretação visual de imagens de Veneziani e Anjos (1982). Usaram-se, na reinterpretação, imagens de relevo sombreado do SRTM para melhorar a identificação das linhas de quebras de relevo e de topos. A incorporação das imagens relevo sombreado no processo foi consequência dos resultados obtidos por Crepani e Medeiros (2004), quando usaram imagens derivadas de modelo numérico de terreno do SRTM na fotointerpretação para geologia, geomorfologia e pedologia.

Ao final do processo de preparação da base geológica, chegou-se a um mapa com as unidades geológicas contendo limites ajustados às feições do terreno, por meio das imagens e dados SRTM, e uma nomenclatura para as unidades conforme CPRM (apêndices B e C). As estruturas geológicas resultaram da junção das estruturas constantes nos arquivos da CPRM, Censipam e IBGE. A legenda do mapa geológico seguiu o padrão de apresentação da CPRM, em termos de cores e simbologia das unidades, bem como para as estruturas geológicas.

3.2.2. Caracterização geológica

4.2.2.1. Condicionantes gerais

A área estudada tem uma extensão que equivale a 33,4% da superfície total do estado do Tocantins. Ela ocupa mais da metade da parte leste do estado (76,3%), ou seja, da área situada à direita da margem do Rio Tocantins. Percebe-se que a área apresenta terrenos associados a três províncias estruturais brasileiras (Figuras 4.16a e 4.16b): Tocantins, São Francisco e Parnaíba (ALMEIDA *et al.*, 1977; BIZZI *et al.*, 2003).

A Província Tocantins (ALMEIDA *et al.*, 1977) é uma entidade geotectônica, posicionada entre o Cráton São Francisco e o Amazônico. Compreende terrenos que se estendem pelos estados do Pará, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Suas maiores extensões são nos estados do Brasil central - Tocantins, Goiás e Mato Grosso. A província está representada por espessas sequências de rochas supracrustais dobradas e metamorizadas no ciclo Brasileiro; por terrenos de gnáissicos e migmatíticos com suítes graníticas

intrusivas; por seqüências metavulcanossedimentares intrudidas por granitos; e também por terrenos de granulitos.



Figura 3.16a. Limites das províncias estruturais segundo Almeida *et al.* (1977)

Fonte: Modificado de Gama/OIEAU (2007), p. 42.

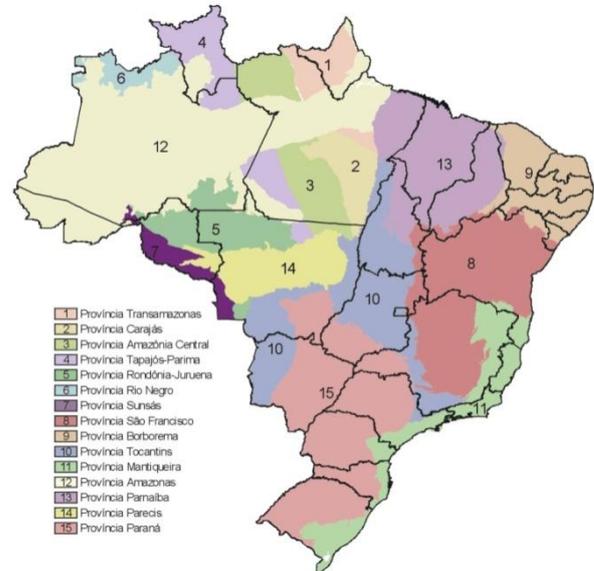


Figura 3.16b. Limites das províncias estruturais segundo BIZZI *et al.* (2003).

Fonte: BIZZI *et al.* (2003), p. xiii.

A província constitui um sistema de orógenos brasileiros, caracterizados por cinturões denominados de Brasília, Paraguai, Araguaia. Conforme Delgado *et al.* (2003), estas faixas de dobramentos e empurrões resultaram da convergência e colisão dos blocos continentais: a oeste - Cráton Amazonas; a leste - Província São Francisco (Cráton São Francisco); a sudoeste - Cráton Paranapanema, encoberto pelas rochas da Província Paraná.

Com base em informações geológicas, geocronológicas e gravimétricas, Delgado *et al.* (2003) propuseram uma compartimentação da Província Tocantins em oito domínios tectônicos, a saber: (1) *Terrenos Granito-Greenstone Arqueanos e Domos TTG^[*]* (Bloco Crixás-Goiás e Domo Gnáissico Colméia); (2) *Domínio Porto Nacional-Nova Crixás (remanescentes de Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico)*; (3) *Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia*; (4) *Complexos Máfico-Ultramáficos Acamadados de Crixás (Canabrava, Niquelândia e Barro Alto)*; (5) *Bacia Rifte Paleoproterozoica (grupos Araí-Serra da Mesa-Natividade)*; (6) *Remanescentes de Crosta Oceânica (Domínio Palmeirópolis-Juscelândia)*; (7)

[*] TTG = tonalítico-trondjemítico-granodioríticos.

Orógenos *Brasilianos* (faixas *Paraguai*, *Araguaia* e *Brasília*, e *Arco Magmático de Goiás*); e (8) *Terreno de Significado Tectônico Duvidoso* (Figura 3.17).

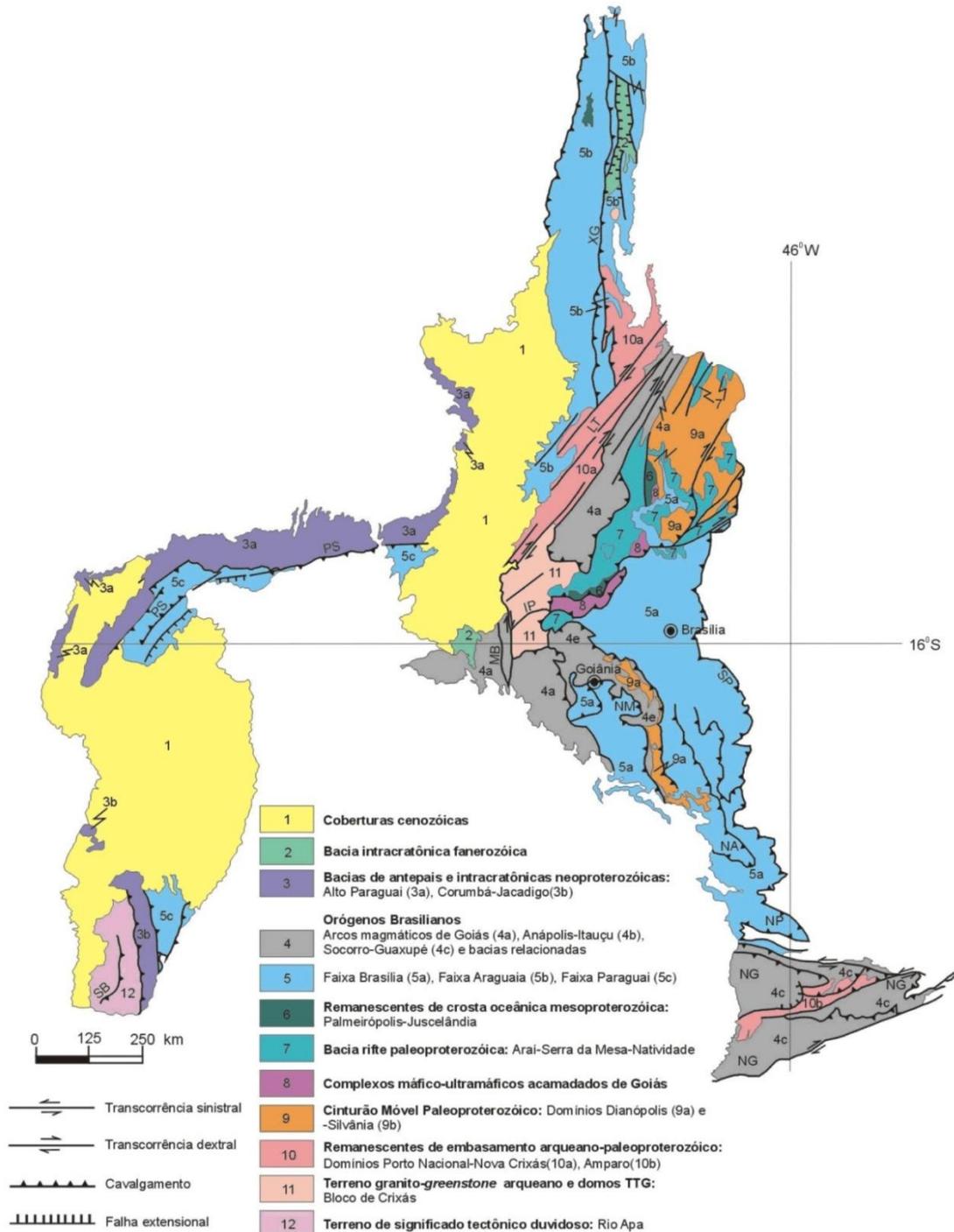


Figura 3.17. Província Tocantins.
Fonte: Delgado *et al.* (2003), p. 283.

A Província São Francisco é uma unidade tectônica que contém as rochas mais antigas do Brasil e da América do Sul (Delgado *et al.*, 2003). É uma região extensa, que abrange os estados de Tocantins e Goiás, e, sobretudo, Bahia e Minas Gerais.

Estável geologicamente, a província mostra, em seu interior, terrenos arqueanos, que foram soldados e transformados durante eventos paleo e neoproterozoico

A individualização da Província São Francisco se deu no interior da paleoplaca continental sul-americana, durante a orogenia Brasiliana, quando as inversões causadas pelas colisões ou fechamentos de bacias geraram cinturões orogênicos marginais que moldaram o antepaís do São Francisco (PEREIRA, 2007).

A Província São Francisco apresenta as seguintes confrontações: a oeste e sudoeste - Província Tocantins; a noroeste - Província Parnaíba; a nordeste - Província Borborema; a sudeste - Província Mantiqueira. Para Delgado *et al.* (2003), a Província São Francisco apresenta-se composta por dez domínios tectônicos: (1) *Bacias de margem passiva e de antepaís neoproterozoicas*; (2) *Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas*; (3) *Bacias Rifte/Transcorrentes Neoproterozoicas*; (4) *Bacia Intracratônica Mesoproterozoica*; (5) *Bacia Rifte Paleo-mesoproterozoica*; (6) *Plutonismo Intraplaca Paleoproterozoico*; (7) *Cinturões Paleoproterozoicos*; (8) *Terrenos Neoarqueanos*; (9) *Terrenos Granito-greenstone Arqueanos e Domos TTG*; (10) *Terrenos de Significado Tectônico Duvidoso* (Figura 3.18).

A Província Parnaíba é uma unidade geotectônica sedimentar, limitada, a norte, pelo Arco Ferrer; a leste, pela Falha de Tauá; a sudeste, pelo Lineamento Senador Pompeu; a oeste, pelo Lineamento Tocantins-Araguaia; e, a noroeste, pelo Arco Tocantins.

A unidade tectônica cobre completamente o estado do Maranhão, quase completamente o Piauí e cerca de metade do Tocantins. É composta por rochas sedimentares depositadas de maneira policíclica, compartimentada em bacias com gêneses, estilos tectônicos, preenchimento sedimentar e idades distintos (SILVA *et al.*, 2003). A província está dividida em quatro bacias sedimentares: (1) *Bacia do Parnaíba*; (2) *Bacia das Alpercatas*; (3) *Bacia do Grajaú*; (4) *Bacia do Espigão-Mestre* (Figura 3.19).

Das três províncias, a de maior extensão na área estudada é a Tocantins (44,4% da área, 41.206,4 km²), sendo seguida pela São Francisco (30,0% da área, 27.834,9 km²) e, posteriormente, pela Parnaíba (25,6% da área, 23.747,1 km²).

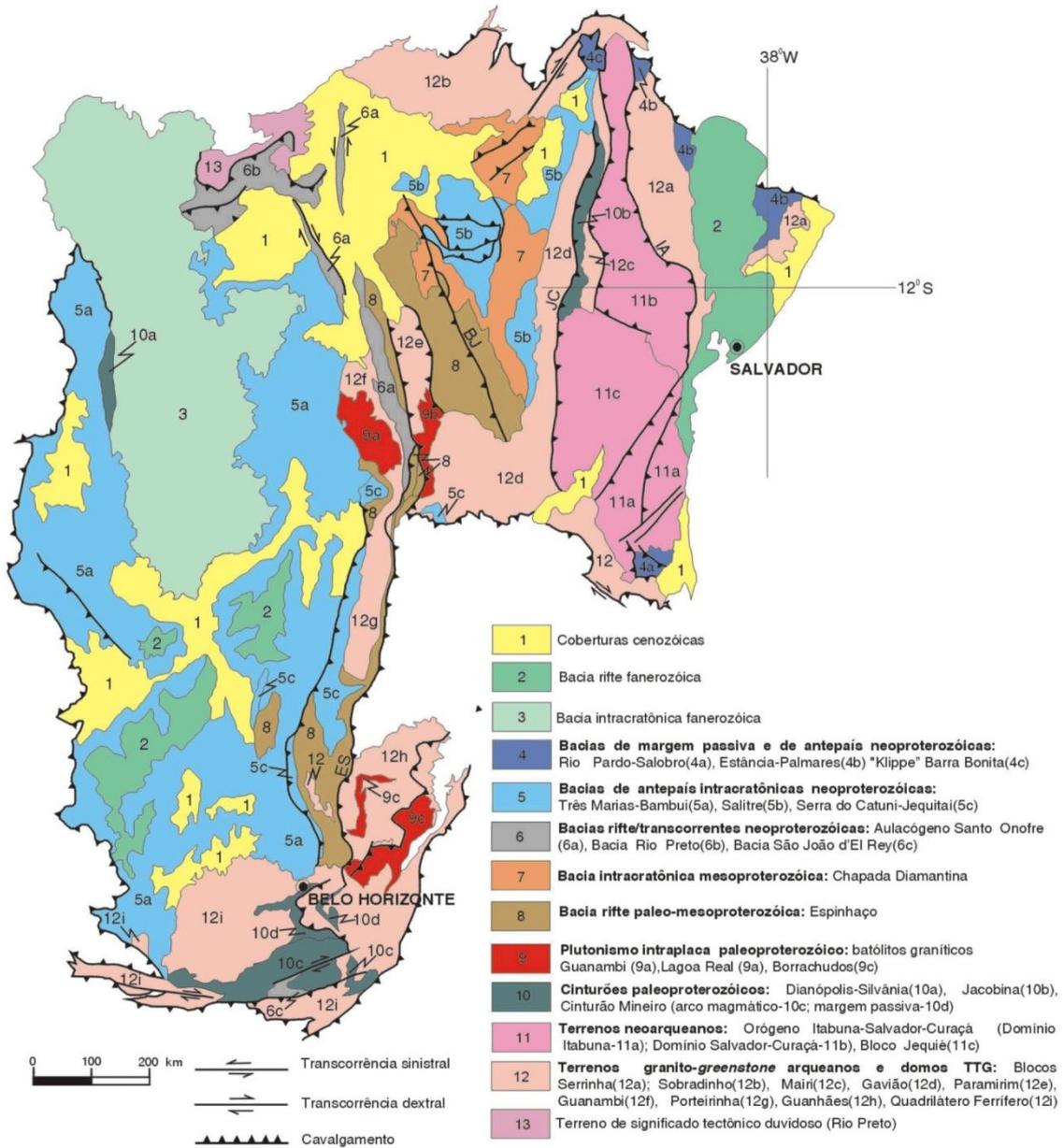


Figura 3.18. Província São Francisco.

Fonte: Delgado *et al.* (2003), p. 232.



Figura 3.19. Província Parnaíba.
Fonte: Silva *et al.* (2003), p. 68.

A Província Tocantins localiza-se nas partes centro e sul da área estudada, apresenta sete domínios tectônicos; a Parnaíba, na parte norte, contém apenas um domínio; e a São Francisco em todo segmento leste, representada por dois domínios. Os limites das províncias, na área estudada, podem ser visualizados por meio da Figura 3.20.

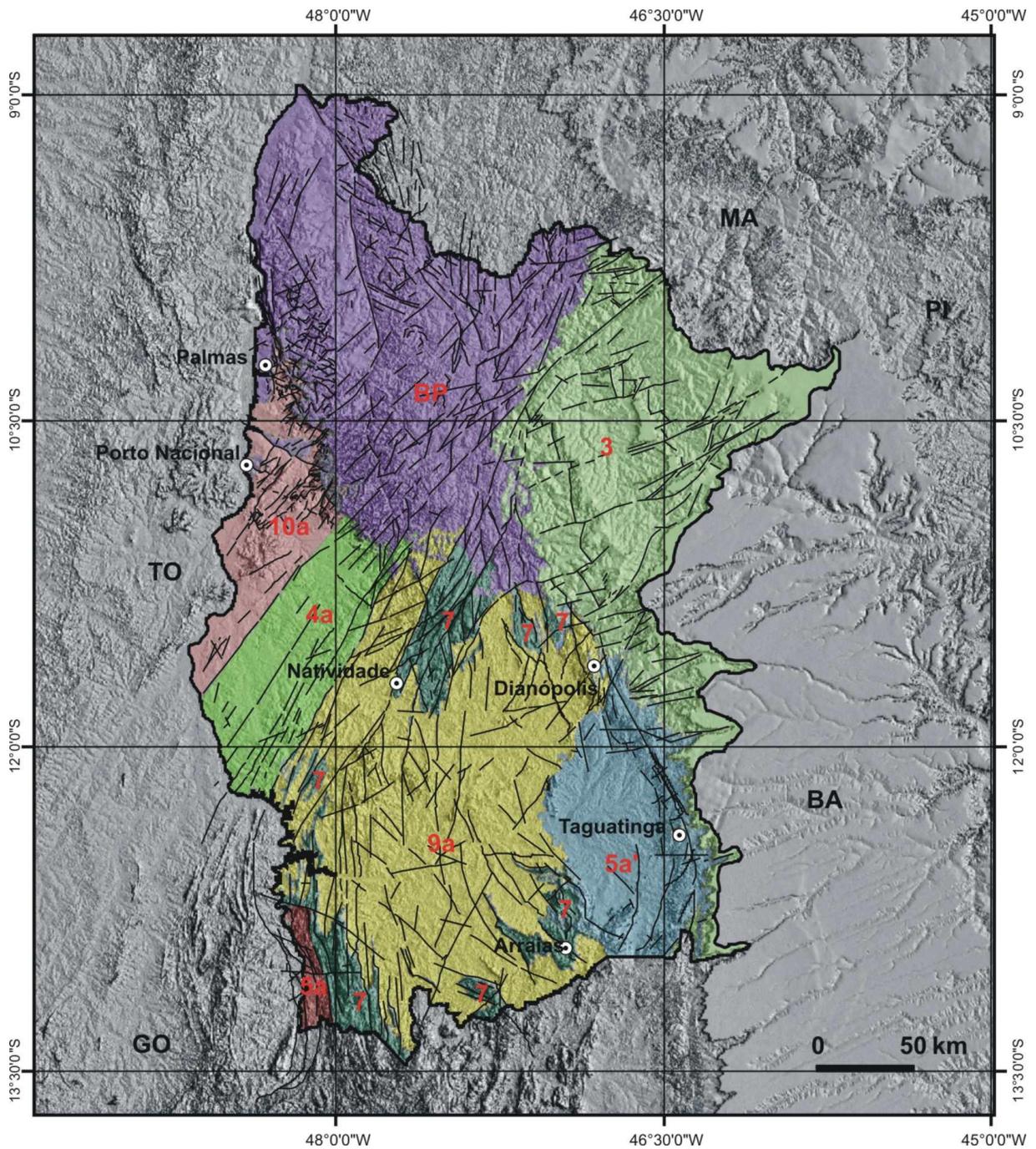


Figura 3.20. Limites e domínios das províncias estruturais dentro da área estudada. **Província Tocantins:** 4a - Orógenos Brasileiros (Arco Magmático de Goiás); 5a - Orógenos Brasileiros (Faixa Brasília); 7 - Bacia Rífte Paleoproterozoica (grupos Araí-Serra da Mesa-Natividade); 9a - Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia (Domínio Dianópolis); 10a - Remanescentes de Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico (Domínio Porto Nacional-Nova Crixás). **Província Parnaíba:** BP - Domínio Bacia do Parnaíba. **Província São Francisco:** 3 - Bacia Intracratônica Fanerozoica; 5a' - Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas (Três Marias-Bambu). Observação: Províncias e Domínios tectônicos sobre imagem relevo sombreado SRTM.

Para toda a área estudada, as estruturas encontradas mostram que as suas direções principais, em termos decrescentes de frequência absoluta, são: N30°-40°E, N20°-30°E, N40°-50°E e N50°-60°E. As direções N30°-40°E e N20°-30°E são destaque na Província Tocantins, enquanto as direções N30°-40°E e N40°-50°E predominam na Província Parnaíba. Na Província São Francisco, as duas direções dominantes das estruturas são N60°-70°E e a N70°-80°E, seguidas da direção N50°-60°E. As direções secundárias das estruturas observáveis em toda a área são N0°-10°W e N50°-60°W, ambas em evidência nas províncias Tocantins e Parnaíba (Figura 3.21).

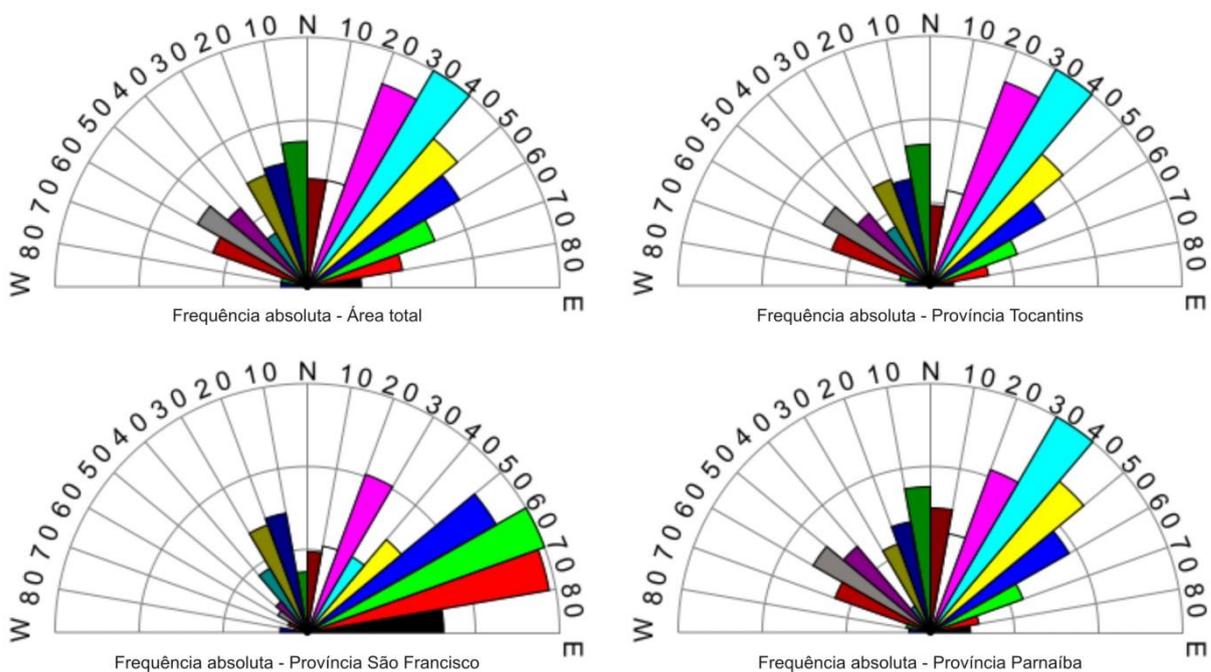


Figura 3.21. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada e para as províncias estruturais encontradas na área estudada.

3.2.2.2. Província Tocantins

No interior da área estudada, a Província Tocantins apresenta terrenos geológicos pertencentes aos domínios tectônicos: (1) *Remanescentes de Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico (Domínio Porto Nacional-Nova Crixás - 10a)*; (2) *Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia (Domínio Dianópolis - 9a)*; (3) *Bacia Rifte Paleoproterozoica (grupos Araí-Serra da Mesa-Natividade - 7)*; (4) *Orógenos Brasileiros (Faixa Brasília - 5a e Arco Magmático de Goiás - 4a)*.

A) Remanescentes de Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico (Domínio Porto Nacional-Nova Crixás - 10a)

O Domínio Porto Nacional-Nova Crixás localiza-se no noroeste da Província Tocantins. Encontra-se distribuído pelos terrenos dos municípios de Palmas, Porto Nacional, Monte do Carmo, Ipueiras, Silvanópolis, Santa Rosa do Tocantins, São Valério da Natividade e Peixe.

O domínio ocupa 5.044,4 km², correspondentes a 12,2% da área total da província. Alongado na direção NE-SW, o domínio é composto por rochas dos complexos Porto Nacional (PPgpn; PPgpn) e Rio dos Mangues (PP2 γ rm); Formação Monte do Carmo (PP23mca); Gabro Carreira Comprida (PP2 δ cc); Suíte Lajeado (NP3 γ 2).

O Complexo Porto Nacional (PPgpn) reúne dois conjuntos litológicos, um de ortogranulitos (PPgpn) formado por rochas máficas, intermediárias e félsicas, contendo enderbitos, metahornblenda gabronorito, charnoenderbitos e charnockitos, com variações de cores e granulometria; e outro de supracrustais (PPgpn), com gnaisses aluminosos, sillimanita-cianita gnaiss, granada gnaiss, kinzigitos e gonditos. Eles formam litótipos bandados e foliados em zona de cisalhamento transcorrente.

O Complexo Rio dos Mangues (PP2 γ rm) é uma associação de ortognaisses tonalíticos e granodioríticos, parcialmente migmatizados, proto a ultramilonitizados e intercalações tectônicas de rochas anfibolíticas e granulíticas (Frasca; Araújo, 2001).

Os tipos gnáissicos mais comuns e predominantes possuem granulação média a grossa. As litologias dessa unidade estão inseridas em um contexto de zonas de cisalhamento transcorrentes e compressionais.

A Formação Monte do Carmo (PP23mca) é constituída por conglomerados, arenitos arcoseanos, e sucessões de rochas vulcânicas afetadas por fraco metamorfismo (Gorayeb, 1996). As rochas vulcânicas são representadas por riolitos e dacitos e mais raramente andesitos, basaltos, rochas vulcanoclásticas e tufos vítreos fluidais (Gorayeb *et al.*, 1992).

O Gabro Carreira Comprida (PP2 δ cc) ou Anortosito Carreira Comprida (Gorayeb, 1996), constitui um plúton isolado, fortemente estruturado pelo cisalhamento dúctil

da zona de cisalhamento de Porto Nacional. A unidade é composta de metanortositos, metapiroxitos e metagabros miloníticos.

A Suíte Lajeado (NP3 γ 2) foi cartografada conforme Faraco *et al.* (2004), como sendo composta pelos granitos Lajeado, Carmo, Areias, Matança e Palmas. Chaves, Gorayeb e Moura (2008) redefiniram a Suíte Ipueiras como reunindo os plútons graníticos denominados de Areias, Ipueiras, Itália e do Carmo. Na área estudada, não aparecem os granitos Itália e Aroeira.

O Granito Areias (NP3 γ 2a) está localizado a sudeste da cidade de Porto Nacional tendo aproximadamente 18 km de extensão por 3 km de largura, com maior comprimento na direção N-S.

Petrograficamente são classificados como biotita monzogranitos leucocráticos, de cor cinza claro, granulação grossa, entretanto processos de cominuição, devido ao cisalhamento, reduziram a granulação para média a fina.

O Granito Ipueiras ou Lajeado (NP3 γ 2la) é representado por um corpo de dimensões batolíticas com 25 km de comprimento por 15 km de largura, localizado nos arredores da cidade de Ipueiras e próximo a Porto Nacional.

Os litótipos predominantes são hornblenda-biotita sienogranitos e hornblenda-biotita-quartzo sienitos. São rochas faneríticas de granulação grossa ou média, leucocráticas de coloração cinza claro com tons azulados.

O Granito do Carmo (NP3 γ 2cr) é representado por um corpo principal maior, com dimensões de 15 x 5 km e outras duas exposições ocorrem a sudoeste do corpo principal, em janelas erosivas em meio a coberturas recentes.

O plúton aflora nas encostas desnudas da Serra do Carmo, em morrotes, como amontoados de blocos isolados e em lajedos aplainados.

Petrograficamente são rochas de granulação grossa, equigranulares, de coloração rósea, predominantemente, variando para cinza-esbranquiçada, leucocráticas com variações holo-leucocráticas que podem ser classificados como biotita-hornblenda sienogranitos e hornblenda monzogranitos.

O Granito do Carmo apresenta, em certos locais, zonas miloníticas e cataclásticas, com veios de quartzo auríferos de variadas dimensões.

O Granito Matança (NP3γ2mt) ocorre nas imediações das Palmas e é constituída de meta-monzogranitos, metagranodioritos e metasiénogranitos.

Em geral, são rochas leucocráticas de coloração rosa, com granulação média a grossa, e mais fina em faixas miloníticas. O aspecto marcante é o bandamento gnáissico e foliação milonítica impressa em grande parte de seus tipos (Frasca; Araújo, 2001).

O Granito Palmas (NP3γ2p) encontra-se nos arredores de Palmas, em morros e pequenas serras por toda borda e encostas da Serra do Carmo e ao longo da TO-030, nas cidades de Taquaralto, Taquarussú e Palmas.

É um corpo batolítico sob os sedimentos das formações Serra Grande e Pimenteirias, predominantemente representado por hornblenda granitos de cor marrom-escuro e rosa, de granulação grossa, leucocráticos. Sua composição principal é sienogranito com variações de quartzo sienito (Gorayeb, 1996).

A estruturação do domínio Porto Nacional-Nova Crixás concentra-se em três direções N30°-40°E, N40°-50°E e N50°-60°W.

A zona de cisalhamento Porto Nacional (Gorayeb, 1996), próximo a cidade homônima, com largura em torno de 20 km, apresenta uma trama milonítica forte, misturação de conjuntos litológicos.

As estruturas planares ao longo da zona de cisalhamento têm direções que variam entre N30°-55°E, e mergulhos para SE entre 55 e 80°.

De acordo com Delgado *et al.*, (2003), na direção N20°-30°E, observa-se um sistema transcorrente de natureza dúctil-rúptil, com componente de movimento dextral ao longo dessa direção, subparalelo ao *trend* do Lineamento Transbrasiliano, uma zona de sutura que apresenta direção geral N30°E (Marini *et al.*, 1984; Costa *et al.*, 1988) e formada provavelmente ao final do Ciclo Brasileiro.

A Figura 3.22 mostra a localização e distribuição do Domínio Remanescentes de Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico (Domínio Porto Nacional-Nova Crixás), e os diagramas em rosetas com as direções das estruturas tectônicas.

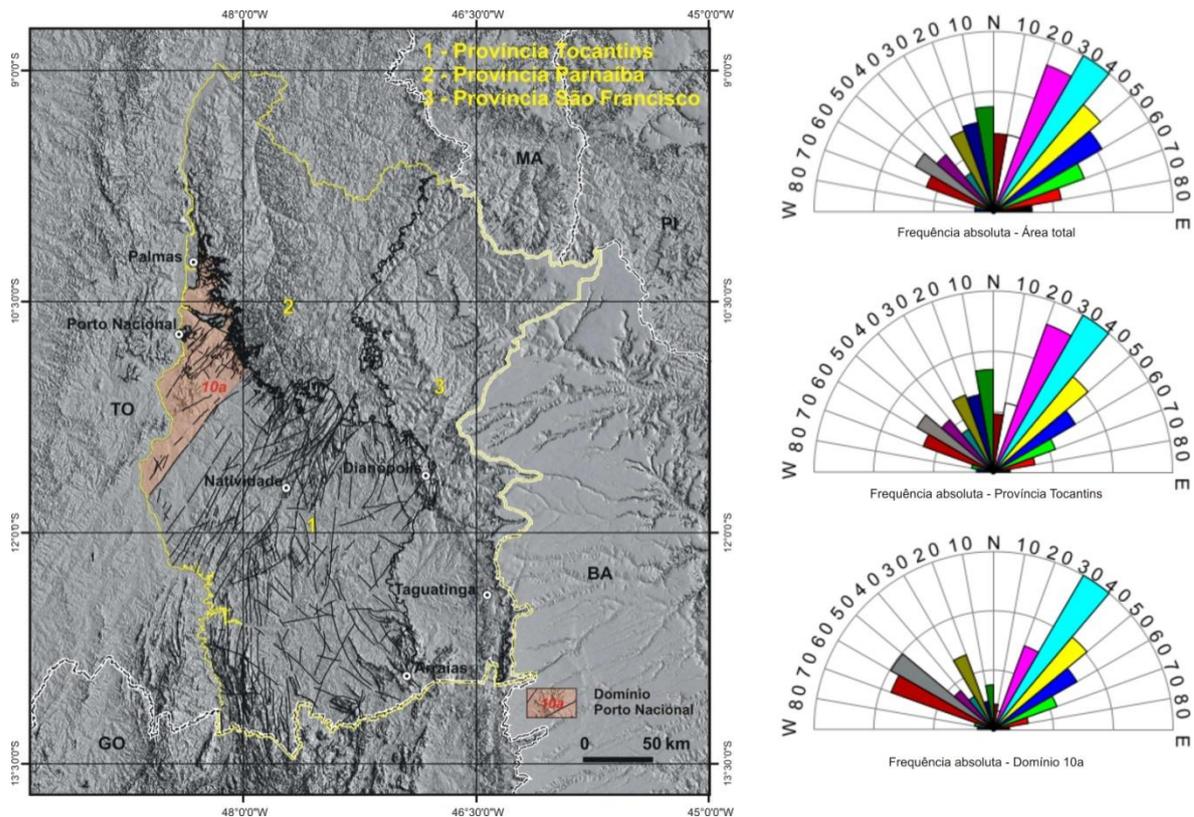


Figura 3.22. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Província Tocantins e Domínio Remanescentes de Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico (Domínio Porto Nacional-Nova Crixás). *Observação:* Províncias e Domínio Remanescentes de Embasamento Arqueano/Paleoproterozoico (Domínio Porto Nacional-Nova Crixás - 10a) sobre imagem relevo sombreado SRTM.

B) Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia (Domínio Dianópolis - 9a)

Para Delgado *et al.* (2003), a Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia é um segmento de crosta continental, e serviu de embasamento da Faixa Brasília. Na área estudada, a faixa móvel está representada pelo Domínio Dianópolis que se estende no sentido NS, no centro da Província Tocantins. O domínio compreende terrenos dos municípios de Pindorama do Tocantins, Chapada da Natividade, Natividade, São Valério da Natividade, Peixe, Paranã, Almas, Porto Alegre do Tocantins, Dianópolis, Conceição do Tocantins, Taipas do Tocantins, Aurora do Tocantins e Lavandeira. A extensão desse domínio é a maior na Província Tocantins, são 23.551,5 km² equivalentes a 57,2% da área total da província.

O domínio encerra as unidades geológicas: (i) complexos de ortognaisses graníticos Almas-Cavalcante (PP12); (ii) sequência metavulcanossedimentar (Grupo Riachão

do Ouro - PP1ro); Formação Ticunzal (PP3tz); (iii) rochas intrusivas máfico-ultramáficas Tipo Gameleira (PP μ); (iv) granitóides intrusivos (Suíte Serra do Boqueirão - PP γ sb).

O Complexo Almas-Cavalcante (PP12) é a unidade predominante nesse domínio, cerca de 90% da área total do domínio. O complexo é constituído por duas unidades de gnaisses tonalítico-trondhjemítico-granodioríticos (TTG): uma de Ortognaisse Granítica (PP12gr) contendo tonalito, trondhjemito, granodiorito, monzogranito e biotita granito; e outra de Ortognaisse Migmatítica (PP12gm) com litótipos, como gnaiss migmatítico, enclaves de anfibolito, tonalito, granodiorito, trondhjemito, quartzo-monzo-diorito, quartzo-diorito. As duas unidades são intrudidas por corpos de graníticos.

A sequência metavulcanossedimentar, Grupo Riachão do Ouro (PP1ro), é composta por duas formações Córrego Paiol e Morro do Carneiro (Cruz; Kuyumjian, 1998). A primeira constitui-se de rochas vulcânicas máficas (metabasaltos) e raras ocorrências de rochas vulcânicas ultramáficas. A segunda formação contém uma sequência de filito sericítico com intercalações de formação ferrífera bandada (BIF), quartzito, metachert, conglomerado e metavulcância félsica.

A Formação Ticunzal (PP3tz) tem ocorrências no município de Arraias. A formação cobre duas áreas pequenas, pouco expressivas. Suas litologias são micaxistos com grafita, grafita xistos, muscovita xistos, sericita xistos e sericita-clorita xistos, micaxistos com granada e tremolita xistos.

Próximo a Dianópolis, encontram-se as Intrusivas Máfico-Ultramáficas Tipo Gameleira (PP μ), com os seguintes litótipos: metagabro, metamafito, anfibolito, metapiroxenito, metaperidotito e serpentinito (Souza *et al.*, 2004).

A Suíte Serra do Boqueirão (PP γ sb) encerra rochas graníticas intrusivas dos tipos: tonalitos, granodioritos e granitos (Souza *et al.*, 2004).

Na Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia, no domínio do Complexo Almas-Cavalcante, a deformação apresenta natureza dúctil e dúctil-rúptil, materializada em três sistemas principais de zonas de cisalhamentos transcorrentes de alto ângulo, com direções N10-20°W, N0-20°E e N20-30°E, balizadas por faixas de milonitos e ultramilonitos (Figura 3.23). Essas direções também são evidenciadas nas rochas da sequência metavulcanossedimentar, sendo as zonas de cisalhamento

com movimentação dextral instaladas na direção principal N20-30°E, e subsidiárias N0-10°E e N10-20°W (Alvarez, 2006).

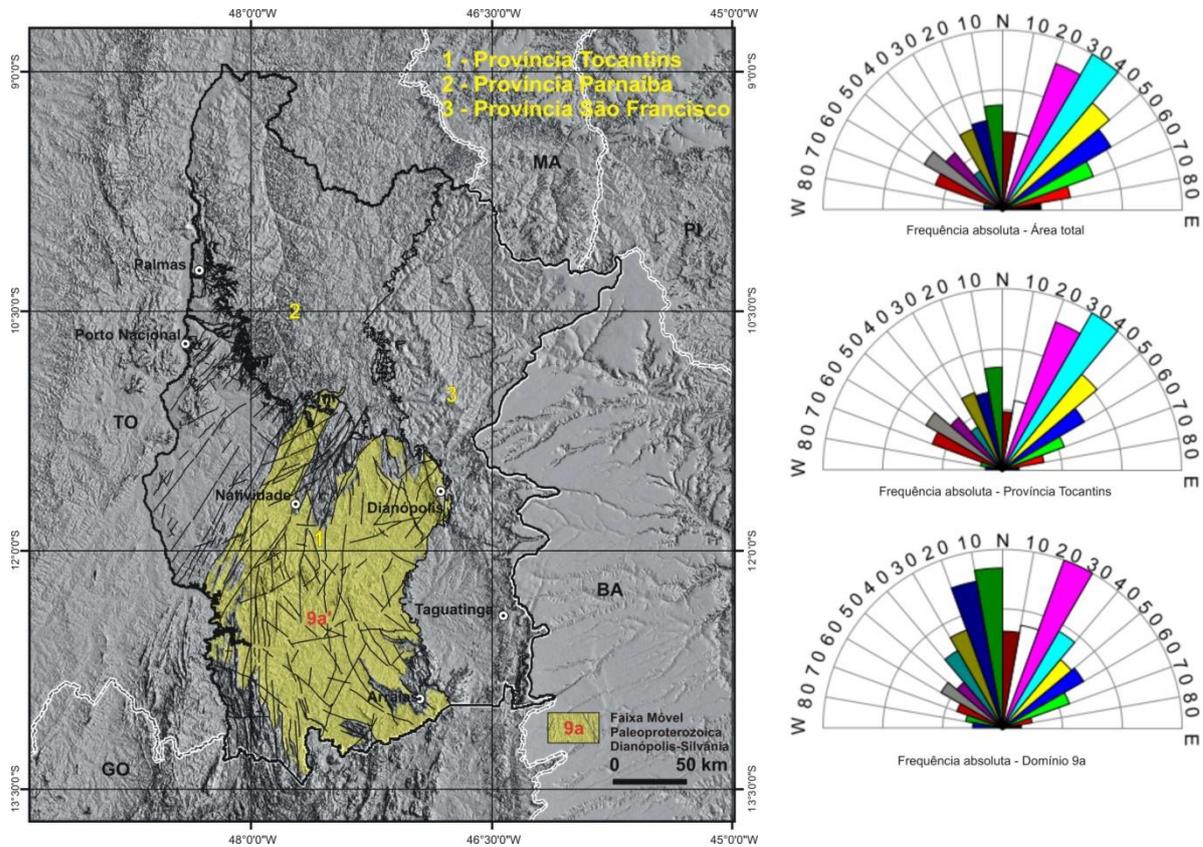


Figura 3.23. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Província Tocantins e Domínio Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia (Domínio Dianópolis - 9a). *Observação: Províncias e Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia (Domínio Dianópolis - 9a) sobre imagem relevo sombreado SRTM.*

C) Bacia Rifte Paleoproterozoica (grupos Araí-Serra da Mesa-Natividade - 7)

O Domínio Bacia Rifte Paleoproterozoica desenvolveu-se mediante a fragmentação da crosta continental e geração de bacias rifte paleo a mesoproterozoicas, representadas pelas rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares dos grupos Araí, Natividade, Serra da Mesa e Serra Dourada (Delgado *et al.*, 2003). Na área estudada, o Domínio Bacia Rifte Paleoproterozoica está disperso nos terrenos dos municípios de Pindorama do Tocantins, Natividade, São Valério da Natividade, Peixe, Paranã, Porto Alegre do Tocantins, Almas, e Arraias. Com 5.515,0 km², esse domínio ocupa 13,4% da área da Província Tocantins.

O Grupo Araí contém as formações Arraias (PP4a) e Traíras (PP4t), e é um espesso pacote de rochas metassedimentares depositadas sobre uma superfície erosiva em

discordância com embasamento paleoproterozoico. Sua parte inferior, a Formação Arraias (PP4a) é um pacote com predomínio de metassedimentos associados a metavulcânicas ácidas e intermediárias (FRASCA; ARAÚJO, 2001). A base da formação é composta pelas rochas vulcânicas (riodacitos, andesitos, dacitos e riolitos), que se intercalam com termos metassedimentares. A componente metassedimentar é formada por metarenitos, metaconglomerados, quartzitos (com estratificação plano-paralela, cruzada e até acanalada) e quartzitos conglomeráticos. A sequência superior, denominada Formação Traíras (PP4t), constitui-se de metassiltito, filito, calcixistos, clorita xisto, quartzito e lentes de metacalcário e metadolomito (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

O Grupo Serra da Mesa, conforme Lacerda Filho *et al.* (2004), encerra as unidades A (basal) e B (superior). Apenas a Unidade B (PP4smb) aparece na área estudada, sendo composta de litologias como micaxistos com granada, estauroлита e cianita, com intercalações de quartzitos finos, xistos grafitosos e calcixistos com lentes de mármore grosseiros impuros e camadas de xisto grafitoso (Marini *et al.*, 1984; Lacerda Filho *et al.*, 2004).

O Grupo Natividade (PP4n) constitui uma sequência de metassedimentos de baixo grau, predominando quartzitos puros e micáceos, com pequenas intercalações de metaconglomerados e ardósias. Também inclui níveis carbonáticos dolomíticos. Estruturas primárias, como estratificações cruzada de pequeno porte e plano-paralela e marcas de onda, são frequentes nessa sequência (Gorayeb, 1996). Lacerda Filho *et al.* (2004) apresentaram o Grupo Natividade formado por duas unidades (A e B). A unidade A (PP4na) é basal e comporta rochas como quartzito conglomerático, quartzito xisto, filito e mármore. A unidade B (PP4nb) é a unidade superior e está cartografada contendo litologias do tipo sericita quartzito.

No Domínio Bacia Rifte Paleoproterozoica (Figura 3.24), percebe-se que as estruturas estão orientadas nas direções N0-10°W, N20-30°E, N10-30°E. A direção N-S, com variações para NNE e NNW, em geral, caracterizam zonas de cisalhamentos contracionais dúcteis, reativadas em regime dúctil-rúptil como transcorrências dextrais (NS e NNE) e sinistrais (NNW), durante as orogêneses brasileiras. Na região de Almas-Cavalcante, cavalgam quartzitos basais do Grupo Araí, bem como rochas metassedimentares do Grupo Natividade, em ambos os casos por meio de falhas inversas (DELGADO *et al.*, 2003). Nas bordas das Serras

Natividade e Pindorama, o Grupo Natividade apresenta uma sequência de dobras anticlinais e sinclinais suaves e amplas, de eixos com caimento para NNE com baixos valores, subparalelas às grandes falhas transcorrentes dextrais.

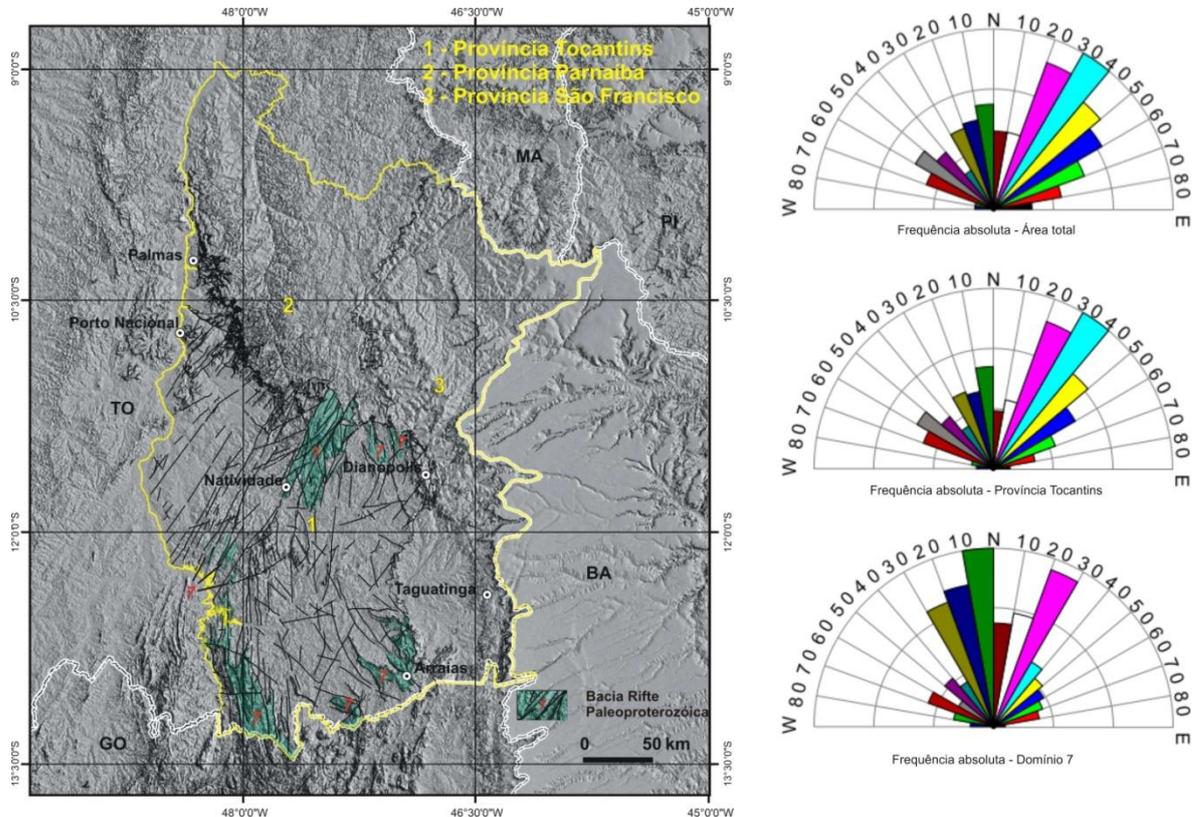


Figura 3.24. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Província Tocantins e domínio Bacia Rifte Paleoproterozoica (grupos Ará-Serra da Mesa-Natividade - 7). *Observação: Províncias e Domínio Bacia Rifte Paleoproterozoica (grupos Ará-Serra da Mesa-Natividade - 7) sobre imagem relevo sombreado SRTM.*

D) Orógenos Brasileiros

- **Faixa Brasília (5a)**

Na área estudada, a Faixa Brasília mostra pouca expressão, em termos de extensão. Ela restringe-se aos terrenos do município Paranã, parte sudoeste. A faixa tem uma área de apenas 714,5 km², esse domínio ocupa 1,7% da área da Província Tocantins.

Em termos de unidades estratigráficas, a Faixa Brasília exhibe rochas do Grupo Paranoá e Complexo Rio Maranhão (Lacerda Filho *et al.*, 2004). O Grupo Paranoá (MPpa) encerra quatro unidades (Lacerda Filho *et al.*, 2004), sendo cartografadas na

área estudada, as unidades Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária (MPpa3) e Unidade Rítmica Pelito-Carbonática (MPpa4). Para esses autores, a Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária (MPpa3) contém intercalações de metassiltito e metargilito, e raras intercalações de metarenito grosso, exibindo marcas onduladas, estratificação cruzada tabular acanalada, espinha de peixe e estrutura tipo *hummocky*. A Unidade Rítmica Pelito-Carbonática (MPpa4) encerra metassiltitos, metargilitos, quartzitos finos feldspáticos, com estrutura tipo *hummocky*, ardósias, calcifilitos, lentes de metacalcário (cc) com estromatólitos *Conophyton*, metadolomitos e mármore (mm).

O Complexo Rio Maranhão é formado por biotita gnaisses, metatonalitos, metaquartzo-dioritos, metadioritos, metagranodioritos, anfibolitos, talco xistos e rochas metassedimentares.

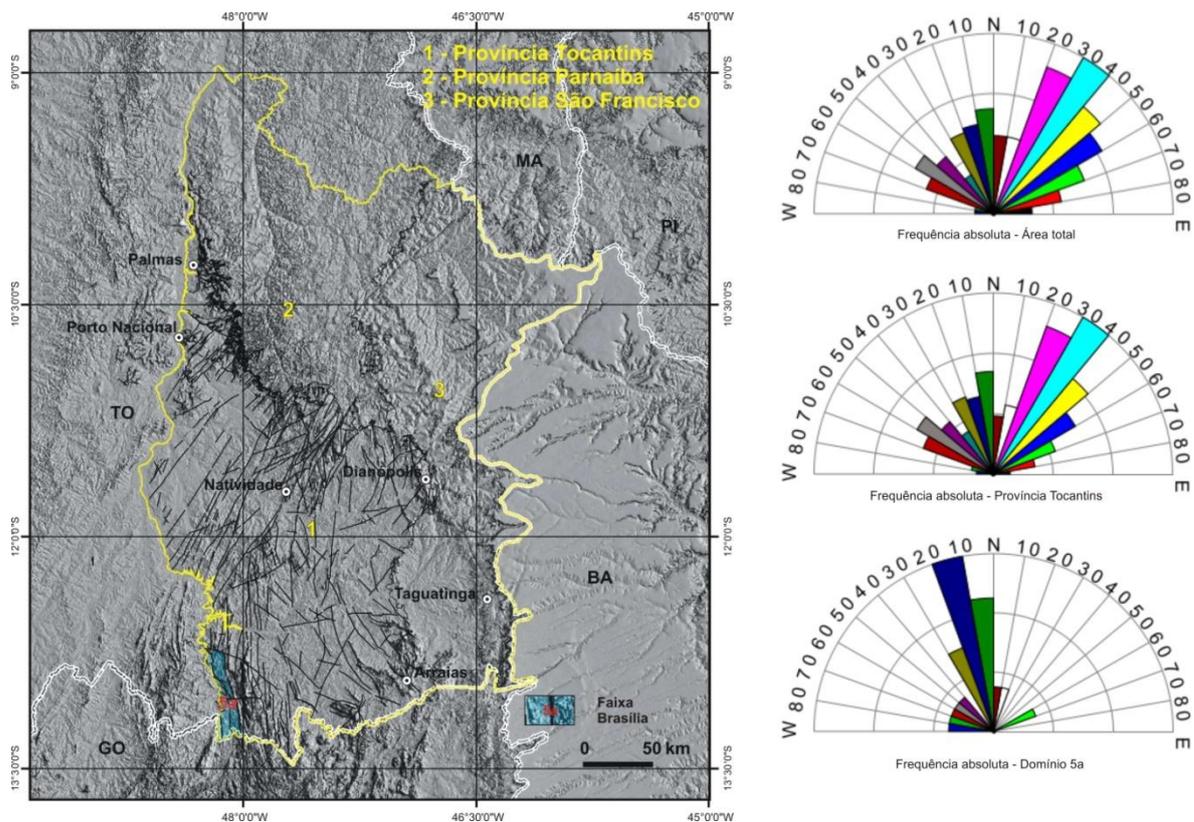


Figura 3.25. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Província Tocantins e Domínio Orógenos Brasileiros (Faixa Brasília - 5a).

Observação: Províncias e Domínio Orógenos Brasileiros (Faixa Brasília - 5a) sobre imagem relevo sombreado SRTM.

A estruturação das rochas do domínio (Figura 3.25) pertence ao compartimento Zona Externa da Faixa Brasília e mostra, como direções preferenciais, N0-10°W, N10-20°W, N20-30°W, associadas ao Sistema Maranhão (dobras e empurrões em torno de NS). Ocorrem zonas de cisalhamentos contracionais com cavalgamentos dirigidos para leste (Cráton São Francisco).

- **Arco Magmático de Goiás (4a)**

O Domínio Arco Magmático de Goiás abrange terrenos dos municípios de Porto Nacional, Silvanópolis, Santa Rosa do Tocantins, São Valério da Natividade e Peixe. Apresenta-se como uma faixa de largura em torno de 40 km e disposta na direção SW-NE.

O domínio ocupa uma superfície de 6.381,0 km², correspondente a 15,5% da área total da província.

As unidades estratigráficas encontradas nesse domínio são, os Ortognaisses do Oeste de Goiás e a Suíte Santa Tereza.

Os Ortognaisses do Oeste de Goiás (NP1γ1gn) equivalem a biotita gnaisses de composição granítica a tonalítica (Faraco *et al.*, 2004; Lacerda Filho *et al.*, 2004).

A Suíte Santa Tereza (NP3γ2st) é formada por plútons graníticos intrusivos nos Ortognaisses do Oeste de Goiás. Caracteriza-se por biotita granitos, álcali-granitos porfíricos, leucogranitos e tonalitos (Faraco *et al.*, 2004; Lacerda Filho *et al.*, 2004).

A Suíte Santa Tereza (NP3γ2st) é formada por plútons graníticos intrusivos nos Ortognaisses do Oeste de Goiás. Caracteriza-se por biotita granitos, álcali-granitos porfíricos, leucogranitos e tonalitos (Faraco *et al.*, 2004; Lacerda Filho *et al.*, 2004).

As estruturas encontradas para esse domínio (Figura 3.26) têm como direções principais N20-30°E e N30-40°E. Em tais direções, estão instaladas zonas de cisalhamentos transcorrentes dextrais, subparalelas ao *trend* do Lineamento Transbrasiliano.

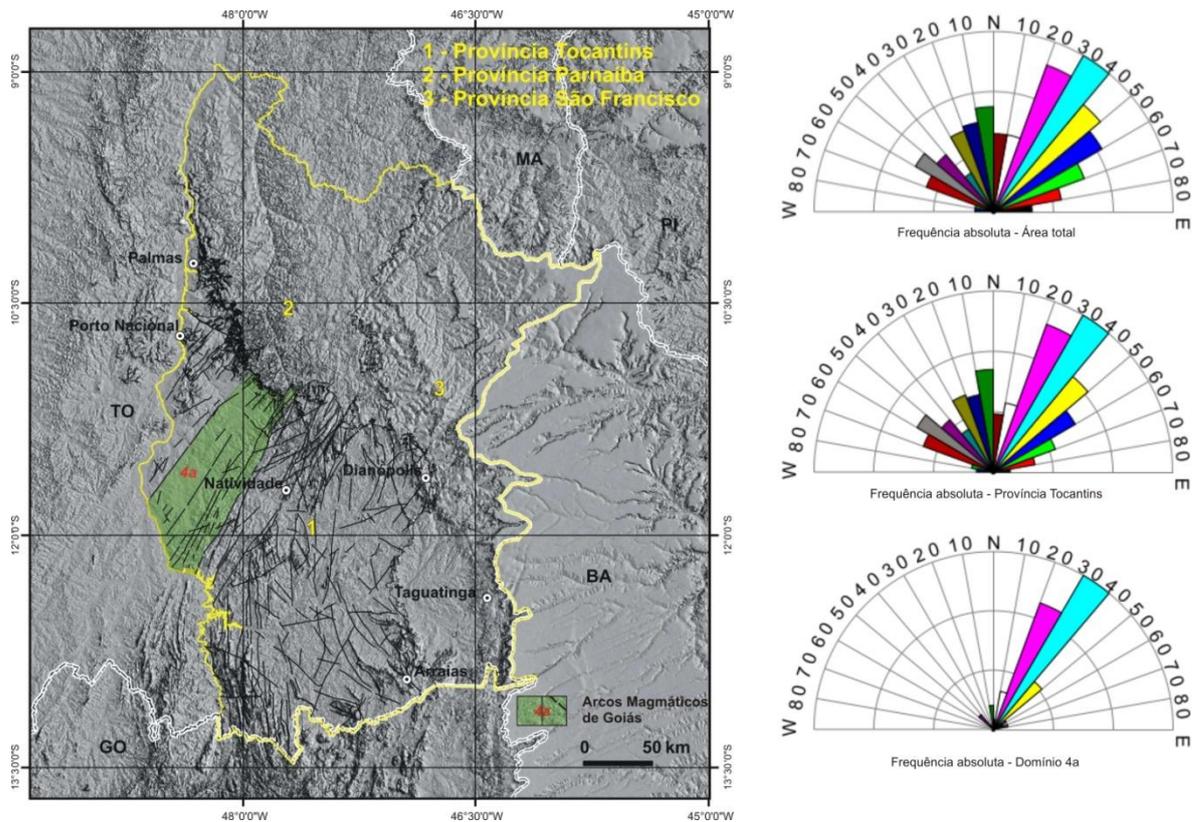


Figura 3.26. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Proíncia Tocantins e Domínio Orógenos Brasilianos (Arco Magmático de Goiás - 4a). *Observação:* Províncias e Domínio Orógenos Brasilianos (Arco Magmático de Goiás - 4a) sobre imagem relevo sombreado SRTM.

3.2.2.3. Provincia São Francisco

De todos os domínios tectônicos que compartimentam a Provincia São Francisco, apenas um é encontrado na área estudada, o Domínio Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas (Três Marias-BambuÍ - 5a).

A) Domínio Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas (Três Marias-BambuÍ - 5a)

De acordo com Delgado *et al.* (2003), as áreas deprimidas geradas na Provincia São Francisco durante o Neoproterozoico são sítios de bacias sedimentares repositórias das rochas que compõem os grupos Santo Onofre, Estância, Rio Pardo e Rio Preto e o Supergrupo São Francisco. Ainda conforme Delgado *et al.* (2003), o Supergrupo São Francisco encerra, na base, as formações Bebedouro e as unidades acumuladas em bacias de antepaís/intracratônicas: (i) Formação Salitre (unidades Nova América, Gabriel, Jussara e Irecê); (ii) Grupo Bambuí (formações Jequitaí,

Sete Lagoas, Serra de Santa Helena Santa Helena; Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias).

Na área estudada, destacam-se os sedimentos carbonáticos e terrígenos do Grupo Bambuí, das formações Sete Lagoas (NP2sl), Serra de Santa Helena (NP2sh) e Lagoa do Jacaré (NP2lj). O Domínio Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas (Três Marias-Bambuí - 5a) concentra-se no sul da Província São Francisco, distribuindo-se pelos terrenos dos municípios de: Dianópolis, Novo Jardim, Taipas do Tocantins, Ponte Alta do Bom Jesus, Taguatinga, Aurora do Tocantins, Lavandeira, Arraias, Combinado e Novo Alegre do Tocantins. A sua extensão é de 8.032,6 km², perfazendo 28,9% da área total da província.

Na base do Grupo Bambuí, está a Formação Sete Lagoas, constituída por espessos pacotes de pelitos, calcários e dolomitos contendo localmente estruturas algais estromatolíticas. Segundo Dardenne (2000), a Formação Sete Lagoas (NP2sl) consiste de sedimentos pelíticos-carbonatados, com granulação mais grossa em direção ao topo, com pelitos e calcilutito cinza escuro a preto na base, passando para calcário e dolomito no topo (megaciclo I de sedimentação Bambuí). Também representam a Formação Sete Lagoas, metasilexites (NP2slx).

A Formação Sete Lagoas acha-se sobreposta pelos folhelhos e siltitos laminados cinza a cinza esverdeados da Formação Serra de Santa Helena (NP2sh). Esse conjunto carbonático-pelítico é sobreposto por calcarenitos pretos e margas, ricos em matéria orgânica e siltitos da Formação Lagoa do Jacaré (NP2lj). Calcários individualizados foram cartografados por Souza *et al.* (2004) como pertencentes à Formação Lagoa do Jacaré (NP2ljc). As formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré constituem o segundo megaciclo de sedimentação Bambuí.

Souza *et al.* (2004) mostram cartograficamente o Subgrupo Paraopeba (NP2bp) indiviso como sendo constituído de calcarenito, dolomito, ritmito, marga, calcarenito odoroso, silitito e arcóseo.

A estruturação principal desse domínio (Figura 3.27) mostra as direções N20-30°W, N70-80°E e N10-20°W. Essas direções devem estar associadas a episódios das deformações relacionadas às orogêneses do Ciclo Brasileiro.

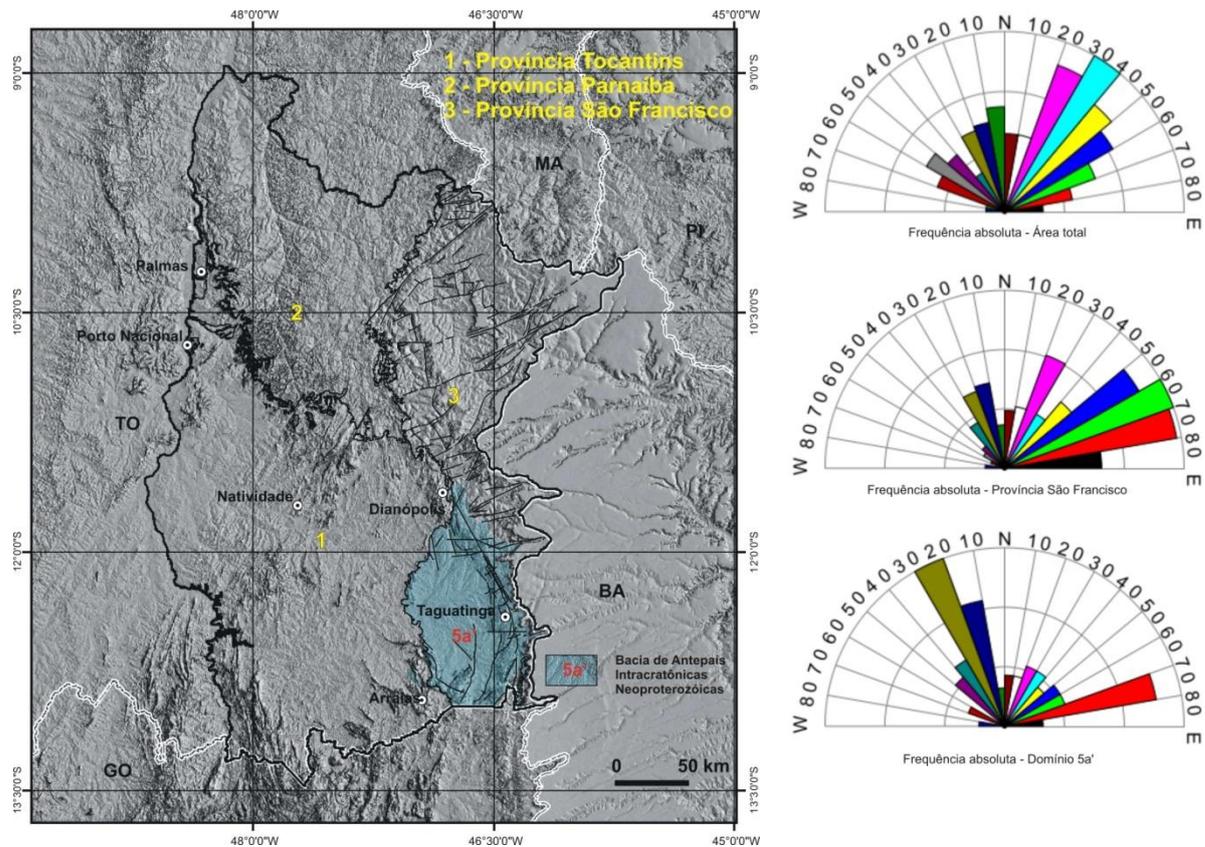


Figura 3.27. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Província São Francisco e Domínio Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas (Três Marias-BambuÍ - 5a). *Observação: ProvÍncias e DomÍnio Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas (Três Marias-BambuÍ - 5a) sobre imagem relevo sombreado SRTM.*

- **Bacia Intracratônica Fanerozoica**

A Província São Francisco mostra como um de seus compartimentos a Bacia Intracratônica Fanerozoica. Esse compartimento, no Tocantins, equivale à Bacia Sanfraciscana, cuja área total atinge 150.000 km² de área, e entra nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais. A bacia divide-se em duas unidades por diferenças tectônicas, estratigráficas e ambientais: Sub-bacia Urucuia (ao norte) e Sub-bacia Abaeté (ao sul). A Bacia Sanfraciscana está desenvolvida sobre rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba; litologias neoproterozoicas clásticas e carbonáticas do Grupo Bambuí; unidades estratigráficas da zona externa da Faixa Brasília e rochas granito-gnáissicas e xistosas; e na parte sul da bacia, nas seqüências de metassedimentos dos grupos Canastra e Araxá.

As rochas vulcanossedimentares que preenchem a bacia estão reunidas em quatro grupos e uma formação, separados por discordâncias (grupos Santa Fé, Areado, e Urucuia-Mata da Corda interdigitados entre si, e a Formação Chapadão - Delgado et

al., 2003). Na área estudada, a Bacia Sanfranciscana mostra-se contendo rochas do Grupo Urucuia. O grupo distribui-se sobre os terrenos dos municípios de Lizarda, São Félix do Tocantins, Mateiros (maior cobertura), Ponte Alta do Tocantins, Almas, Rio da Conceição, Novo Jardim, Ponte Alta do Bom Jesus, Taguatinga, Aurora do Tocantins, Lavandeira, Combinado e Novo Alegre do Tocantins. A área de abrangência do Grupo Urucuia é de 19.802,3 km², ou seja, 71,1% da extensão total da Província São Francisco.

Não foi possível apresentar cartograficamente o Grupo Urucuia, separando-o nas formações Posse (basal) e Serra das Araras (superior), conforme o subdividem Campos e Dardenne (1997). Apresentou-se cartograficamente o Grupo Urucuia (Kcu) sem divisão, de acordo com Souza *et al.* (2004) e Vasconcelos *et al.* (2004). Esses autores atribuem ao grupo: arenitos com estratificação cruzada de grande porte; arenitos conglomeráticos; pelitos; arenitos com níveis de pelitos; arenitos conglomeráticos e conglomerados (parte basal).

Os arenitos com estratificação cruzada de grande porte citados por Vasconcelos *et al.* (2004) podem pertencer à *fácies 1* da Formação Posse (Campos; Dardenne, 1997), que se constitui de quartzo arenitos e arenitos feldspáticos, muito finos, finos, médios, bimodais, com boa maturidade textural e mineralógica, geralmente apresentando bom selecionamento. Para essa *fácies*, Campos e Dardenne (1997) indicaram um sistema eólico de campos de dunas, pela presença de estratificação cruzada de grande porte.

As demais litologias mencionadas por Souza *et al.* (2004) e Vasconcelos *et al.* (2004) devem representar a Formação Serra das Araras, a qual consiste de arenitos, argilitos e conglomerados de coloração avermelhada. Campos e Dardenne (1997) interpretaram que, em tal formação, ocorrem as sedimentações fluvial eólica.

Campos e Dardenne (1997) mencionaram que o Grupo Urucuia mostra variação de espessura de norte (em torno de 25 m) para sul (cerca de 200 m, região de São Domingos, oeste da BA). Amorim Junior (2003) achou espessuras superiores a 400 m na bacia do Rio das Fêmeas, em São Desidério (BA).

As estruturas principais desse domínio (Figura 3.28) estão orientadas segundo as direções N60-70°E, N70-80°E e N50-60°E. As estruturas estão associadas a reativações de orogêneses do Ciclo Brasileiro.

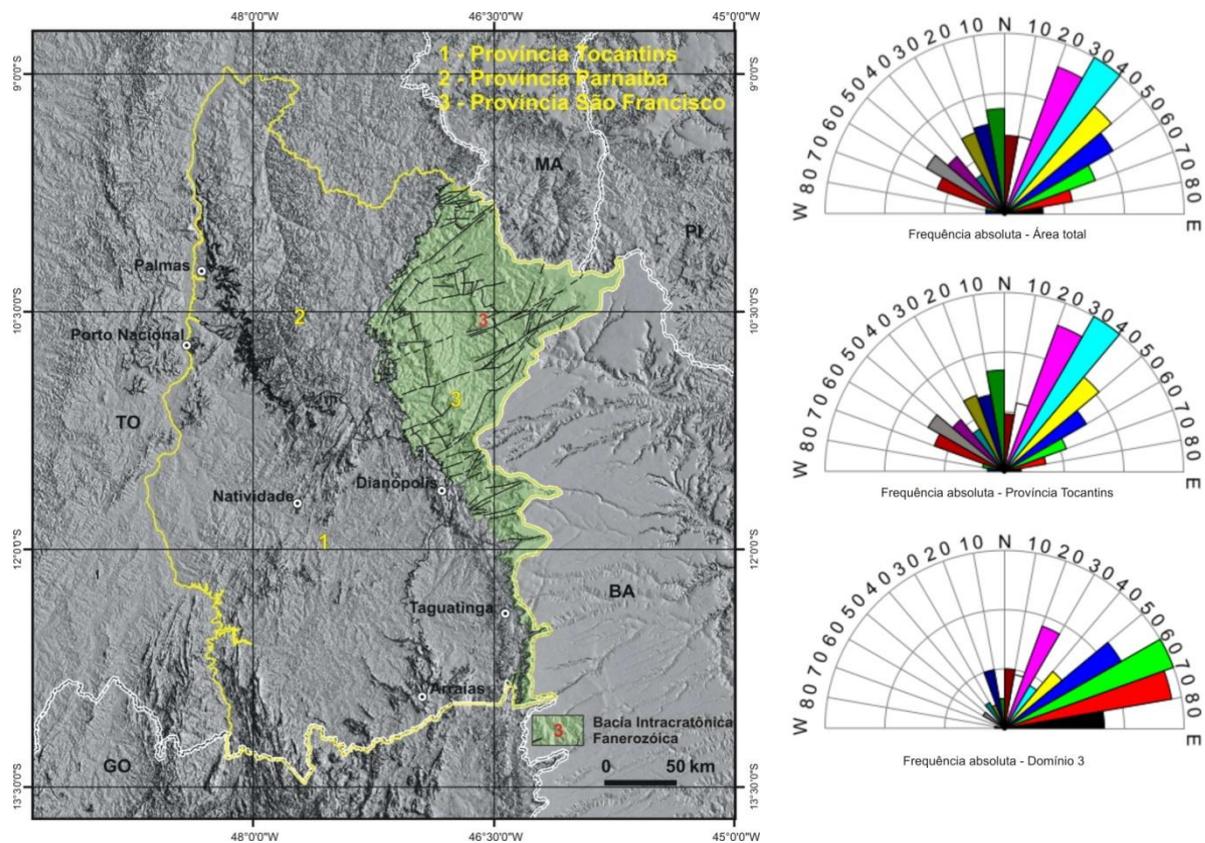


Figura 3.28. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Província São Francisco e Bacia Intracratônica Fanerozoica. *Observação: Províncias e Bacia Intracratônica Fanerozoica sobre imagem relevo sombreado SRTM.*

3.2.2.4. Província Parnaíba

No contexto deste trabalho, a Província Parnaíba acha-se representada apenas pelo Domínio Bacia do Parnaíba, que tem uma área total de cerca de 400.000 km², apresentando formato poligonal alongado na direção NE-SW e com limites atuais erosivos que refletem as reativações tectônicas das estruturas do seu substrato. Essa bacia compreende as super-sequências Siluriana (Grupo Serra Grande - formações Ipu; Tianguá e Jaicós), Devoniana (Grupo Canindé - formações Itaim, em muitos trabalhos considerada como membro inferior da Formação Pimenteiras; Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti) e Carbonífero-Triássica (Grupo Balsas - formações Piauí; Pedra-de-Fogo; Motuca e Sambaíba) de Góes e Feijó (1994).

A) Domínio Bacia do Parnaíba

A Bacia do Parnaíba ocupa 23.747,11 km² da área estudada, sendo 100% coincidente com a extensão da Província Parnaíba. Nela, encontram-se as unidades, em ordem decrescente de extensão, Serra Grande, Pimenteiras, Piauí, Poti, Cabeças, Pedra de Fogo, Longá, Sambaíba e Mosquito.

A bacia estende-se cobrindo, por completo e parcialmente, os municípios de Bom Jesus do Tocantins, Pedro Afonso, Tocantínia, Lajeado, Aparecida do Rio Negro, Palmas, Porto Nacional, Monte do Carmo, Silvanópolis, Rio Sono, Novo Acordo, Santa Tereza do Tocantins, Lagoa do Tocantins, Ponte Alta do Tocantins, Natividade, Almas, Lizarda e São Félix do Tocantins.

O Grupo Serra Grande (Ssg) aparece, nas bordas das serras Lajeado e do Carmo, formando escarpas sinuosas e abruptas. Por meio de interpretação de imagens Landsat, expandiu-se a área dessa formação para leste, conforme apresentado no Mapa Geológico.

A unidade apresenta variações de espessura e, nas cercanias de Palmas, Serra do Lajeado, alcança seu máximo, em torno de 120 m. Suas litologias são representadas, da base para o topo, por paraconglomerados grossos, arenitos conglomeráticos arcoseanos locais e clásticos finos com siltitos e argilitos. As estruturas típicas são estratificações plano-paralelas e cruzada (médio a pequeno porte), a baixo ângulo.



Figura 3.29 – Formação Serra Grande (1º plano) por baixo da Form.Pimenteiras (ao fundo) em Sta.Luzia

O contato o embasamento é ora tectônico ora por discordância (angular, litológica ou erosiva), enquanto o contato superior, com a Formação Pimenteiras, é transicional ora abrupto (Frasca; Araújo, 2001).

A Formação Pimenteiras (Dp) caracteriza-se por constituir um pacote de argilitos, siltitos, folhelhos e arenitos finos de cores cinza, creme, verde e roxa, bem estratificados (laminação plano-paralela).

Apresenta variações laterais de suas fácies sedimentares e suas espessuras diminuem para oeste. Em Palmas e Serra do Lajeado, a espessura chega a atingir 225 m. Seu contato inferior é transicional e seu topo é parcialmente coberto por material Tércio-quaternário, localmente por depósitos aluvionares quaternários (Frasca; Araújo, 2001).



Figura 3.30 – Formação Pimenteiras em Taguarussu

A Formação Cabeças (D2c) é composta por arenitos com geometria sigmoidal abaulada, e, localmente, intercalações de diamictitos (Silva *et al.*, 2003). A Formação Cabeças apresenta predominantemente arenito com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos, com estratificação cruzada tabular ou sigmoidal, ocorrendo tempestitos na base da unidade (Della Fávera, 1990; Faraco *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2004).



Figura 3.31 - Formação Cabeças em Ponte Alta



Figura 3.32 - Vista panorâmica vendo-se, em primeiro plano, afloramentos em mesetas, da Formação Cabeças e ao fundo a Serra Geral representada pela Formação Urucuia, próximo a Dianópolis

A Formação Longá (D3C1I) consiste de arenitos finos e siltitos (SILVA *et al.*, 2003). De acordo com Vasconcelos *et al.* (2004), tal formação constitui-se de folhelho e siltito cinza; para Góes e Feijó (1994), a Formação Longá encerra arenito branco, fino e argiloso, depositado em ambiente marinho plataformar dominado por tempestade; e Faraco *et al.* (2004) acrescentaram a presença de calcário.



Figura 3.33 - Formação Longa em Ponte Alta

Na Formação Poti (C1po), para Góes e Feijó (1994), predominam arenitos cinza-esbranquiçados intercalados e interlaminados com folhelho e siltito, depositados em delta, e planícies de maré sob a influência ocasional de tempestade. Faraco *et al.* (2004) incluíram as litologias argilito arenoso e conglomerado.

A Formação Piauí (C2pi) consiste de depósitos de dunas eólicas, de interdunas e planícies de deflação (SILVA *et al.*, 2003), representados por litologias, tais como: arenito, siltito, folhelho, calcário e argilito (Vasconcelos *et al.*, 2004; Faraco *et al.*, 2004).

Conforme Silva *et al.* (2003), a Formação Pedra de Fogo (P12pf) apresenta duas sequências de arenitos: (i) na inferior, os arenitos correspondem a dunas; na superior, os arenitos retratam um ambiente litorâneo, com presença localizada de biostromas com estromatólitos hemisféricos.

Estes, por sua vez, são superpostos por arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e alternâncias de folhelho e arenito depositados em planície de maré. Vasconcelos *et al.* (2004) e Faraco *et al.* (2004) caracterizaram a Formação Pedra de Fogo como sendo integrada por arenito, folhelho, siltito, calcário, evaporito, linhito e silexito.

Encerrando a sedimentação na Bacia do Paranaíba, aparece a Formação Sambaíba (T12s) que consiste de arenito fino, caolínico, com granulometria bimodal, interpretado como eólico. Os arenitos bimodais mostram, como estrutura primária, estratificação cruzada de grande porte (Vasconcelos *et al.*, 2004).

Ainda no contexto da Bacia do Parnaíba, ocorrem rochas magmáticas definidas como Formação Mosquito (J1□m). Essa formação compõe-se por basalto preto, amigdaloidal, tholeiítico, que eventualmente possui intercalações de arenito (Silva *et al.*, 2003).

As estruturas associadas às rochas da Bacia Sedimentar do Parnaíba (Figura 3.34) são falhas normais, transcorrentes e fraturamentos marcados por alinhamentos de relevo e drenagem. As direções das estruturas principais são: N30-40°E, N40-50°E e N20-30°E.

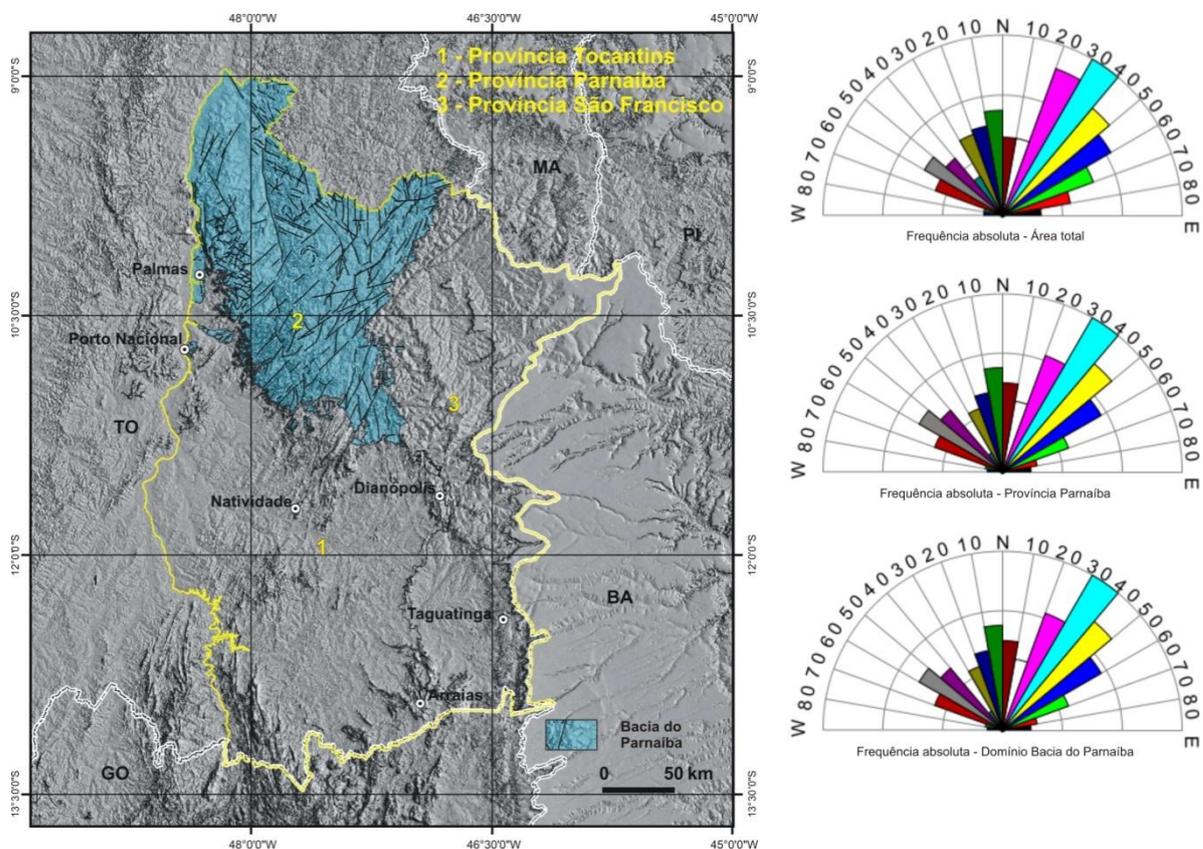


Figura 3.34. Direção das estruturas apresentadas em diagramas de rosetas para toda a área estudada, Província Parnaíba e Domínio Bacia do Parnaíba. *Observação:* Províncias e Domínio Bacia do Parnaíba sobre imagem relevo sombreado SRTM.

As direções secundárias de destaque são N0-10°W e N50-60°W. A direção N40-50°E marca falhas transcorrentes dextrais subparalelas ao Lineamento Transbrasiliiano; as direções NS e N10-20°W referem-se, em muitas situações, a falhas extensionais.

Na região Palmas-Porto Nacional, há desníveis consideráveis nas camadas de rochas sedimentares, em função do jogo vertical de blocos constituindo o Gráben Porto Nacional (Gorayeb, 1996).

Frasca e Araújo (2001) caracterizaram, para essa região, um domínio rúptil com padrão de *horsts* e grabens escalonados na direção da calha do Rio Tocantins. Esses autores afirmaram que o rejeito vertical médio desse sistema é de 300 m, com máximo em torno de 400 m.

Um dos lineamentos principais na região é representado por falha normal N30°E, que vem da Serra das Cordilheiras (fora da área estudada) até a cidade de Taquaralto.

Uma série de falhas normais, subparalelas a essa, repete-se para leste, numa extensa área rebaixada, criando escalonamento de blocos. As direções NW-SE, compreendendo falhas normais e juntas associadas, são responsáveis pelo recorte escalonado da Bacia do Parnaíba na região mencionada (Gorayeb, 1996).

A cidade de Palmas está assentada em área em que ocorrem falhas extensionais de direção N0-10°E com rebaixamento de bloco. Na Serra do Lajeado, também são encontradas falhas dessa natureza, assim como em áreas a leste da serra, onde as estruturas similares mostram direções N50-70°W e N30-40°E.

3.2.2.5. Coberturas Cenozoicas

As coberturas cenozoicas estão presentes nas três províncias: Tocantins, São Francisco e Parnaíba. Elas foram classificadas em três unidades sedimentares (Coberturas detrítico-lateríticas – NQdl, Depósitos colúvio-eluviais – NQc e Depósitos aluvionares – Q2a) pelo seu grau de compactação, processos de laterização, composição litológica e processos deposicionais atuais. As unidades terció-quaternárias desenvolveram-se, sem distinção, sobre as demais unidades apresentadas cartograficamente.

As coberturas detrítico-lateríticas (NQdl) distribuem-se, de forma ampla e descontínua, e apresentam variações dentro da Província Tocantins (municípios de Monte do Carmo, Porto Nacional, Paranã e Conceição do Tocantins) e uniformidade composicional na Província Parnaíba (municípios de Arraias, Taguatinga e Ponte Ala

do Bom Jesus). Na Província Tocantins, as coberturas detrito-lateríticas (NQdl) mostram as seguintes composições: (i) latossolo com concreções ferruginosas, níveis de cascalho e horizontes mosqueados (Vasconcelos *et al.*, 2004); (ii) arenito e conglomerado (Faraco *et al.*, 2004); (iii) areia com níveis de argila e cascalho, e crosta laterítica (Souza *et al.*, 2004); (iv) laterita com concreções ferruginosas, níveis de cascalho e horizontes mosqueados (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

Os depósitos colúvio-eluviais (NQc) foram identificados somente na Província Tocantins (municípios de Tocantínia e Aparecida do Rio Negro). Eles são sedimentos dos tipos: areia, argila, cascalho e laterita (Faraco *et al.*, 2004).

Os depósitos aluvionares (Q2a), em alguns locais, são constituídos de areia, cascalho e níveis de argila (Vasconcelos *et al.*, 2004); em outros, por areia com intercalações de argila e cascalho, e restos de matéria orgânica (Souza *et al.*, 2004), e por sedimentos arenosos e argiloso-arenosos localmente com areia, argila e lentes de cascalho (Faraco *et al.*, 2004). Em algumas situações, os depósitos aluvionares encerram argila, silte, areia e conglomerado (Lacerda Filho *et al.*, 2004). Esses depósitos estão representados, sobretudo, nas calhas e planícies de inundação dos rios Tocantins, do Sono, Perdida, Água Suja, Areias, Formiga, Manuel Alves, São Valério, Paranã e Palma.

4. ESTUDOS HIDRO-CLIMATOLÓGICOS

As condições climáticas que prevalecem na Região Hidrográfica do rio das Balsas estão diretamente relacionadas com seu formato, configuração Leste-Oeste, direção Sul-Norte, e considerando sua extensão de 12.360 km², esta caracterização torna possível a partir de elementos capazes de garantir uma avaliação adequada dos principais mecanismos ou processos que definem o comportamento do clima regional.

Esses fatores determinam relativa regularidade climática, caracterizada por estações com pequenas variações anuais na distribuição das temperaturas, da velocidade dos ventos, da umidade do ar, da insolação e da evaporação. As situações excepcionais de grandes temperaturas, períodos extensos de seca fora de época e ventanias de grandes velocidades, entre outras.

A caracterização climatológica e conseqüente compreensão dos fenômenos climáticos reinantes na área, assumem importância fundamental no que diz respeito ao subsídio de estudos importantes, tais como: disponibilidade hídrica da região, aproveitamentos e planejamento hidro-agrícolas.

Devido às características dos fatores climáticos como precipitação, temperatura, umidade, nebulosidade, insolação e ventos, na região, fazem-se necessários levantamentos de informações históricas de longo período, no maior número de pontos de monitoramento possíveis, tratados estatisticamente de forma adequada, para que possam permitir sua avaliação com o nível de confiança apropriado.

Desta forma, a avaliação das características climatológicas da área de estudo foi elaborada a partir dos seguintes passos:

- seleção e levantamento dos dados disponíveis para dar subsídio aos estudos;
- análise dos diferentes elementos climáticos observados nas estações meteorológicas e pluviométricas em operação na bacia ou no seu entorno;
- contextualização e espacialização das fontes de dados; e

- avaliação das condições climáticas.

As características climáticas da região Sudeste do Estado do Tocantins encontram-se apresentadas na sequência, em termos de descrição climática regional e apresentação dos principais elementos climáticos monitorados na bacia.

4.1. Identificação e Coleta dos Registros Históricos Disponíveis

A coleta de dados hidroclimatológicos realizada para o estudo de climatologia da região Sudeste buscou informações junto às seguintes fontes principais:

- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, o qual dispõe das estações meteorológicas de Taguatinga e Porto Nacional, através das Normais Climatológicas 1961-1990.
- Agência Nacional de Águas – ANA, que através do Banco de Dados Hidrológicos fornece informações e dados de estações pluviométricas e das estações FAO-CLIM; e
- Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Secretaria do Planejamento e Meio, SEPLAN, Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (Palmas-TO), 2005; que analisa a bacia hidrográfica em que está inserida a área em estudo.

Como fonte de informações de apoio, foram consultados diversos estudos realizados na região, a saber:

- Estudos climatológicos e hidrológicos contratados pelo Estado do Tocantins em grandes bacias hidrográficas da região Sudeste, tais como: os Planos das bacias dos rios Palma, Manuel Alves, Balsas e São Valério;
- Base Cartográfica Digital da SEPLAN-TO;
- Atlas digital do Estado do Tocantins (SEPLAN-TO);
- Estudos ambientais de empreendimentos da região.

4.1.1. Estações Meteorológicas

A avaliação da variabilidade temporal dos principais elementos do clima da região Sudeste foi realizada a partir dos dados oriundos das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizadas em Peixe, Paranã, Taguatinga e Porto Nacional, com dados normalizados para o período de 1961-1990.

A figura 4.1 a seguir, apresenta a distribuição espacial destas estações na região Sudeste do Tocantins.

Os dados das estações citadas foram analisados e obtidos os valores médios mensais de cada parâmetro, que se encontram apresentados nos quadros 4.1 a 4.4.

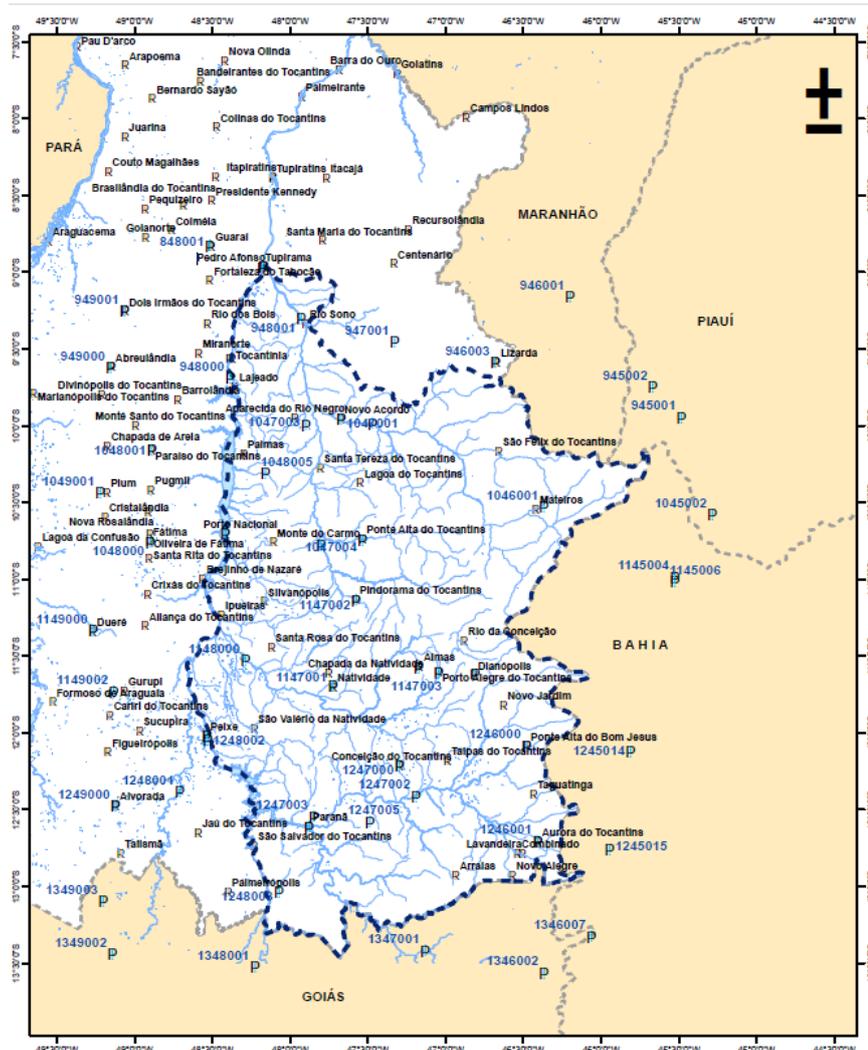


Figura 4.1 - Localização das Normais Climatológicas na região Sudeste do Tocantins.

Quadro 4.1– Normais Climatológicas da estação de Taguatinga-TO.

Estação = Taguatinga-TO No: 83235 Lat.= 12° 24' S Long.= 46° 26' W Altitude= 604 m Período= 1961-1990													
Normal Climatológica	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Temperatura Média Mensal(°C)	24,3	24,3	24,4	24,6	24,3	23,6	23,4	25,1	26,5	25,4	24,5	24	24,5
Temperatura Máxima Média Mensal (°C)	30,3	30,2	30,4	30,7	31	30,7	30,8	32,6	33,6	32,1	30,8	30	31,1
Temperatura Mínima Média Mensal (°C)	20,1	20,2	20,2	20,3	19,4	18,3	18	19,5	21,3	21	20,4	20	19,9
Precipitação Média Mensal (mm)	304,9	244,5	237,7	141,6	22,1	5,1	2,3	3,3	29,7	145,2	241,6	287,5	1665,5
Evaporação Média Mensal - Piché (mm)	85	78	80	100,2	143,9	184,9	223,9	269,5	257	160,7	103,3	85,2	1771,6
Umidade Relativa Média Mensal(%)	79	80	79	75	65	57	53	46	49	66	75	79	67
Insolação Média Mensal (horas)	154,2	141,6	170,3	196,8	240,1	244,5	268	258,3	209,7	169,2	146,6	139,3	2338,6
Nebulosidade Média Mensal (0-10)	6,6	6,4	6,1	5,1	3,4	2,4	2	2,1	3,5	6	6,7	7	4,8
Velocidade do Vento Média Mensal (m/s)	2,02	2,08	1,88	2,20	2,19	2,18	2,40	2,03	2,54	2,20	2,64	1,99	2,20

Quadro 4.2 – Normais Climatológicas da estação de Porto Nacional-TO.

Estação = Porto Nacional-TO No: 83064 Lat.= 10° 43' S Long.= 48° 25' W Altitude= 239 m Período= 1961-1990													
Normal Climatológica	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Temperatura Média Mensal(°C)	25,5	25,5	25,6	26	26,2	25,5	25,4	27	28	26,8	26,2	25,8	26,1
Temperatura Máxima Média Mensal (°C)	31,3	32,5	31,2	32,2	33	33,4	33,8	34,1	35,6	33,2	32,1	31,4	32,8
Temperatura Mínima Média Mensal (°C)	21,7	22,5	24	22	20,9	18,9	18	19,2	21,6	22,3	22,1	22	21,3
Precipitação Média Mensal (mm)	240,2	267,1	271,9	148	37,5	6,7	5,2	7,4	51,9	183	218,9	230,1	1667,9
Evaporação Média Mensal - Piché (mm)	81	70,1	74,8	93,3	162,8	187,1	231,5	271	234,8	138,7	101,9	93,2	1740,2
Umidade Relativa Média Mensal(%)	83	84	84	80	72	64	56	50	56	74	79	80	72
Insolação Média Mensal (horas)	153	128,6	149,5	190,4	265,7	276,5	287,7	289,4	207,6	176,2	165,4	153,3	2443,3
Nebulosidade Média Mensal (0-10)	7,7	7,7	8	6,8	5,1	3,5	3	3,2	5,1	7,3	7,7	7,8	6,1
Velocidade do Vento Média Mensal (m/s)	1,49	1,52	1,52	1,51	1,50	1,63	1,74	1,80	1,69	1,54	1,58	1,58	1,59

Quadro 4.3 – Normais Climatológicas da estação de Peixe-TO.

Estação = Peixe-TO No: 83228 Lat.= 12° 03' S Long.= 48° 32' W Altitude= 250 m Período= 1961-1990													
Dados Climatológicos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Temperatura Média Mensal(°C)	25,5	25,5	25,7	26	25,6	24,1	24,1	25,6	27,1	26,8	26,1	25,5	25,6
Temperatura Máxima Média Mensal (°C)	31,1	31,2	31,5	32	32,4	32,4	33,1	35	35,3	33,5	31,9	31	32,5
Temperatura Mínima Média Mensal (°C)	21,7	21,8	22	21,8	20,5	17,9	17,5	18,2	20,7	21,8	21,8	21,7	20,6
Precipitação Média Mensal (mm)	305,5	268,6	248,9	126,6	31,5	4,4	4,5	6,4	38,8	151,9	232,1	303,3	1722,5
Evaporação Média Mensal - Piché (mm)	77,1	67,4	75,6	92,8	125,6	175,7	210,8	238,6	218,4	136,5	97	76,7	1592,2
Umidade Relativa Média Mensal(%)	81	83	84	80	74	67	61	55	57	71	77	82	73
Insolação Média Mensal (horas)	166,2	152,1	172,5	234,4	274	296,3	317,7	309,5	204	191,1	171,4	155	2644,2
Nebulosidade Média Mensal (0-10)	7,7	8	7,6	5,8	4,3	3,1	3,4	3,4	5,1	6,7	7,5	7,9	5,9
Velocidade do Vento Média Mensal (m/s)	1,52	1,41	1,33	1,36	1,45	1,69	1,78	1,72	1,69	1,44	1,54	1,44	1,53

Quadro 4.4 – Normais Climatológicas da estação de Paranã-TO.

Estação = Paranã-TO No: 83231 Lat.= 12° 33' S Long.= 47° 50' W Altitude= 275 m Período= 1961-1990													
Normal Climatológica	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	ano
Temperatura Média Mensal (°C)	25,4	25,1	25,4	25,6	24,4	23,1	23,1	24,4	26,4	26,1	25,7	25,2	25,0
Temperatura Máxima Média Mensal (°C)	31	30,7	31,2	31,8	31,9	32	32,4	34,4	35,2	33,3	31,1	30,6	32,1
Temperatura Mínima Média Mensal (°C)	21,2	20,8	20,9	20,7	18,8	16,3	15,4	16,1	19,1	21	21,4	21,2	19,4
Precipitação Média Mensal (mm)	242,1	215,1	186	100,5	15,3	1,9	0,1	2,7	24,3	116,1	204,2	221,2	1329,5
Evaporação Média Mensal - Piché (mm)	84,4	73,2	87,9	92	113,9	106,4	152,9	163,3	173,8	141,2	95	81,5	1365,5
Umidade Relativa Média Mensal(%)	78	76	77	75	72	68	65	57	57	67	75	77	70,3
Insolação Média Mensal (horas)	139,7	159,9	178,3	212,9	252,3	272,7	288,9	272,5	198,3	179,3	150,1	153,1	2458,0
Nebulosidade Média Mensal (0-10)	6,70	6,70	6,50	5,60	4,50	3,60	3,10	3,00	4,20	6,10	6,80	6,80	5,3

4.1.2. Estações Pluviométricas

Estações pluviométricas utilizadas neste estudo e no seu entorno, são listadas no Anexo I, onde são apresentadas informações que permitem sua identificação, quais sejam: Nome do Posto, Código, Coordenadas, Município e Bacia Hidrográfica.

A seguir, na Quadro 4.5– Precipitação média mensal dos postos utilizados no estudo (mm)., apresenta-se um resumo dos totais mensais e anuais para cada posto pluviométrico utilizado no estudo.

4.1.3. Massas de Ar e Circulação Atmosférica

Na escala regional, a área em estudo apresenta um padrão de circulação atmosférica representado pela conjunção de diferentes correntes de circulação: os alísios oriundos do anticiclone semi-fixo do atlântico sul (correntes de Este); a expansão da massa equatorial continental - mEc (corrente de Oeste); e a invasão das frentes polares (correntes de Sul).

No verão, em virtude do maior aquecimento do continente em relação ao mar, acham-se enfraquecidos o anticiclone semi-fixo ao Atlântico Sul e o anticiclone da Antártica. A depressão térmica continental (Baixo do Chaco) e a depressão do Alto Amazonas acham-se aprofundadas.

Quadro 4.5– Precipitação média mensal dos postos utilizados no estudo (mm).

NOME	JAN	FEV	MAR	ABRIL	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
Dianópolis	228,03	207,14	225,19	115,21	32,42	2,93	1,66	3,66	28,24	115,74	186,28	234,37	1380,86
Natividade	279,40	223,46	215,38	116,76	29,45	6,59	2,33	6,51	27,82	122,21	190,32	265,59	1485,82
Ponte alta do Bom Jesus	316,38	304,51	284,68	153,74	29,44	7,21	2,72	3,61	30,05	117,25	227,16	304,68	1781,43
Aurora do Norte	274,75	230,90	203,93	114,03	25,91	3,19	1,59	2,33	24,02	105,45	205,01	258,66	1449,76
Conceicao do Tocantins	192,93	174,91	161,20	72,95	19,75	2,18	2,43	2,68	18,62	76,35	158,01	201,46	1083,45
Rio da Palma	252,60	210,78	161,36	84,93	20,84	8,20	3,35	5,40	28,69	135,53	237,65	287,00	1436,33
Almas	215,63	227,17	122,82	33,44	3,93	2,10	4,44	28,92	104,97	223,74	275,58	249,50	1492,23
Pindorama do Tocantins	261,28	239,87	259,71	138,42	42,22	5,05	2,05	3,80	27,85	134,01	217,75	272,68	1604,69
Porto Alegre	249,35	206,31	216,06	124,77	31,10	4,68	2,89	3,56	26,08	109,18	206,69	279,88	1460,56
Fazenda Lobeira	275,11	236,59	252,66	112,98	30,23	3,81	0,29	4,90	38,76	131,02	207,55	245,10	1539,00
Lizarda	271,00	230,50	217,10	130,20	42,40	2,00	0,80	4,80	34,60	144,80	197,90	248,40	1524,50
Mansinha	258,70	263,30	267,30	169,30	54,60	2,30	2,60	6,90	42,00	138,10	218,50	276,90	1700,50
Miracema do TO	262,10	242,20	271,40	168,70	49,70	5,70	3,00	6,40	50,40	144,20	215,60	271,80	1691,20
Porto Real	241,60	263,60	248,80	170,20	51,20	13,00	3,10	5,40	59,70	137,10	218,40	234,20	1646,30
Mateiros	304,20	255,90	294,60	112,40	31,50	0,00	0,00	1,30	35,00	116,80	205,20	279,70	1636,60
Jatobá (Faz. Boa Nova)	253,00	221,50	230,60	122,10	35,10	3,80	2,00	4,30	32,00	103,20	220,80	280,90	1509,30
Novo Acordo	253,80	233,00	227,70	163,90	52,70	1,70	1,20	3,40	38,10	132,80	190,50	243,50	1542,30
Porto Girândia	257,90	247,70	254,70	157,30	43,90	4,40	2,00	3,40	44,20	146,80	223,90	250,60	1636,80
Rio da Balsas	247,90	259,10	218,20	154,00	42,50	3,50	1,50	6,10	43,20	135,20	195,20	246,90	1553,30
Ponte Alta do TO	252,30	194,50	213,00	129,00	33,60	0,10	2,00	1,30	35,30	102,40	174,50	273,30	1411,30
Palmas	230,10	240,20	249,70	152,30	40,30	4,60	3,50	3,70	36,60	143,10	199,10	250,80	1554,00
Taquarussu do Porto	287,20	264,90	286,00	153,50	49,20	4,20	1,00	5,00	56,20	157,60	241,50	304,50	1810,80
Pium	317,60	275,60	296,40	187,10	70,30	7,90	3,30	9,30	58,00	168,10	254,00	362,50	2010,10
Fátima	309,90	281,10	306,50	173,60	46,50	6,80	2,00	5,50	42,60	156,70	230,30	304,10	1865,60
Duere	257,20	279,40	262,10	165,70	34,20	5,90	5,40	11,90	36,10	161,40	188,30	297,30	1704,90

Gurupi	248,00	228,50	232,30	134,20	19,40	7,30	4,20	7,80	36,90	132,30	203,00	242,70	1496,60
Peixe1	277,60	246,70	210,50	109,90	30,50	6,80	2,80	3,60	32,20	142,50	234,00	237,70	1534,80
Colonha	253,50	201,50	216,00	101,30	22,40	2,30	1,70	2,80	29,60	114,20	192,10	274,30	1411,70
Peixe2	293,50	240,90	231,60	128,00	29,50	6,50	2,90	4,10	35,90	118,90	217,70	275,20	1584,70
Palmeirópolis	314,50	227,00	209,70	110,90	15,70	4,20	1,30	7,70	34,10	130,40	215,30	297,90	1568,70
Paraná1	249,60	242,00	187,70	121,90	16,90	2,80	1,40	3,30	24,20	133,20	190,60	209,50	1383,10
Paraná2	229,60	204,30	154,90	84,00	13,30	0,60	0,90	2,20	24,20	102,30	176,70	213,20	1206,20
Fazenda Santa Rita	228,70	167,90	196,80	62,40	16,80	0,40	0,70	2,00	27,10	87,80	161,60	258,50	1210,70
Alvorada	254,40	220,50	224,00	109,20	23,10	1,80	1,40	8,20	34,40	121,10	198,40	259,60	1456,10
Entroncamento São Miguel	315,80	236,40	242,00	117,10	28,00	2,10	1,40	8,60	33,30	128,70	214,00	288,70	1616,10
Pedro Afonso	213,51	191,11	208,37	141,89	36,78	3,41	1,93	7,70	39,14	122,92	180,41	194,61	1341,78
Guarai	301,39	250,26	261,67	170,16	47,48	6,48	1,93	8,63	67,73	174,55	202,21	291,44	1783,93
Dois Irmão do TO	289,56	305,26	322,46	225,05	48,21	7,59	1,23	11,38	67,56	144,32	229,67	298,08	1950,35
Abreulândia	382,74	326,11	345,83	209,13	68,61	5,39	3,37	13,12	71,35	208,99	268,12	355,90	2258,66
Paraíso do TO	275,10	320,58	280,04	166,16	53,49	6,22	6,31	7,71	43,65	156,25	241,80	353,60	1873,61
Porangatu (Descoberto)/GO	289,80	232,45	220,68	98,67	25,84	1,93	2,15	6,70	40,23	133,49	210,40	290,45	1552,79
Ponte Paraná/GO	220,72	182,76	161,21	73,50	15,97	2,85	1,33	4,87	31,63	114,16	185,42	254,22	1248,60
Sama/GO	249,81	218,98	193,99	87,05	13,61	0,87	1,64	2,78	35,34	115,65	208,12	255,34	1383,16
Fazenda Ingazeiro/GO	198,88	158,83	190,71	100,95	20,96	4,96	3,04	4,31	19,90	107,22	188,65	222,04	1220,44
Fz Prainha (Fz. Antas)/BA	217,77	189,54	219,41	78,56	17,83	2,38	0,49	3,48	35,18	100,55	224,43	274,87	1364,46
Roda Velha/BA	183,05	173,54	193,51	83,95	23,09	2,75	1,08	6,49	24,53	77,99	202,44	236,03	1206,58
Fz Joha/BA	217,22	185,71	159,50	78,71	22,80	0,58	2,48	3,63	19,59	88,77	199,45	282,60	1261,02
Cambuí/MA	243,37	221,97	163,60	106,71	18,29	2,29	3,42	6,04	33,14	93,89	170,87	198,75	1262,35
Boqueirão dos Felipes/PI	218,97	210,93	143,67	100,36	4,17	0,63	0,21	0,00	18,12	93,23	140,25	172,63	1103,16
Barreiras do Piauí/PI	201,41	160,58	179,81	88,44	17,02	2,17	0,44	2,44	11,08	80,57	168,18	161,27	1073,40
São Marcelo/BA	181,65	164,20	126,45	104,26	18,34	0,60	0,00	3,09	17,21	84,32	157,46	184,09	1041,68
Cristalândia do PI/PI	182,53	168,67	156,11	102,18	18,63	1,65	1,39	0,21	11,09	79,20	170,70	181,62	1073,99

Sob o efeito do grande aquecimento terrestre, os alísios do anticiclone do Atlântico Norte (mEn) formado por ar quente e úmido, são aspirados para o interior do continente, formando a monção de verão do norte do Brasil, e fortalecendo a massa equatorial continental (mEc) que passa a se estender por quase toda a área.

Na medida em que essa massa de ar avança no sentido oeste-leste (sistema de circulação perturbada de W - Nimer, 1989), a umidade do ar diminui, o que gera uma distribuição decrescente das isoietas médias anuais.

Durante o outono a Massa Equatorial Continental começa seu retrocesso rumo ao norte do país, finalizando sua retirada no inverno e reduzindo-se a uma pequena área no Alto Amazonas. Simultaneamente, a Zona de Calmarias translada para o norte, permitindo o avanço da Massa Equatorial Atlântica desde o leste, que adentrando o continente, prossegue perdendo toda a sua umidade rumo ao oeste, sendo assim, responsável pelo período seco na área em estudo.

Este padrão de circulação confere a área variações sazonais com duas estações bem definidas, uma de verão, chuvosa compreendendo os meses de outubro a abril e outra de inverno, seca, de maio a setembro.

4.2. Classificação Climática da Região

Considera-se conveniente que a classificação climática de uma determinada região seja realizada segundo um sistema universal, permitindo a comparação desta com outras regiões com características climáticas semelhantes. A possibilidade de comparação ganha destacada importância quando se trata do ordenamento de recursos naturais cujo aproveitamento ou padrões segundo se apresentam, guardem correlação com quaisquer elementos climáticos. A classificação climática da bacia foi realizada segundo o método de Thornthwaite.

Thornthwaite desenvolveu uma classificação climática em função da temperatura, precipitação e evaporação. A introdução da evaporação permite uma definição mais precisa da vegetação, pois ela é um forte condicionante da flora. O método de

Thorntwaite baseia-se em dois índices calculados com base em dados mensais, quais são:

ÍNDICE (P-E): expressa a diferença entre a precipitação e a evaporação, com maior importância quando as temperaturas são elevadas. A expressão proposta para sua estimativa é a seguinte:

$$INDICE(P - E) = 115 \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i}{T_i - 10} \right)^{10/9}$$

ÍNDICE (T-E): expressa a diferença entre a temperatura e a evaporação, e tem maior importância em climas frios. A expressão proposta por Thorntwaite para esse índice expõe-se a seguir:

$$INDICE(T - E) = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i - 32}{4} \right)$$

onde:

Pi: precipitação média mensal, em polegadas, e

Ti: temperatura média mensal, em °F.

De acordo com o zoneamento referido acima, a região está sob o domínio de três tipos climáticos regionais, conforme a seguir.

- C2wA'a' - clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, concentrando-se no verão entorno de 28% (três meses consecutivos com temperatura mais elevada);
- C1dA'a' - clima subúmido seco com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.300 mm, concentrando-se no verão entorno de 28% (três meses consecutivos com temperatura mais elevada).
- B1wA'a' - clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial apresentando uma variação média anual entre 1.400 e 1.700 mm, distribuindo-se no verão em torno de 390 e 480 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

4.3. Variação dos Parâmetros Climatológicos

As características climáticas da bacia do rio das Balsas encontram-se apresentadas na sequência, em termos dos principais elementos climáticos monitorados na bacia ou em seu entorno.

Os dados das estações foram consultados e analisados os valores médios mensais de cada parâmetro, para as séries do INMET (período= 1961-1990) e os dados pluviométricos do Banco de Dados da ANA.

4.3.1. Precipitação

A partir das informações apresentadas no Quadro 4.5, foram gerados mapas de isoietas de totais mensais e anual, para permitir uma visualização da variabilidade desta variável climática na área da região sudeste.

Na Figura 4.2 é apresentado um mapa da distribuição espacial (isoietas) dos totais anuais para a região Sudeste do Tocantins.

Segundo a distribuição espacial (isoietas anuais) apresentadas, as áreas localizadas ao sul da região são os locais onde se registram os menores índices pluviométricos nos municípios de Paranã, Conceição, Taipas, Arraias e Conceição do Tocantins, com totais precipitados anuais da ordem de 1.400 mm, registrando-se ocorrências pontuais menores que 1.000 mm.

Na região intermediária do Sudeste Tocantinense, o total precipitado anual está na ordem de 1.500 mm, nos municípios de Natividade, Porto Alegre, Almas e Dianópolis.

A medida que se avança ao norte, os registros dos postos pluviométricos indicam um incremento nos totais precipitados anuais, variando de 1.600 até 2.000 mm.

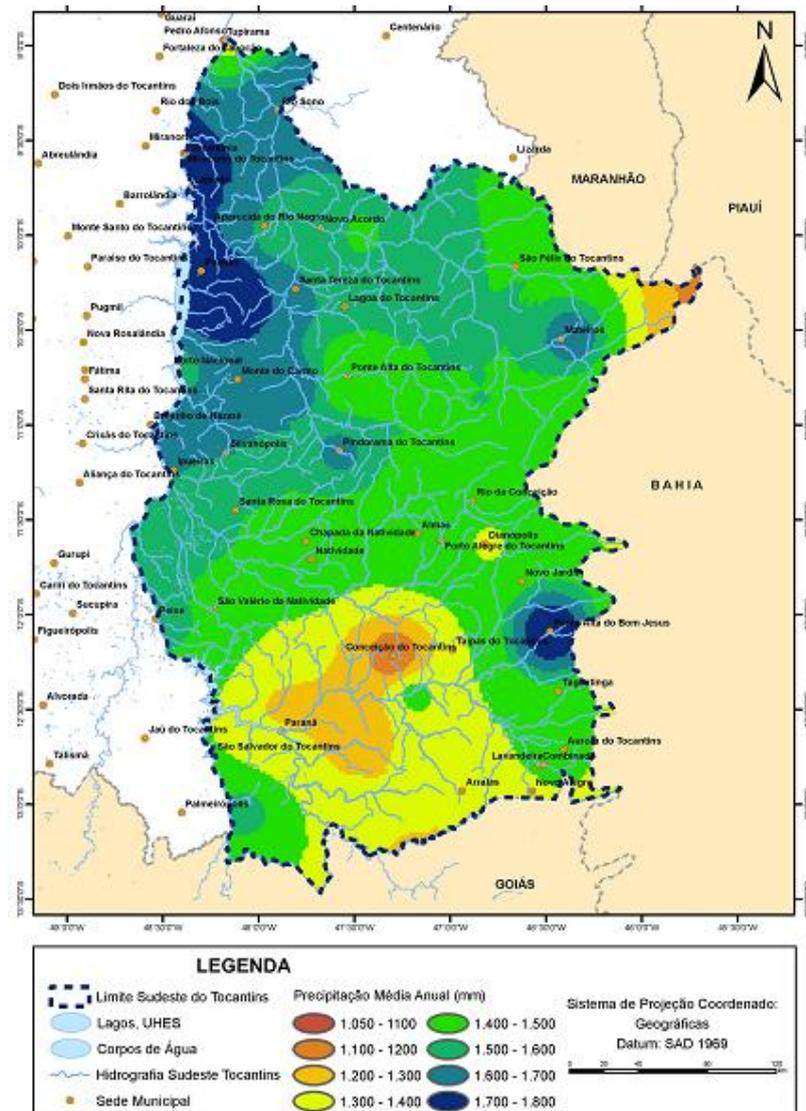


Figura 4.2 - Mapa da distribuição espacial (isoietas) dos totais anuais para a região Sudeste do Tocantins

No Quadro 4.6, a seguir, são apresentadas algumas estatísticas importantes para o entendimento da variabilidade temporal da precipitação na região Sudeste do Tocantins.

Nos seus dados podemos observar que os totais anuais apresentam uma grande variabilidade espacial, sendo os valores mínimo, médio e máximo registrados, de 893 mm 1.488 mm e 2.258 mm, respectivamente. Sendo que em 90% dos postos da região Sudeste, chove anualmente mais que 1.123 mm.

Os dados do Quadro 4.6 também mostram uma variação interanual que define o ano hidrológico em duas estações bem distintas, uma chuvosa (de outubro à março) e outra seca (de abril a setembro).

Na estação seca, registram-se postos com precipitação nula nos meses de junho, julho e agosto. Na estação chuvosa registram-se valores máximo acima de 350 mm nos meses de janeiro e dezembro. Valores da ordem de 25% do total anual.

O regime de chuvas na região deve-se quase que exclusivamente ao sistema de circulação atmosférica com pouca influência do relevo sobre as tendências gerais determinadas pelos fatores dinâmicos.

Caracteriza-se por uma razoável homogeneidade climática (dada a grande extensão da área), com estações bem definidas e pequenas variações de ano para ano em todos os parâmetros climáticos.

Na região sob domínio das correntes perturbadas de oeste, que se formam no final da primavera e se estendem até o início do outono, os meses de maiores totais pluviométricos são dezembro, janeiro e fevereiro. Já na região sob domínio das correntes perturbadas de norte, as quais se fazem sentir com maior frequência no início do outono, os maiores totais pluviométricos são registrados nos meses de janeiro, fevereiro e março.

Quadro 4.6 – Estatísticas das precipitações na região Sudeste do Tocantins

Estatísticas	Máximo	Mínimo	Médio	Percentil (90%)	Percentil (50%)
JAN	382,7	150,3	253,5	199,4	253,0
FEV	326,1	156,1	227,3	169,6	228,5
MAR	345,8	122,8	221,0	156,8	218,2
ABRIL	225,0	33,4	123,3	78,6	116,8
MAIO	70,3	3,9	31,1	16,1	29,5
JUN	13,0	0,0	3,8	0,6	3,2
JUL	6,3	0,0	2,1	0,5	1,9
AGO	28,9	0,0	5,4	2,0	4,3
SET	105,0	11,1	36,1	18,8	34,4
OUT	223,7	55,4	124,6	85,0	122,9
NOV	275,6	127,1	203,1	168,7	203,0
DEZ	362,5	161,3	257,7	195,4	258,7
TOTAL ANUAL	2.258,7	893,2	1.488,2	1.123,8	1.496,6

A partir do momento em que passam a dominar na região os alísios oriundos do anticiclone do Atlântico Sul, de meados do outono ao início da primavera, a região vive um período de seca, haja visto que toda a umidade transportada por esta massa de ar, do oceano para o continente, diminui bruscamente durante o seu deslocamento para o oeste.

4.3.2. Temperatura

Os dados de temperatura disponíveis são aqueles medidos nas estações meteorológicas do INMET e de resultado da consulta no Atlas do Tocantins.

A temperatura média mensal oscila entre 23,4 °C a 28 °C ao longo do ano, de acordo com o histograma apresentado nas Figuras 4.2 e 4.3. Figura 4.3, para as estações Taguatinga e Porto Nacional.

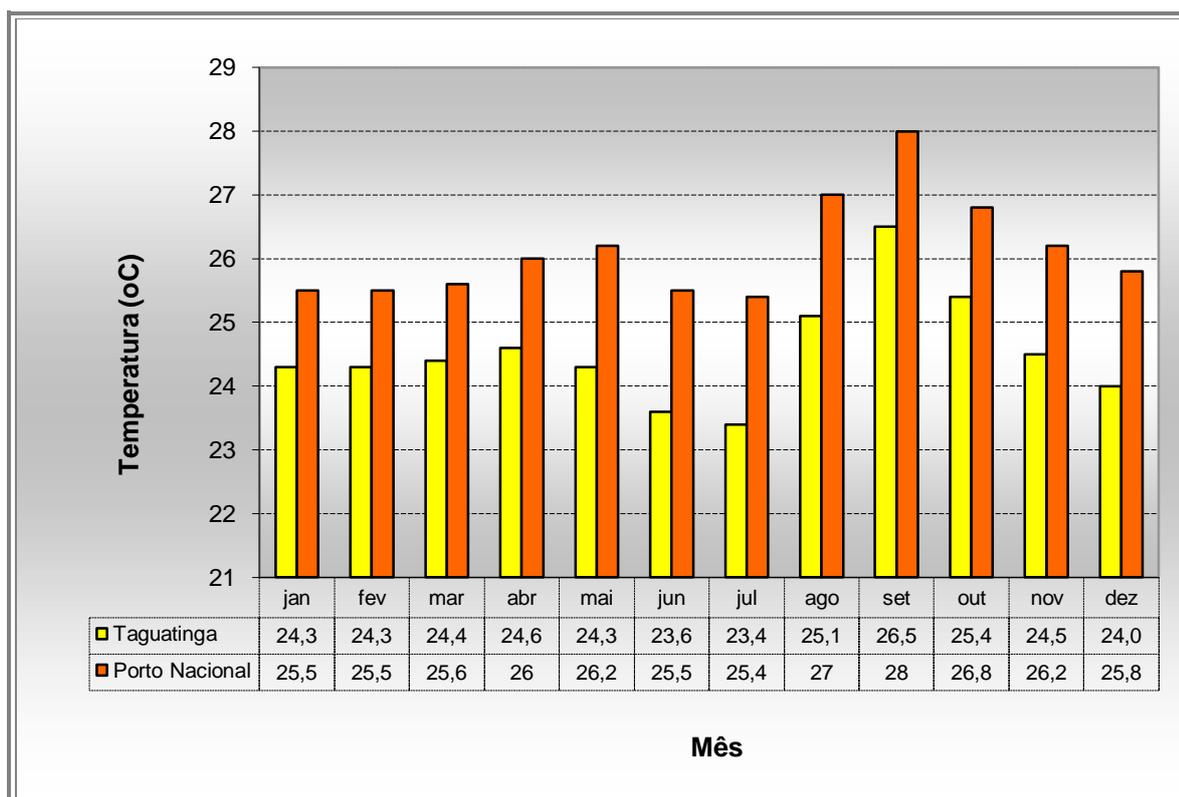


Figura 4.2 – Histograma de temperatura média mensal.

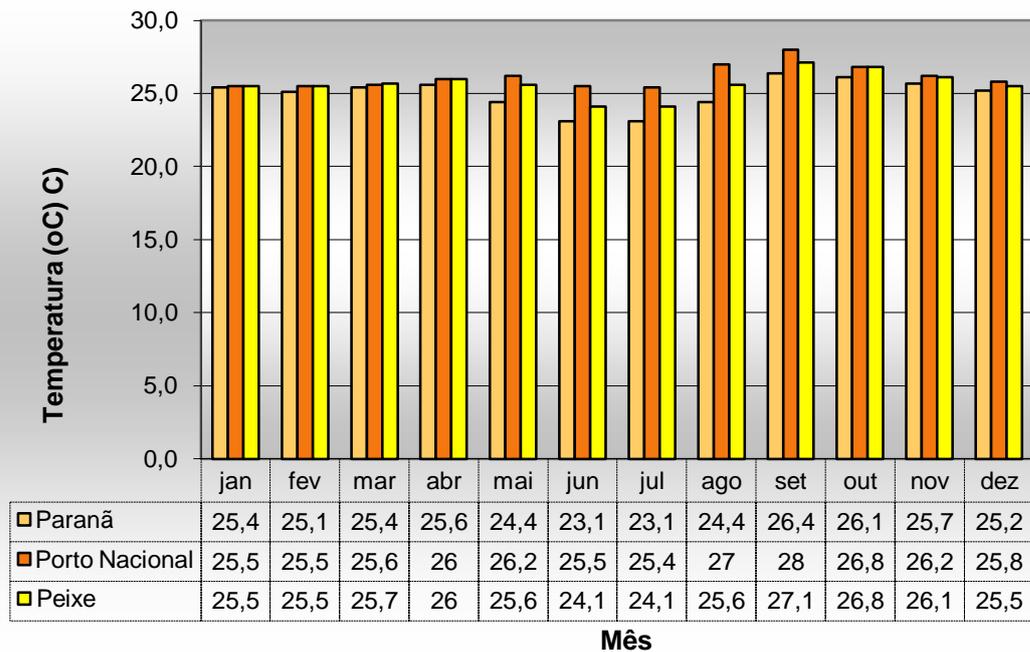


Figura 4.3 – Histograma de temperatura média mensal.

Ao longo do ano tem-se a média mais elevada em setembro, já no final do período seco, e a mais baixa em julho, quando o foto-período é menor, mas ainda existe umidade no ambiente para consumir o excesso de radiação. (figuras 4.4 a 4.7)

Figura 4.4

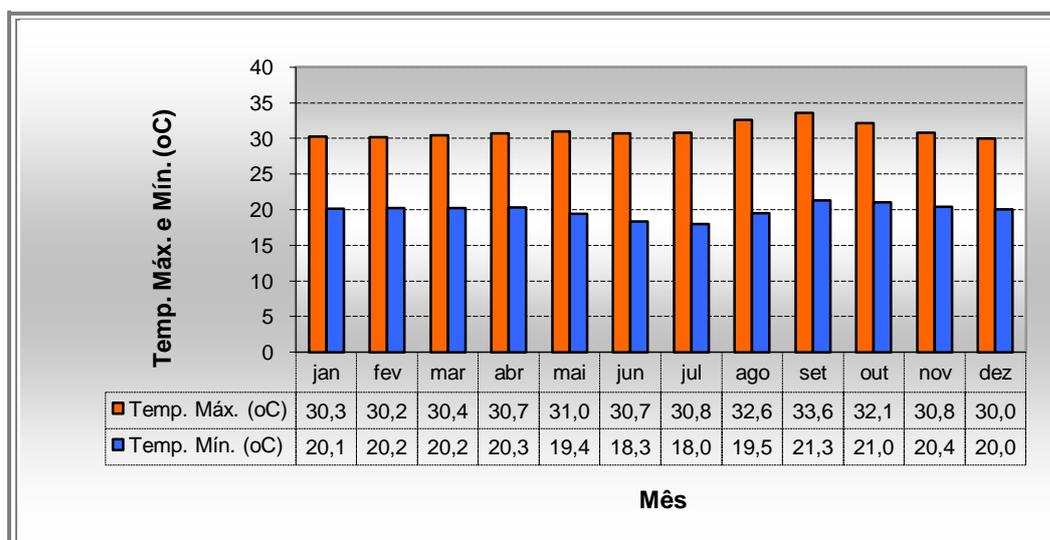


Figura 4.4 - Histograma de temperatura média máxima e mínima mensal em Taguatinga.

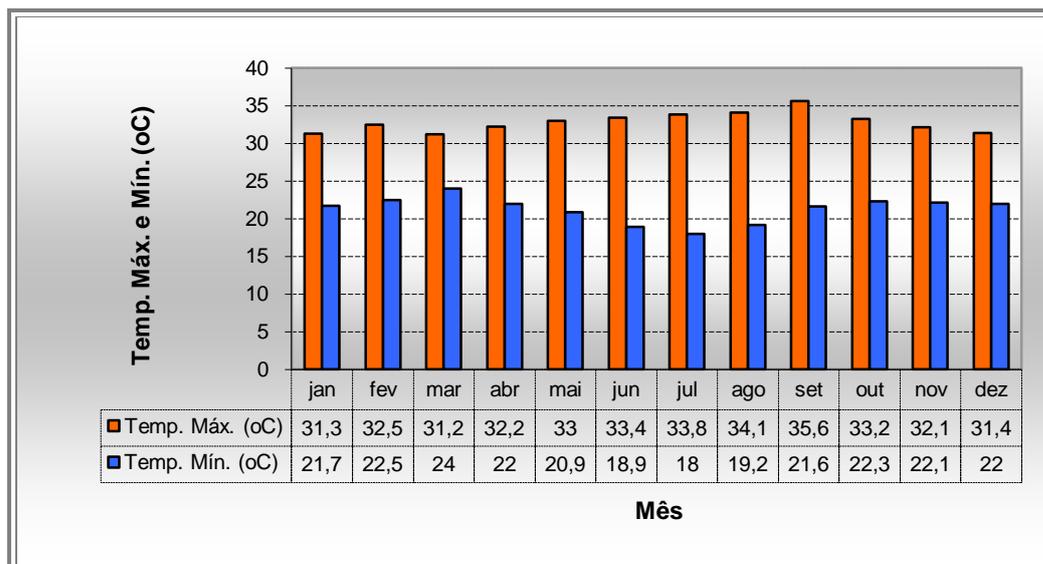


Figura 4.5 – Histograma de temperatura média máxima e mínima mensal em Porto Nacional.

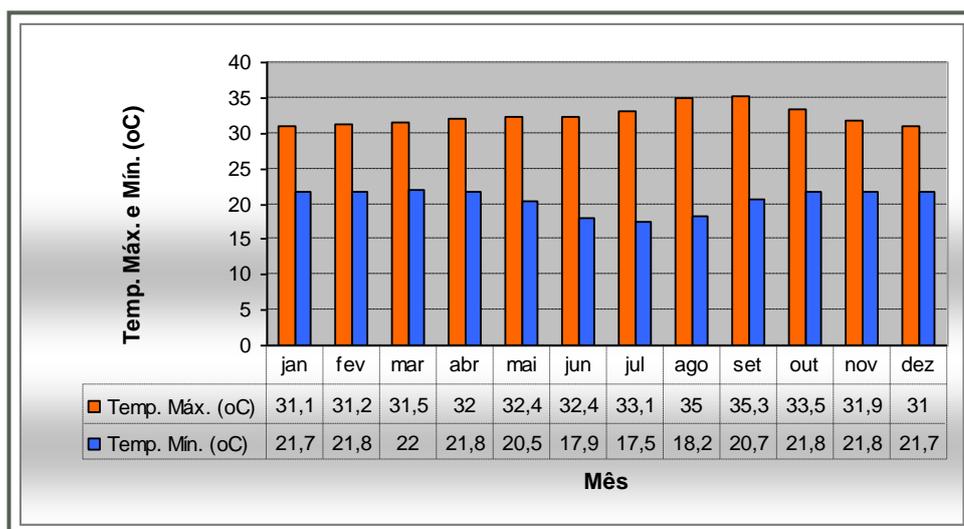


Figura 4.6 – Histograma de temperatura média máxima e mínima mensal em Peixe.

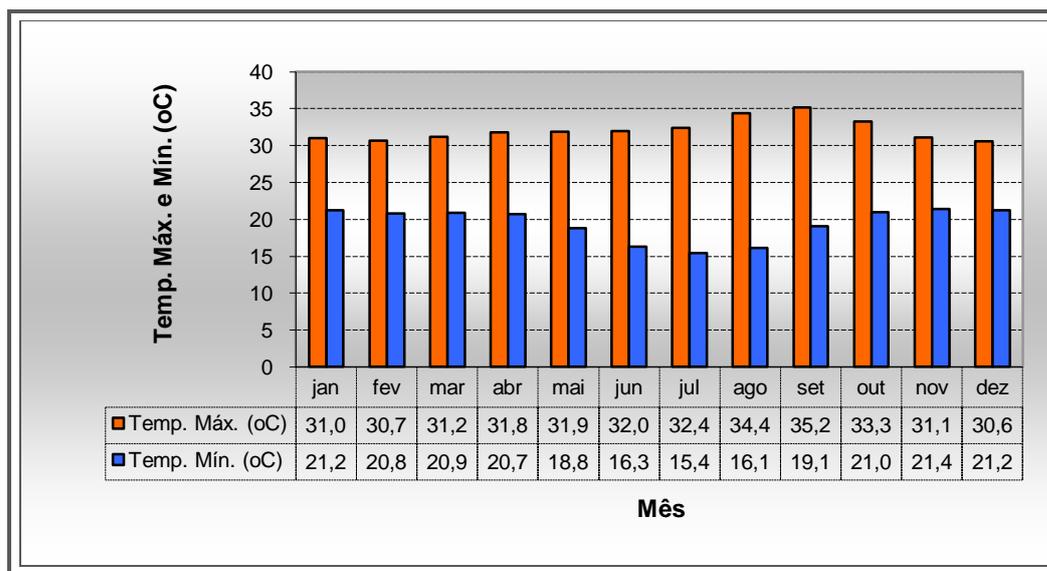


Figura 4.7 – Histograma de temperatura média máxima e mínima mensal em Paranã.

As temperaturas mais elevadas registraram-se na estação de Porto Nacional, com uma máxima absoluta média de 35,6 °C para o mês de setembro. Na estação de Paranã foi registrada temperatura mínima de 15,4 °C para o mês de junho.

4.3.3. Umidade do ar

Esta variável expressa à capacidade do ar circulante em captar o vapor d'água das superfícies livres, solos e vegetação. A precipitação é derivada desta água atmosférica.

A alta umidade atmosférica implica em pelo menos dois efeitos benéficos possíveis no crescimento da planta. Primeiramente muitas plantas podem absorver diretamente umidade do ar saturado. Segundo, a umidade pode afetar a fotossíntese. Segundo Baker (1965) o nível fotossintético cresce com a umidade, mais ou menos substancialmente em função da intensidade luminosa. A umidade atmosférica tende a decrescer com o aumento da latitude, mas a umidade relativa, sendo uma função inversa da temperatura, tende a aumentar. Ela também decresce com a altitude e é maior sobre áreas vegetadas do que sobre o solo estéril.

O comportamento sazonal da umidade relativa do ar para a bacia é apresentado na Figura 4.8.

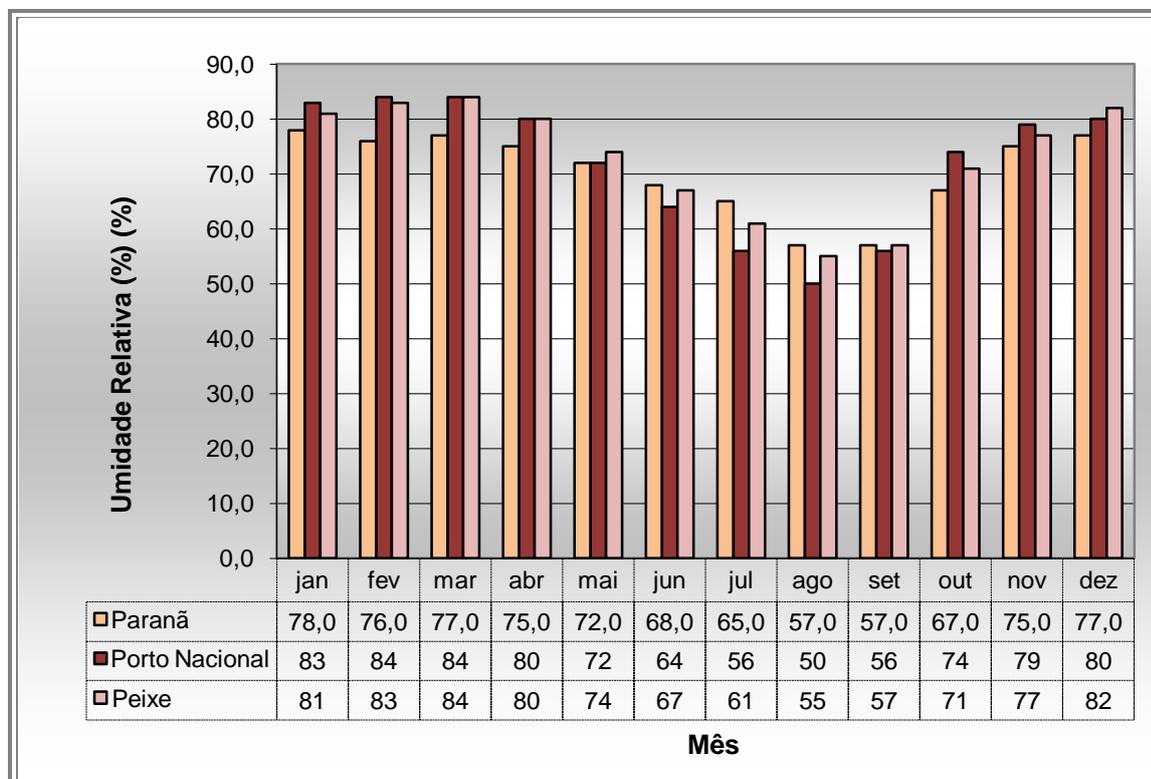


Figura 4.8 – Histograma de umidade relativa do ar média mensal.

Com relação a sua distribuição temporal, pode-se constatar que o trimestre de menor umidade corresponde aos meses de inverno (julho, agosto e setembro), coincidindo com o período em que as precipitações são menos frequentes. A média anual é em torno de 72% nas estações Peixe e Porto Nacional, sendo que o mês de agosto na estação de Porto Nacional registrou média de 50%. Enquanto de novembro a abril, meses mais chuvosos, tem-se valores no entorno dos 76% em Paranã e 81% em Peixe e Porto Nacional.

Nos levantamentos feitos, podemos notar no comportamento da precipitação, uma diminuição desta de oeste para leste e de sul para norte. As médias anuais de umidade diminuem obedecendo estes sentidos, o que fica evidenciado quando comparamos os valores médios registrados de umidade.

4.3.4. Evaporação

A vaporização toma o nome de evaporação quando se produz unicamente na superfície livre de um líquido. A evaporação sofre influência principalmente da latitude, da velocidade do vento, da radiação global, da temperatura do ar e da água, da umidade, um entre outras.

Observa-se, para o elemento evaporação, uma sazonalidade bem marcada, a exemplo do elemento precipitação, todavia com um padrão inverso daquele. De julho a setembro têm-se os valores maiores, enquanto que os menores ocorrem de dezembro a fevereiro. Todas as estações apresentam níveis de evaporação mais baixos nos primeiros meses do ano, elevando-se gradativamente até o mês de agosto, quando atingem o máximo.

A evaporação, na área em estudo (figura 4.9), em termos de totais médios anuais, apresenta um aumento gradual da estação mais ao sul de Paranã de 1.365 mm, no trecho médio de Peixe de 1.592 mm e mais ao norte próximo a foz na estação de Porto Nacional de 1.740 mm.

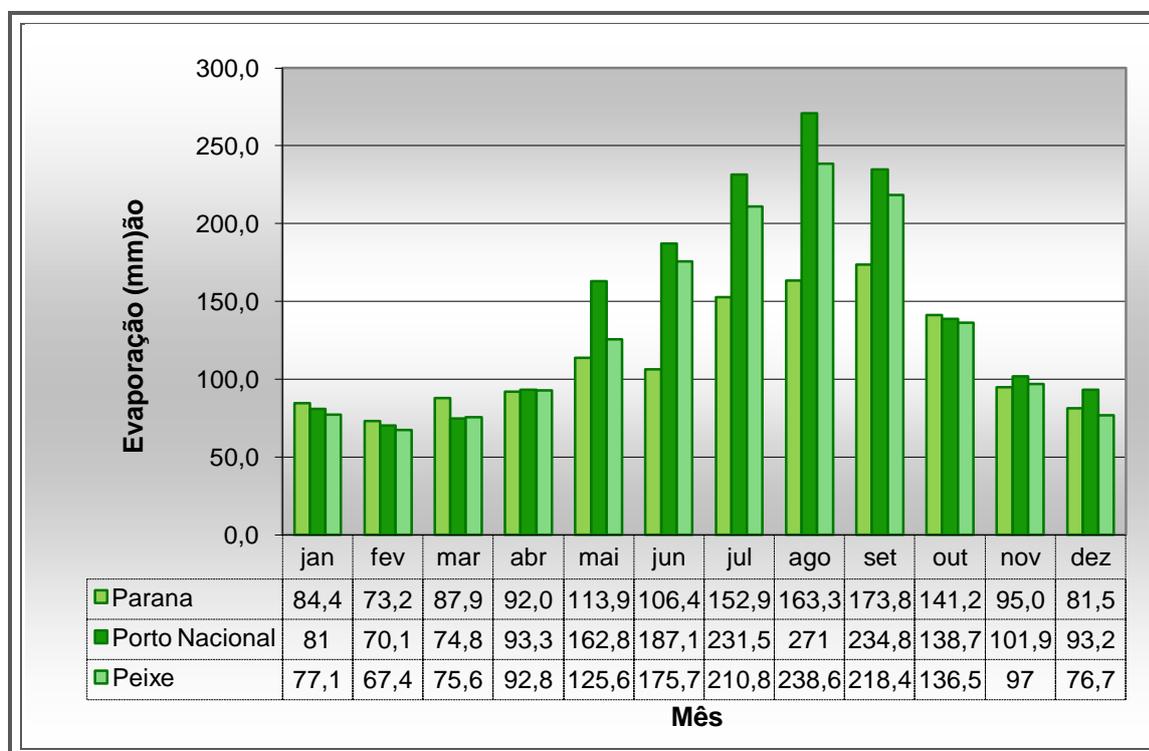


Figura 4.9 – Histograma de evaporação média mensal – Evaporímetro Piché.

De junho a setembro têm-se os valores maiores, enquanto que os menores ocorrem em fevereiro. Nos meses secos, de maio a outubro, tem-se 68% dos totais evaporados, com apenas 32% de novembro a abril. A evaporação média é estimada através do evaporímetro de Piché, que mede o poder evaporativo do ar, não existindo os evaporímetros convencionais de medição direta como “Tanque classe A”.

O nível mínimo médio de evaporação acontece no mês de fevereiro, na estação de Peixe quando este atingiu 67,4 mm, e a máxima evaporação média mensal corresponde à estação de Porto Nacional com um valor de 271 mm no mês de agosto.

4.3.5. Nebulosidade

A nebulosidade é o grau de cobertura do céu pelas nuvens durante um período fixo de tempo. Geralmente emprega-se uma escala que varia de 0 (zero), que indica um céu completamente livre de nuvens, a 10 (dez), representando um céu totalmente coberto.

A figura 4.10 permite visualizar o comportamento da nebulosidade ao longo do ano na bacia.

A média mensal da nebulosidade varia sazonalmente com a precipitação. Paranã, com nebulosidade média anual igual a 5,3, apresenta o menor índice da região. Os maiores valores registrados correspondem à estação de Porto Nacional, porção norte da área, com uma nebulosidade média mensal igual a 6,1.

A nebulosidade máxima mensal se verifica entre os meses de fevereiro e março para as estações de Peixe e Porto Nacional, com média de aproximadamente 8; entanto que na estação Paranã foi registrado 4,5 para o mesmo mês. Os valores mínimos se dão entre os nos meses de junho e julho com média de aproximadamente 3 para as três estações.

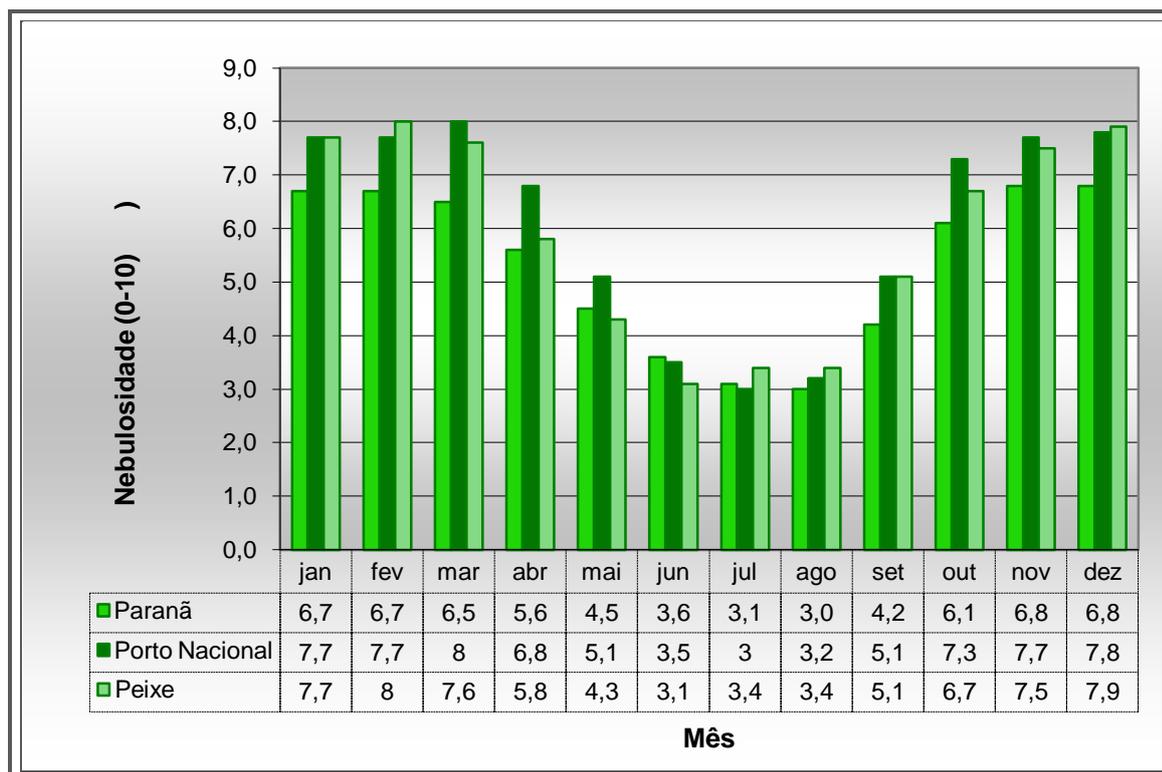


Figura 4.10 – Histograma de nebulosidade média mensal.

4.3.6. Insolação

A insolação é a quantidade de radiação solar incidente por unidade de superfície horizontal a uma elevação determinada. É medida pelo número de horas de sol no dia.

A insolação apresenta padrão inverso à nebulosidade e à precipitação, com maior incidência solar no período de maio a agosto, conforme mostra a figura 4.11.

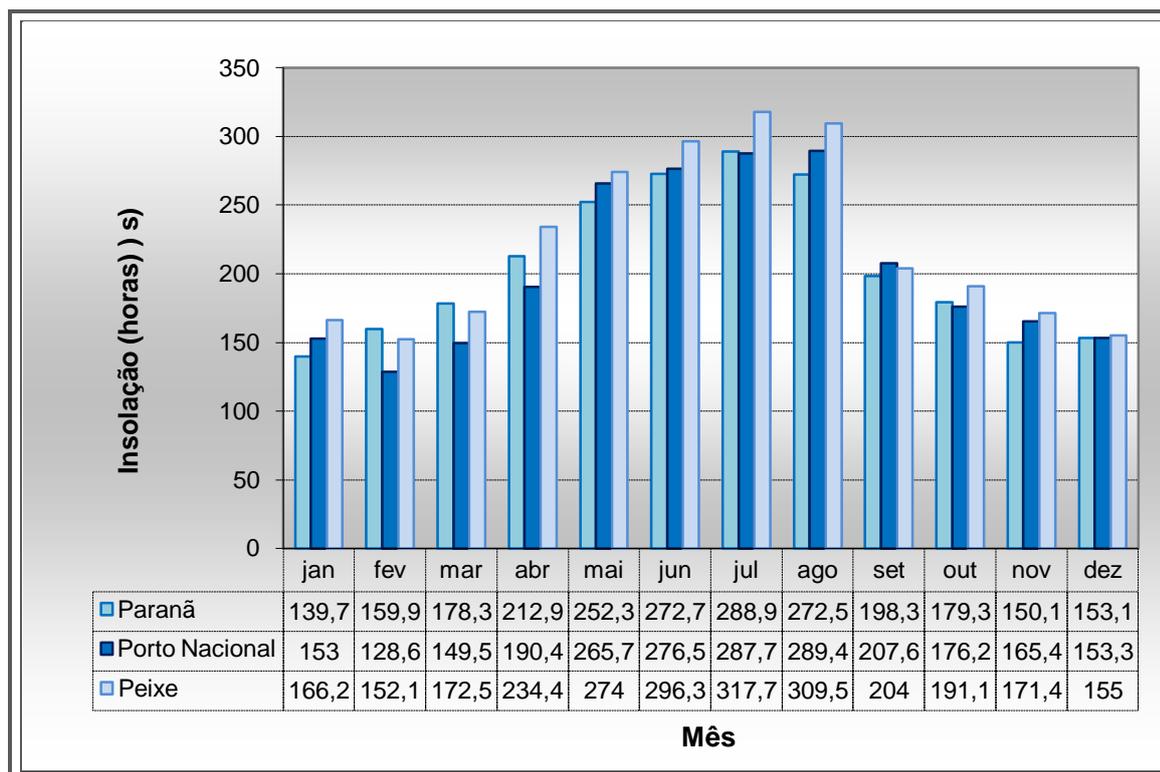


Figura 4.11– Histograma de insolação média mensal.

A insolação total média é de 2.458 horas para a estação de Paranã, variando em termos médios de um máximo de 289 horas em julho a um mínimo de 140 horas em janeiro.

Na estação de Porto Nacional, a insolação total média é de 2.445 horas, com máxima 290 horas para o mês de agosto e mínima de 150 horas em fevereiro.

O maior valor de insolação total média na região corresponde à estação de Peixe com 2.640 horas, máximo de 318 horas em julho e mínima de 152 horas em fevereiro.

4.3.7. Velocidade dos Ventos

Vento é o movimento aproximadamente horizontal do ar atmosférico, chamando de correntes os movimentos verticais. Duas variáveis, velocidade e direção, caracterizam os ventos, sendo que tanto a velocidade como a direção são fortemente influenciadas pelas irregularidades topográficas.

Os registros anemométricos das estações de Peixe e Porto Nacional permitiram estabelecer as velocidades médias para cada mês, as quais são apresentadas na figura 4.12.

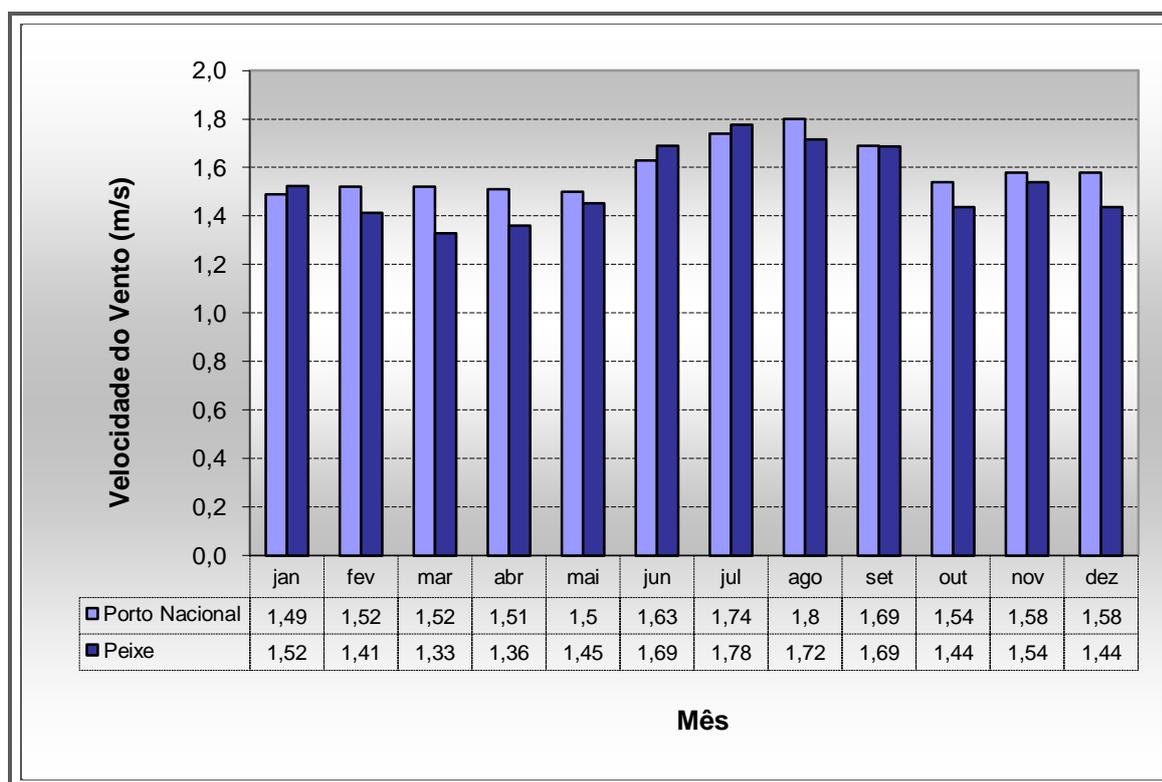


Figura 4.11 – Histograma de velocidade do vento média mensal.

Os registros observados nas estações meteorológicas da região indicam pequenas variações enquanto à sazonalidade nas velocidades médias dos ventos ao longo da bacia. As estações de Paranã, localizada na parte alta, os dados não estão disponíveis, para melhor compreender como é o comportamento dos ventos na suas nascentes, não tendo condições de verificar o efeito topográfico nesta bacia.

Nas estações de Peixe e Porto Nacional a velocidade média anual registrada é de aproximadamente 1,5 m/s. Entre junho e setembro onde se verifica a maior média de velocidade, tendo o mês de agosto os maiores ventos na região, quando atingem em média 1,8 m/s em Porto Nacional. As menores médias mensais se mostram presentes no verão, chegando a velocidades de 1,3 m/s no mês de

março, registrados na estação de Peixe. Isto vem mostrar a influência exercida pelo relevo, entre os pontos de coleta de dados.

4.4. Balanço Hídrico Climático

O Balanço Hídrico é facilmente entendido como um método climático utilizado para estimar o teor de água existente no solo, disponível à comunidade vegetal, sendo estabelecido como a relação entre a precipitação e a evapotranspiração. A variação dessa relação possibilita quantificar a água armazenada no interior do solo, mediante o saldo do que entrou e do que saíram nas diferentes épocas do ano.

O Balanço Hídrico Climatológico oferece dados para diferentes aplicações de planejamento e de desenvolvimento regional, tornado-se uma ferramenta muito importante na realização de estudos da caracterização climática.

Para a agricultura, as informações do Balanço Hídrico Climatológico estão relacionadas ao conhecimento do regime hídrico de uma região; da época mais apropriada ao longo do ano, para o preparo do solo, semeadura e plantio e a viabilidade de implantação de sistemas de irrigação ou drenagem.

O balanço hídrico permite também definir os períodos de déficit hídrico em que há necessidade de irrigação e a identificação dos períodos de excesso, os quais poderão ser aproveitados no armazenamento superficial da água da chuva.

A metodologia para elaboração do balanço hídrico climatológico utilizada foi de THORNTHWAITE & MATHER (1957), com uma capacidade de água disponível no solo de 100 mm e com a evapotranspiração potencial (ET_o) sendo estimada pelo método de THORNTHWAITE.

Os valores de temperatura e precipitação foram obtidos pelas normais climatológicas na localidade de interesse.

O balanço hídrico foi realizado de duas formas: a) Pontual, realizado para as estações climatológicas do INMET e b) Distribuída, com auxílio das ferramentas de geoprocessamento e interpolação.

No balanço distribuído, assumiu-se por hipótese que o reservatório de 100mm se encontrava vazio no final do mês de setembro (final da estação seca). A partir desta hipótese se acumularam os armazenamentos, excessos e déficits, segundo a equação a seguir:

$$U(t) = P(t) - E(t) + U(t-1)$$

Onde:

U (t) – Umidade no solo no mês atual;

U(t-1) – Umidade no solo no mês anterior

E (t) – Evapotranspiração de referência no mês atual;

P(t) – Precipitação no mês atual.

Os Déficit são todas as demandas atmosféricas não atendidas pelo reservatório, e os excessos são os valores acima de 100mm que não podem ser armazenados pelo reservatório. A Disponibilidade, portanto fica sendo o armazenamento U(t) mais os excessos.

As figuras 4.13, 4.14 e 4.15 apresentam os resultados do balanço hídrico das estações meteorológicas operadas pelo INMET na região em estudo. Foram adotados os dados das estações de Peixe (1975-1990), Porto Nacional e Paranã (1961-1990), obtidos junto à Embrapa Monitoramento por Satélite.

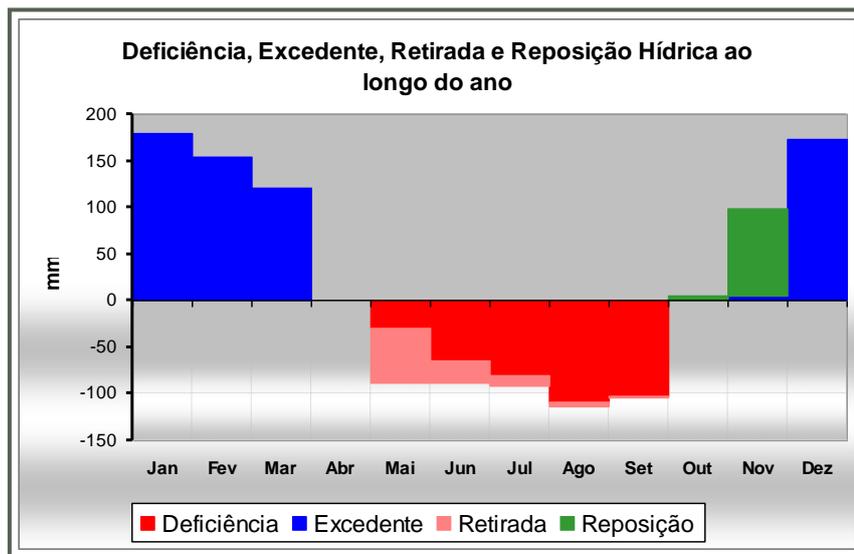
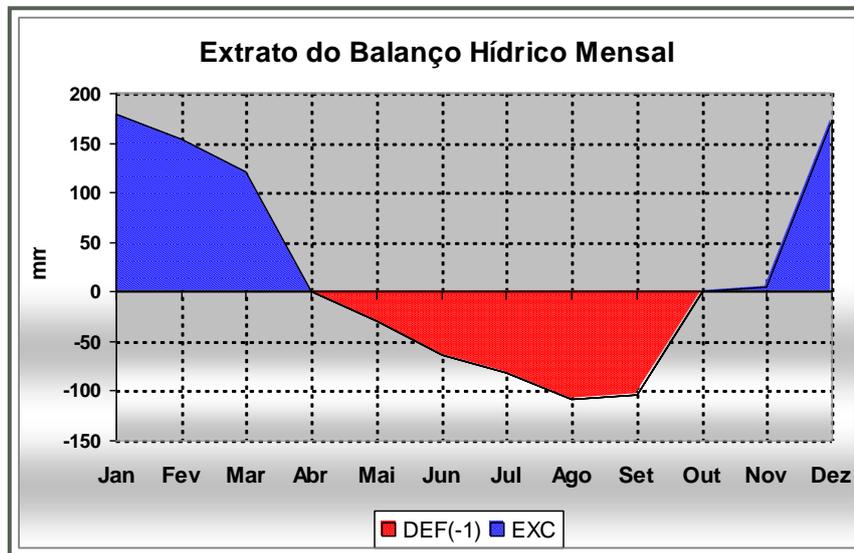
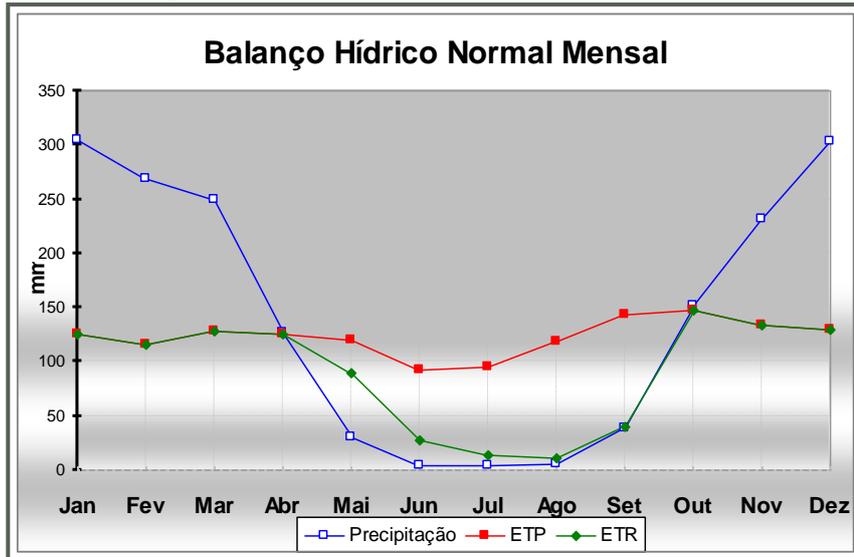


Figura 4.12 – Balanco Hídrico da Estação Climatológica Peixe-TO.

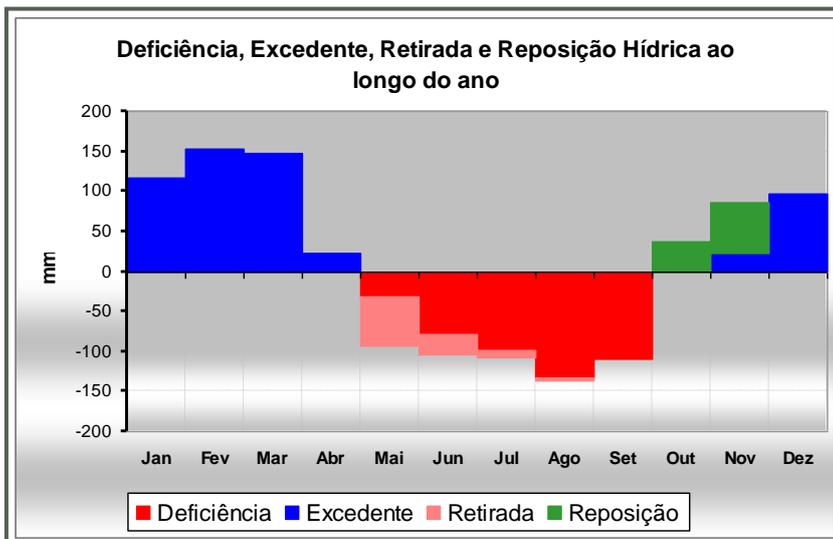
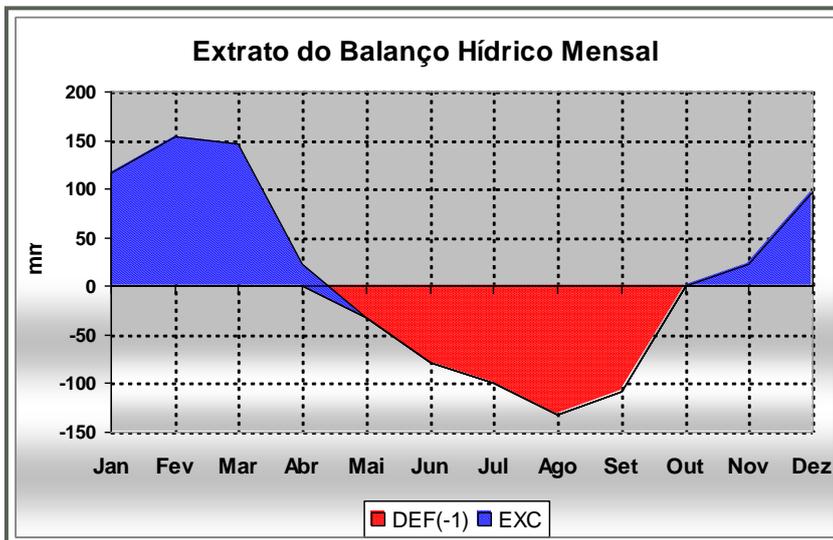
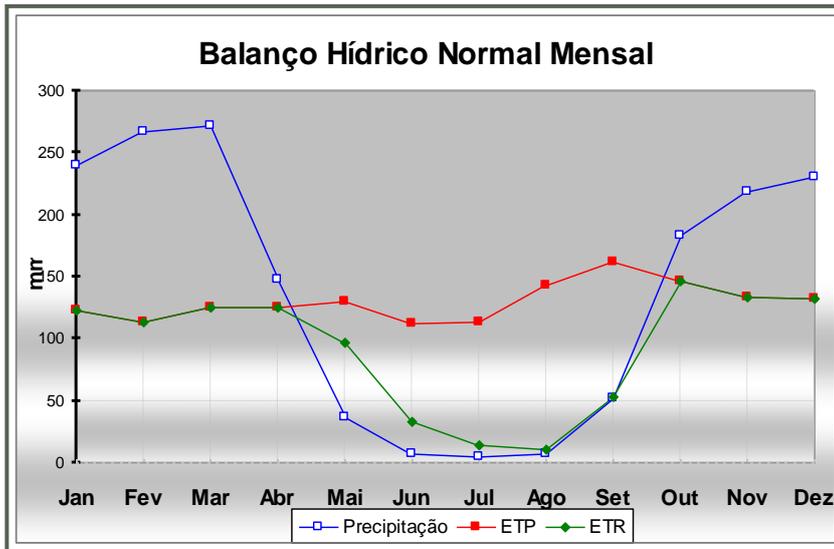
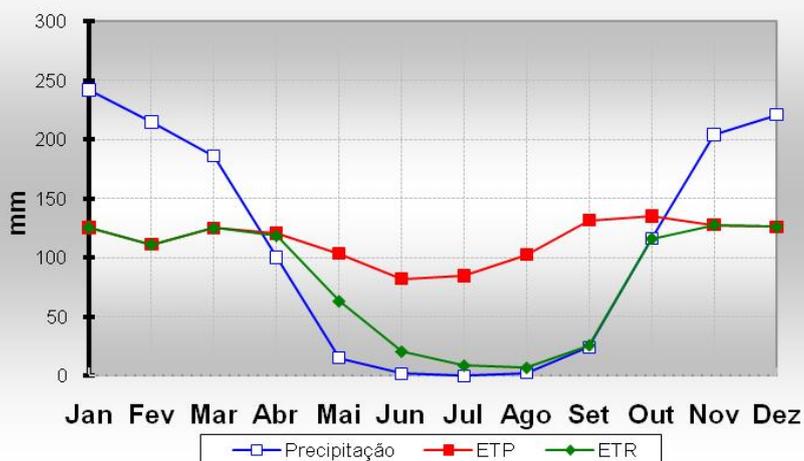
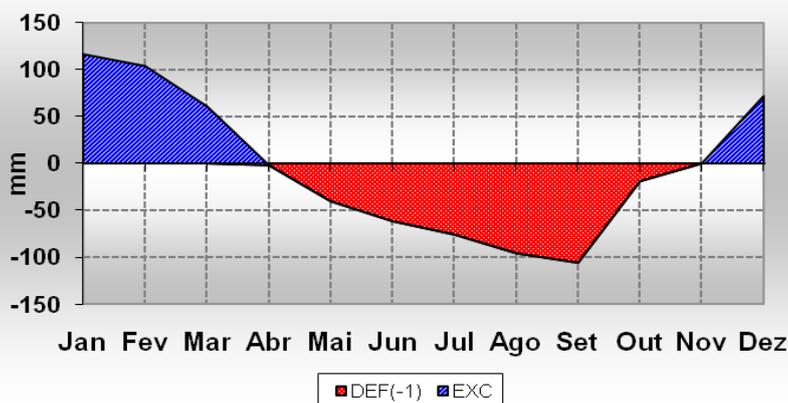


Figura 4.13 – Balanco Hídrico da Estação Climatológica Porto Nacional-TO.

Balço Hídrico Normal Mensal



Extrato do Balço Hídrico Mensal



Deficiência, Excedente, Retirada e Reposio Hídrica ao longo do ano

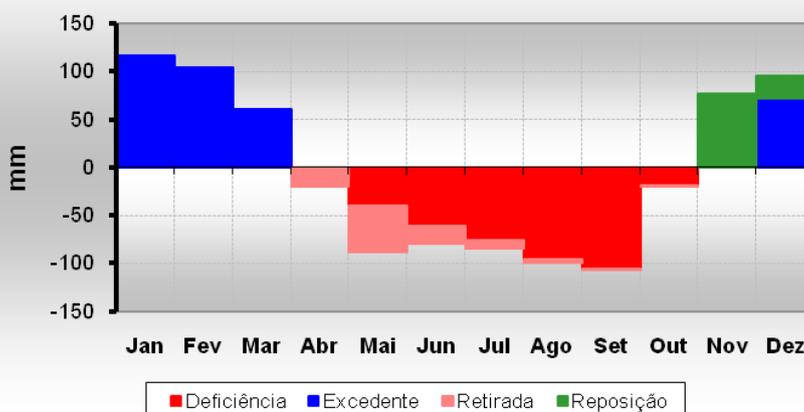


Figura 4.14 – Balço Hídrico da Estão Climatológica Paran-TO

4.4.1. Evapotranspiração Potencial

O conceito de **evapotranspiração potencial (ETP)** foi introduzido por Thornthwaite e aperfeiçoado em diversas oportunidades. EP corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, estando este bem suprido de umidade, ou seja, em nenhum instante a demanda atmosférica é restringida por falta de água no solo.

Para Penman (1956), a vegetação deve ser baixa e de altura uniforme. A grama foi prontamente tomada como padrão, pois esta é a cobertura utilizada nos postos meteorológicos. Assim definida a EP é um elemento climatológico fundamental, que corresponde ao processo oposto da chuva (Thornthwaite, 1946) sendo expressa na mesma unidade de medida (mm). A comparação entre chuva e a EP resulta no balanço hídrico climatológico, indicando excessos e deficiências de umidade ao longo do ano ou da estação de crescimento das culturas.

A variação sazonal da evapotranspiração acompanha o ciclo anual da temperatura média mensal, como se observa na figura 4.16.

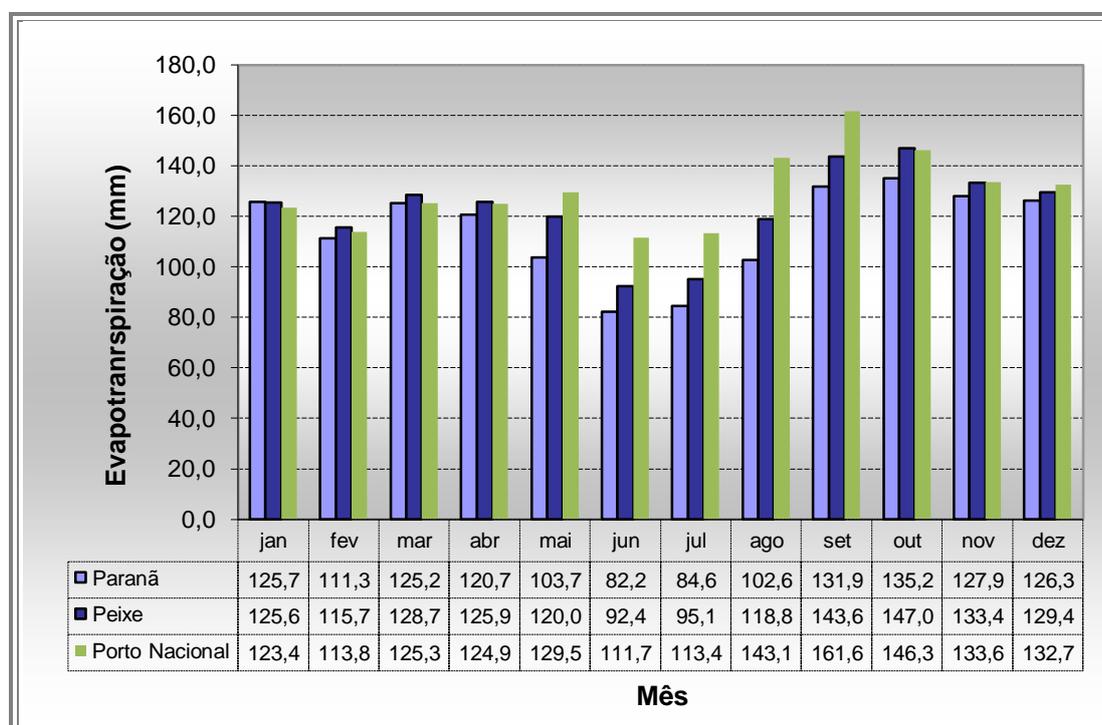


Figura 4.15 – Histograma de Evapotranspiração média mensal.

Conforme se pode observar na figura 4.16, a estação de Porto Nacional apresenta uma evapotranspiração média anual de 182 mm a mais que a estação de Paranã, chegando a evapotranspirar 40 mm no mês mais crítico (Agosto). A estação de Peixe localizada no trecho médio da bacia apresenta valores médios mensais e anuais intermediários para os valores evapotranspirados das estações de Paranã e Porto nacional.

Valores máximos de evapotranspiração potencial podem ser verificados nas estações de Porto Nacional (1.560 mm) e Peixe (1.475 mm), com média mensal de 130 mm e 123 mm, respectivamente. A máxima ETP para a região corresponde à estação de Porto Nacional, de 162 mm em setembro; apresentando média para o período agosto-dezembro de 143,5 mm.

Nas áreas mais elevadas, a estimativa para a estação de Paranã, atinge os valores mínimos para a região, correspondendo uma ETP anual de 1.377 mm, com média mensal de 115 mm. A máxima ETP se verifica em setembro e é de 135 mm.

4.4.2. Evapotranspiração Real

Evapotranspiração real (ETR) é aquela que ocorre numa superfície vegetada, independente de sua área, de seu porte e das condições de umidade do solo. Portanto, ETR é aquela que ocorre em qualquer circunstância, sem imposição de qualquer condição de contorno. Logo a ETR pode assumir um valor potencial qualquer. A ETR pode ser limitada tanto pela disponibilidade de radiação solar como pelo suprimento de umidade pelo solo.

A variável em questão depende além das condições climáticas, da condição de umidade do solo e, portanto da sua capacidade de armazenamento máximo. A condição de umidade do solo depende fundamentalmente da marcha anual das precipitações e evapotranspiração potencial, como medida do poder evaporante da atmosfera.

Observa-se a partir da análise dos gráficos da ETR, um aumento neste parâmetro, no sentido Sul-Norte, com aproximadamente 183 mm entre as estações de Paranã (1.377 mm) e Porto Nacional (aproximadamente 1.560 mm).

A estação de Paranã, situada na porção mais sul e próximo as nascentes, tem nos meses de setembro a dezembro, os níveis de ETR mais elevado, atingindo um valor médio de 130 mm. Já na porção norte da bacia, na estação de Porto Nacional quando se considera o mesmo período a evapotranspiração real mais elevado, chega-se a valores médios de 145 mm.

4.4.3. Déficit Hídrico

O déficit hídrico, apresentado na coluna de coloração vermelha no balanço hídrico, representa quanto o sistema solo-planta deixou de evapotranspirar para ter seu crescimento e desenvolvimento se realizando em condições normais, devido à falta de água no solo.

Os valores dos déficits hídricos nas áreas apresentam crescentes no sentido sul-norte, variando de 382 mm/ano na estação de Peixe, até 452 mm/ano na estação de Porto Nacional. Na estação de Paranã este valor é de 400 mm/ano. Este déficit é estimado pela diferença entre a ETP-ETR.

4.4.4. Excedente Hídrico

O excedente hídrico representa a quantidade de água que ultrapassou o limite máximo de retenção de água do solo, causando escoamento superficial que irá abastecer rios, lagos e oceanos, e drenagem profunda que irá abastecer o lençol freático e os aquíferos subterrâneos.

O excedente hídrico estimado para a área apresenta um padrão crescente no sentido sul-norte, partindo de valores de 553 mm/ano (Paraná) e 560 mm/ano (Porto Nacional), na porção central da bacia, chegando a valores de 632 mm/ano em Peixe.

Sazonalmente, os meses de inverno são caracterizados por não apresentarem excedente, independentemente da situação geográfica considerada, ficando todo excedente registrado nos meses de verão, de dezembro a março.

As linhas que representam Precipitação, ETP e ETR nas figuras 4.13 a 4.15 apresentam o curso anual do balanço hídrico com ocorrência de excesso de

novembro a abril e déficit de maio a setembro. Nem toda água que ultrapassa a necessidade das plantas constitui excedente hídrico (área azul), podendo ser armazenada no solo (área verde) e utilizada pelas plantas à medida que as chuvas cessam (área rósea). Desta forma, as áreas em verde, azul e rósea, demonstram que existe umidade no solo para ser utilizada por algumas culturas. O período de deficiência (área vermelha) inicia-se em maio e vai até setembro, se caracterizando como um período de estiagem prolongada. Nesse período, o estoque de água do solo é rapidamente esgotado causando sérios problemas às culturas, além de corresponder ao período de vazante dos rios, cessando totalmente alguns cursos d'água o que implica na impossibilidade de uso da irrigação suplementar.

4.5. Estimativa da recarga dos sistemas aquíferos na região sudeste do Tocantins

Um dos pontos mais importantes tratados neste relatório é a estimativa do volume infiltrado nos sistemas aquíferos, pois esta informação permite uma estimativa da recarga e da reserva explorável.

Muito embora, no item anterior tenham sido apresentados os balanços climatológicos distribuídos e concentrados nas estações climatológicas disponíveis na região sudeste do Tocantins, caracterizando-se os déficits, armazenamentos e excessos, tal informação não permite uma estimativa precisa da recarga subterrânea.

O volume infiltrado é uma variável complexa de ser estimada, dentre os principais motivos são: sua dependência da cobertura vegetal, das práticas de conservação do solo, das propriedades físicas do horizonte superficial do solo, da umidade instantânea e antecedente ao instante da precipitação, da taxa (velocidade) de aplicação da Lâmina e da capacidade de infiltração no mesmo instante.

Uma vez estimado o total infiltrado, pode-se agregar uma dificuldade complementar, que consistem em separar a parcela que infiltra profundamente (tornando-se parte das reservas subterrâneas) e da parcela que retornará a rede de drenagem através do escoamento subsuperficial.

Diante desta complexidade, restam duas alternativas para quantificação desta variável:

- a) Utilização de modelagem hidrológica para separação do escoamento;
- b) Utilização de métodos empíricos para separação do escoamento.

O presente trabalho faz uso destas duas ferramentas, para fins de quantificação da recarga, conforme será apresentado detalhadamente a seguir.

4.5.1. Metodologia

A metodologia adotada para estimativa da recarga na região Sudeste contemplou as seguintes etapas:

1. Escolha de um posto fluviométrico confiável;
2. Estimativa da precipitação média na área afluyente ao posto fluviométrico selecionado;
3. Separação do escoamento proveniente da vazão de base externa à bacia, proveniente do sistema Urucuia-Bambui, com utilização de calibração de modelo hidrológico. Nesta etapa ajustou-se um modelo de calibração chuva-vazão descontando-se progressivamente uma vazão de base na ordem de 90% da curva de permanência, até se conseguir um bom ajuste sem a distorção dos parâmetros da calibração.
4. Após o desconto da vazão de base de origem de sistemas aquíferos externos, foram calculadas as precipitações e vazões para os anos hidrológicos da série histórica (Início da estação chuvosa e fim da estação seca).
5. Escolheu-se um ano com total precipitado dentro da média da série histórica e um ano com total precipitado anual abaixo da média.
6. Foi realizado uma separação visual, com base nas propriedades da hidrógrafa diária, separando-se escoamento superficial de

escoamento de base.

7. Calculou-se a partir da separação de escoamento do hidrograma, o volume (mm) escoado por meio de vazão de base $Q_{b_int}(mm)$.
8. Calculou-se a infiltração $F=P(mm)/Q_{b_int}(mm)$.

4.5.2. Aplicação

A estação hidrológica selecionada para separação do escoamento subsuperficial, foi a estação em Porto Alegre do Tocantins, localizada no Rio Manuel Alves, um dos mais importantes que drenam a região Sudeste do Tocantins.

Para aplicação da metodologia, foi utilizado o posto fluviométrico de Porto Alegre (22190000) localizado no rio Manuel Alves (afluente do rio Tocantins) no entorno das coordenadas $11^{\circ}36'45''(S)$ e $47^{\circ}02'42''(W)$. Possui uma área de drenagem de 1.930 km^2 , instalada em novembro de 1975 e operada atualmente pela Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais de Goiás (CPRM-GO).

Esta estação possui uma série de dados desde novembro de 1975 a 2007, apresentando poucas falhas, disponibilizados no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (www.hidroweb.ana.gov.br).

A vazão com 90% de permanência estimada para este posto é de $26,6 \text{ m}^3/\text{s}$, através de tentativas sucessivas de calibração com o modelo hidrológico IPH2-Win, ajustou-se uma vazão de base externa à bacia do Manuel Alves de $19 \text{ m}^3/\text{s}$, proveniente do Sistema Fissuro Cárstico Urucuia-Bambui. Este valor foi descontado do hidrograma da série histórica do posto 2190000 por não corresponder ao aporte de chuva interna à área de captura da bacia hidrográfica.

Uma vez descontado o Hidrograma selecionou-se dois anos hidrológico:

- a) Out/1985 a set/1986, por apresentar um total precipitado anual da ordem da precipitação média anual da bacia de contribuição, apresentado Quadro 4.7.
- b) Out/1983 a set/1984, por apresentar um total precipitado anual (1258 mm) abaixo da média da bacia de contribuição, apresentado

no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Precipitações médias anuais e vazões médias mensais observadas no Posto 2190000 (Porto Alegre do Tocantins).

Ano	P anual (mm)	Qobs (m3/s)
1979	1.813,5	30,8
1980	1.977,9	30,4
1981	1.497,4	27,4
1982	1.338,7	24,9
1983	1.446,0	25,6
1984	1.202,2	20,5
1985	1.706,6	30,9
1986	1.362,4	27,5
1987	1.541,9	23,3
1988	1.366,7	27,6
1989	1.863,8	26,6
1990	1.020,2	21,1
Média	1511,5	26,4

As Figura 4.16 e 4.18 apresentadas a seguir, mostram graficamente, a separação do escoamento superficial e subterrâneo nos hidrogramas do posto fluviométrico 2190000, para os anos hidrológicos referidos acima, representativos de um ano seco e de um ano médio.

Observa-se nos gráficos das figuras abaixo, as linhas “vermelhas” representativas do escoamento de base (ou subterrâneo) foram obtidas através da ligação com linhas retas aproximadas entre o ponto de ascendência e o ponto de inflexão dos hidrogramas. A linha “verde” representa a vazão de base externa (Qext) aportada na bacia através do sistema Urucuia. A linha “azul” representa a somatória de todas as parcelas de escoamento (subterrâneo, superficial e subsuperficial).

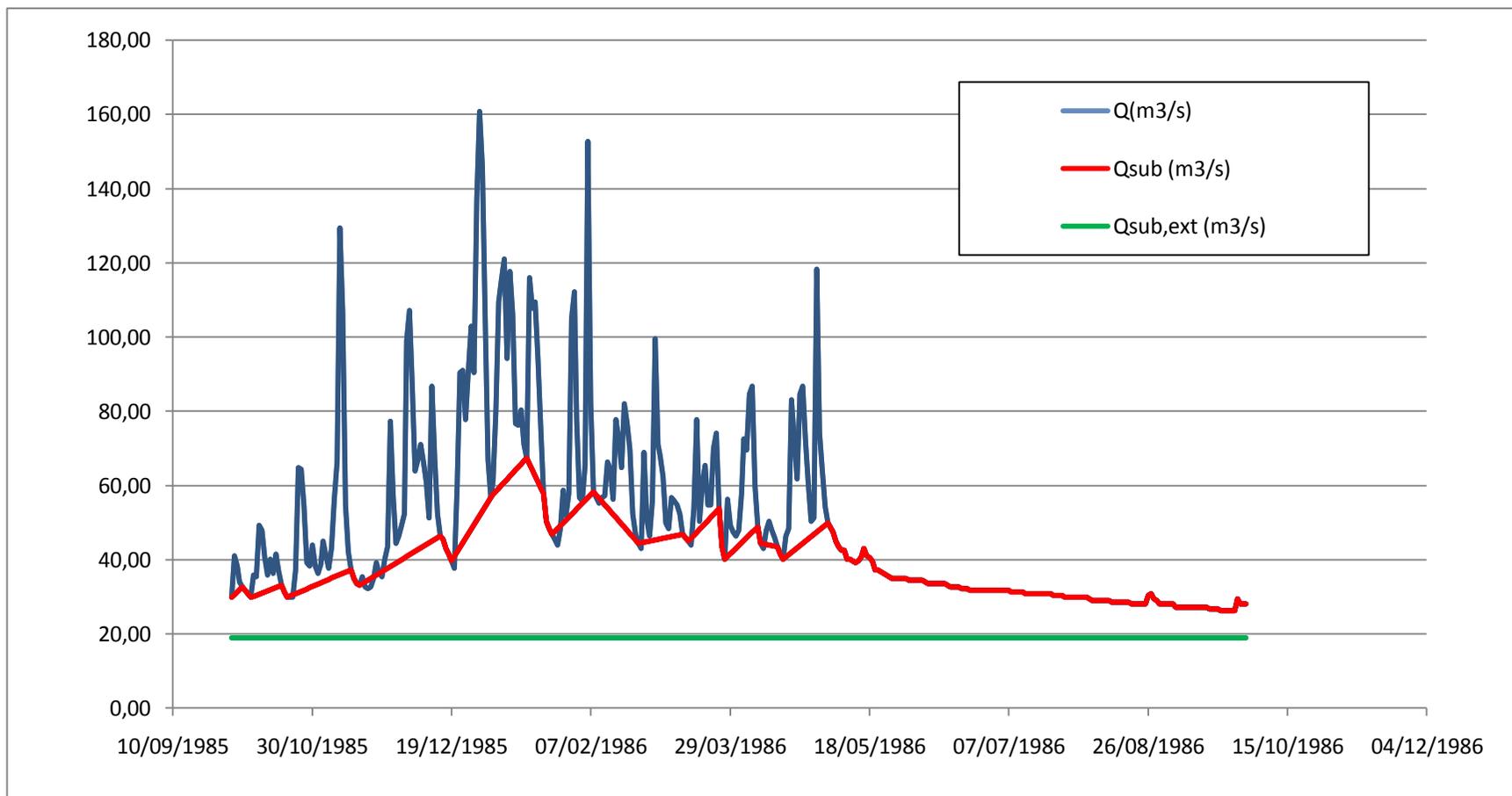


Figura 4.16 – Separação das componentes do Hidrograma da estação 2190000, posto fluviométrico Porto Alegre do Tocantins, rio Manuel Alves, ano hidrológico 1985-1986.

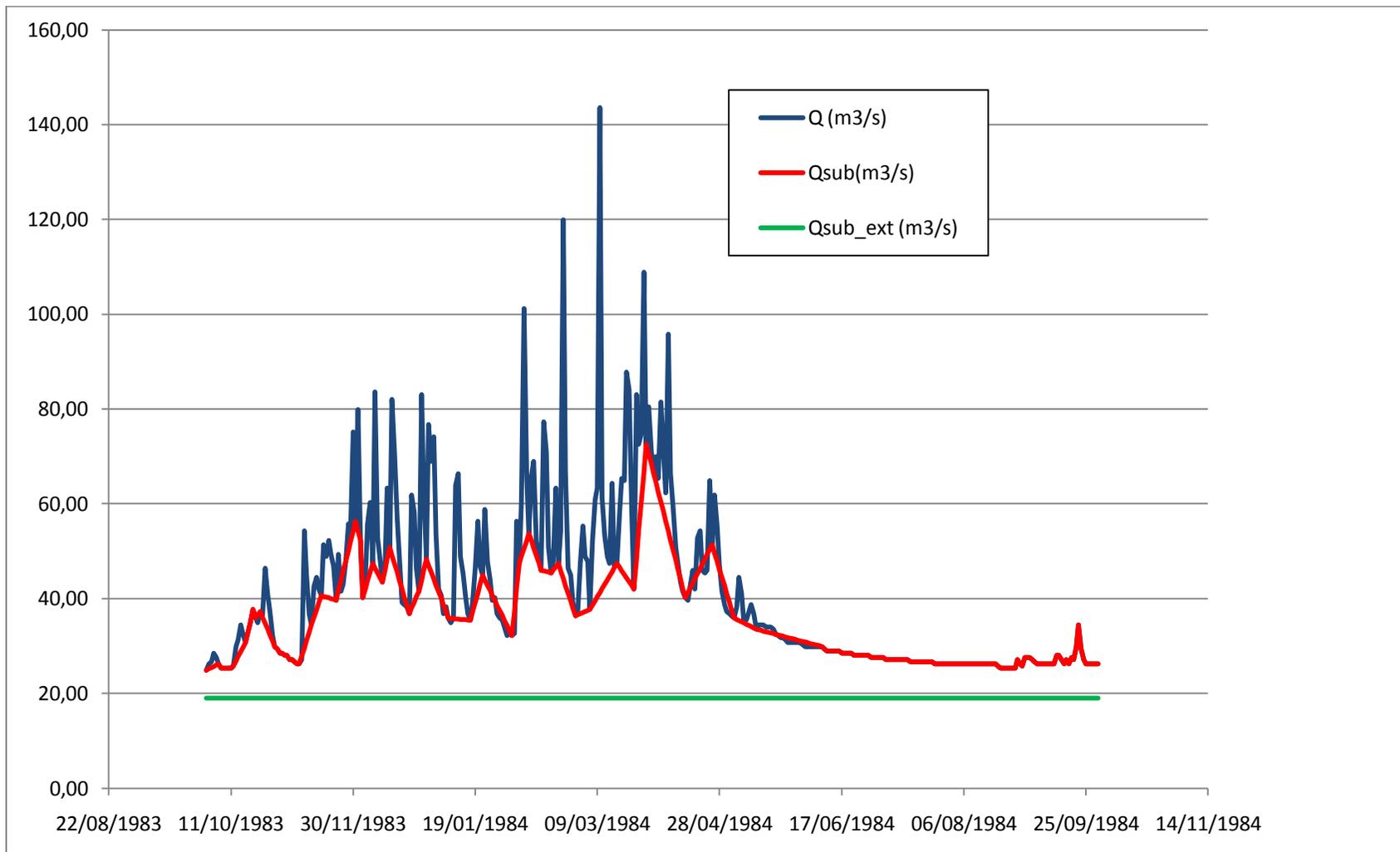


Figura 4.17 – Separação das componentes do Hidrograma da estação 2190000, posto fluviométrico Porto Alegre do Tocantins, rio Manuel Alves, ano hidrológico 1983-1984.

Os volumes correspondentes ao escoamento subterrâneo podem ser obtidos a partir da integração da área sob a linha "vermelha" (Q_{sub}) representativa do escoamento de base e acima da linha "verde" (Q_{sub_ext}) nas Figuras 4.16 e 4.18.

A seguir, no quadro em destaque, apresenta-se o cálculo desta variável.

Ano Hidrológico 1985/1986

Panual – 1.611 mm

Q_{base_int} – 332 mm

Infiltração ($Q_{base_int}/Panual$) – 21%

Ano Hidrológico 1983/1984

Panual – 1.258,7 mm

Q_{base_int} – 280,56 mm

Infiltração ($Q_{base_int}/Panual$) – 22,29%

Este valor pode ser interpretado como a parcela da precipitação anual que infiltra nos reservatórios subterrâneos a cada ano hidrológico e retorna através do afloramento superficial.

De forma resumida, estes números fornecem evidências de que pouco mais de 20% do total precipitado nas cabeceiras das bacias que atravessam a região Sudeste infiltram nos reservatórios subterrâneos para manter os rios durante os períodos de estiagem e alimentar as captações subterrâneas.

No quadro 4.8, a seguir, o cálculo é desagregado em um intervalo mensal, onde se observa claramente a importância dos reservatórios subterrâneos, para transportar os estoques de água durante a estação chuvosa (out/85 a abr/86) e disponibilizar para os corpos d'água superficiais durante a estação seca (mai/86 a set/86).

Quadro 4.8- Separação de escoamento superficial em intervalo mensal, para o ano hidrológico de 1985/1986.

Mês	P(mm)	Qsup (mm)	Qsub,int (mm)	Qsub,ext (mm)
out/85	204,8	10,28	17,23	26,37
nov/85	236,7	16,08	22,51	25,52
dez/85	362,9	44,86	35,81	26,37
jan/86	246,5	28,44	53,80	26,37
fev/86	179,5	19,47	40,62	23,82
mar/86	181,8	14,04	38,21	26,37
abr/86	170,0	22,65	34,34	25,52
mai/86	6,2	0,91	29,60	26,37
jun/86	0,2	0,00	18,78	25,52
jul/86	0,7	0,00	16,45	26,37
ago/86	6,8	0,00	13,69	26,37
set/86	15,4	0,00	10,99	25,52

ANEXO 1 – Localização, Nome e Código das Estações Pluviométricas utilizadas nos estudos.

LONG	LAT	NOME	MUNICIPIO	CODIGO	RIO
-46,8103	-11,6261	Dianópolis	Dianópolis	1146000	M.A.
-47,7261	-11,6978	Natividade	Natividade	1147001	M.A.
-46,4800	-12,0917	Ponte alta do Bom Jesus	Ponte alta do Bom Jesus	1246000	Palma
-46,4083	-12,7133	Aurora do Norte	Aurora do TO	1246001	Palma
-47,2969	-12,2181	Conceicao do Tocantins	Conceicao do Tocantins	1247000	Palma
-47,1917	-12,4200	Rio da Palma (Faz. Chuva Manga)	Babaçulândia	1247002	Palma
-47,1747	-11,5778	Almas	Almas	1147000	M.A.
-47,5767	-11,1406	Pindorama do Tocantins	Formoso do Araguaia	1147002	Balsas
-47,0450	-11,6133	Porto Alegre	Porto Alegre do TO	1147003	M.A.
-48,2883	-11,5322	Fazenda Lobeira	SV da Natividade	1148000	M.A.
-46,6806	-9,5919	Lizarda	Lizarda	946003	Perdida
-47,3269	-9,4575	Mansinha	Rio Sono	947001	Perdida
-48,3875	-9,6917	Miracema do TO	Miracema do TO	948000	TO
-47,9292	-9,3069	Porto Real	Figueirópolis	948001	Sono
-46,3667	-10,5333	Mateiros	Mateiros	1046001	Sono
-47,4700	-9,9906	Jatobá (faz. Boa Nova)	Itacajá	1047000	Peixe
-47,6747	-9,9606	Novo Acordo	Dois irmão do TO	1047001	Peixe
-47,8000	-10,7856	Porto Girândia	Cristalândia	1047002	Balsas
-47,9000	-10,0000	Rio da Balsas	Dois irmão do TO	1047003	Balsas
-47,5361	-10,7508	Ponte Alta do TO	Goiatins	1047004	Balsas
-48,4183	-10,7044	Palmas	Porto Nacional	1048003	TO
-48,1594	-10,3133	Taquarassu do Porto	Palmas	1048005	TO
-49,2239	-10,4408	Pium	Fortaleza do Tabocão	1049001	Javaés
-48,9022	-10,7636	Fátima	Fátima	1048000	TO
-49,2675	-11,3394	Duere	Brejinho de Nazaré	1149000	Javaés
-49,1364	-11,7364	Gurupi	Gurupi	1149002	Javaés
-48,5383	-12,0283	Peixe1	Filadélfia	1248000	TO
-48,7114	-12,3878	Colonha	Peixe	1248001	St Tereza
-48,5333	-12,0500	Peixe2	Filadélfia	1248002	TO
-48,0736	-13,0419	Palmeirópolis	Palmeirópolis	1248003	TO
-47,8783	-12,6167	Paraná1	Fátima	1247001	Paraná
-47,8500	-12,5500	Paraná2	Fátima	1247003	Paraná
-47,4867	-12,5850	Fazenda Santa Rita	Fátima	1247005	Palma
-49,1242	-12,4808	Alvorada	Alvorada	1249000	Canabrava
-49,2014	-13,1028	Entroncamento São Miguel	Porangatu/GO	1349003	Canabrava
-48,1761	-8,9686	Pedro Afonso	Pedro Afonso	848004	TO
-48,5169	-8,8308	Guarai	Carrasco Bonito	848001	TO
-49,0650	-9,2575	Dois Irmão do TO	Brasilândia do TO	949001	TO

-49,1550	-9,6250	Abreulândia	Angico	949000	TO
-48,8906	-10,1653	Paraíso do TO	Paraíso do TO	1048001	Coco
-49,1453	-13,4472	Porangatu (Descoberto)/GO	Porangatu	1349002	Santa Teresa
-47,1319	-13,4239	Ponte Paranã/GO	Monte Alegre de Goiás	1347001	Paraná
-48,2269	-13,5331	Sama/GO	Minaçu	1348001	TO
-46,3672	-13,5681	Fazenda Ingazeiro/GO	São Domingos	1346002	São Mateus
-46,0622	-13,3303	Fz Prainha (Fz. Antas)/BA	Correntina	1346007	Palma
-45,9438	-12,7653	Roda Velha/BA	São Desidério	1245015	Fêmeas
-45,8108	-12,1256	Fz Joha/BA	Barreiras	1245014	Grande
-46,2000	-9,1667	Cambuí/MA	Alto Parnaíba	946001	Parnaíba
-45,6667	-9,7500	Boqueirão dos Felipes/PI	Gilbues	945002	Parnaíba
-45,4833	-9,9500	Barreiras do Piauí/PI	Barreiras do Piauí	945001	Parnaíba
-45,5258	-11,0206	São Marcelo/BA	Formosa do Rio Preto	1145006	S. Francisco
-45,2833	-10,5833	Cristalândia do PI/PI	Cristalândia do PI	1045002	Parnaíba
-45,5267	-10,9925	Fz. Bom Jardim/BA	Formosa do Rio Preto	1145004	Preto

5. LEVANTAMENTO SÓCIO-ECONÔMICO

O levantamento sócio-econômico realizado em municípios do interior da região sudeste do estado do Tocantins revelou importantes situações a respeito do abastecimento d'água e saneamento além de aspectos comunitários que atuam também negativamente quanto ao risco de contaminação dos aquíferos.

Foram pesquisados quase todos os municípios, mas em vários deles não se conseguiu informações ou por não serem encontrados administradores públicos nos dias em que o técnico visitou o município ou por estes se negarem a fornecer informações.

Ao final, foram levantados 28 municípios da região, conforme pode ser visto na sinopse apresentada no quadro 5.1 e cujas fichas individuais aparecem no Anexo C deste relatório.

Convém salientar que em todos os municípios levantados, as informações foram sempre proporcionadas por um secretário municipal, cujo nome é acrescentado na folha cadastral apresentada no Anexo C.

A seguir serão ressaltados alguns pontos desse levantamento, como mostrado no quadro 5.1:

- a) Apenas três municípios – Porto Nacional, Santa Rosa e Silvanópolis possuem a área urbana abastecida a partir de reservatórios de águas superficiais (açudes públicos);
- b) Já no meio rural, a população dos municípios de Almas, Combinado, Monte do Carmo, Paraná, Ponte Alta do Bom Jesus e Santa Rosa, são abastecidas simultaneamente por açude, poço e rio corrente;
- c) O abastecimento público de áreas urbanas através de poços tubulares é procedido nos municípios de Almas, Aparecida do Norte, Chapada da Natividade, Combinado, Conceição do Tocantins, Lagoa do Tocantins, Natividade, Ponte Alta do Tocantins, Porto Alegre do Tocantins, Santa Rosa e Santa Tereza;
- d) Apenas três municípios possuem uma população urbana abastecida por rede, com mais de 10.000 habitantes, que são Dianópolis, Porto Nacional e Taguatinga;

- e) A demanda urbana é, em geral, inferior a 1.000 m³/dia (0,012 //s), somente ultrapassando esse valor, os municípios de Arraias, Combinado, Dianópolis, Natividade e Taguatinga; provavelmente Porto Nacional que não foi informado deve também superar esse limite.
- f) A demanda urbana da área rural somente ultrapassa os 100 m³/dia nos municípios de Paraná, Peixe, Porto Nacional, São Valério, Taguatinga e Tocantins
- g) Todos os municípios da região têm vocação pecuária o que é mostrado no uso da água, enquanto a irrigação é muito pouco desenvolvida (40% dos municípios) e menos ainda as atividades industriais (25% dos municípios).
- h) Um aspecto surpreendente quanto a situação de saneamento diz respeito a existência de aterro sanitário, presente em 39% dos municípios pesquisados o que supera a média nacional.
- i) Muito baixo é o atendimento de esgotamento sanitário em rede, pois apenas em dois municípios – Porto Nacional e Taguatinga – existe esse dispositivo.
- j) Quanto aos aspectos comunitários em apenas um município não foi encontrado nenhum posto de combustível, que foi o de Lavanderia; a situação mais grave é, todavia, da ausência de hospitais em seis municípios – Chapada da Natividade, Lajeado, Novo Jardim, Porto Alegre de Tocantins, Santa Tereza do Tocantins e Tocantínia; quanto a cemitérios, como não podia ser de outra forma, todos os municípios possuem pelo menos um, sendo recordista o município de Porto Nacional, com 8 cemitérios.
- k) Finalmente quanto ao nível de satisfação da comunidade, além da informação da autoridade municipal, foram ouvidas em torno de 20 pessoas em cada município e o resultado apresentado foi o seguinte: 28% possuem elevado nível de satisfação, 50% considera baixo o nível de satisfação e 22% admitem baixo o nível de satisfação apenas para a área rural.

Esse levantamento deverá nortear o planejamento de abastecimento de água dos municípios a partir de água subterrânea que é o foco do presente trabalho.

QUADRO 5.1 - Sinópsse do levantamento sócio-econômico efetuado nos municípios do interior da região sudeste do estado do Tocantins

MUNICÍPIOS	Abastecimento d'água							População abastecida		Demanda atual (m ³ /dia)		Usos da água (indicativos)			Condições sanitárias			Aspectos comunitários			Nível de satisfação da comunidade		
	Meio urbano				Meio rural			Urbana	Rural	Urbana	Rural	Irrigação	Pecuária	Indústria	Aterro sanitário	Lixão	Rede de esgotos	Fossas	Postos de gasolina	Hospitais		Cemitérios	
	Açude	Poço tubular	Poço amazonas	Rio/córrego	Açude	Poço tubular	Poço amazonas	Rio/córrego/fontes															
Almas		X			X	X		X	6.300	75	750	17,5		X	X		X		X	1	1	1	Baixo no meio rural
Aparecida do Norte		X				X	X		3.500	100	525	15	X	X	X		X		X	2	1	1	Elevado
Arraias			X	X		X	X	X	3.500	250	1.060	2,5		X			X		X	2	1	1	Elevado
Aurora do Tocantins			X	X		X	X	X	2.000	60	350	6		X			X		X	1	1	2	Baixo
Chapada da Natividade		X				X		X	2.500	n.i.	625	45		X			X		X	1	0	1	Baixo
Combinado		X	X	X	X	X	X	X	4.000	380	1.000	85	X	X		X		X	2	1	1	Baixo no meio rural	
Conceição do Tocantins		X					X	X	3.700	n.i.	555	n.i.		X	X		X		X	1	1	1	Baixo
Dianópolis			X	X		X	X	X	19.000	540	2.850	81	X	X		X		X	6	1	5	Baixo	
Lagoa do Tocantins		X				X			2.700	75	405	5		X		X		X	2	1	2	Baixo	
Lajeado			X	X			X	X	1.500	n.i.	225	n.i.		X	X		X		X	1	0	1	Baixo
Lavanderia				X		X	X		1.200	150	240	15		X			X		X	0	1	1	Baixo
Monte do Carmo				X	X	X	X	X	3.600	n.i.	720	n.i.	X	X		X		X	1	1	5	Elevado	
Natividade		X		X		X		X	5.700	n.i.	1.500	30		X	X	X		X	2	1	4	Baixo no meio rural	
Novo Acordo			X	X		X	X	X	2.500	340	625	68		X			X		X	2	1	1	Elevado
Novo Alegre				X			X	X	2.200	n.i.	540	n.i.	X	X		X		X	1	1	1	Elevado	
Novo Jardim			X	X		X		X	2.200	800	220	9	X	X		X		X	1	0	1	Baixo no meio rural	
Paraná			X	X	X	X	X	X	3.200	1.050	640	210		X			X		X	2	1	1	Elevado
Peixe			X			X	X	X	4.500	750	675	112	X	X		X		X	2	1	2	Baixo no meio rural	
Ponte Alta do Bom Jesus			X	X		X	X	X	2.500	175	375	17,5		X		X		X	1	1	3	Baixo	
Ponte Alta do Tocantins		X		X	X	X	X	X	7.000	1.500	700	75	X	X		X		X	1	1	3	Baixo	
Porto Alegre do Tocantins		X					X	X	1.800	n.i.	360	15		X			X		X	2	0	1	Baixo
Porto Nacional	X			X		X	X		48.000	4.000	n.i.	400	X	X	X	X		X	X	3	2	8	Baixo no meio rural
Santa Rosa	X	X			X	X	X	X	4.000	2.000	480	n.i.	X	X		X		X	1	1	3	Elevado	
Santa Tereza do Tocantins		X				X			2.100	200	315	20		X			X		X	1	0	1	Baixo
São Valério			X	X		X	X	X	2.400	680	360	102		X		X		X	2	1	1	Baixo	
Silvanópolis	X					X	X	X	3.000	n.i.	150	n.i.	X	X		X		X	1	1	1	Baixo	
Taguatinga			X	X		X	X	X	15.000	1.500	1.824	150		X	X		X	X	X	2	1	2	Baixo
Tocantínia			X	X		X	X	X	2.300	1.020	345	102		X		X		X	2	0	1	Elevado	

Observações: 1) n.i. - não informado 2) a população abastecida citada é "em rede" 3) A demanda projetada não foi inserida pois falta informação em muitos municípios
4) para o nível de satisfação, além do informante, foram ouvidas em torno de 20 pessoas em cada município

6. CADASTRAMENTO DE POÇOS

6.1. Considerações gerais sobre o cadastramento dos poços

Foram cadastrados na região em estudo 1.062 poços entre tubulares e amazonas, nos três domínios geológicos – sedimentar, calcário e cristalino – correspondentes, respectivamente, aos aquíferos poroso (ou intersticial), cárstico-fissural e fissural.

Os poços foram cadastrados nos 36 municípios da região conforme números que se seguem abaixo relacionados por ordem alfabética:

<u>MUNICÍPIO</u>	<u>POÇOS</u>
Almas	32
Aparecida do Rio Negro	20
Arraias	73
Aurora do Tocantins	19
Chapada da Natividade	17
Combinado	14
Conceição do Tocantins	47
Dianópolis	46
Ipueiras	12
Lagoa do Tocantins	5
Lajeado	3
Lavandeira	11
Lizarda	12
Mateiros	9
Monte do Carmo	9
Natividade	44
Novo Alegre	1
Novo Acordo	...8
Novo Jardim	4
Palmas	333
Paraná	37
Pedro Afonso	15
Peixe	4
Pindorama	5
Ponte Alta do Bom Jesus	17
Ponte Alta do Tocantins	9
Porto Alegre	9
Porto Nacional	151
Rio da Conceição	1
Santa Rosa	9
Santa Tereza	7
São Félix do Tocantins	2
São Valério	11

Silvanópolis	9
Taguatinga	48
Taipas	8
<u>Tocantínia</u>	<u>11</u>
TOTAL	1062

Para a operação de cadastramento a área de estudo foi subdividida em 8 (oito) regiões envolvendo vários municípios em cada uma, com um auxiliar técnico responsável contratado na própria região.

Essa operação apresentou as seguintes vantagens:

- Sendo o cadastrante da própria região conhecia melhor os acessos na área
- Além disso, tinha mais facilidade de abordagem ao proprietário do poço por já ser conhecido na região;
- Também conhecia em grande parte as propriedades que possuíam poço
- Diminuía consideravelmente os gastos com transporte de vez que sendo a área de grandes dimensões a mudança de norte para sul de uma ou duas pessoas iria implicar em gastos consideráveis de combustível.

O trabalho dos oito cadastrantes foi acompanhado continuamente por telefone e visitas contínuas dos responsáveis pelos trabalhos de campo – geólogo Luis Siqueira e Humberto Sousa.

No campo os cadastrantes interpelavam o proprietário ou responsável pelo poço e preenchiam uma ficha cadastral cujo modelo foi previamente aprovado pela fiscalização dos serviços. Além de preencher a ficha, o técnico retirava uma amostra da água do poço, quando o mesmo se encontrava equipado com bomba e media a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos por um condutímetro portátil.

De posse dos dados, foram os poços inseridos no mapa básico com a geologia no fundo para permitir uma correlação com o tipo litológico.

Algumas falhas cometidas pelos cadastrantes foram já detectadas quando da revisão do cadastro, tendo sido corrigidas.

A seguir será apresentada uma análise acerca dos dados de poços cadastrados na região de estudo.

Nas tabelas 6.1 a 6.7 são apresentadas análises estatísticas dos elementos construtivos e hidráulicos dos poços cadastrados nos diversos tipos de aquífero presentes na área de estudo.

Tabela 6.1 – Parâmetros estatísticos dos dados de todos os poços da região sudeste do estado do Tocantins

Parâmetros estatísticos	Profund. (m)	Diâmetro (pol.)	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix. (m)	Vazão (L/h)	Vaz.Espec. (L/h/m)
Média	98,41	6,65	15,28	43,89	33,18	7.776,43	1104,32
Mediana	90,00	6,00	12,00	40,00	32,00	5.000,00	160,18
Desvio padrão	67,82	6,48	14,35	24,37	20,97	11.356,32	3540,69
Coef.variação	68,92	97,54	93,91	55,54	63,19	146,04	320,62
Valor Máximo	500,00	115,00	125,00	150,00	100,00	120.000,00	25600,00
Valor mínimo	6,00	2,00	0,00	1,00	0,50	1,00	2,29
Nº de valores	914	902	464	255	238	844,00	237
% do total	86,15	85,01	43,73	24,03	22,43	79,55	22,34

Verifica-se que a profundidade o nível dinâmico e o rebaixamento dos poços apresentaram uma menor dispersão de valores em torno da média, com um coeficiente de variação entre 50 e 70%. Essa variação embora reduzida, como mostra a diferença entre a média e a mediana, se deve a dois fatores distintos: em primeiro foram considerados conjuntamente os poços tubulares profundos que atingiram até 500m de profundidade e os poços amazonas, com profundidade de até 6,0m; em segundo, foram considerados conjuntamente os poços perfurados no sedimento, com profundidades em geral superior a 100m e os poços do cristalino, com profundidades menores que 100m. Levando em consideração essa pequena variação será considerada como representativa a profundidade média em torno dos 100 m o nível dinâmico em torno de 44m e o rebaixamento em torno dos 33m..

Quanto ao nível estático e o diâmetro o coeficiente de variação mostra mais de 90% de variação pelo que o N.E. mais representativo será o da mediana, com 12,0m de profundidade o diâmetro também pela mediana de 6". Enquanto isso

A vazão e a vazão específica se apresentaram com extremas variações em torno da média, pelo que será considerada a mediana como mais representativa, isto é, 5 m³/h para a vazão e 0,16 m³/h/m para a vazão específica.

A tabela 6.1 não reflete bem a situação dos poços perfurados nos distintos tipos de aquífero, haja vista que ocorrem na região os três tipos clássicos de domínio

geológico: intersticial ou poroso (bacias sedimentares), cárstico-fissural (calcários) e fissural (rochas cristalinas).

Mesmo no domínio poroso ocorrem distintas situações hidrogeológicas que influem na diversificação do tipo de poço perfurado; assim é que ocorrem os sedimentos arenosos da Formação Urucuia na Província São Francisco e os sedimentos areno-argilosos das várias formações da Província do Parnaíba.

Dessa maneira, será apresentado inicialmente as características dos poços perfurados no aquífero Urucuia, na tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Parâmetros estatísticos dos dados dos poços do aquífero Urucuia

Parâmetros estatísticos	Profund. (m)	Diâmetro (pol.)	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix. (m)	Vazão (L/h)	Vaz.Espec. (L/h/m)
Média	79,34	6,47	34,33	50,02	22,68	13481,43	815,89
Mediana	60,00	6,00	20,00	39,50	23,50	11000,00	517,78
Desvio padrão	63,69	1,46	43,31	37,38	6,59	7490,30	777,91
Coef.variação	80,28	22,54	126,15	74,74	29,07	55,56	95,34
Valor Máximo	175,00	9,00	125,00	122,00	32,00	29940,00	2285,50
Valor mínimo	6,00	4,00	0,00	13,10	13,10	4000,00	153,85
Nº de valores	22	15	9	6	6	14	6
% do total	0,96	0,65	0,39	0,26	0,26	0,61	0,26

Considerando a homogeneidade do aquífero Urucuia e o reduzido número de poços analisados, a variação em torno da média foi muito reduzida em quase todos os elementos analisados. Assim é que o coeficiente de variação somente ultrapassou os 100% para o nível estático.

A profundidade média em torno dos 80,00m é mais representativa do que a mediana tendo em vista que 30% dos poços eram poços amazonas, com profundidade inferior a 10m o que mascara o resultado na mediana.

A vazão pode ser considerada como representativa a média em torno de 13,5 m³/h tendo em vista a reduzida dispersão de valores em torno da média.

No caso da bacia do Parnaíba, poucos são os poços com dados nos aquíferos mais importantes como o Serra Grande, o Cabeças e o Sistema Poti/Piauí, uma vez que predominam os poços no aquífero Pimenteiras e parcialmente penetrante (menos de 5%) no aquífero Serra Grande.

Assim serão apresentados conjuntamente os dados dos poços do Serra Grande, Cabeças e sistema aquífero Poti/Piauí, na tabela 6.3 que se segue.

Esses poços foram cadastrados nos municípios de Novo Acordo, Lagoa do Tocantins, Lizarda, e Tocantínea.

Tabela 6.3 - Parâmetros estatísticos dos dados dos poços dos aquíferos Serra Grande, Cabeças e Sistema Poti/Piauí

Parâmetros estatísticos	Profund. (m)	Diâmetro (pol.)	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix. (m)	Vazão (L/h)	Vaz.Espec. (L/h/m)
Média	121,08	6,10	24,00	66,67	54,33	5735,33	83,43
Mediana	127,00	6,00	15,00	45,00	33,00	3000,00	33,33
Desvio padrão	79,19	1,17	16,08	41,93	39,58	5678,82	98,55
Coef.variação	65,40	19,10	66,99	62,90	72,84	99,01	118,12
Valor Máximo	330,00	9,00	42,00	115,00	100,00	15800,00	196,97
Valor mínimo	11,50	4,00	10,00	40,00	30,00	600,00	20,00
Nº de valores	18	20	5	3	3	15	3
% do total	75,00	83,33	20,83	12,50	12,50	62,50	12,50

A dispersão de valores em torno da média foi sempre inferior a 100% (coeficiente de variação) a exceção da vazão específica, pelo que se pode considerar a média dos valores como mais representativa. Assim, verifica-se que a profundidade média ficou em torno dos 120m ou seja, 50% superior aos poços do aquífero Urucuia. Apesar dessa maior profundidade, a vazão nesses aquífero ficou menos de 50% da vazão média dos poços do Urucuia, inclusive quanto à vazão máxima, em torno dos 30 m³/h no Urucuia contra 15 m³/h nesses aquíferos.

Na verdade, esses valores estão bem aquém dos que esses aquíferos podem fornecer em poços bem construídos. Tanto o aquífero Urucuia, quanto o Serra Grande, ou o Cabeças ou o sistema Poti/Piauí, pode fornecer poços com mais de 100 m³/h.

Na tabela 6.4 são mostrados os poços que estão captando o aquífero Pimenteiras, e parte do aquífero Serra Grande, embora com penetração muito reduzida (menos do que 5% da espessura da formação).

Tabela 6.4 - Parâmetros estatísticos dos dados dos poços dos aquíferos Pimenteiras/Serra Grande

Parâmetros estatísticos	Profund. (m)	Diâmetro (pol.)	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix. (m)	Vazão (L/h)	Vaz.Espec. (L/h/m)
Média	116,33	6,60	16,61	40,48	29,63	7781,02	1543,14
Mediana	80,00	6,00	10,00	36,00	30,00	3000,00	229,89
Desvio padrão	94,43	8,98	15,96	27,15	20,80	14461,48	4732,67
Coef.variação	81,17	136,01	96,10	67,08	70,19	185,86	306,69
Valor Máximo	500,00	115,00	100,00	150,00	86,00	120000,00	25600,00
Valor mínimo	14,00	2,00	0,00	1,00	0,50	1,00	1,00
Nº de valores	326	285	185	110	108	279	105
% do total	81,50	71,25	46,25	27,50	27,00	69,75	26,25

Apesar da grande profundidade que alguns desses poços alcançaram, com até 500m na região de Palmas, a grande maioria se situa com menos de 100m, captando praticamente apenas o aquífero Pimenteiras. A vazão média da ordem de 8 m³/h bem demonstra a fraca produtividade do poço perfurado, embora tenha sido obtida vazão superior a 100 m³/h como mostra a tabela 6.4.

Na figura 6.5 é apresentada uma análise estatística dos poços perfurados no aquífero cárstico-fissural, conhecido como aquífero Bambui.

Tabela 6.5 - Parâmetros estatísticos dos dados dos poços do aquífero Bambui

Parâmetros estatísticos	Profund. (m)	Diâmetro (pol.)	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix. (m)	Vazão (L/h)	Vaz.Espec. (L/h/m)
Média	93,56	6,33	17,34	31,18	15,60	9737,77	1481,57
Mediana	96,00	6,00	13,60	34,00	11,50	7000,00	1410,26
Desvio padrão	25,23	0,81	10,48	14,49	15,16	9744,52	1043,31
Coef.variação	26,97	12,80	60,40	46,47	97,18	100,07	70,42
Valor Máximo	166,00	10,00	35,00	73,00	65,00	51500,00	3678,57
Valor mínimo	30,00	6,00	2,00	9,00	3,00	30,00	30,77
Nº de valores	141	153	18	16	16	148	14
% do total	88,68	96,23	11,32	10,06	10,06	93,08	8,81

A variação dos valores em torno das médias de cada elemento foi em geral baixa, pelo que a média pode ser considerada como representativa. Verifica-se que os valores médios da vazão e vazão específica superam os respectivos valores dos aquíferos porosos apresentados na tabela 6.3 o que parece um contra censo,

todavia os poços mal construídos no aquífero poroso se constitui na principal causa dessa discrepância.

Finalmente, na tabela 6.6 são apresentados os valores estatísticos dos dados dos poços no aquífero fissural.

Tabela 6.6 - Parâmetros estatísticos dos dados dos poços do aquífero fissural

Parâmetros estatísticos	Profund. (m)	Diâmetro (pol.)	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix. (m)	Vazão (L/h)	Vaz.Espec. (L/h/m)
Média	89,39	5,97	13,01	50,24	40,25	7036,05	524,28
Mediana	94,00	6,00	11,00	50,00	41,00	5000,00	117,46
Desvio padrão	34,86	0,49	9,47	19,65	18,70	7955,98	2030,89
Coef.variação	39,00	8,20	72,77	39,11	46,46	113,07	387,37
Valor Máximo	290,00	9,00	50,00	105,00	100,00	80000,00	20000,00
Valor mínimo	21,00	3,00	0,00	10,00	1,20	200,00	11,11
Nº de valores	291	296	229	106	105	281	106
% do total	96,04	97,69	75,58	34,98	34,65	92,74	34,98

Os poços do aquífero fissural na região sudeste do Tocantins apresentam características bem distintas daqueles perfurados na região semi-árida do nordeste nesse mesmo tipo de aquífero. Com efeito, a profundidade média dos poços no aquífero fissural da região nordeste do Brasil situa-se em 60m contra cerca de 90m nessa região. Quanto a vazão, enquanto na primeira (nordeste) a média é em torno dos 2 m³/h, aqui essa média chega a 7 m³/h, ou seja, 3,5 vezes a vazão no mesmo tipo de aquífero numa região mais seca.

A seguir será apresentada por meio de gráficos, algumas variáveis que o cadastro assinalou, como o tipo de bomba, a situação do poço quanto a operação e o regime de exploração, o uso da água, a qualidade química da água, dentre outros

A figura 6.1 mostra a participação porcentual dos tipos de equipamento utilizados para bombeamento da água dos poços.

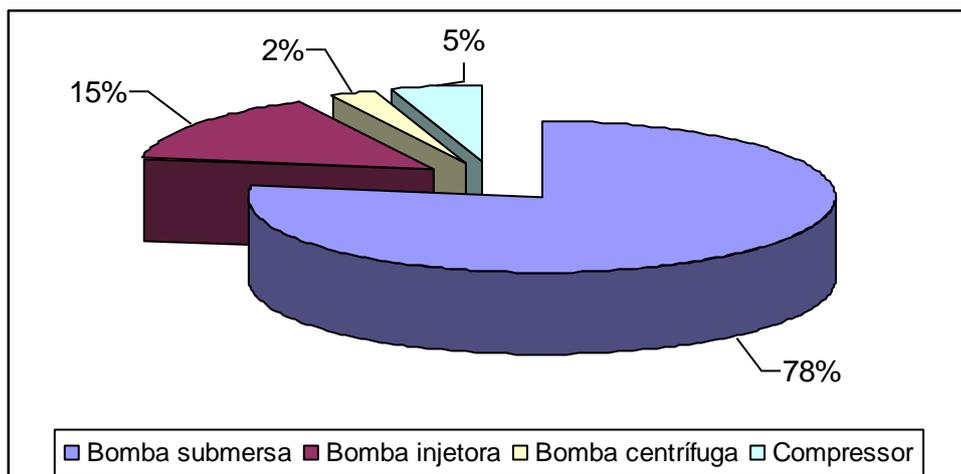


Figura 6.1 – Participação percentual dos equipamentos utilizados para bombeamento dos poços da região

Quanto a operação do poço pode-se considerar que na região estudada no Tocantins o percentual de poços em operação é elevado em comparação com outras regiões como o nordeste do Brasil. Com efeito, o percentual mostrado na figura 6.2, da ordem de 83% é bem superior aos apresentados na região semi-árida nordestina onde esses valores variam entre 50 e 70%

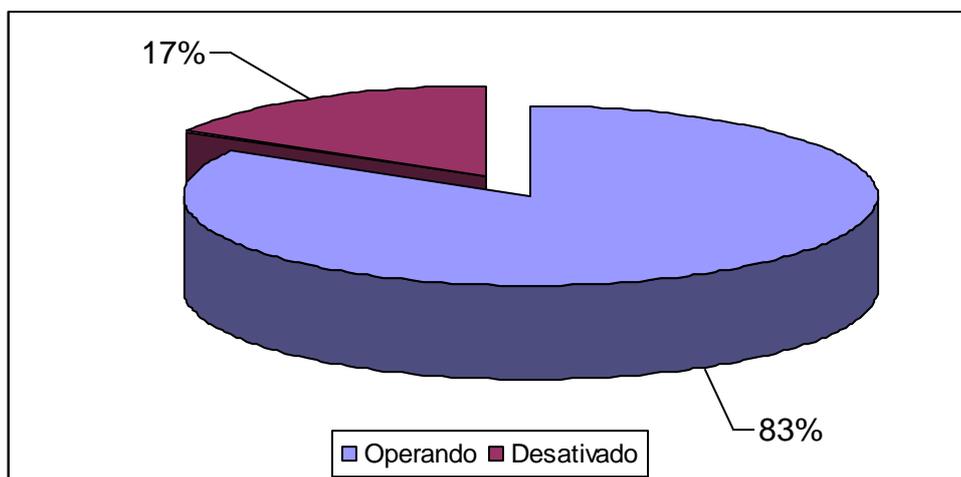


Figura 6.2 – Distribuição percentual de poços em operação X poços desativados

Quanto ao uso da água, predomina o consumo humano tanto por particulares (poço próprio) como no serviço de abastecimento público procedido pela SANEATINS. A figura 6.3 mostra a variação desses usos.

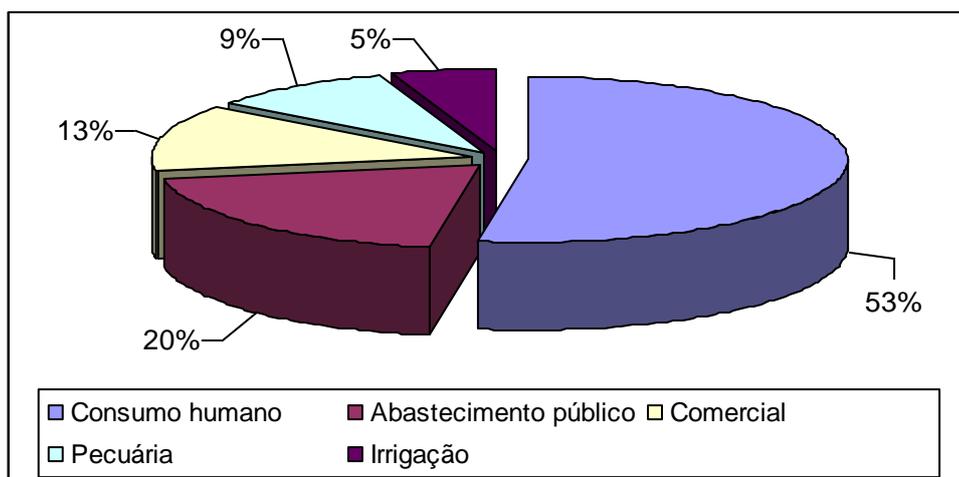


Figura 6.3 – Variados tipos de uso da água subterrânea através de poços tubulares ou amazonas

Finalmente a qualidade da água pode ser analisada previamente, enquanto não são elaboradas as análises completas, pelos valores da condutividade elétrica e dos sólidos totais dissolvidos, medidos com condutímetro portátil no campo.

A tabela 6.7 mostra os parâmetros estatísticos desses dois elementos analisados.

Tabela 6.7 – Parâmetros estatísticos da condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos nas águas de poços

Parâmetros estatísticos	Cond.Elétr.($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)
Média	252,04	176,43
Mediana	140,00	98,00
Desvio Padrão	267,72	187,00
Coeficiente de Variação	106,22	106,22
Valor Máximo	2520,00	1764,00
Valor Mínimo	20,00	14,00
Número de valores	729	729

Os resultados expeditos atestam águas de boa qualidade nos poços em que foi possível captar água para uma análise de campo.

A seguir será apresentada uma análise mais detalhada, por aquífero e por município.

6.2. Análise dos poços cadastrados

Conquanto tenham sido nos Termos de Referência tratados separadamente os cadastros para os poços no domínio sedimentar (aquíferos intersticiais ou porosos), cárstico (aquífero cárstico-fissural) e cristalino (aquífero fissural), será apresentado um cadastro integrado dos três domínios, como anexo ao presente relatório.

O cadastro será a seguir analisado levando em consideração a distribuição dos poços nos diversos tipos de aquíferos e ainda por município, todavia, conforme já foi esclarecido, faltam elementos técnicos para uma melhor definição sobre o aquífero em exploração por cada poço, daí ter-se evitado incluir uma coluna no cadastro sobre o tipo de aquífero.

A análise do cadastro constará de uma estatística sobre os dados construtivos do poço, tais como profundidade, diâmetro, nível estático, nível dinâmico, vazão e vazão específica, assim como no aspecto qualitativo da análise com uma estatística dos dados de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos que servem para dar uma caracterização quanto a potabilidade das águas.

6.2.1. Poços no aquífero Urucuia da Província São Francisco

Na Província São Francisco o aquífero único existente na região é o Urucuia que domina a região oriental numa área de 21.205 km² envolvendo total ou parcialmente os municípios de Lizarda, São Felix e Mateiros onde existem poços, além de outros municípios mais ao sul, onde não ocorrem perfurações por se situarem na borda da chapada.

Foram cadastrados nesses três municípios apenas 22 poços, tendo sido perfurado no município de Mateiros o poço previsto no contrato, para a área sedimentar.

Assim, os municípios ficaram com os seguintes números de poços:

- I. Lizarda – 12 poços
- II. São Félix – 2 poços
- III. Mateiros – 9 poços

Segue-se uma análise estatísticas desses poços por município.

- a) Poços no município de Lizarda

A tabela 6.8 mostra os parâmetros estatísticos dos valores dos 12 poços perfurados no aquífero Urucuia nesse município.

Tabela 6.8 – Parâmetros estatísticos dos poços de Lizarda

Parâmetros	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	54,21	22,58	21,00	43,00	22,00	15250,00	1045,45
Mediana	8,75	28,00	21,00	43,00	22,00	16500,00	1045,45
D.Padrão	63,16	14,57				9178,78	
C.Variação	116,51	64,51				60,19	
V.Máximo	160,00	45,00	21,00	43,00	22,00	23000,00	1045,45
V.Mínimo	6,00	6,00	21,00	43,00	22,00	5000,00	1045,45
C.Valores	12	12	1	1	1	4	1

Um dado estranho na análise estatística acima apresentada é a grande diferença entre a média e a mediana da profundidade. Com efeito, a média envolve todos os dados incluindo os valores extremos enquanto a mediana revela um valor mais frequente de uma série. No caso específico, sete poços apresentaram uma profundidade inferior a 10m, um poço com profundidade em torno dos 50 m e quatro poços com profundidade em torno ou superior a 100 m. O coeficiente de variação superior a 100% e os valores de máximo e mínimo bem refletem a dispersão de valores em torno da média. Convêm salientar ainda que os dados de nível estático, nível dinâmico, vazão e vazão específica dizem respeito tão somente aos poços profundos (superiores a 50m) pois aqueles rasos (inferiores a 10m) não dispõem desses dados. Apenas um poço, com 150m de profundidade apresentou todos os dados acima constantes na tabela 6.8.

A vazão dos poços profundos nesse aquífero pode ser considerada apenas regular, de vez que para se obter 23 m³/h houve um rebaixamento de 22m o que implica numa vazão específica da ordem de 1 m³/h/m, muito aquém das vazões obtidas nesse mesmo aquífero na região ocidental do Estado da Bahia. É quase certo que essa reduzida vazão decorra da profundidade do poço, captando apenas 130m de aquífero saturado, quando na Bahia os poços são quase totalmente penetrantes no aquífero, com até 500m de profundidade e exploram vazões da ordem de 500 m³/h. Na tabela 6.9 a seguir é feita uma apreciação estatística sobre a qualidade da água desse aquífero.

Tabela 6.9 – Análise estatística da condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos na água dos poços no aquífero Urucuia na região de Lizarda

Parâmetros	C.Eletr.($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/L)
Média	75,00	52,50
Mediana	70,00	49,00
D.Padrão	41,97	29,38
C.Variação	55,95	55,95
V.Máximo	160,00	112,00
V.Mínimo	20,00	14,00
C.Valores	10	10

Em princípio constata-se a excelente qualidade química das águas desse aquífero. Com efeito o limite de potabilidade para consumo humano é de 1.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos (STD) e as 10 amostras apresentaram no máximo 112 mg/L de STD.

Por outro lado, observa-se que mesmo apresentando valores extremos de quase 10 vezes (112 contra 14) a dispersão de valores em torno da média foi baixo, com um coeficiente de variação de 55% e valores muito próximos entre a média e a mediana.

b) Poços no município de São Felix

A reduzida quantidade de poços, apenas dois, impede de se fazer uma análise estatística de algum significado até porque apenas um dos dois poços possui dados mais completos com profundidades de nível para avaliação da vazão específica.

Os poços apresentaram profundidades de 160,00 m e 127,00 m, nível estático de 10,00 m e 0,00m, e vazões de 10 m³/h e 4 m³/h.

Todavia, pode-se constatar que a situação em São Felix é bem pior do que em Lizarda pois a vazão específica de 153 L/h/m apresentada num poço com vazão de 4 m³/h é muito baixa para um aquífero intersticial. Infelizmente não se possui maior número de dados para verificar a real situação do aquífero nessa região.

Não se tem valores de qualidade da água pelo que não será efetuada nenhuma consideração a esse respeito.

c) Poços no município de Mateiros

A tabela 6.10 mostra os parâmetros estatísticos dos valores dos 9 poços perfurados no aquífero Urucuia nesse município.

Tabela 6.10 – Parâmetros estatísticos dos poços de Mateiros

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	101,00	6,25	46,33	55,28	21,03	14217,50	924,01
Mediana	80,00	6,00	22,50	43,00	18,00	12000,00	517,78
Desvio Padrão	55,04	1,67	49,38	47,01	9,81	7148,88	910,67
Coef.de Variação	54,49	26,70	106,58	85,05	46,63	50,28	98,56
Valor Máximo	175,00	8,00	125,00	122,00	32,00	29940,00	2285,50
Valor Mínimo	40,00	4,00	0,00	13,10	13,10	8000,00	375,00
Número Valores	8	8	6	4	3	8	4

A dispersão de valores em torno da média é relativamente baixa, com um coeficiente de variação da ordem de 50% para a profundidade, rebaixamento e vazão, porém se apresenta elevada para o nível estático, com CV de 100% .

Os poços apresentaram duas faixas de variação de profundidade: 50% tiveram profundidade superior a 100m e 50% profundidade inferior a 60m, daí a diferença entre a média e a mediana.

Constata-se aqui uma vazão e uma vazão específica média bem próximas daquelas obtidas nos poços de Lizarda e pelo mesmo motivo: a penetração parcial dos poços no aquífero.

Outro fator que muito influi na obtenção de uma boa vazão, além da profundidade do poço é a sua localização e as suas características construtivas. Observa-se que o poço perfurado no âmbito do presente contrato, acusou a melhor vazão – cerca de 30 m³/h – e a melhor vazão específica – cerca de 2,3 m³/h/m, embora a sua profundidade seja de apenas 100 m. Saliente-se ainda que esse poço é jorrante, com uma vazão de 15 m⁵/h e poderá facilmente fornecer uma vazão de 100 m³/h com um nível dinâmico em torno de 50 m.

6.2.2. Poços nos aquíferos e aquíferos da Província Parnaíba

Em princípio convém distinguir as formações geológicas que se comportam hidrogeologicamente como aquíferos e como aquíferos. As formações Serra Grande, Cabeças, Poti e Piauí apresentam características de aquíferos, enquanto as formações Pimenteiras, Longá e Pedra de Fogo são consideradas como aquíferos tendo em vista o domínio de sedimentos pelíticos (siltes e argilas) nas duas primeiras e de sedimentos fortemente diagenizados na última.

Infelizmente, como já mencionado, 96% dos poços de toda a área sedimentar localizam-se no aquífero Pimenteiras, daí os valores baixos das vazões obtidas nesses poços.

Poços no aquífero Serra Grande

Apenas cinco poços nesse aquífero foram localizados no município de Tocantínia ao norte da área estudada. Vários outros tiveram aproveitamento apenas parcial de vez que na região de Palmas os poços mais profundos atravessaram o aquífero Pimenteiras e ingressaram alguns poucos metros no aquífero Serra Grande.

A tabela 6.11 mostra os parâmetros estatísticos dos valores dos 4 poços perfurados no aquífero Serra Grande no município de Tocantínia.

Tabela 6.11 – Poços perfurados no aquífero Serra Grande no município de Tocantínia

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	148,80	6,00	12,33	66,67	54,33	5500,00	83,43
Mediana	150,00	6,00	12,00	45,00	33,00	6500,00	33,33
Desvio Padrão	21,84	0,00	2,52	41,93	39,58	3872,98	98,55
Coef.de Variação	14,68	0,00	20,40	62,90	72,84	70,42	118,12
Valor Máximo	180,00	6,00	15,00	115,00	100,00	10000,00	196,97
Valor Mínimo	120,00	6,00	10,00	40,00	30,00	1000,00	20,00
Número Valores	5	5	3	3	3	5	3

Os dados da média e mediana são muito próximos devido a pequena dispersão de valores em torno da média, como pode ser constatado no coeficiente de variação de

até 20% para a profundidade e o nível estático e chegando aos 70% nos demais parâmetros. Não se dispõe de dados de análises físico-químicas das suas águas.

Constata-se facilmente que esses pouco poços estão muito mal construídos pois as vazões específicas são irrisórias para esse tipo de aquífero

Poços no aquífero Cabeças

Poucos são os poços perfurados nesse aquífero e muito precários são os dados obtidos dos mesmos.

No município de Novo Acordo foi localizado um poço raso com apenas 20 m de profundidade, não dispõe de dados de níveis nem de vazão.

No município de Lagoa do Tocantins foram localizados quatro poços com profundidades variando entre o mínimo de 75m e o máximo de 175m. Não se dispõe de dados de níveis, a não ser em um deles que consta ser jorrante, enquanto a vazão ficou em média em torno dos 15 m³/h

A água é de excelente qualidade química com STD sempre inferior aos 100 mg/L.

Poços no sistema aquífero Poti/Piauí

Na bacia do Parnaíba os dois aquíferos são tratados conjuntamente como um sistema aquífero devido grande similaridade litológica entre os mesmos e ausência de descontinuidade das duas formações.

Apenas dois poços foram encontrados nesse sistema aquífero, no município de Novo Acordo, sendo um raso e outro profundo, com 19 m e outro profundo com 134 m de profundidade, respectivamente.

As vazões são irrisórias, aparecendo o poço raso com vazão de 1 m³/h enquanto o poço profundo possui 3 m³/h. Não se dispõe de valores de níveis daí não se poder avaliar a vazão específica que, entretanto, deve ser muito baixa.

A qualidade da água do poço profundo é excelente, com STD de 40 mg/L enquanto do poço raso não se dispõe de informações sobre a qualidade da sua água.

Poços no aquífero Pimenteiras.

a) Poços no Município de Aparecida do Rio Negro

A tabela 6.12 mostra os parâmetros estatísticos dos valores dos 20 poços perfurados no aquífero Pimenteiras nesse município

Tabela 6.12 – Parâmetros estatísticos dos poços perfurados no aquífero Pimenteiras no município de Aparecida do Rio Negro

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	114,37	16,63	5,10			10611,25	
Mediana	105,00	6,00	5,10			8250,00	
D.Padrão	90,13	18,68				10443,47	
C.Variação	78,81	112,36				98,42	
V.Máximo	283,00	52,00	5,10			32000,00	
V.Mínimo	6,00	4,00	5,10			250,00	
C.Valores	15	16	1	0	0	8	0

Constata-se que apenas 15 poços possuem dados e assim mesmo incompletos, faltando registros dos níveis e, em consequência, da vazão específica.

Apesar da grande diferença entre as profundidades máxima e mínima, a dispersão de valores em torno da média não é muito grande, com coeficiente de variação em 78% e valores próximos entre a média e a mediana. A inusitada variação de diâmetro deveu-se a existência de quatro poços amazonas o que elevou bastante a média.

Os valores de vazão estão relativamente elevados para esse tipo de aquífero onde predominam sedimentos muito finos e argilosos, podendo se tratar da participação do aquífero Serra Grande na parte mais profunda do poço que estaria fornecendo maiores volumes de água.

Quanto a qualidade da água é muito boa como pode ser visto na tabela 6.13 a seguir.

Tabela 6.13 – Qualidade da água do aquífero Pimenteiras em Aparecida do Rio Negro

	C.Eletr.($\mu\text{S}/\text{cm}$)	STD (mg/L)
Média	138,00	96,60
Mediana	110,00	77,00
D.Padrão	113,65	79,55
C.Variação	82,35	82,35
V.Máximo	430,00	301,00
V.Mínimo	20,00	14,00
C.Valores	10	10

b) Poços no Município de Lajeado

Considerando que existem apenas 3 poços dos quais apenas de um se possui dados, não será executada nenhuma análise estatística dos dados.

O único poço com dados disponíveis apresenta profundidade de 141 m, nível estático de 17 m, nível dinâmico de 23m, vazão de 12 m³/h e vazão específica de 6 m³/h/m, o que pode significar estar esse poço captando também o aquífero Serra Grande sotoposto.

A qualidade da água é muito boa, com sólidos totais dissolvidos de apenas 140 mg/L.

c) Poços no Município de Ponte Alta

Na tabela 6.14 apresenta-se uma análise estatística de 10 dos 17 poços existentes e que se dispõe de dados. Mesmo nos 10 poços, dispõe-se apenas de dados da profundidade, diâmetro e vazão.

Tabela 6.14 – Parâmetros estatísticos dos poços no aquífero Pimenteiras em Ponte Alta

	Prof.(m)	Diâm. (")	Vazão(L/h)
Média	97,00	6,60	8214,29
Mediana	100,00	6,00	7000,00
D.Padrão	19,21	0,97	3914,26
C.Variação	19,81	14,64	47,65
V.Máximo	130,00	8,00	15000,00
V.Mínimo	60,00	6,00	4000,00
C.Valores	10	10	7

Provavelmente, pela profundidade alcançada, de no máximo 130m, esses poços estejam captando apenas o aquífero Pimenteiras. A vazão mediana de 7 m³/h está compatível para esse aquífero que apesar da predominância de sedimentos pelíticos, apresenta intercalações arenosas produtoras de água.

d) Poços no Município Santa Tereza

Na tabela 6.15 são apresentados os parâmetros estatísticos dos oito poços perfurados no aquífero Pimenteiras no município de Santa Tereza

Tabela 6.15 – Parâmetros estatísticos dos poços no aquífero Pimenteiras

	Prof.(m)	Diâm. (")	Vazão(L/h)
Média	116,60	6,00	5916,67
Mediana	118,00	6,00	1750,00
D.Padrão	37,49	0,00	9161,31
C.Variação	32,15	0,00	154,84
V.Máximo	175,00	6,00	24200,00
V.Mínimo	75,00	6,00	600,00
C.Valores	5	5	6

Dos oito poços existentes apenas cinco possuem dados e assim mesmo incompletos de vez que não constam os valores dos níveis estáticos e dinâmicos não se podendo assim, calcular a vazão específica.

A profundidade apresentou baixa dispersão de valores em torno da média de 116m daí o valor quase igual para a mediana. Quanto a vazão, pode-se considerar como representativa a mediana de 1,75 m³/h de vez que o poço que possui uma vazão de 24,2 m³/h possui a profundidade de 175m e certamente está captando o aquífero Serra Grande de vez que além da vazão estar incompatível com a condição do aquífero o poço é jorrante o que mostra a elevada carga potenciométrica do aquífero Serra Grande confinado.

Quanto a qualidade da água apenas três poços possuem análise físico-química com valores de sólidos totais variando entre o mínimo de 42 mg/L e o máximo de 56 mg/L o que significa uma excelente qualidade.

e) Poços no Município Tocantinea

No município de Tocantinea foram cadastrados 11 poços, entretanto apenas 7 poços apresentaram dados completos, conforme pode ser visto na tabela 6.16

Tabela 6.16– Parâmetros estatísticos dos poços no aquífero Pimenteiras no município de Tocantinea

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	124,57	6,00	12,33	66,67	54,33	4137,50	83,43
Mediana	140,00	6,00	12,00	45,00	33,00	3000,00	33,33
D.Padrão	49,62	0,00	2,52	41,93	39,58	3618,58	98,55
C.Variação	39,83	0,00	20,40	62,90	72,84	87,46	118,12
V.Máximo	180,00	6,00	15,00	115,00	100,00	10000,00	196,97
V.Mínimo	28,00	6,00	10,00	40,00	30,00	600,00	20,00
C.Valores	7	10	3	3	3	8	3

Mais uma vez ocorreu uma extrapolação na perfuração de um poço que atravessou o aquífero Pimenteiras e penetrou parcialmente no aquífero Serra Grande. Com efeito o poço que atingiu a profundidade de 180m obteve uma vazão de 10 m³/h, certamente relacionado à Formação Serra Grande. A vazão representativa dos poços que ficaram no aquífero Pimenteiras é a mediana de 3 m³/h. A vazão específica mediana de 33 m³/h/m é típica do aquífero Pimenteiras.

Quanto a qualidade da água em apenas dois poços se conseguiu dados de sólidos totais dissolvidos, com valores muito discrepantes: 70 mg/L e 650 mg/L. Mesmo o valor mais elevado ainda está aquém do limite de potabilidade para consumo humano.

Poços captando simultaneamente o aquífero Pimenteiras e o aquífero Serra Grande

Em alguns municípios os poços apresentaram situações dúbias quanto ao tipo de aquífero que está sendo explorado. Os poços de profundidade inferior a 100m certamente estão captando apenas o aquífero Pimenteiras; para profundidades entre 100 e 250m fica bastante duvidoso se já estaria captando também o aquífero

Serra Grande e, para poços com profundidade superior a 250m certamente estariam captando tanto o Pimenteiras como o Serra Grande.

a) Poços no Município de Palmas

A maior parte dos poços do município de Palmas se acha captando apenas o aquífero Pimenteiras, pois dos 334 poços cadastrados, os 276 que possuem dados acusaram uma profundidade mediana de apenas 104m, conforme pode ser visto na tabela 6.17.

Tabela 6.17– Parâmetros estatísticos dos poços perfurados em Palmas

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	130,21	7,04	16,65	39,46	29,68	9188,02	1565,84
Mediana	104,50	6,00	10,00	34,00	30,00	5000,00	229,89
D.Padrão	94,87	10,08	16,04	25,25	20,90	15650,95	4775,92
C.Variação	72,86	143,22	96,34	64,00	70,42	170,34	305,01
V.Máximo	500,00	115,00	100,00	105,00	86,00	120000,00	25600,00
V.Mínimo	14,00	2,00	0,00	1,00	0,50	1,00	1,00
C.Valores	276	224	183	107	106	225	103

No que se refere a variação da profundidade, a tabela 6.18 revela melhor a distribuição em faixas.

Tabela 6.18 – Faixas de variação da profundidade nos poços de Palmas

	Profund. ≤ 50m =	77 poços (21,8%)
50m <	Profund. ≤ 100m =	137 poços (38,8%)
100m <	Profund. ≤ 200m =	69 poços (19,6%)
200m <	Profundidade =	70 poços (19,8%)

Verifica-se que cerca de 20% dos poços podem estar captando também o aquífero Serra Grande; 60% dos poços certamente estão captando apenas o aquífero Pimenteiras e outros 20% podem ter entrado no início do aquífero Serra Grande.

Quanto a vazão, 75% dos poços que possuem vazão igual ou superior a 20 m³/h possuem profundidade superior a 200m, o que demonstra que os poços que possuem elevada vazão estão captando também o aquífero Serra Grande. O valor

da mediana da vazão de 5 m³/h bem representa a maioria dos poços de Palmas que estão captando apenas o aquífero Pimenteiras

A mediana da vazão específica – 229 m³/h/m é mais representativa do que a média de 1.560 m³/h/m uma vez que elimina valores anômalos como o de 25.600 m³/h/m. Os valores aparentemente anômalos de diâmetro referem-se a poços amazonas daí a elevada dispersão de valores em torno da média.

Quanto a qualidade da água, pode-se concluir pelos valores de STD contidos na tabela 6.19, que ambos os depósitos armazenadores – aquífero Pimenteiras e aquífero Serra Grande possuem águas de boa qualidade química

Tabela 6.19– Valores de C.E. e STD das águas dos poços de Palmas

	C.Eletr.(μS/cm)	STD (mg/L)
Média	41,55	22,48
Mediana	30,00	20,00
D.Padrão	46,63	23,60
C.Variação	112,22	104,97
V.Máximo	480,00	240,00
V.Mínimo	9,00	5,00
C.Valores	128	118

Mesmo o valor máximo de STD apresentado, de 240 mg/L corresponde a apenas 25% do limite de potabilidade para consumo humano.

b) Poços no Município Pedro Afonso

Na tabela 6.20 são apresentados os parâmetros estatísticos de 11 dos quinze poços cadastrados no município de Pedro Afonso.

Tabela 6.20 – Parâmetros estatísticos dos poços perfurados no aquífero Pimenteiras no município de Pedro Afonso

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	138,64	7,27	23,00	42,00	19,00	26455,56	1627,69
Mediana	150,00	8,00	23,00	42,00	19,00	7200,00	1627,69
D.Padrão	61,90	1,35	2,83	5,66	8,49	32170,84	1431,62
C.Variação	44,65	18,54	12,30	13,47	44,66	121,60	87,95
V.Máximo	240,00	10,00	25,00	46,00	25,00	80000,00	2640,00
V.Mínimo	20,00	6,00	21,00	38,00	13,00	1000,00	615,38
C.Valores	11	11	2	2	2	9	2

Os dois poços mais profundos, com 190m e 240m acusaram vazões da ordem de 60 m³/h enquanto todos os outros, de profundidade inferior a 150m, apresentaram vazões inferiores a 10 m³/h, refletindo claramente a situação de penetração parcial no aquífero Serra Grande para os dois poços citados e de perfuração apenas no aquífero Pimenteiras nos demais poços.

Estatisticamente, apesar da reduzida amostragem, a vazão é mais bem representada apela mediana de 7,2 m³/h.

Não há registro de dados sobre a qualidade química das águas dos poços perfurados em Pedro Afonso

c) Poços no Município de Porto Nacional

Dos 151 poços cadastrados no município de Porto Nacional cerca de 120 possuem dados de profundidade e vazão e, desses, apenas 3 possuem dados sobre os níveis d'água.

Esses poços estão na maioria absoluta captando água do aquífero Pimenteiras, porém uma minoria capta também o aquífero Serra Grande, poços com mais de 200m e alguns estão captando apenas as águas do terraço aluvial do Rio Tocantins. Na tabela 6.21 são apresentados os resultados dos parâmetros estatísticos desses poços.

Tabela 6.21 - Parâmetros estatísticos dos poços perfurados em Porto Nacional

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	45,58	5,01	33,67	76,67	27,05	2347,90	374,25
Mediana	29,00	5,00	27,84	58,00	27,05	1000,00	374,25
D.Padrão	45,67	1,10	27,30	66,01	19,87	3881,50	253,99
C.Variação	100,21	22,05	81,08	86,10	73,46	165,32	67,87
V.Máximo	283,00	8,00	70,00	150,00	41,10	30000,00	553,85
V.Mínimo	19,00	3,00	9,00	22,00	13,00	100,00	194,65
C.Valores	115	133	4	3	2	119	2

Dos 115 poços com dados de profundidade 63% possuem menos de 30m e apenas devendo estar captando os depósitos aluviais enquanto 5% possuem mais de 150m, podendo estar captando o aquífero Serra Grande. Sobram então 65% com profundidades entre 30 e 150m que devem estar captando o aquífero Pimenteiras.

As reduzidas vazões com mediana de 1 m³/h refletem a predominância de exploração do aquífero Pimenteiras sobre os outros dois acima mencionados.

Quanto a qualidade química das águas, independentemente do tipo de aquífero ou aquífero que esteja captando, pode ser considerada muito boa, haja vista que o valor máximo de STD encontrado foi de 210 mg/L, muito abaixo do limite de potabilidade.

Tabela 6.22 – Qualidade da água dos poços de Porto Nacional

	C.Eletr.(μ S/cm)	STD (mg/L)
Média	79,19	55,43
Mediana	60,00	42,00
D.Padrão	75,51	52,86
C.Variação	95,36	95,36
V.Máximo	300,00	210,00
V.Mínimo	20,00	14,00
C.Valores	37	37

A situação de perfuração de apenas uma pequena espessura do aquífero Serra Grande pode ser atestada através da descrição dos perfis de poços apresentados no Anexo A.1, assim como da seção geofísica realizada a partir das perfilagens elétricas executadas no âmbito deste estudo.

6.2.3. Poços captando o aquífero cárstico fissural

Os poços existentes nesse tipo de aquífero são todos perfurados no aquífero Bambui, constituído de rochas calcárias dolomíticas metamorizadas que apresentam características próprias para a circulação e o armazenamento de água em vista das fraturas associadas a dissolução cárstica que promove a formação de sumidouros, canais hídricos subterrâneos (drenagem criptorrêica), cavernas e dolinas, formações essas que condicionam um bom armazenamento de água.

Ocupam uma área de 8.269 km² (cerca de 8,85% da região sudeste do estado de Tocantins), situando-se no extremo sul do estado, em limite com o estado da Bahia, onde está sotoposto à Formação Urucuaia.

Igualmente ao procedimento adotado para as rochas sedimentares, será aqui apresentada uma análise estatística por município.

a) Poços perfurados no município de Aurora (18 poços)

Na tabela 6.23 são apresentados os parâmetros estatísticos dos poços perfurados no aquífero Bambuí no município de Aurora.

Tabela 6.23 – Parâmetros estatísticos dos poços no aquífero Bambuí em Aurora

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	97,84	6,32	7,00	41,00	34,00	12403,16	1348,72
Mediana	100,00	6,00	7,00	41,00	34,00	6000,00	1348,72
D.Padrão	22,47	1,00	1,41	45,25	43,84	15278,54	
C.Variação	22,96	15,88	20,20	110,38	128,94	123,18	
V.Máximo	158,00	10,00	8,00	73,00	65,00	50000,00	2666,67
V.Mínimo	47,00	6,00	6,00	9,00	3,00	1000,00	30,77
C.Valores	19	19	2	2	2	19	2

A dispersão em torno da média para a profundidade, diâmetro e nível estático é muito reduzida, daí a média e mediana serem quase iguais, enquanto para os demais dados sobretudo a vazão, ocorre uma grande dispersão de valores, daí porque o valor mais representativo é o da mediana.

Esse quadro mostra como é aleatória a probabilidade de se obter boa vazão em poços nesse tipo de aquífero, dependendo, sobretudo de uma boa locação do poço. Veja-se os valores extremos obtidos para a vazão desde o mínimo de 1 m³/h até o máximo de 50 m³/h.

A qualidade da água é, em geral, considerada como boa haja vista que em apenas um poço os sólidos totais dissolvidos ultrapassaram o limite de potabilidade de 1.000 mg/L, que foi justamente aquele poço que possui a mais baixa vazão. A tabela 6.24 mostra esses dados devendo ser a mediana o valor mais representativo de vez que apenas uma amostra acusou valor elevado.

Tabela 6.24 - Valores de C.E. e STD das águas do calcário Bambuí

	C.Eletr.(μS/cm)	STD (mg/L)
Média	780,00	546,00
Mediana	670,00	469,00
D.Padrão	504,32	353,03
C.Variação	64,66	64,66
V.Máximo	2520,00	1764,00
V.Mínimo	310,00	217,00
C.Valores	15	15

b) Poços perfurados no município de Combinado (14 poços)

Na tabela 6.25 são apresentados os parâmetros estatísticos dos poços perfurados no aquífero Bambui no município de Combinado.

Tabela 6.25 – Parâmetros estatísticos dos poços perfurados no aquífero Bambui em Combinado

	Prof.(m)	Diâm. (")	Vazão(L/h)
Média	64,75	6,00	8946,15
Mediana	50,00	6,00	8000,00
D.Padrão	36,11	0,00	5980,19
C.Variação	55,77	0,00	66,85
V.Máximo	120,00	6,00	22000,00
V.Mínimo	30,00	6,00	2500,00
C.Valores	8	11	13

Não se dispõe de dados sobre os níveis bem como da vazão específica e apenas 8 dos 14 poços se obteve informações sobre a profundidade.

Em relação a Aurora as profundidades aqui são quase a metade embora as vazões sejam mais homogêneas em torno dos quase 9 m³/h.

A qualidade da água também é boa, com reduzida dispersão de valores em torno da média de 484 mg/L de STD, como pode ser visto na tabela 6.26.

Tabela 6.26– Valores representativos da C.E. e STD das águas do Bambui

	C.Eletr.(μS/cm)	STD (mg/L)
Média	691,54	484,08
Mediana	640,00	448,00
D.Padrão	278,83	195,18
C.Variação	40,32	40,32
V.Máximo	1330,00	931,00
V.Mínimo	360,00	252,00
C.Valores	13	13

c) Poços perfurados no município de Dianópolis (45 poços)

Conforme pode ser visto na tabela 6.27 quase todos os poços apresentaram dados que foram analisados e estabelecida a análise estatística que se segue.

Tabela 6.27 – Parâmetros estatísticos dos poços perfurados no aquífero Bambui no município de Dianópolis

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	88,52	6,00	14,85	28,35	15,33	9750,00	1375,32
Mediana	87,00	6,00	12,10	32,80	14,00	6000,00	1000,00
D.Padrão	21,55	0,00	9,18	8,80	6,81	9997,36	1116,23
C.Variação	24,35	0,00	61,80	31,05	44,45	102,54	81,16
V.Máximo	142,00	6,00	35,00	40,00	30,00	51500,00	3678,57
V.Mínimo	50,00	6,00	2,00	12,00	8,00	2000,00	227,27
C.Valores	44	44	12	11	11	44	9

A situação aqui é mais parecida com a de Aurora, com menor dispersão de valores em torno das médias dos dados, à exceção da vazão que ultrapassa os 100% do coeficiente de variação. A variação da profundidade é mínima podendo ser considerada a média de 88m como representativa da área. Quanto à vazão a elevada dispersão de valores em torno da média torna a mediana de 6 m³/h como mais representativa do aquífero na área, embora ocorra poço com vazão de 51 m³/h.

A qualidade da água é muito boa, conforme pode ser constatado no valor médio inferior a 300 mg/L de STD, na tabela 6.28.

Tabela 6.28– Valores de C.E. e STD das águas do Bambui em Dianópolis

	C.Eletr.(μS/cm)	STD (mg/L)
Média	415,14	290,60
Mediana	360,00	252,00
D.Padrão	273,92	191,74
C.Variação	65,98	65,98
V.Máximo	900,00	630,00
V.Mínimo	40,00	28,00
C.Valores	35	35

d) Poços no município de Lavandeira (11 poços)

Conforme pode ser visto na tabela 6.29 quase todos os poços apresentaram dados que foram analisados e estabelecida a análise estatística que se segue.

Tabela 6.29 – Parâmetros estatísticos dos poços perfurados no aquífero Bambuí no município de Lavandeira

	Prof.(m)	Diâm. (")	N.E. (m)	N.D. (m)	Rebaix.(m)	Vazão(L/h)	V.Esp.(L/h/m)
Média	111,20	6,00	30,67	35,00	4,33	12450,00	1888,89
Mediana	120,00	6,00	30,00	35,00	5,00	10000,00	2000,00
D.Padrão	28,75	0,00	1,15	0,00	1,15	9292,92	192,45
C.Variação	25,86	0,00	3,77	0,00	26,65	74,64	10,19
V.Máximo	166,00	6,00	32,00	35,00	5,00	35000,00	2000,00
V.Mínimo	71,00	6,00	30,00	35,00	3,00	3500,00	1666,67
C.Valores	10	11	3	3	3	10	3

Os poços tiveram baixo coeficiente de variação em quase todos os dados analisados, somente atingindo 74% para a vazão. Verifica-se que a profundidade dos poços nessa área é mais elevada que nas demais e que as vazões também são um pouco maiores, indicando uma certa proporcionalidade entre a profundidade e a vazão obtida em poços nesse tipo de aquífero.

Em compensação com o aumento da vazão vem a diminuição na qualidade da água com média em torno dos 500 mg/L, apesar de ainda se achar dentro do limite de potabilidade, com exceção de um dos poços que apresentou um STD de 1.764 mg/L (água salobra)

Tabela 6.30 – Valores de C.E. e STD das águas do aquífero Bambuí em Lavandeira

	C.Eletr.(μ S/cm)	STD (mg/L)
Média	851,11	595,78
Mediana	770,00	539,00
D.Padrão	655,08	458,56
C.Variação	76,97	76,97
V.Máximo	2520,00	1764,00
V.Mínimo	270,00	189,00
C.Valores	9	9

e) Poços no município de Taguatinga (47 poços)

Embora possua 47 poços apenas 7 possuem dados de profundidade e não possuem dados de níveis e vazão específica como pode ser visto na tabela 6.31.

Tabela 6.31– Dados de profundidade, diâmetro e vazão dos poços de Taguatinga

	Prof.(m)	Diâm. (")	Vazão(L/h)
Média	95,00	6,18	8125,00
Mediana	95,00	6,00	7000,00
D.Padrão	29,86	0,60	5076,20
C.Variação	31,43	9,75	62,48
V.Máximo	150,00	8,00	20000,00
V.Mínimo	60,00	6,00	3500,00
C.Valores	7	11	8

A profundidade média de 95m é representativa enquanto para a vazão pode ser considerada mais representativa a mediana de 7 m³/h.

A qualidade da água é muito boa com média de STD de 200 mg/L.

6.2.4. Poços captando o aquífero fissural

Ocupando uma área na região centro-sul do Estado de Tocantins num total de 39.110 km² representa 41,86% da área de estudo e engloba total ou parcialmente os 15 (quinze) municípios seguintes (com número de poços entre parênteses: Almas (32), Arraias (73), Chapada da Natividade (18), Conceição (34), Ipueiras (12), Monte do Carmo (9), Natividade (44) Paranã (37), Peixe (4), Pindorama (5), Porto Alegre (9), São Valério (11), Santa Rosa (9), Silvanópolis (8) e Taipas (8)

Considerando a carência de dados e a similaridade das características dos poços nesse tipo de aquífero, será apresentado um quadro resumo com valores da média e mediana da profundidade, vazão e sólidos totais dissolvidos, que são os parâmetros mais importantes do poço.

Na tabela 6.32 podem ser observados:

- A profundidade média representativa dos poços do aquífero fissural situa-se em torno dos 90m; a grande proximidade de valores entre a média e a mediana da profundidade revela uma reduzida dispersão de valores em torno da média.
- A vazão, ao contrário apresenta uma dispersão elevada em torno da média razão pela qual ocorre uma redução em torno de 75% na mediana em relação à média.
- Os valores da vazão são relativamente elevados em relação ao aquífero fissural que ocorre na região semi-árida brasileira, onde a média situa-se em torno dos 2.000 L/h.
- A região que possui maiores vazões, inclusive com o poço de maior vazão – 80.000 L/h – corresponde ao município de Arraias; provavelmente essa maior vazão é um reflexo da litologia, uma vez que em Arraias predominam os quartzitos que, em geral, possuem fraturas mais abertas.
- Os municípios que apresentaram as mais baixas vazões foram os de Monte do Carmo (mediana de 3.500 L/h), Silvanópolis (mediana de 2.500 L/h), Santa Rosa e São Valério (ambos com 3.700 L/h), Chapada da Natividade (mediana de 3.680 L/h) e Conceição (mediana de 3.200 L/h). Esses municípios se localizam no baixo curso do Rio Manoel Alves, ou ainda no divisor entre as bacias do Manoel Alves e Palma, ou ainda em pequenos córregos ao norte. Não parece haver qualquer ligação com o tipo litológico, todavia revela que à medida que na bacia hidrográfica se distancia das cabeceiras onde ocorrem exutórios naturais das bacias sedimentares ou do calcário Bambuí, a alimentação desse aquífero fissural fica mais precária, diminuindo assim, a vazão dos poços de montante para jusante da bacia hidrográfica.

Tabela 6.32 – Valores da média e mediana da profundidade, vazão e sólidos totais dissolvidos nos poços do aquífero fissural na região sudoeste do Tocantins

Municípios	Nº Poços	Profundidade (m)		Vazão (L/h)			STD (mg/L)	
		Média	Mediana	Média	Mediana	Máximo	Média	Mediana
Almas	32	81	79	6.344	5.000	24.000	313	266
Arraias	73	91	100	10.418	8.000	80.000	326	346
Chapada da Natividade	18	103	98	4.628	3.680	10.000	78	70
Conceição	34	92	97	3.825	3.200	11.300	190	182
Ipueiras	12	107	100	11.677	7.500	51.500	151	154
Monte do Carmo	9	94	80	4.300	3.500	10.000	131	154
Natividade	44	81	90	6.921	5.000	30.000	125	119
Paraná	37	86	95	6.171	4.500	25.000	178	140
Peixe	4	105	101	7.387	5.775	15.000	56	56
Pindorama	5	102	80	7.433	5.500	15.000		
Porto Alegre	9	79	78	9.555	6.000	25.000	309	245
São Valério	11	107	100	5.300	3.700	20.000	69	42
Santa Rosa	9	77	70	4.757	3.700	8.000	71	66
Silvanópolis	8	87	38	5.283	2.500	20.000	75	77
Total dos poços	305							
Média ponderada		89,60	91,04	7139,41	5334,31		213,16	205,58

- A qualidade das águas é, em geral, muito boa, tendo a média e a mediana do STD em todos os municípios ficado abaixo de 350 mg/L, com média ponderada de 213 e 205 mg/L respectivamente para a média e a mediana.

Considerando os três mais importantes elementos analisados do poço e da água nos diferentes domínios geológicos pode-se fazer o resumo apresentado na tabela 6.33 e a seguir analisados.

Tabela 6.33 – Comparação entre os parâmetros mais importantes dos poços nos domínios sedimentar, cárstico e fissural, na região sudeste do estado do Tocantins

Província São Francisco (Sedimentar)				Província Parnaíba (Sedimentar)			
	Prof.(m)	Vazão(L/h)	STD (mg/L)		Prof.(m)	Vazão(L/h)	STD (mg/L)
Média	79,34	13.481,43	52,50	Média	88,08	6.469,99	45,83
Mediana	60,00	11.000,00	49,00	Mediana	61,00	2.000,00	21,00
Valor Máximo	175,00	29.940,00	112,00	Valor Máximo	330,00	120.000,00	665,00
Província São Francisco (Calcário Bambuí)				Embasamento cristalino			
	Prof.(m)	Vazão(L/h)	STD (mg/L)		Prof. (m)	Vaz.(L/h)	STD (mg/L)
Média	93,52	9.834,46	365,18	Média	89,51	7.162,74	202,49
Mediana	96,00	7.000,00	350,00	Mediana	91,23	5.329,97	193,34
Valor Máximo	166,00	51.500,00	1764,00	Valor Máximo	288,00	80.000,00	777,00

Das distintas situações acima resumidas na tabela 6.33 pode-se concluir que:

- No domínio sedimentar os poços na Província São Francisco (aquífero Urucuaia) possuem praticamente as mesmas profundidades médias daqueles da Província Parnaíba (vários aquíferos, desde o Serra Grande na base ao Pedra de Fogo no topo), porém se diferenciam entre si pelas seguintes razões:
 1. Considerando as medianas como mais precisas como dado estatístico a vazão na Província São Francisco é 5,5 vezes maior do que a da Província Parnaíba, apesar de na segunda o poço de maior vazão ter tido 4 vezes a vazão do poço de maior vazão da primeira;
 2. Embora em ambas as províncias a qualidade da água seja muito boa, na do Parnaíba os sólidos totais dissolvidos correspondem, na mediana, à 50% da província do São Francisco.
- As vazões médias acusadas no domínio sedimentar da Província do Parnaíba não refletem a realidade da potencialidade dos bons aquíferos da Bacia Sedimentar do Parnaíba, haja vista que mais de 90% dos poços perfurados na região de estudo localizaram-se no município de Palmas, quase totalmente no aquífero Pimenteiras que possui baixíssima vocação hidrogeológica pela predominância de argilitos e folhelhos; os bons aquíferos como Serra Grande e Cabeças praticamente não possuem poços na região de estudo, razão pela qual o índice de produtividade foi tão baixo, inclusive menos da metade da vazão média dos poços no embasamento cristalino.

7. SELEÇÃO DE UMA REDE DE POÇOS PARA MONITORAMENTO QUALI-QUANTITATIVO

A partir dos levantamentos geológicos e cadastramento de poços foi possível a seleção de uma rede de poços para monitoramento quali-quantitativo a ser procedido nos aquíferos da área estudada.

A seleção incluiu a escolha de poços para realização das seguintes atividades, com respectivos quantitativos:

- Poços para coleta de água e realização de análises físico-químicas – 100 poços
- Poços para nivelamento altimétrico e medição de níveis estáticos – 100 poços
- Poços para realização de testes de bombeamento – 20 poços
- Poços para realização de perfilagens elétricas – 20 poços
- Definição dos locais onde seriam perfurados os três poços – um para cada tipo de aquífero (poroso, cárstico-fissural e fissural)

A distribuição dos pontos onde seriam efetuados nivelamento e coleta de água para análises físico-químicas levou em princípio, a condição estabelecida nos Termos de Referência para os serviços contratados que foram as seguintes: 54% dos poços localizados em área do domínio sedimentar (aquíferos porosos), 32% localizados em área do domínio cristalino (aquíferos fissurais) e 14% localizados em área do domínio calcário (aquífero cárstico-fissural).

A distribuição dos poços nos três tipos de aquífero não levou em conta a dimensão da área de ocorrência desses distintos aquíferos de vez que a área ocupada pelos aquíferos fissurais possui quase a mesma dimensão daquela ocupada pelos aquíferos intersticiais. O que comandou essa diferença de quase o dobro de poços no aquífero intersticial em relação aos fissurais foi a maior importância dos primeiros no que concerne à potencialidade, bem como por serem os aquíferos intersticiais homogêneos e isotrópicos, permitindo um tratamento regional de maior continuidade.

No que se refere ao aquífero cárstico-fissural, além da sua reduzida área de ocorrência, suas características de heterogeneidade e anisotropia lhe conferem uma importância pouco relevante.

Para cada tipo de aquífero os critérios adotados para seleção da rede de monitoramento foram, dentre outros, os seguintes:

- ❖ Distribuição homogênea dos pontos da rede ao longo da área estudada
- ❖ Existência de dados completos do poço: perfil litológico, perfil construtivo, dados originais sobre os níveis, vazão e análises de água;
- ❖ Distintos aquíferos em estudo numa mesma bacia sedimentar;
- ❖ As condições hidrogeológicas locais (confinamento, freático, etc)
- ❖ A profundidade dos poços em cada aquífero
- ❖ O diâmetro do revestimento do poço, sendo dada preferência para os poços revestidos em diâmetro de 6" ou maior
- ❖ Estar o poço equipado com sistema de bombeamento que permita a coleta da água.
- ❖ Possuir análise físico-química anterior para efeito de comparação de resultados (variação temporal)
- ❖ Acesso a medições, inclusive com permissão do proprietário para que seja efetuada a instalação adequada de tubulação auxiliar para guia na medição do nível, além de permissão para que o poço venha a ser posteriormente monitorado (medição de níveis e coleta de água para análises)

Com relação aos poços selecionados para análises físico-químicas, duas campanhas foram executadas tendo em vista que os resultados apresentados pelas 100 primeiras análises físico-químicas deixaram algumas dúvidas quanto a confiabilidade dos resultados, o que suscitou a realização de uma segunda campanha de coleta de mais 60 amostras de água de poços da região.

A tabela 7.1 mostra os poços utilizados para coleta de água, aparecendo em cor vermelha os poços que tiveram uma segunda coleta para análises em outro laboratório da cidade de Palmas.

A tabela 7.2 mostra os poços utilizados para nivelamento e medição dos níveis estáticos.

Tabela 7.1 – Poços selecionados para realização de coleta de água para análises físico-químicas

NÚMERO	Nº antigo	LOCAL	PROPRIETÁRIO	ENDEREÇO	MUNICÍPIO	UTM-N	UTM-E	Cota
787	813-C	Área Verde	SANEATINS	Av. Boiadeiros	Ponte Alta do Tocantins	8.811.098	222.776	295
788	813-D	Distrito do Gato	Prefeitura municipal	Distrito do Gato	Ponte Alta do Tocantins	8.793.001	213.942	358
781	810	Monte Lirio	Francisco José Peixoto Neto	Faz. Monte Lirio	Ponte Alta do Tocantins	8.822.482	224.657	352
973	291-B	Parque Estadual do Jalapão	Governo do Estado	Rua Maranhão	Mateiros	8.830.529	335.123	541
299	289	Pontal da Serra	João Barreto	Fazenda Pontal da Serra	Mateiros	8.837.691	367.941	774
970	987	Centro	Saneatins	Rua Pernambuco	São Felix do Tocantins	8.875.388	318.346	402
971	988	Povoado Prata	Prefeitura municipal	Povoado Prata	São Felix do Tocantins	8.879.840	335.991	462
11	11		João Filho	R. Albuquerque	Almas	8.719.328	263.236	425
22	22	Fazenda Cruz Norte	Cantionilde P. Silva	Fazenda Cruz Norte	Almas	8.720.920	262.315	439
4	4		Darlam	TO 040 km 342	Almas	8.721.032	263.737	456
10	10		Sindicato Rural	Av. Oriental	Almas	8.721.000	265.031	469
225	218	Posto Serra Geral	João Joca Costa Araujo	TO 040 km 342	Dianópolis	8.715.568	300.854	745
230	223	Posto Maracanã	Marcos Gomes Neto	To 040 Lot. 07	Dianópolis	8.715.496	300.263	718
229	222	Posto Marcão	Marcos Gomes Neto	Av. Goias S/Nº	Dianópolis	8.714.068	302.340	743
366	353	Campo de Futebol	Prefeitura Municipal Novo Jardim	Rua Doni S/nº	Novo Jardim	8.692.960	323.134	634
764	793	Fazenda Ipanema	Lourenço A. da Silva	Rodovia TO-110	Ponte Alta do Bom Jesus	8.685.177	332.137	614
765	794	Escola Est. Boa Vista de Belem	Prefeitura Municipal	Povoado Boa Vista Belem	Ponte Alta do Bom Jesus	8.682.417	336.632	574
780	809	Posto Chapadão		Posto Chapadão	Ponte Alta do Bom Jesus	8.663.514	339.281	531
1005	1020	Posto Tagua	Edilson Oliveira de Souza	Av. Antonio Fleury, snº	Taguatinga	8.627.851	344.879	624
1031	1046	Povoado Sapateiro	Prefeitura Municipal	TO - 110	Taguatinga	8.612.395	346.728	530
143	136	Fazenda Santa Helena	Terpando de Paiva Cardoso	Fazenda Santa Helena	Aurora do Tocantins			
126	119	Fazenda Olho D'Água	Oribes Carvalho Leal	Fazenda Olho D'Água	Aurora do Tocantins	8.696.274	343.737	529
174	167	Fazenda Bom Jesus	Miguel Martins dos Anjos	Fazenda Bom Jesus	Combinado	8.584.105	334.747	430
166	159	Fazenda Macaúba	Antonio Carlos de Abreu	Fazenda Macaúba	Combinado	8.586.479	328.263	411
280	270	Fazenda Santa Maria	Adio Souza da Silva	Fazenda Santa Maria	Lavandeira	8.599.627	336.847	444
279	269	Fazenda Ponta D'Água	Prefeitura Municipal	Fazenda Ponta D'Água	Lavandeira	8.600.384	335.009	428
84	77	Arraias	Auto P. Japão	Rod. TO - 050 K 419	Arraias	8.571.172	288.320	720
114	107	BR Rod. Arraias Paraná	GMR Reflorestamento	Fazenda Monte Alegre	Arraias	8.587.094	254.285	451
88	81	BR de Paraná	Alvaro Monteiro	Fazenda Estrela	Arraias	8.580.830	271.525	417
188	181	Parque das águas	Prefeitura Municipal de C. do Tocantins	Parque das águas	Conceição do Tocantins	8.647.284	251.127	398
180	173	Cacimbas	João Alves Ribeiro	Fazenda Novo Horizonte	Conceição do Tocantins	8.651.528	248.738	373
186	179	Posto Sonho Meu	Antonio Vicente Queiroz Ferreira	Rodovia To-050 k318	Conceição do Tocantins	8.647.366	249.974	439
199	192	Ampar	Marlene Serra Guimarães	Rodovia TO-050 k315	Conceição do Tocantins	8.646.864	247.133	409

Tabela 7.1 – Poços selecionados para realização de coleta de água para análises físico-químicas (continuação)

NÚMERO	Nº antigo	LOCAL	PROPRIETÁRIO	ENDEREÇO	MUNICÍPIO	UTM-N	UTM-E	Cota
350	338	Príncipe	Saneatins	BR 010	Natividade	8.679.160	215.235	322
322	310	Povoado Bonfim	Saneatins	Bonfim	Natividade	8.690.842	215.040	297
149	142	Cerâmica	Valdemir	Ceramica	Chapada da Natividade	8.714.836	200.438	339
147	140	Fazenda Lages	Diramar Mota	Fazenda Lages	Chapada da Natividade	8.715.722	201.002	357
320	308	Posto Trevo Norte	Herme P. Feitosa	Trevo Norte Q.227	Natividade	8.706.654	203.039	343
338	326	Hotel Serra Geral	Caetano	To 050 (Rodovia)	Natividade	8.706.278	203.135	350
976	992	Posto	Geremias	Av. Tocantins	São Valério	8.674.980	801.183	531
982	998		Saneatins	Rua R. G. do Sul	São Valério	8.674.422	801.497	284
983	999		Saneatins	Rua da Rodoviária	São Valério	8.675.533	800.792	324
155	148	Churrascaria Rio das Pedras	Gesildo P. Cerqueira	BR 010	Chapada da Natividade	8.729.048	187.257	327
959	977	Cangas	Colégio Pedro R.Netto	C. Pedro R. Netto	Santa Rosa	8.749.326	182.411	336
954	972	Praça	Prefeitura	Praça Jaime Pereira	Santa Rosa	8.733.298	184.581	261
988	1004	Zona Rural - Silvanópolis	Archer Agropecuária	BR - 010 - Km - 296	Silvanópolis	8.756.052	807.950	
992	1008	Granule Sementes	Granule Esport. E Import. LTDA	To - 050 - Saída para Porto	Silvanópolis	8.774.556	802.906	
989	1005	Praça da Prefeitura	Prefeitura Municipal		Silvanópolis	8.843.746	791.095	
312	300	Fazenda São João	Pedro Hersen	To - M. do Carmo - Silvanópolis	Monte do Carmo	8.793.166	812.936	
306	294	Fazenda Maria Mole	Heleno Costa	Zona Rural	Monte do Carmo	8.792.420	809.794	309
311	299	Rod. To - M. Carmo - Silvanópolis	Cabo Raimundo	Fazenda Cabo Raimundinho	Monte do Carmo	8.799.036	816.203	
310	298	Fazenda	José Roberto	Saída para Ponte Alfa	Monte do Carmo	8.806.402	814.290	318
559	649	Plano Diretor	Hospital geral de Palmas	Hospital geral de Palmas	Palmas	8.871.620	791.880	247
563	652	Posto Sanmarino	Gerente	Posto Sanmarino	Palmas	8.871.708	790.370	239
551	645	Palacio Norte		Praça dos Girassóis	Palmas	8.874.799	789.623	220
463	443	Plano Diretor	Mosteiro de São Bento	108 Norte	Palmas	8.873.788	793.948	272
371	358	Plano Diretor	Polícia Militar	Quartel do 2º Comando Geral	Palmas	8.866.138	792.518	239
560	650	Plano Diretor	Escola Técnica Federal	Escola Técnica Federal	Palmas	8.871.321	794.639	
474	X1	Plano Diretor	Pousada dos Girassóis 1	305 norte	Palmas	8.872.812	791.760	246
689	X2	Av. Teotônio Segurado - Palmas	Churrascaria Portal do Sul		Palmas			
	X3	Naturatins			Palmas			
400	379	Plano Diretor	Governo Detran	401 Norte	Palmas	8.875.340	792.785	272
	X4	Café Paraíso			Palmas			
432	X5	Bom Diesel	Bom Diesel		Palmas	8.867.350	794.436	304
452	431		Posto Cantão	Av. 115 Quadra 21	Palmas	8.865.526	794.202	288
484	483	Plano Diretor	Concessionaria Peugeot	Av. Siqueira Campo	Palmas	8.872.192	793.036	258

Tabela 7.1 – Poços selecionados para realização de coleta de água para análises físico-químicas (continuação)

NÚMERO	Nº antigo	LOCAL	PROPRIETÁRIO	ENDEREÇO	MUNICÍPIO	UTM-N	UTM-E	Cota
423	393	Posto	Almiro	602 Sul Conj. 02 Lot 02	Palmas	8.869.286	792.435	274
575	706	Plano Diretor	Transbrasiliiana	401 Sul	Palmas	8.870.327	792.008	254
397	375	Plano Diretor	Fé e Alegria		Palmas	8.874.696	793.892	278
702	571	Plano Diretor	CESAM	301 Norte	Palmas	8.874.754	790.810	266
517	X6		Condomínio Polinésia		Palmas	8.877.847	790.156	234
573	261	Plano Diretor	Posto Petrolider		Palmas	8.868.326	794.559	262
387	603	Plano Diretor	Igreja Santo Antonio	110 Sul Al 23 Lot 06	Palmas	8.872.236	794.753	286
	593	Construtora Parque Nacional						
557	X7		1º BPM - Polícia Militar		Palmas	8.871.205	791.100	230
578	737	Univ. Lut. De Palmas	Ulbra	Av. Teotônio Segurado	Palmas	8.862.655	791.968	
33	30	Sapucaia	Pedro Batista	Fazenda São Pedro	Aparecida do Rio Negro	8.894.020	824.687	360
45	42	Posto	Venceslau Leôba	Aparecida do Rio Negro	Aparecida do Rio Negro	8.898.896	172.613	290
48	45	Centro	Mariza dos Santos	Aparecida do Rio Negro	Aparecida do Rio Negro	8.898.508	173.930	268
43	40	Obras Sociais	Projeto Paroquia	Aparecida do Rio Negro	Aparecida do Rio Negro	8.899.054	174.428	265
36	33	Diozinho	Diô	Chácara Sítio Novo	Aparecida do Rio Negro	8.899.458	195.031	283
39	36	Chacarã Boa Vista	José do Carmo	Chácara Boa Vista	Aparecida do Rio Negro	8.899.908	173.178	345
46	43	Aeroporto	Seneantis	Aparecida do Rio Negro	Aparecida do Rio Negro	8.897.870	173.557	273
47	44	São Domingos	Seneantis	Aparecida do Rio Negro	Aparecida do Rio Negro	8.898.268	174.135	243
41	38	Beira do Balsa	Nelmo	Fazenda Geovane	Aparecida do Rio Negro	8.899.524	184.749	260
44	41	Assentamento	Associação Jerusalém	Assoc. Familiar Jerusalém	Aparecida do Rio Negro	8.902.268	185.620	251
358	345	Beira do Rio Sono	Fernando	Fazenda Primavera	Novo Acordo	8.902.858	193.332	207
361	348	Serra Bruta	Francisco Coelho	Fazenda Boa Sorte	Novo Acordo	8.874.990	197.964	252
269	261	Centro	Saneatins	Quincas Carvalho	Lagoa do Tocantins	8.860.470	218.844	327
270	262	Centro	Saneatins		Lagoa do Tocantins	8.860.634	219.022	321
271	263	Fazenda São Raimundo	Sr. Nonato		Lagoa do Tocantins	8.853.918	222.783	313
965	983	Barra da Aroeira	Prefeitura		Santa Tereza	8.861.584	193.904	328
963	981	Centro	Saneatins		Santa Tereza	8.873.746	192.512	240
511	X8		Hotel Pousada dos Girassóis 2		Palmas	8.873.718	791.948	272
561	X9		CEAC - Centro Espírita Aurenny		Palmas	8.858.385	793.735	322
953	X10	Fazenda Grande	José Ricardo Decardesci		Rio Sono			
363	350	Rio Vermelho	João Moreira da Costa	Fazenda Águas de Março	Novo Acordo	8.875.734	241.641	292
922	946	Posto Nossa Senhora de Fátima	Inácio Cezar Andrade	Anel Viário Trevo Sul	Porto Nacional	8.817.188	785.496	
818	842	Colégio Sagrado C. de Jesus	Irmãs Dominicanas	Rua Joaquim Pereira	Porto Nacional	8.816.695	783.773	
816	840	Lava Jato F-1	Neuri Prazer	Rua Paraguaçu - Vila Nova	Porto Nacional	8.816.692	783.774	

Tabela 7.2 – Poços selecionados para nivelamento e medição de nível estático

Nº	LOCAL	MUNICÍPIO	COORDENADAS			OBSERVAÇÕES
			LATITUDE	LONGITUDE	COTA	
390	AGROTINS	Palmas	8849471	787772	235	OPERANDO
377	GARAGEM DO ESTADO	Palmas	8873050	789002	220	OPERANDO
549	ASSOCIAÇÃO FRATENA DOS OFICIAIS - PM	Palmas	8871194	789062	241	OPERANDO
389	AEROPORTO PALMAS	Palmas	8860657	789147	237	OPERANDO
380	VIVEIRO JALAPÃO	Palmas	8846702	789322	235	OPERANDO
457	UFT-Proximo Restaurante	Palmas	8873697	789601	223	OPERANDO
394	SANEATINS - VILA UNIÃO	Palmas	8874857	789743	224	DESATIVADO
394	SANEATINS VILA UNIÃO	Palmas	8874657	790016	225	OPERANDO
436	POSTO PALACINHO	Palmas	8874471	790016	303	OPERANDO
517	CONDOMÍNIO POLINESIA	Palmas	8877847	790156	234	OPERANDO
563	POSTO SAN MARINO	Palmas	8871709	790377	239	OPERANDO
545	ESCOLA DE FUTEBOL - 407 NORTE	Palmas	8875671	790646	248	OPERANDO
948	MONSOI SEMENTES	Porto Nacional	8829871	790801	263	OPERANDO
454	RANCHO DIAMANTE-Saída Polinésia	Palmas	8878188	790996	260	OPERANDO
557	1º BPM -Polícia Militar	Palmas	8871205	791100	230	OPERANDO
376	POSTO PETROLIDER (ARNO 12)	Palmas	8873259	791168	248	OPERANDO
383	EIT	Palmas	8844751	791342	255	OPERANDO
468	TURIM HOTEL	Palmas	8873158	791710	283	OPERANDO
510	HOTEL Pousada dos Girassois 1	Palmas	8872790	791770	258	OPERANDO
450	UNICLINICA	Palmas	8870255	791913	267	OPERANDO
511	Hotel Pousada dos Girassois II	Palmas	8873718	791948	272	DESATIVADO
491	HOSPITAL CRISTO REI	Palmas	8869403	792004	301	OPERANDO
575	TRANSBRASILIANA	Palmas	8870320	792008	254	OPERANDO
597	COL DE TEMPO INTEGRAL-PADRE JOSIMO	Palmas	8874633	792024	260	DESATIVADO
559	HOSPITAL GERAL - HGP	Palmas	8871636	792027	262	DESATIVADO
483	PEUGEOT-Teotônio Segurado	Palmas	8868548	792067	262	OPERANDO
476	EADCON - AV. TEOTONHO SEGURADO	Palmas	8863373	792070	273	OPERANDO
612	ESCOLA INFANTIL IRMÃ MACELINA	Palmas	8874752	792086	264	OPERANDO
505	HOTEL CASA GRANDE	Palmas	8871628	792091	270	OPERANDO
499	PALACIO ARAGUAIA NORTE	Palmas	8873381	792158	274	DESATIVADO
500	PALACIO ARAGUAIA SUL	Palmas	8872866	792226	268	DESATIVADO
564	UNIVERSIDADE CATOLICA-Av. Teotônio	Palmas	8863500	792267	264	DESATIVADO
583	ESTADIO NILTON SANTOS	Palmas	8862238	792321	260	OPERANDO
480	FORUM - AV. TEOTONHO SEGURADO	Palmas	8869727	792350	270	DESATIVADO
631	POSTO PETROPALMAS	Palmas	8869278	792446	277	OPERANDO
553	POSTO VERÃO	Palmas	8870764	792458	261	OPERANDO
593	ATENAS CLUBE	Palmas	8866013	792519	268	OPERANDO
448	POSTO PETROLIDER - 05	Palmas	8870217	792611	261	OPERANDO
569	CHÁCARA GAIA	Palmas	8880087	792634	266	DESATIVADO
407	INVESTICO	Palmas	8846043	792694	282	DESATIVADO
602	ASSISTÊNCIA SOCIAL - 304 SUL	Palmas	8871478	792731	274	OPERANDO
620	DETRAN	Palmas	8875358	792783	286	OPERANDO
608	ESCOLA DE TEMPO INTEGRAL - CORA CORALINA	Palmas	8876457	793083	250	DESATIVADO
487	POLICIA MILITAR - QCG	Palmas	8871344	793089	272	OPERANDO
573	POSTO PETROLIDER - 1106 SUL	Palmas	8865763	793199	294	OPERANDO
540	COLEGIO DE TEMPO INTEGRAL-EURIDES F. DE MELO	Palmas	8858812	793397	269	OPERANDO
375	APAE	Palmas	8868638	793442	281	DESATIVADO
461	RECEP-Residencial Real Park	Palmas	8873784	793464	262	OPERANDO
591	ESCOLA MUN. ANTONIO CARLOS JOBIN	Palmas	8864959	793469	285	OPERANDO
374	PARAISO DAS ÁGUAS	Palmas	8886849	793662	228	OPERANDO

Tabela 7.2 – Poços selecionados para nivelamento e medição de nível estático (continuação)

Nº	LOCAL	MUNICÍPIO	COORDENADAS			OBSERVAÇÕES
			LATITUDE	LONGITUDE	COTA	
561	CEAC-Centro Espírita - Aureny	Palmas	8858385	793735	322	OPERANDO
455	CLUBE ASSINE	Palmas	8876564	793790	270	OPERANDO
521	CENTRO ED. SÃO FRANCISCO DE ASSIS	Palmas	8873075	793852	270	OPERANDO
695	FLORA RICA	Palmas	8844297	793853	277	DESATIVADO
589	LAVAJATO CENTRAL - 1112 SUL	Palmas	8865268	793900	277	OPERANDO
397	FÉ E ALEGRIA	Palmas	8874713	793929	289	OPERANDO
418	CAFÉ PARAISO	Palmas	8866693	794099	295	OPERANDO
386	POLICIA R. ESTADUAL TO. 0.50	Palmas	8845574	794140	267	OPERANDO
525	POSTO PEREQUETÉ	Palmas	8868307	794160	301	DESATIVADO
498	ULBRA JK	Palmas	8873055	794213	271	OPERANDO
435	CONDOMINIO MORADA IPE	Palmas	8871300	794216	280	OPERANDO
535	ESCOLA DO FLAMENDO	Palmas	8871588	794239	292	OPERANDO
465	CENTRO DE ENSINO MEDIO - CEM	Palmas	8873938	794244	279	DESATIVADO
530	POSTO TUCUNARÉ - 110 SUL	Palmas	8872812	794413	286	OPERANDO
432	BOM DIESEL	Palmas	8867350	794436	304	OPERANDO
430	FREE LANCE	Palmas	8867500	794488	302	OPERANDO
572	COLEGIO MARISTA	Palmas	8872215	794525	273	OPERANDO
495	ETF - ESCOLA TECNICA FEDERAL	Palmas	8871322	794632	288	DESATIVADO
422	ESCOLA DE GESTAO FAZENDARIA	Palmas	8864667	794650	277	DESATIVADO
664	SINDICATO RURAL DE PALMAS	Palmas	8868330	794700	311	OPERANDO
439	MOTEL (SAIDA AP. RIO NEGRO)	Palmas	8867838	794900	257	OPERANDO
426	ITAPEMA CLUB	Palmas	8879970	794980	276	OPERANDO
393	VIBELA	Palmas	8852236	795038	262	DESATIVADO
537	TENIS CLUB	Palmas	8872131	795175	291	OPERANDO
425	LAVAJATO OMB	Palmas	8872975	795189	290	OPERANDO
841	FAZ. FRIGOVALE	Porto Nacional	8842682	795270	302	OPERANDO
470	RETIFICA BANDEIRANTES	Palmas	8872088	795271	322	OPERANDO
680	JOQUEI CLUB (ANTIGO)	Palmas	8863847	795298	275	DESATIVADO
490	SEST/SENAT	Palmas	8870672	795442	278	OPERANDO
442	PRESIDIO PALMAS	Palmas	8867597	795494	233	DESATIVADO
587	PALACINHO	Palmas	8873576	795494	299	DESATIVADO
395	CONSTRUTORA SÃO CRISTOVAO	Palmas	8853123	795497	276	OPERANDO
412	CHÁCARA DARCY-Poço 2	Palmas	8863131	795531	280	OPERANDO
556	RESIDENCIA OFICIAL - GOVERNO	Palmas	8873181	795546	300	DESATIVADO
472	AGNOLIN - POSTO COMBUSTIVEL	Palmas	8871981	795580	296	OPERANDO
411	DARCY	Palmas	8863128	795659	283	DESATIVADO
399	POSTO TERRA (TO.050)	Palmas	8855898	795732	303	OPERANDO
401	GINASIO AYRTON SENNA	Palmas	8857230	795810	284	DESATIVADO
683	ASDETO	Palmas	8863814	795930	294	OPERANDO
527	CEMITERIO JARDINS DAS ACACIAS	Palmas	8867061	795942	233	OPERANDO
634	POSTO SERRA DO CARMO	Palmas	8858479	795944	284	OPERANDO
372	CHACARA 431 - TO 010	Palmas	8876441	796027	305	OPERANDO
696	ASSEMP	Palmas	8870691	796068	253	OPERANDO
668	CERAMICA (TO 0.50)	Palmas	8859342	796305	302	OPERANDO
446	CHACARA BOM DIESEL	Palmas	8864137	796405	281	OPERANDO
493	UNIVERSIDADE CATOLICA (TO.0.50)	Palmas	8862123	796720	238	OPERANDO
415	CHACARA ADORAI (PADRES)	Palmas	8864273	796758	299	OPERANDO
416	CHACARA ADORAI (IRMAS)	Palmas	8864224	796831	305	OPERANDO
404	POCO DA PREFEITURA	Palmas	8857774	797059	273	DESATIVADO
516	CLUBE DE TIRO	Palmas	8870230	798021	282	OPERANDO

A tabela 7.3 mostra os 20 poços escolhidos para realização dos testes de aquífero para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero e na tabela 7.4, os poços selecionados para realização de perfilagem elétrica.

Tabela 7.3 – Poços selecionados para realização de testes de aquífero

Nº cadastro	Local	Município	Aquífero	Coordenadas UTM		Cota (m)	Prof. (m)	N.E. (m)	N.D. (m)	Vazão (m ³ /h)	Vaz.Esp. (m ³ /h/m)
				NS	EO						
564	Faculdade Católica do Tocantins	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	8.863.378	792.297	243	286	22,83	44,86	5,82	0,26
587	Palacinho	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	8.873.576	795.494	299	300	19,68	39,21	10,15	0,52
511	Hotel Pousada dos Girassóis	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	8.873.718	791.948	272	260	38,30	65,67	7,23	0,26
557	1º Batalhão Polícia Militar	Palmas	Pimenteiras	8.871.205	791.100	230	240	17,95	61,83	14,22	0,32
454	Rancho Diamante	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	8.878.188	790.996	260	304	36,85	78,29	19,90	0,48
566	Residência Oficial do Governo	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	8.873.181	795.546	300	300	16,90	76,34	5,11	0,09
627	Chácara Vila Boa	Palmas	Pimenteiras	8.883.469	793.306	279	106	0,00	4,92	6,89	1,40
559	Hospital Geral de Palmas	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	8.871.636	792.027	262	300	20,42	112,74	5,35	0,06
687	Chácara Sulamericana	Palmas	Aluvião/Pimenteiras				55	5,50	6,00	12,80	25,60
686	ASRSE	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande				360	22,00	65,00	8,00	0,19
422	Chácara do Darcy - Taquaralto	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	8.863.131	795.531	280	260	26,84	60,61	3,95	0,12
561	CEAC-Centro Espírita - Taquaralto	Palmas	Pimenteiras	8.858.385	793.735		192	27,89	54,50	0,73	0,03
569	Chácara da GAIA	Palmas	Pimenteiras	8.880.087	792.634	266	190	4,43	6,14	4,33	2,53
272	Faz. Água Limpa - D.Cícera	Lagoa do Tocantins	Cabeças/Pimenteiras	8.856.726	222.905	362	90	9,12	17,72	5,33	0,62
363	Faz. Águas de Março - João Moreira	Novo Acordo	Cabeças/Pimenteiras	8.875.735	241.641	290	132	34,20	43,63	6,51	0,69
303	Comunidade Mumbuca	Mateiros	Urucuia				100	0,00	13,10	29,94	2,29
751	Prodecer	Pedro Afonso	Pimenteiras	8.984.574	810.717	288	186	21,00	46,00	66,00	2,64
953	Faz. Rio Grande - Ricardo	Rio Sono	Poti/Oiaui	8.933.642	231.552	307	144	52,18	60,56	5,43	0,65
948	Estação Monsoy	Porto Nacional	Pimenteiras	8.829.871	790.801		144	12,00	58,00	8,00	0,17
969	Assentamento TEIMA	Santa Tereza	Pimenteiras	8.862.602	193.743	330	160	73,43	83,69	5,30	0,52

Tabela 7.4 – Poços selecionados para realização de perfis óptico e elétrico

Poços com perfilagem elétrica e óptica						
Nº cadastro	Local	UTM-NS	UTM-EO	Cota	Prof.	N.E.
499	Palácio Araguaia - Poço norte 1	8.873.381	792.158	274	300	49,92
564	Faculdade Católica do Tocantins	8.863.378	792.297	243	286	19,88
587	Palacinho	8.873.576	795.494	299	300	18,21
375	APAE	8.868.638	793.442	281	215	32,23
620	DETRAN	8.875.358	792.783	286	300	55,58
407	Investico	8.846.043	792.694	282	280	15,67
511	Hotel Pousada dos Girassóis	8.873.718	791.948	272	260	45,09
454	Rancho Diamante	8.878.188	790.996	260	304	32,06
495	Escola Técnica Federal	8.871.322	794.632	288	300	41,99
517	Condomínio Polinésia	8.877.847	790.156	234	264	21,68
559	Hospital Geral de Palmas	8.871.636	792.027	262	300	25,63
483	Peugeot	8.868.548	792.067	262	240	35,35
557	1º Batalhão Polícia Militar	8.871.205	791.100	230	240	22,91
617	Kartródromo	8.862.167	792.652	237	228	35,19
574	CESAM	8.874.754	790.810	266	275	37,46
418	Café Paraíso	8.866.693	794.099	295	256	57,59
487	QCG-Quartel do Comando Geral	8.871.301	793.048	254	229	48,85
566	Residência Oficial do Governo	8.873.181	795.546	300	300	15,49
525	Posto Perequetê	8.868.307	794.160	301	300	65,23
627	Chácara Vila Boa	8.883.469	793.306	279	106	0
Poços com perfilagem óptica						
Nº cadastro	Local	UTM-NS	UTM-EO	Cota	Prof.	N.E.
465	CEM-Centro de Ensino Médio	8.873.938	794.244	279	270	4,64
412	Chácara Darcy	8.863.131	795.531	280	160	26,84
383	EIT	8.844.751	791.342	255		36,68
680	Jockey Club	8.863.714	795.138	267	100	

Finalmente a escolha dos locais para perfuração dos poços em cada domínio hidrogeológico foi efetuada levando-se em consideração dois aspectos básicos:

- Interesse hidrogeológico
- Interesse sócio econômico

O interesse hidrogeológico diz respeito a necessidade de se conhecer dados hidrodinâmicos de aquíferos existentes na região enquanto o interesse sócio-econômico refere-se a necessidade de atendimento da demanda de água para determinada população.

No aquífero intersticial necessitava-se de dados sobre o aquífero Urucuia daí ter sido escolhida uma comunidade carente de água no município de Mateiros.

Quanto aos aquíferos cárstico-fissural e fissural, não havia interesse específico daí terem sido escolhidas as localidades onde havia maior demanda de água.

8. COLETA DE ÁGUA E RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Conforme mencionado no capítulo anterior, foram realizadas duas campanhas de coleta de água e realização de análises físico-químicas: a primeira com 100 amostras coletadas e a segunda com repetição de 60 dentre as 100 anteriores.

Na tabela 8.1 são apresentados os resultados das análises físico-químicas da primeira campanha enquanto a tabela 8.2 mostra os resultados das análises físico-químicas da segunda campanha.

Na tabela 8.3 foi realizada uma comparação dos resultados em 20 resultados das duas campanhas, escolhidos aleatoriamente, o que corresponde a 20% da primeira campanha e a 1/3 da segunda campanha.

Nessa tabela 8.3 aparece na coluna de cor azul o resultado da primeira campanha e em cor vermelha o resultado da segunda.

Como pode ser visto, alguns resultados da primeira campanha são extremamente duvidosos, como sejam:

- a) Em 16 das 20 amostras o valor dos sólidos totais foi inferior ao do bicarbonato;
- b) Nos poços de Príncipe (Natividade) e Peugeot (Palmas) o valor dos sólidos totais foi inferior a 10 mg/L enquanto a soma dos cátions foi de 160 mg/L e 250 mg/L respectivamente;
- c) Em quatro das 20 amostras o valor da dureza ultrapassa o valor dos sólidos totais dissolvidos.

Tendo em vista a falta de confiabilidade desses resultados, o que também foi constatado na avaliação do erro máximo permissível realizado em todas as amostras analisadas, o estudo hidroquímico será desenvolvido apenas com os resultados apresentados na segunda campanha de amostragem.

Tabela 8.1 - Resultados das análises físico-químicas da 1ª campanha de coleta

Município	Ponte Alta do TO			Mateiros		S.Félix do TO		Almas				Dianópolis	
Local	Área Verde	Distrito do Gato	Monte Lirio	Parque Estadual do Jalapão	Portal da Serra	Centro	Povoado Prata	Propr.de João Filho	Faz. Cruz Norte	Sr. Darlam	Sindicato Rural	Posto Serra Geral	Posto Maracanã
Múmero de Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Número do Cadastro	787	788	781	973	299	970	971	11	22	4	10	225	230

DETERMINAÇÕES

Condutividade elétrica	117,6	29,9	5	2,47	3,03	14,32	2,08	270,1	147,5	30,5	22,1	64,8	159,3
pH	7,25	6,54	5	5,56	5,58	6,2	7,2	7,57	7,3	5,34	6,64	7,59	7,75
Sólidos Totais	62,9	15,62	2	1,42	1,65	7,54	1,1	133,09	70,7	14,9	10,72	31,8	77,8
Alcalinidade	60	24	21	15	15	15	18	150	84	9	54	42	75
Dureza Total	50	12	10	10	14	10	10	120	70	10	12	40	82
Sódio	0,3	0,9	0	0,1	0,1	0,1	0,1	11,6	4	2,9	0,5	1,7	3,2
Potássio	3,7	0,8	0	0	0	0,7	0,1	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,2
Cálcio	12	4	4	4	5,6	4	4	40	20	4	2	8	16
Magnésio	4,9	0,5	0	0	0	0	0	4,9	4,9	0	1,7	4,9	10,2
Ferro Total	0,66	0,16	1	0,15	0,31	0,02	0,35	0,11	0,047	0,038	0,041	0,082	0,102
Manganês	0,1	0,1	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,1	0,3	0,5
Cloreto	14,18	12,76	10	9,93	8,86	12,41	12,05	30,13	10,64	13,12	10,64	12,41	12,76
Sulfato	0	0,4	0	0	1,2	1,2	0,2	24,8	0,8	0,6	0,5	0	0,4
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonato	60	24	21	15	15	15	18	150	84	9	54	42	75
Nitrogênio Amoniacal	0,035	0,003	0	0,018	0,024	0	0	0,009	0,031	0,015	0,026	0,014	0,008
Nitrito	0,0018	0,0095	0	0,0139	0,0026	0,0018	0,0026	0,0022	0,0026	0,004	0,0039	0,0027	0,0031
Nitrato	0,2	1,3	0	0	0	0	0	0,3	0	0,1	1,2	0,2	0,2

Tabela 8.1 - Resultados das análises físico-químicas da 1ª campanha de coleta (continuação)

Município	Dianáp.	N.Jardim	Ponte Alta do Bom Jesus			Taguatinga		Aurora do TO		Combinado		Lavadeira		Arraias
Local	Posto Marcação	Campo de Futebol	Fazenda Ipanema	Esc. Est.Boa Vista de Belém	Posto Chapadão	Posto Taguá	Povoado Sapateiro	Faz. Santa Helena	Faz. Olho D'Água	Faz.Bom Jesus	Faz. Macaúba	Faz. Santa Maria	Faz. Ponta D'Água	Auto P. Japão
Múmero de Ordem	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Número do Cadastro	229	366	764	765	780	1005	1031	143	126	174	166	280	279	84

DETERMINAÇÕES

Condutividade elétrica	38,5	214	247	110,2	80	107,3	420,9	430	403	744,6	710,5	560,1	583,8	87,2
pH	6,51	7,5	7,83	7,79	8,03	8,05	7,56	7,87	7,6	7,71	7,54	7,51	7,64	6,69
Sólidos Totais	18,68	105	118,4	54,1	39	52,6	209,1	209,9	199,01	370,9	352,5	277,7	283,9	42,5
Alcalinidade	15	132	171	45	42	60	240	294	270	330	249	192	120	18
Dureza Total	30	130	120	40	42	60	160	250	154	260	180	230	250	20
Sódio	0,9	3,3	3,4	0,8	0,2	1,3	2,1	0,7	6,3	20,7	15,6	17,1	9,6	3,3
Potássio	0,1	0,2	1,1	1,6	0,8	0,8	0,1	0,1	0,3	1,2	0,6	0,2	0,5	1,4
Cálcio	12	44	48	16	16,8	24	28	28	32	32	52	92	100	8
Magnésio	0	4,9	0	0	0	0	21,9	43,7	18	43,7	12,2	0	0	0
Ferro Total	0,065	0,09	0,033	0,014	0,058	0,026	0,017	0,216	0,058	0,054	0,044	0,005	0,036	0,033
Manganês	0,1	0,1	0,3	1,4	0,1	0	1,7	0	0	0	0	0,3	0	0
Cloreto	12,05	19,85	12,05	12,76	10,64	10,64	14,18	9,93	15,95	25,88	14,18	12,41	14,18	12,41
Sulfato	11	0,7	3,5	2,9	0,1	0,7	15,7	1,1	15,7	80	84	21,3	68,8	0,7
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonato	15	132	171	45	42	60	240	294	270	330	249	192	120	18
Nitrogênio Amoniacal	0,016	0,009	0,021	0	0	0,004	0,045	0,058	0,012	0,222	0,025	0,025	0,013	0,012
Nitrito	0,0032	0,0028	0,0024	0,003	0,0029	0,0033	0,0025	0,003	0,0029	0,0013	0,0023	0,0025	0,0024	0,0024
Nitrato	0,2	3,7	3,2	0,3	0	0,1	4,4	0,2	0	0	1	0,9	0	1,7

Tabela 8.1 - Resultados das análises físico-químicas da 1ª campanha de coleta (continuação)

Município	Arraias		Conceição do Tocantins				Natividade		Chap.Natividade		Natividade		São Valério		
Local	GMR Reflorestame nto	Faz. Estrela	Parque das Águas	Cacimbas	Posto Sonho Meu	AMPAR	Principe	Povoado Bonfim	Cerâmica	Faz. Lages	Posto Trevo Norte	Hotel Serra Geral	Posto do Geremias	SANEATINS	SANEATINS
Múmero de Ordem	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Número do Cadastro	114	88	188	180	186	199	350	322	149	147	320	338	976	982	983

DETERMINAÇÕES

Condutividade elétrica	65	163,1	210,4	21,5	23,9	198,5	14,59	176,4	78,1	38,2	168,7	84,1	127,2	95,1	52,4
pH	7,29	7,2	7,47	7,72	8,01	7,17	6,96	6,88	7,02	6,98	7,18	6,78	6,01	6,17	6,6
Sólidos Totais	32	80	103,9	10,57	13,7	99,5	7,46	87,2	39,2	19,9	84,8	42,4	64,3	47,4	26,3
Alcalinidade	24	75	84	117	141	105	144	45	42	30	54	45	24	21	30
Dureza Total	60	40	150	106	316	86	100	70	20	20	80	100	28	12	20
Sódio	0,6	7,3	4,6	4,6	4,1	2,8	5,8	4,8	3	2,5	6,1	3,9	5,3	4,8	2,4
Potássio	1,9	0,1	0,2	0,6	0	0,5	0,9	0,3	0,2	0,2	0,9	0,9	1,1	0,6	0,7
Cálcio	24	16	38,4	24	126,4	30,4	28	8	4	8	32	5,4	11,2	4,8	8
Magnésio	0	0	13,1	11,2	0	2,4	7,3	12,2	2,4	0	0	20,9	0	0	0
Ferro Total	0,13	0,138	1,067	0,026	0,033	0,075	0,022	0	0,055	0	0,491	0,912	0,017	0,545	3,096
Manganês	0	2,2	1,1	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,3
Cloreto	11,7	12,76	14,18	11,7	12,41	14,18	13,12	14,18	12,05	15,95	8,86	10,64	17,02	17,73	11,7
Sulfato	0,9	0,7	2,9	0,5	0,6	0,9	1,1	0,2	0,3	0,6	2,2	0,3	5,8	0,7	1,3
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonato	24	75	84	117	141	105	144	45	42	30	54	45	24	21	30
Nitrogênio Amoniacal	0,051	0,006	0,053	0,093	0,036	0,039	0,036	0,001	0,076	0,042	0,074	0,136	0,003	0,459	0,205
Nitrito	0,0002	0,0036	0,0019	0,0023	0,0027	0,0022	0,0034	0,0021	0,0021	0,0023	0	0	0,0025	0,0021	0
Nitrato	0,3	0,2	1,4	0,1	0,2	0,8	0,8	1,3	0,4	0,1	0,2	0,3	5,4	3,8	0,6

Tabela 8.1 - Resultados das análises físico-químicas da 1ª campanha de coleta (continuação)

Município	Ch.Nat.	Santa Rosa			Silvanópolis			Monte do Carmo				Palmas				
Local	Churrascaria Rio das Pedras	Colégio Pedro Neto-CANGAS	Praça	Archer Agropecuária	Granule	Praça	Faz. São João	Faz. Maria Mole	Cabo Raimundo	Faz. de José Roberto	Hospital Geral de Palmas	Posto Sanmarino	Palacio Norte	Mosteiro de São Bento	Polícia Militar	
Múmero de Ordem	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	
Número do Cadastro	155	959	954	988	992	989	312	306	311	310	559	563	551	463	371	

DETERMINAÇÕES

Condutividade elétrica	105,1	72,5	44,5	17	100,9	72,2	110,9	8,73	8,99	8,49	27	139,6	82,3	8,76	116,9
pH	7,83	7,65	7,46	6,78	7,63	7,65	7,45	5,78	5,82	5,91	6,2	7,79	6,55	5,61	7,26
Sólidos Totais	52,7	36,5	22,3	8,56	51	37,9	55,6	4,32	4,26	4,18	13,25	69	40,5	4,24	58
Alcalinidade	30	42	18	15	60	45	57	12	15	18	45	144	78	57	117
Dureza Total	40	36	20	4	18	12	40	6	6	6	10	20	40	50	60
Sódio	4,1	4,1	3,4	0,6	7,7	3,8	2,8	0,3	0,3	0,2	2,4	4,4	1,1	1	0,8
Potássio	0,5	0,8	0	0,2	0,1	1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	4,1	4,2	0,1	0
Cálcio	16	14,4	8	1,6	7,2	3,2	5,6	2,4	2,4	2,4	2,4	8	9,6	2,4	12
Magnésio	0	0	0	0	0	1	6,3	0	0	0	1	0	3,9	10,7	7,3
Ferro Total	0,073	0,817	0,279	0,015	0,504	0,145	0,159	0,198	0,107	0	0,794	0,394	3,3	0,045	0,878
Manganês	0	0	0	1,8	0	0	0,4	0	0	0,9	0,1	0	0,5	0,6	1,1
Cloreto	13,47	11,34	14,53	13,47	9,93	8,86	12,05	11,7	8,86	8,86	8,86	10,64	8,86	10,64	10,64
Sulfato	3,3	0,6	0,1	0,4	1,1	0,4	0,6	0,6	0,9	0,8	1,4	0,8	4,3	0,2	1,6
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonato	30	42	18	15	60	45	57	12	15	18	45	144	78	57	117
Nitrogênio Amoniacal	0	0,091	0,034	0	0,076	0	0,032	0,005	0,028	0,013	0,037	0,142	0,54	0	0,233
Nitrito	0,0023	0	0,0011	0,0027	0,0007	0,0019	0,0015	0,0022	0,0025	0,0016	0,0007	0	0	0,0013	0
Nitrato	1,1	0,2	1,9	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,3	0,5	0,1	1,2	0,5	0,1

Tabela 8.1 - Resultados das análises físico-químicas da 1ª campanha de coleta (continuação)

Município	Palmas														
Local	Escola Técnica Federal	Pousada dos Girassóis I	Churrascaria Portal do Sul	Naturatins	DETRAN	Café Paraíso	Bom Diesel	Posto Cantão	Pegeot	Posto do Almiro	Transbrasiliana	Fé e Alegria	CESAM	Condomínio Polinésia	Posto Petrolider
Múmero de Ordem	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Número do Cadastro	560	474	689	X3	400	418	432	452	484	423	575	397	702	517	573
DETERMINAÇÕES															
Condutividade elétrica	170,8	93,7	81,3	63,1	42,9	14,81	161,3	22	161,5	55,8	20,3	4,62	23,1	190	49,5
pH	7,44	6,83	6,8	6,43	6,74	7,94	7,22	5,34	8,07	5	5,26	5,63	6,55	7,5	5,32
Sólidos Totais	84,8	46,4	40,3	31,5	21	7,4	80	11,62	8,12	27,8	14,24	2,24	11,76	94,6	24,2
Alcalinidade	162	81	102	78	60	234	135	30	237	15	27	24	45	210	24
Dureza Total	70	20	34	26	16	110	66	8	120	4	8	4	16	50	6
Sódio	1	3,9	1	0,8	0,7	3	1,8	2,3	6	7,4	4,1	0,2	0,5	13,7	7,4
Potássio	3,6	2,7	2,5	3,1	1,2	6,3	5,7	0,2	6,8	0,5	0,2	0	1,3	4,3	0,4
Cálcio	22,4	8	9,6	10,4	6,4	36	26,4	3,2	28	1,6	3,2	1,6	3,2	8	2,4
Magnésio	3,4	0	2,4	0	0	4,9	0	0	12,2	0	0	0	1,9	7,3	0
Ferro Total	2,009	3,141	3,3	3,3	0,009	0,068	0,347	0,632	0,091	0,019	0,067	0,133	0,133	2,613	0,137
Manganês	1,6	0,2	0	0,7	0,4	0	0,1	2,3	0	0,1	0	0,8	0,5	0	0,3
Cloreto	10,64	14,89	10,64	12,41	10,64	10,64	10,64	10,64	12,41	12,05	11,34	9,22	10,28	10,64	12,41
Sulfato	1,4	1,7	1,8	6,5	0,6	5,5	4,3	0,7	0,4	0,7	0,1	0,2	0,1	3,5	0,4
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonato	162	81	102	78	60	234	135	30	237	15	27	24	45	210	24
Nitrogênio Amoniacal	0,199	0,091	0,343	1,457	0,026	0,042	0,05	0,009	0,09	0,154	0,043	0,019	0,16	0,386	0,089
Nitrito	0	0	0	0	0,0003	0,0012	0	0	0,0145	0	0,0145	0	0	0,0337	0,0018
Nitrato	0,3	0,1	0,6	2,1	0	0	0,1	1,3	0,2	3,1	1,5	0	0	0,5	2,5

Tabela 8.1 - Resultados das análises físico-químicas da 1ª campanha de coleta (continuação)

Município	Palmas				Aparecida do Rio Negro										N. Acor.
Local	Igreja Santo Antonio	Construtora Parque Nacional	1º BPM - Policia militar	ULBRA	Faz. São Pedro	Posto Aparecida do Rio Negro	Mariza dos Santos	Projeto Paróquia	Chácara Sitio Novo - Diô	Chácara Boa Vista	SANEATINS - Aeroporto	SANEATINS - São Domingos	Faz. Geovane	Assent. Assoc. Jerusalém	Faz. Primavera
Múmero de Ordem	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
Número do Cadastro	387	544	557	578	33	45	48	43	36	39	46	47	41	44	358

DETERMINAÇÕES

Condutividade elétrica	5,19	19,55	23,1	141,5	43,1	68,8	21,2	22,3	8,14	13,24	43	44,3	285	173	330
pH	5,28	4,98	7,12	7,26	6	7,24	6,5	6,37	6,02	5,4	6,95	6,89	8,01	7,57	8,64
Sólidos Totais	2,77	10,12	11,5	70,4	21,2	33,9	10,68	10,92	4,28	6,29	20,6	21,3	139,8	85,7	163,7
Alcalinidade	12	15	120	135	30	96	21	45	30	27	45	48	372	162	354
Dureza Total	8	5,1	40	50	10	14	3,3	2,7	2	2	16	10	240	50	15
Sódio	0,4	2,6	1,7	1,2	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,4	0,5	0,5	13,6	8,2	54
Potássio	0	0,2	4,5	6,5	0,8	4,2	1,5	2,3	0,6	0,5	3,4	3,4	3,3	5,8	3,4
Cálcio	3,2	2,1	13,6	14,4	3,2	4,8	0,5	0,5	0,8	0,8	4	4	24	16	4
Magnésio	0	0	1,5	3,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0	0	1,5	0	43,7	2,4	1,2
Ferro Total	0,014	0,034	1,088	1,016	0,057	0,052	0,02	0	0,336	0,222	0,212	0,146	0	0,828	0,092
Manganês	0	0,2	1	0,7	0,1	1,4	0,6	0	0,1	1,1	0	0,1	0	1,1	0
Cloreto	7,09	14,18	13,12	10,64	24,11	16,66	12,41	11,34	14,18	53,18	12,41	14,89	14,18	14,53	11,7
Sulfato	0,1	0	0	4,1	14,5	3,3	0,6	0,2	0	0	0,4	0	19	0,4	0,3
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
Bicarbonato	12	15	120	135	30	96	21	45	30	27	45	48	372	162	300
Nitrogênio Amoniacal	0,003	0,063	0,142	0,129	0,041	0	0	0	0,122	0,1	0,002	0	0,011	0,154	0,114
Nitrito	0,0005	0	0	0	0	0,0041	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0,0078
Nitrato	0,1	1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0,3	0,4	0,1	0	0	0,1	0

Tabela 8.1 - Resultados das análises físico-químicas da 1ª campanha de coleta (continuação)

Município	N. Acor.	Lagoa do Tocantins			Santa Teeza		Palmas			Rio Sono	N.Acorde	Porto Nacional		
Local	Faz. Boa Sorte	SANEATINS	SANEATINS	Faz. São Raimundo	Barra da Aroeira	SANEATINS	Hotel Pousada dos Girassóis II	CEAC-Centro Espírita Aurenly	Faz. Grande	Faz. Águas de Março	Posto N. Sra. De Fátima	Colégio Sagrado Coração de	Lava Jato F-1	
Múmero de Ordem	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
Número do Cadastro	361	269	270	271	965	963	511	561	953	363	922	818	816	

DETERMINAÇÕES

Condutividade elétrica	21,9	90,4	28,9	49,5	206,8	25,4	101,1	171,9	135,2	49,7	28,1	232,1	10,09
pH	5,01	4,24	4,72	6,6	7,8	6,27	6,68	7,83	8,01	6,96	5,79	6,76	5,08
Sólidos Totais	11,12	45	14,29	23,9	102,5	12,49	49,2	87,1	58,7	23,95	13,79	115,6	5,28
Alcalinidade	30	15	9	54	159	42	90	210	51	30	18	69	9
Dureza Total	10	6	1,5	14	80	14	34	39,3	50	16	5,3	64	2
Sódio	1	4,7	2,2	0,9	4,1	1,8	1,2	3,7	0,5	0,3	1,8	12,7	0,6
Potássio	0,8	1,6	0,6	1,8	5	1,9	4,8	7,2	4,2	2,7	0,4	4	0
Cálcio	4	2,4	0,6	5,6	28	1,6	11,2	9,3	16	4	1,3	15,2	0,8
Magnésio	0	0	0	0	2,4	2,4	1,5	3,9	2,4	1,5	0,5	6,3	0
Ferro Total	0,195	0,047	0,19	0,015	0,02	0,169	1,548	0,093	0	0	0,023	0	0,108
Manganês	0	0	0	0	0	2,3	1,1	1,2	0,3	0,5	0,1	0	0
Cloreto	10,64	11,34	10,64	10,64	18,43	19,85	11,34	19,5	11,34	12,42	11,7	17,02	15,95
Sulfato	0,3	0,8	0,4	5	0,5	0,2	2,3	1,2	0,1	0,3	0,3	4,8	0,1
Carbonato	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonato	30	15	9	54	159	42	90	210	51	30	18	69	9
Nitrogênio Amoniacal	0,08	0	0	0,027	0,023	0,012	0,335	0,012	0,05	0,041	0,11	0	0
Nitrito	0,0229	0	0,0038	0	0,0063	0,0013	0	0,0054	0,0079	0,0111	0,0025	0,0059	0
Nitrato	0,8	3,6	2,5	0	1,1	0	0,2	0	0,1	0,1	0,8	2,7	0

Tabela 8.2 - Resultados das análises físico-químicas da 2ª campanha

Município	Palmas														
	Local	Hospital Geral de Palmas	Posto San Marino	Quartel Comando Geral	Escola Técnica Federal	Pousada dos Girassóis	Churrascaria Portal do Sul	DETRAN	Café Paraíso	Bom Diesel	Posto Cantão	Pegeot	Almiro (Posto)	Transbrasiliana	Fé e Alegria
	Nº de ordem Nº do cadastro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		559	563	371	560	474	689	400	418	432	452	484	423	575	397
Temperatura		25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500
Cor		3,000	35,000	14,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,000	0,000	0,000	35,000
Turbidez		2,770	13,300	10,500	69,600	1,050	2,460	0,490	0,230	0,170	0,260	1,470	0,050	0,340	7,450
Condutividade elétrica		26,530	108,500	131,700	198,900	103,600	99,600	55,000	270,000	82,400	29,500	249,700	58,400	39,000	7,460
pH		5,519	7,180	6,906	7,463	7,206	6,390	6,477	7,812	5,778	4,870	7,120	4,779	5,041	5,560
Potencial Redox		307,000	277,000	281,000	285,000	286,000	293,000	307,000	275,000	321,000	348,000	292,000	366,000	344,000	336,000
Sólidos Totais Dissolvidos		13,270	54,200	65,800	99,400	51,800	49,800	27,500	135,000	41,200	14,750	124,900	29,200	19,500	3,730
Alcalinidade		14,000	56,000	68,000	100,000	54,000	52,000	32,000	140,000	32,000	12,000	136,000	8,000	10,000	8,000
Dureza		8,600	48,800	58,800	95,000	41,800	41,000	24,000	129,800	32,800	13,200	107,200	11,200	10,800	8,400
Sódio		5,950	2,580	2,000	1,000	5,107	3,422	2,580	5,000	11,000	5,000	17,000	7,000	7,000	2,000
Potássio		6,753	15,069	12,000	13,000	11,743	10,911	5,090	17,000	0,000	0,000	8,000	1,000	1,000	1,000
Cálcio		2,320	10,740	3,000	14,000	9,380	9,700	8,100	27,000	2,000	1,000	22,000	1,000	1,000	3,000
Magnésio		0,680	5,350	5,880	10,010	4,470	4,080	0,920	13,120	2,770	1,360	9,280	1,170	1,310	0,870
Ferro		0,040	0,360	0,490	0,100	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,070	0,050	0,000	0,000	0,720
Manganês		0,100	0,400	0,900	0,300	0,000	0,300	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300
Cloreto		8,510	9,040	5,320	6,560	7,090	7,270	5,670	6,200	9,390	8,860	6,560	9,750	9,930	7,620
Sulfato		1,600	3,100	2,500	3,000	0,900	2,100	0,000	6,700	0,000	0,000	1,600	0,400	1,200	2,100
Carbonato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bicarbonato		14,000	56,000	68,000	100,000	54,000	52,000	32,000	140,000	32,000	12,000	136,000	8,000	10,000	8,000
Nitrito		0,180	0,050	0,001	0,030	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,004
Nitrato		0,500	0,800	0,400	0,700	0,300	0,200	0,200	0,300	0,400	1,400	0,400	4,200	2,300	1,000
Amônia		0,010	0,080	0,240	0,750	0,110	0,140	0,050	0,060	0,010	0,010	0,390	0,000	0,000	0,080

Tabela 8.2 - Resultados das análises físico-químicas da 2ª campanha (continuação)

Município	Palmas						Lagoa do Tocantins		Lagoa do Tocantins	Santa Tereza		Aparecida do Rio Negro		
	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local
Nº de ordem	CESAM	Posto Petrolíder - ARNO 12	Igreja	Governo - CPN	1º Batalhão da PM	ULBRA	SANEATINS	SANEATINS	Fazenda São Raimundo	Barra da Aroeira	SANEATINS	Fazenda São Pedro	Posto Aparecida do Rio Negro	Marisa dos Santos
Nº do cadastro	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Temperatura	702	573	387	544	557	578	269	270	271	965	963	33	45	48
Temperatura	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500
Cor	9,000	0,000	0,000	0,000	279,000	3,000	0,000	0,000	54,000	0,000	0,000	14,000	0,000	0,000
Turbidez	1,560	0,600	0,020	0,210	63,200	2,510	0,300	0,560	13,100	0,700	0,210	3,230	0,390	0,560
Condutividade elétrica	83,900	59,800	7,840	37,200	253,900	149,900	89,200	33,960	85,000	260,800	32,260	55,200	80,800	28,120
pH	6,378	5,125	5,106	4,380	7,456	6,302	4,486	4,953	7,038	8,152	6,437	6,812	7,658	6,936
Potencial Redox	313,000	351,000	353,000	399,000	291,000	315,000	341,000	309,000	270,000	255,000	286,000	308,000	317,000	300,000
Sólidos Totais Dissolvidos	41,900	29,900	3,920	18,600	126,900	74,900	44,600	17,000	42,500	130,400	16,100	27,600	40,400	14,060
Alcalinidade	40,000	8,000	6,000	12,000	136,000	66,000	8,000	8,000	38,000	140,000	18,000	8,000	42,000	16,000
Dureza	35,600	8,200	3,200	4,200	107,600	52,400	14,800	9,800	37,000	155,600	12,600	20,800	57,000	16,800
Sódio	2,000	7,000	2,000	7,640	16,000	3,420	8,000	5,110	1,740	7,000	1,740	4,270	1,000	0,900
Potássio	9,000	1,000	0,000	0,100	18,000	21,720	5,000	0,930	5,920	14,000	6,750	4,260	10,000	5,090
Cálcio	2,000	1,000	2,000	1,280	19,000	10,500	1,000	2,320	10,660	13,000	2,650	4,970	1,000	3,610
Magnésio	4,280	0,580	0,340	0,240	10,790	6,370	1,510	0,970	2,530	21,720	1,460	2,040	6,610	1,900
Ferro	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,320	0,020	0,000	0,050	0,000	0,000	0,090	0,030	0,100
Manganês	0,200	0,100	0,000	0,000	0,100	0,100	0,200	0,100	0,700	0,100	0,000	0,200	0,000	0,300
Cloreto	6,740	9,750	5,850	8,510	5,850	5,850	10,640	7,980	6,910	6,740	7,440	7,620	7,800	7,270
Sulfato	1,000	0,200	0,000	0,000	1,200	4,700	0,000	0,100	7,900	0,000	0,000	9,100	3,300	0,000
Carbonato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bicarbonato	40,000	8,000	6,000	12,000	136,000	66,000	8,000	8,000	38,000	140,000	18,000	8,000	42,000	16,000
Nitrito	0,001	0,001	0,000	0,002	0,004	0,000	0,002	0,000	0,011	0,006	0,001	0,002	0,000	0,001
Nitrato	0,200	3,200	0,100	1,900	0,700	5,100	6,700	1,300	0,800	0,100	0,000	3,000	0,100	0,400
Amônia	0,020	0,247	0,220	0,160	0,550	0,130	0,040	0,010	0,110	0,090	0,050	0,050	0,010	0,120

Tabela 8.2 - Resultados das análises físico-químicas da 2ª campanha (continuação)

Município	Aparecida do Rio Negro							Novo Acordo		Ponte Alta do Tocantins		Silvanópolis	Monte do Carmo	
	Projeto Paróquia	Dio	José do Carmo	SANEATINS	SANEATINS	Fazenda Geovane	Assentamento - Associação Jerusalém	Fazenda Primavera	Fazenda Água de Março	Fazenda Monte Lírio	Distrito do Gato	Granule/Fábio	Cabo Raimundinho	José Roberto
	Nº de ordem	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Nº do cadastro	43	36	39	46	47	41	44	358	363	781	788	992	311	310
Temperatura	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500
Cor	0,000	73,000	11,000	0,000	0,000	0,000	37,000	0,000	32,000	69,000	0,000	3,000	0,000	40,000
Turbidez	0,520	23,800	3,160	0,460	0,200	0,120	2,430	0,260	0,230	0,870	0,580	0,260	2,050	0,420
Condutividade elétrica	30,160	10,380	11,970	55,200	55,900	401,000	183,800	475,000	66,300	6,090	45,100	117,000	9,310	8,930
pH	7,181	6,496	6,208	7,382	7,548	8,555	8,132	8,714	7,820	6,634	6,915	8,058	6,614	6,800
Potencial Redox	299,000	304,000	310,000	265,000	302,000	247,000	282,000	258,000	287,000	306,000	308,000	304,000	311,000	320,000
Sólidos Totais Dissolvidos	15,100	5,180	5,980	27,600	28,000	200,000	92,000	237,000	33,100	3,040	22,500	58,400	4,620	4,460
Alcalinidade	18,000	8,000	8,000	24,000	26,000	206,000	92,000	234,000	32,000	8,000	18,000	64,000	8,000	6,000
Dureza	12,600	12,000	10,200	17,400	20,200	194,800	84,400	41,800	28,000	4,200	18,800	26,400	15,600	7,400
Sódio	0,900	0,900	2,500	0,900	1,740	28,000	15,000	80,090	0,900	1,200	3,420	26,000	0,900	1,000
Potássio	5,920	1,760	3,500	11,740	11,740	11,000	16,000	11,740	11,740	1,300	4,260	0,000	0,930	1,000
Cálcio	2,810	2,970	0,500	3,450	4,250	15,000	5,000	9,700	6,890	3,000	3,930	1,000	3,450	3,000
Magnésio	1,360	1,120	0,870	2,140	2,330	23,910	8,410	4,280	2,620	0,390	2,190	2,870	1,700	0,730
Ferro	0,010	0,260	0,090	0,040	0,020	0,030	0,480	0,050	0,050	0,170	0,030	0,070	0,060	0,000
Manganês	0,300	0,200	0,200	1,000	0,000	1,100	1,000	0,100	0,000	0,300	0,100	0,000	0,000	0,000
Cloreto	7,090	6,910	7,620	7,090	7,440	10,990	9,040	8,750	8,069	7,620	9,220	7,270	6,910	7,800
Sulfato	0,200	1,100	0,800	1,000	0,000	23,000	0,900	0,000	0,000	0,300	0,800	0,000	0,000	0,000
Carbonato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,000	0,000	12,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bicarbonato	18,000	8,000	8,000	24,000	26,000	194,000	92,000	242,000	32,000	8,000	18,000	64,000	8,000	6,000
Nitrito	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Nitrato	0,300	0,600	0,700	0,300	0,100	0,400	3,200	0,000	0,100	0,000	1,000	0,100	0,300	1,500
Amônia	0,020	0,030	0,030	0,010	0,010	0,050	0,130	0,030	0,010	0,020	0,030	0,020	0,020	0,000

Tabela 8.2 - Resultados das análises físico-químicas da 2ª campanha (continuação)

Município	Porto Nacional		Tagua-tinga	Aurora do Tocantins	Combinado		Lavandeira		Conceição		Natividade	
	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local	Local
Nº de ordem	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Nº do cadastro	922	816	1031	126	174	166	280	279	188	186	350	322
Temperatura	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500
Cor	3,000	0,000	0,000	120,000	84,000	0,000	5,000	49,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Turbidez	0,320	0,190	0,240	0,250	7,570	0,280	0,190	0,210	0,180	0,330	0,200	0,270
Condutividade elétrica	62,700	6,820	478,000	526,000	336,500	802,000	624,000	736,000	318,900	338,700	293,700	198,100
pH	7,065	6,477	7,662	7,844	8,599	7,828	7,740	7,820	8,189	8,290	7,745	7,668
Potencial Redox	268,000	321,000	266,000	296,000	277,000	289,000	287,000	210,000	202,000	206,000	215,000	227,000
Sólidos Totais Dissolvidos	31,400	3,440	239,000	263,000	168,000	401,000	312,000	368,000	159,000	169,000	146,600	99,100
Alcalinidade	14,000	6,000	178,000	222,000	110,000	290,000	260,000	240,000	168,000	182,000	144,000	104,000
Dureza	26,800	8,600	193,000	191,400	93,400	218,200	161,600	229,400	157,200	176,000	128,600	91,200
Sódio	3,000	1,500	7,640	21,960	42,180	53,130	55,660	36,280	17,000	13,000	24,000	17,000
Potássio	2,000	0,800	0,100	0,930	5,090	1,760	0,930	2,600	2,000	0,000	10,000	7,000
Cálcio	4,000	2,000	58,830	39,760	18,360	52,180	44,730	40,640	13,000	28,000	8,000	6,000
Magnésio	2,720	0,970	12,440	22,400	11,570	21,380	12,150	31,100	12,540	15,800	6,080	4,620
Ferro	0,050	0,000	0,000	0,080	0,080	0,020	0,000	0,020	0,010	0,110	0,000	0,010
Manganês	0,000	0,300	0,300	0,200	0,500	0,000	0,000	0,000	0,120	0,100	0,000	0,100
Cloreto	10,100	8,510	12,410	10,460	12,760	9,390	16,310	12,410	12,410	10,100	11,520	8,690
Sulfato	0,000	0,000	7,700	19,100	55,100	80,000	22,000	66,700	1,600	0,000	0,000	0,000
Carbonato	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	6,000	6,000	2,000	0,000
Bicarbonato	14,000	6,000	178,000	222,000	110,000	290,000	260,000	240,000	162,000	176,000	142,000	104,000
Nitrito	0,000	0,000	0,005	0,001	0,006	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Nitrato	4,200	0,200	2,200	0,200	1,400	0,200	0,400	0,200	0,300	0,300	0,500	1,900
Amônia	0,020	0,000	0,000	0,040	0,210	0,100	0,000	0,020	0,010	0,020	0,000	0,000

Tabela 8.2 - Resultados das análises físico-químicas da 2ª campanha (continuação)

	Município	Chapada da Natividade		Natividade		Silvanópolis	
		Local					
		Cerâmica Sr. Valdeci	Fazenda Lajes - Diramar	Posto Trevo Norte - Km 227	Hotel Serra Geral - Caetano	Agropecuária Archer	Praça da Prefeitura
	Nº de ordem Nº do cadastro	55 149	56 147	57 320	58 338	59 988	60 954
Temperatura		25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500
Cor		0,000	0,000	52,000	232,000	0,000	31,000
Turbidez		0,260	0,330	11,600	4,720	0,100	0,690
Condutividade elétrica		89,400	66,600	177,400	98,100	15,870	84,200
pH		7,675	7,618	7,883	7,535	7,075	7,832
Potencial Redox		234,000	241,000	232,000	240,000	251,000	252,000
Sólidos Totais Dissolvidos		44,700	33,300	88,700	49,000	7,940	42,100
Alcalinidade		52,000	40,000	102,000	56,000	12,000	30,000
Dureza		33,800	31,600	75,600	32,800	35,600	30,400
Sódio		13,000	10,000	19,000	14,370	1,000	12,000
Potássio		2,000	2,000	5,000	5,920	1,000	2,000
Cálcio		1,000	0,500	2,000	7,370	0,500	0,500
Magnésio		4,180	2,870	9,530	3,500	3,890	1,220
Ferro		0,000	0,090	0,450	0,350	0,010	0,140
Manganês		0,000	0,000	0,400	0,200	0,000	0,000
Cloreto		6,030	4,960	5,670	7,090	6,380	7,270
Sulfato		0,100	0,100	1,400	4,200	0,000	0,200
Carbonato		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Bicarbonato		52,000	40,000	102,000	56,000	12,000	30,000
Nitrito		0,000	0,002	0,003	0,003	0,000	0,001
Nitrato		0,300	0,200	0,700	0,500	0,000	0,300
Amônia		0,000	0,000	0,060	0,040	0,000	0,010

Tabela 8.3 - Comparação entre os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas

Município	Ponte Alta do TO		Taguatinga		Combinado		Lavadeira		Conceição do TO		Natividade		Chap.Natividade	
Local	Distrito do Gato		Povoado Sapateiro		Faz. Macaúba		Faz. Santa Maria		Parque das Águas		Príncipe		Cerâmica	
Campanha de coleta	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
Número do Cadastro	788		1031		166		280		188		350		149	
DETERMINAÇÕES														
Condutividade elétrica	29,90	45,10	420,90	478,00	710,50	802,00	560,10	736,00	210,40	318,90	14,59	318,90	78,10	89,40
pH	6,54	6,92	7,56	7,66	7,54	7,83	7,51	7,82	7,47	8,19	6,96	8,19	7,02	7,68
Sólidos Totais Dissolvidos	15,62	22,50	209,10	239,00	352,50	401,00	277,70	368,00	103,90	159,00	7,46	159,00	39,20	44,70
Alcalinidade	24,00	18,00	240,00	178,00	249,00	290,00	192,00	240,00	84,00	168,00	144,00	168,00	42,00	52,00
Dureza Total	12,00	18,80	160,00	193,00	180,00	218,20	230,00	229,40	150,00	157,20	100,00	157,20	20,00	33,80
Sódio	0,90	3,42	2,10	7,64	15,60	53,13	17,10	36,28	4,60	17,00	5,80	17,00	3,00	13,00
Potássio	0,80	4,26	0,10	0,10	0,60	1,76	0,20	2,60	0,20	2,00	0,90	2,00	0,20	2,00
Cálcio	4,00	3,93	28,00	58,83	52,00	52,18	92,00	40,64	38,40	13,00	28,00	13,00	4,00	1,00
Magnésio	0,50	2,19	21,90	12,44	12,20	21,38	0,00	31,10	13,10	12,54	7,30	12,54	2,40	4,18
Ferro Total	0,16	0,03	0,02	0,00	0,04	0,02	0,01	0,02	1,07	0,01	0,02	0,01	0,06	0,00
Manganês	0,10	0,10	1,70	0,30	0,00	0,00	0,30	0,00	1,10	0,12	0,00	0,12	0,00	0,00
Cloreto	12,76	9,22	14,18	12,41	14,18	9,39	12,41	12,41	14,18	12,41	13,12	12,41	12,05	6,03
Sulfato	0,40	0,80	15,70	7,70	84,00	80,00	21,30	66,70	2,90	1,60	1,10	1,60	0,30	0,10
Carbonato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	0,00
Bicarbonato	24,00	18,00	240,00	178,00	249,00	290,00	192,00	240,00	84,00	162,00	144,00	162,00	42,00	52,00
Nitrito	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrato	1,30	1,00	4,40	2,20	1,00	0,20	0,90	0,20	1,40	0,01	0,80	0,30	0,40	0,30

Tabela 8.3 - Comparação entre os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas (continuação)

Município	Silvanópolis		Monte do Carmo		Palmas									
Local	Granule		Cabo Raimundo		Hospital Geral de Palmas		Posto Sanmarino		Polícia Militar		DETRAN		Pegeot	
Campanha de coleta	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
Número do Cadastro	992		311		559		563		371		400		484	
DETERMINAÇÕES														
Condutividade elétrica	100,90	117,00	8,99	9,31	27,0	26,53	139,6	108,50	116,9	131,70	42,9	55,00	161,5	249,70
pH	7,63	8,06	5,82	6,61	6,2	5,52	7,8	7,18	7,3	6,91	6,7	6,48	8,1	7,12
Sólidos Totais Dissolvidos	51,00	58,40	4,26	4,62	13,3	13,27	69,0	54,20	58,0	65,80	21,0	27,50	8,1	124,90
Alcalinidade	60,00	64,00	15,00	8,00	45,0	14,00	144,0	56,00	117,0	68,00	60,0	32,00	237,0	136,00
Dureza Total	18,00	26,40	6,00	15,60	10,0	8,60	20,0	48,80	60,0	58,80	16,0	24,00	120,0	107,20
Sódio	7,70	26,00	0,30	0,90	2,4	5,95	4,4	2,58	0,8	2,00	0,7	2,58	6,0	17,00
Potássio	0,10	0,00	0,20	0,93	0,3	6,75	4,1	15,07	0,0	12,00	1,2	5,09	6,8	8,00
Cálcio	7,20	1,00	2,40	3,45	2,4	2,32	8,0	10,74	12,0	3,00	6,4	8,10	28,0	22,00
Magnésio	0,00	2,87	0,00	1,70	1,0	0,68	0,0	5,35	7,3	5,88	0,0	0,92	12,2	9,28
Ferro Total	0,50	0,07	0,11	0,06	0,8	0,04	0,4	0,36	0,9	0,49	0,0	0,00	0,1	0,05
Manganês	0,00	0,00	0,00	0,00	0,1	0,10	0,0	0,40	1,1	0,90	0,4	0,20	0,0	0,00
Cloreto	9,93	7,27	8,86	6,91	8,9	8,51	10,6	9,04	10,6	5,32	10,6	5,67	12,4	6,56
Sulfato	1,10	0,00	0,90	0,00	1,4	1,60	0,8	3,10	1,6	2,50	0,6	0,00	0,4	1,60
Carbonato	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Bicarbonato	60,00	64,00	15,00	8,00	45,0	14,00	144,0	56,00	117,0	68,00	60,0	32,00	237,0	136,00
Nitrito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,18	0,0	0,05	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Nitrato	0,10	0,10	0,10	0,30	0,5	0,50	0,1	0,80	0,1	0,40	0,0	0,20	0,2	0,40

Tabela 8.3 - Comparação entre os resultados das análises físico-químicas das duas campanhas (continuação)

Município	Aparecida do Rio Negro				Novo Acordo		Lagoa do Tocantins		Santa Tereza		Porto Nacional	
Local	Faz. São Pedro		Posto Aparecida do Rio Negro		Faz. Primavera		SANEATINS		Barra da Aroeira		Posto N.Sra. De Fátima	
Campanha de coleta	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
Número do Cadastro	33		45		358		269		965		922	
DETERMINAÇÕES												
Condutividade elétrica	43,10	55,20	68,80	80,80	330,00	475,00	90,40	89,20	206,80	260,80	28,10	62,70
pH	6,00	6,81	7,24	7,66	8,64	8,71	4,24	4,49	7,80	8,15	5,79	7,07
Sólidos Totais Dissolvidos	21,20	27,60	33,90	40,40	163,70	237,00	45,00	44,60	102,50	130,40	13,79	31,40
Alcalinidade	30,00	8,00	96,00	42,00	354,00	234,00	15,00	8,00	159,00	140,00	18,00	14,00
Dureza Total	10,00	20,80	14,00	57,00	15,00	41,80	6,00	14,80	80,00	155,60	5,30	26,80
Sódio	0,70	4,27	0,50	1,00	54,00	80,09	4,70	8,00	4,10	7,00	1,80	3,00
Potássio	0,80	4,26	4,20	10,00	3,40	11,74	1,60	5,00	5,00	14,00	0,40	2,00
Cálcio	3,20	4,97	4,80	1,00	4,00	9,70	2,40	1,00	28,00	13,00	1,30	4,00
Magnésio	0,50	2,04	0,50	6,61	1,20	4,28	0,00	1,51	2,40	21,72	0,50	2,72
Ferro Total	0,06	0,09	0,05	0,03	0,09	0,05	0,05	0,02	0,02	0,00	0,02	0,05
Manganês	0,10	0,20	1,40	0,00	0,00	0,10	0,00	0,20	0,00	0,10	0,10	0,00
Cloreto	24,11	7,62	16,66	7,80	11,70	8,75	11,34	10,64	18,43	6,74	11,70	10,10
Sulfato	14,50	9,10	3,30	3,30	0,30	0,00	0,80	0,00	0,50	0,00	0,30	0,00
Carbonato	0,00	0,00	0,00	0,00	54,00	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bicarbonato	30,00	8,00	96,00	42,00	300,00	242,00	15,00	8,00	159,00	140,00	18,00	14,00
Nitrito	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Nitrato	0,20	3,00	0,10	0,10	0,00	0,00	3,60	6,70	1,10	0,10	0,80	4,20

9. ESTUDO HIDROQUÍMICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

9.1. Considerações iniciais sobre a qualidade das análises das águas

9.1.1. Balanço Iônico

O teste do balanço iônico, ou o percentual de erro, baseado na soma dos ânions e dos cátions em meq/L, é utilizado para analisar a confiabilidade das análises, segundo a expressão :

$$\text{Erro (\%)} = (\Sigma\text{ânions} - \Sigma\text{cátions}) / (\Sigma\text{ânions} + \Sigma\text{cátions}) * 100$$

A figura 9.1 mostra que a maioria das análises da segunda campanha de coleta de água tem um erro inferior a 10 %, que significa que as análises podem ser interpretadas.

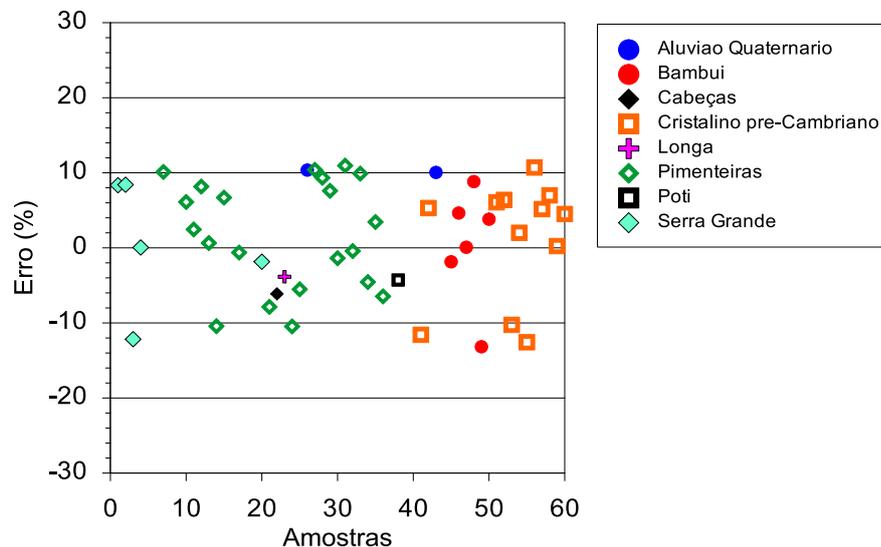


Figura 9.1 – Erro (%) das análises para cada amostra. A zona de erro aceitável situa-se entre +/- 10%

9.1.2. Relação C.E. x TDS

A relação entre a condutividade elétrica (C.E.) das águas amostradas e a soma dos íons (TDS – Total Dissolved Solids) representada no gráfico da figura 9.2 é bem linear, o que significa que os resultados químicos estão de boa qualidade.

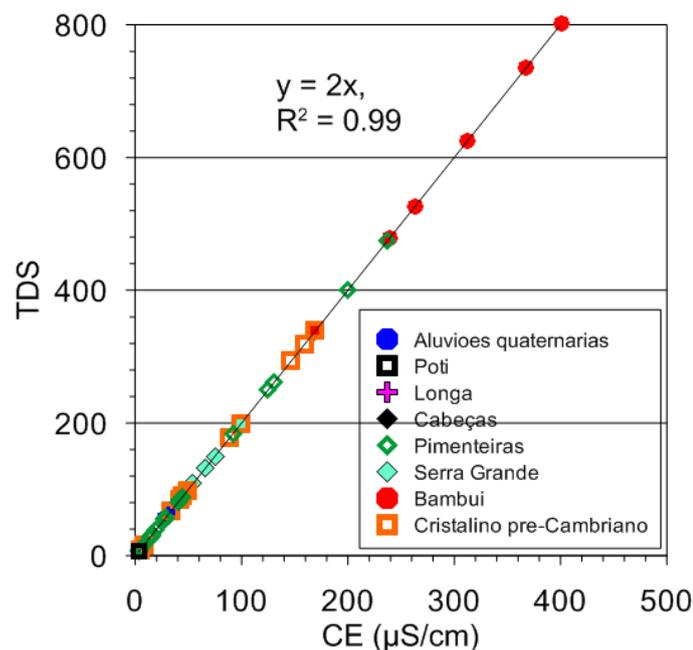


Figura 9.2 – Relação entre a condutividade elétrica das águas amostradas e a soma dos íons (TDS) da segunda campanha

9.2. Estudo Geral da Qualidade das Águas subterrâneas de Tocantins

9.2.1. Classificação das águas da região de Palmas

Uma das classificações das águas subterrâneas mais utilizadas é a classificação iônica utilizando-se o método do Diagrama de Piper em que os dois triângulos da base do diagrama mostram isoladamente os ânions e os cations e o losango da parte superior assinala a composição iônica em que aparecem conjuntamente os cations e ânions.

A figura 9.3 mostrada a seguir revela a classificação iônica das águas contidas no aquífero Pimenteiras e no aquífero Serra Grande, além da participação de águas de sedimentos recentes, na região de Palmas.

A figura 9.3 mostra uma grande variedade química das águas de Palmas, mesmo dentro do mesmo aquífero. Podem ser águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas ou águas sulfatadas ou cloretadas sódicas.

Na realidade fica difícil de distinguir de que horizonte está sendo liberada a água, se do aquífero Pimenteiras ou se do aquífero Serra Grande de vez que os poços não são totalmente revestidos e a classificação litológica do furo nem sempre é confiável. É possível que, em muitos poços, esteja havendo uma mistura das águas das duas formações.

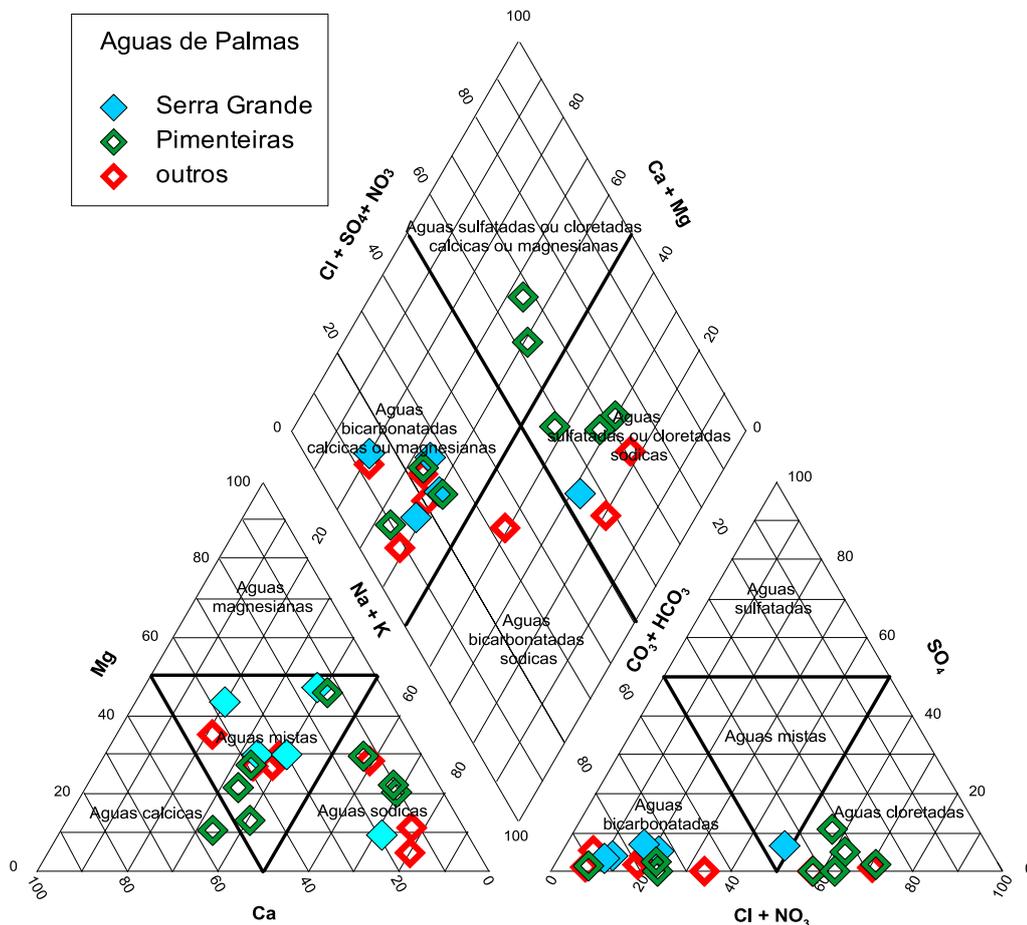


Figura 9.3 – Diagrama de Piper para as águas dos poços de Palmas oriundas da segunda campanha de coleta.

9.2.2. Classificação das águas de toda a região estudada

9.2.2.1. Classificação Iônica

Na figura 9.4, pode-se ver que as águas têm uma grande variedade química, divididas entre o tipo de águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas, águas sulfatadas, cloretadas e sódicas.

As águas dos aquíferos Serra Grande e Bambuí (cárstico-fissural) são predominantemente bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. As águas os aquíferos Poti e aluvial são do tipo cloretadas cálcicas ou magnesianas. As águas dos aquíferos Pimenteiras e cristalino (fissural) são as que apresentam maior grau de variedade, indo desde as cloretadas (cálcicas ou magnesianas) até as bicarbonatadas (cálcicas, magnesianas ou sódicas).

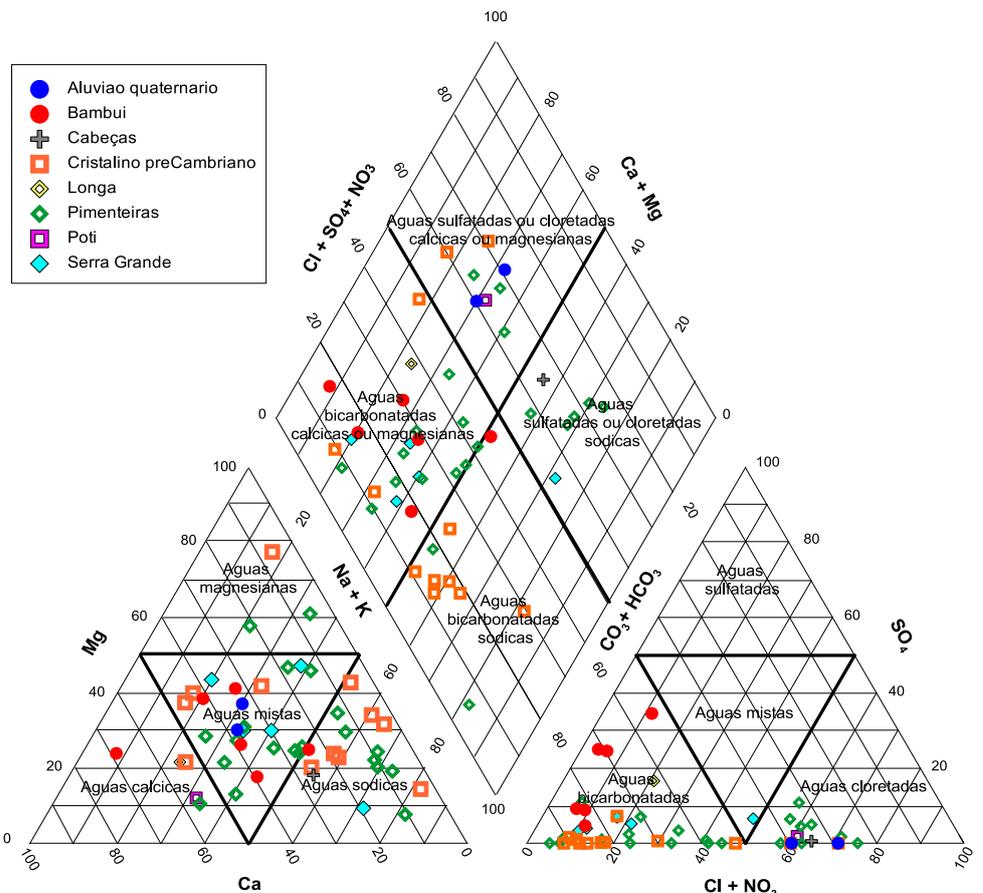


Figura 9.4 - Diagrama de Piper de todas as águas coletadas em Abril 2010.

9.2.2.2. Classificação das águas para irrigação

A figura 9.5 do diagrama do USSL (US Department of Agriculture, 1954) representa a classificação utilizada para indicar as salinidades.

As águas dos aquíferos pertencem ao grupo de baixo até médio risco de sódio (SAR), com condutividades elétricas de nível nulo (C0-S1), baixo (C1-S1) até médio (C2-S1).

As águas do tipo C0-S1 podem ser utilizadas sem restrições para a irrigação em quase todos os solos com fraco risco de aparição de teores nocivos de sódio susceptível de troca. As águas do tipo C1-S1 podem ser utilizadas para a irrigação na maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes da salinidade do solo, salvo se a permeabilidade deste ultimo for extremamente fraca.

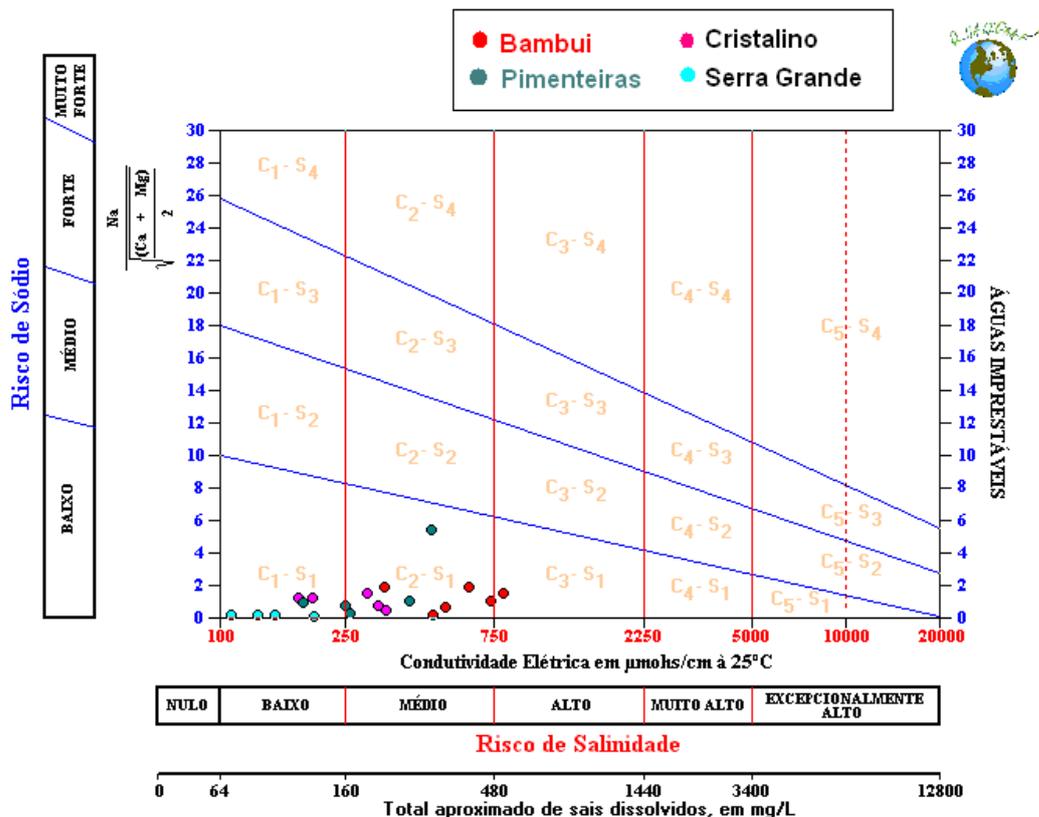


Figura 9.5 – Diagrama de Riverside do USSL para a classificação de Águas para irrigação.

Na figura 9.6 uma comparação entre os diagramas de Wilcox e de Riverside para a mesma classificação quanto ao uso para irrigação

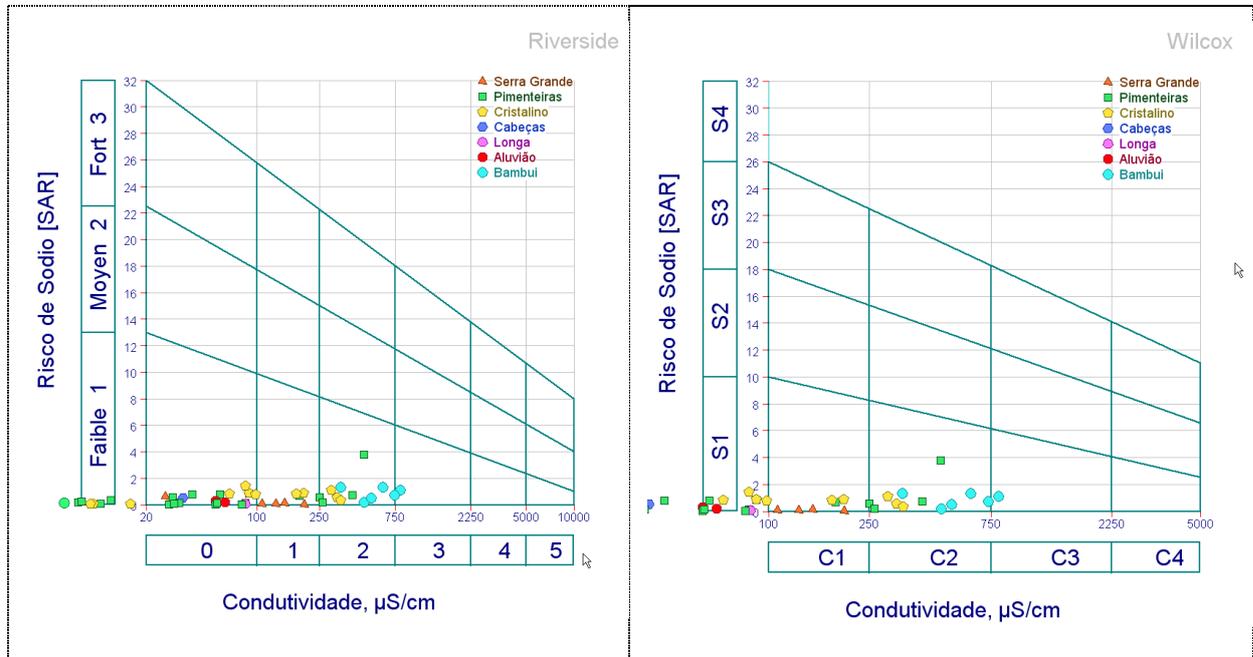


Figura 9.6 : Diagramas de Riverside do USSL e de Wilcox para a classificação de Águas para irrigação.

As águas do tipo C2-S1 (águas do aquífero Bambuí, em vermelho) podem ser utilizadas se houver uma lixiviação moderada do solo. As plantas de fraca tolerância salina podem ser cultivadas na maioria dos casos. Deve ser dada atenção para os pontos de água do aquífero Bambuí, C3-S1, por causa de condutividade elevada em alguns poços. Essas águas só podem ser utilizadas em solos bem drenados, com disposições especiais de luta contra a salinidade e apenas as plantas de boa tolerância salina devem ser cultivadas.

9.2.2.3. Relações Iônicas nas Águas

A figura 9.7 apresenta algumas relações entre os íons de todas as amostras. Esses tipos de relações ajudam a conhecer, em geral, quais minerais controlam as concentrações dos elementos nas águas.

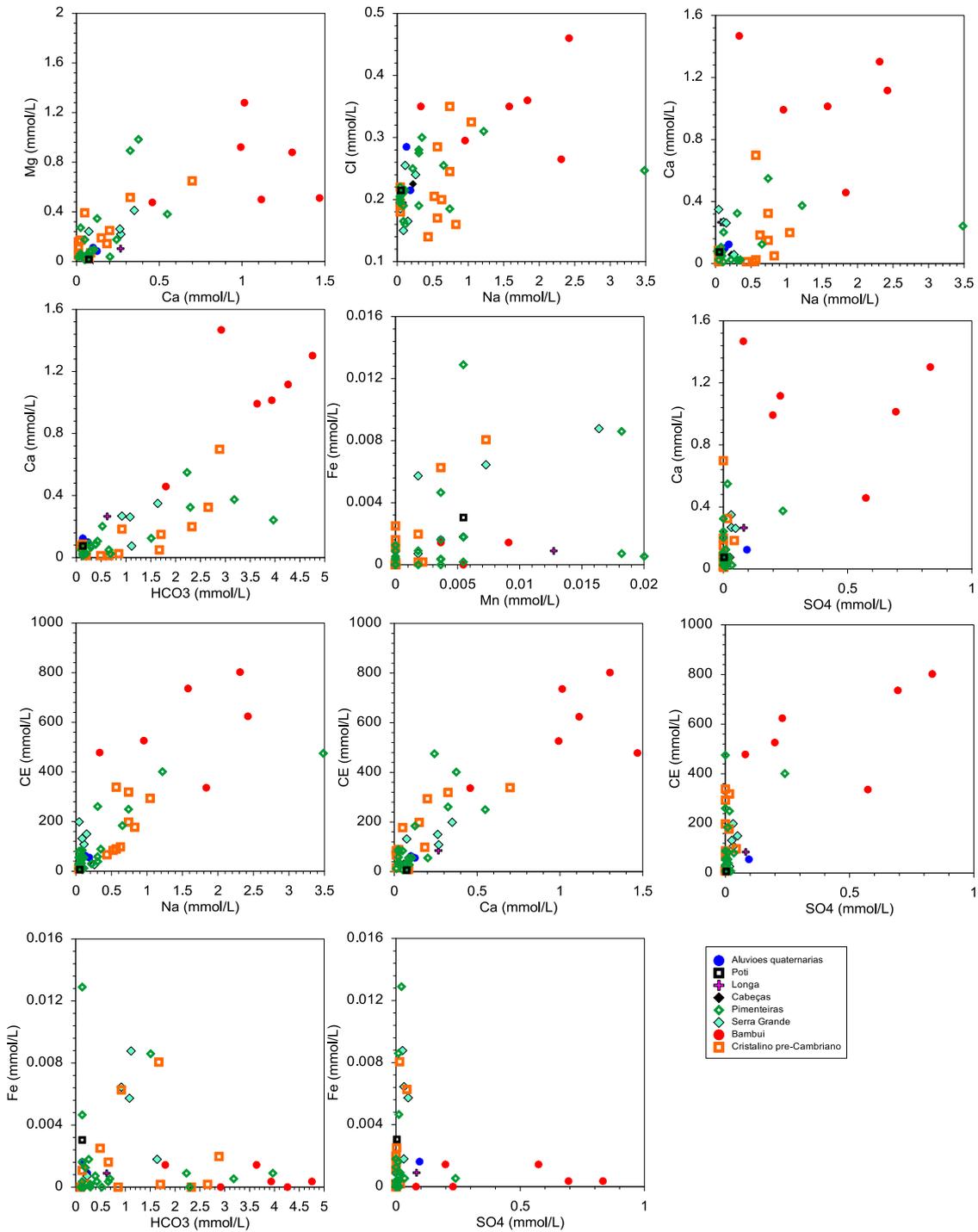


Figura 9.7 – Relações iônicas das águas dos aquíferos estudados

Boas correlações podem ser vistas entre Ca e HCO_3 , e Ca e Mg. Assim, em geral, os carbonatos de cálcio são os minerais que controlam a concentração de Ca e HCO_3 nas águas. Isso será discutido em detalhe para cada aquífero.

A condutividade é bem correlacionada com Ca e Na, que podem ser geralmente os íons mais importantes da condutividade. A correlação Na-Cl não é muito boa, o que pode significar que não há muita água subterrânea salina. Observa-se que não há correlação entre Fe e Mn, como se poderia esperar porque Fe e Mn têm comportamento semelhante. Isto pode ser explicado pelo fato que as concentrações de Mn são baixas e próximas do limite de detecção, que não apresenta sempre valores muito precisos.

A correlação entre Fe e HCO_3 não é muito visível, o que mostra que o ferro não é muito presente na forma de carbonatos de ferro.

9.3. Estudo das águas dos distintos aquíferos

Cada aquífero será estudado e as correlações entre os elementos serão analisadas, com diagramas de Piper e de Schöeffer- Berkaloff. Um tratamento estatístico e uma ACP (Análise de Componentes Principais) serão realizados quando o numero de amostras de águas for suficiente.

9.3.1. Águas do aquífero fissural Precambriano

O aquífero pre-Cambriano é constituído de rochas metamórficas e magmáticas.

9.3.1.1. Diagrama de Piper

No diagrama de Piper (figura 9.8) observa-se uma variabilidade química importante. Em geral, a predominância é de água bicarbonatada sódica, mas também ocorrem águas bicarbonatadas mistas, com uma variação importante de concentrações de magnésio entre 45 % até 90 %. As águas não possuem sulfato mas uma quantidade de cloreto que varia muito entre 10 % e 70 %, e entre 15 % e 80% de Na+K.

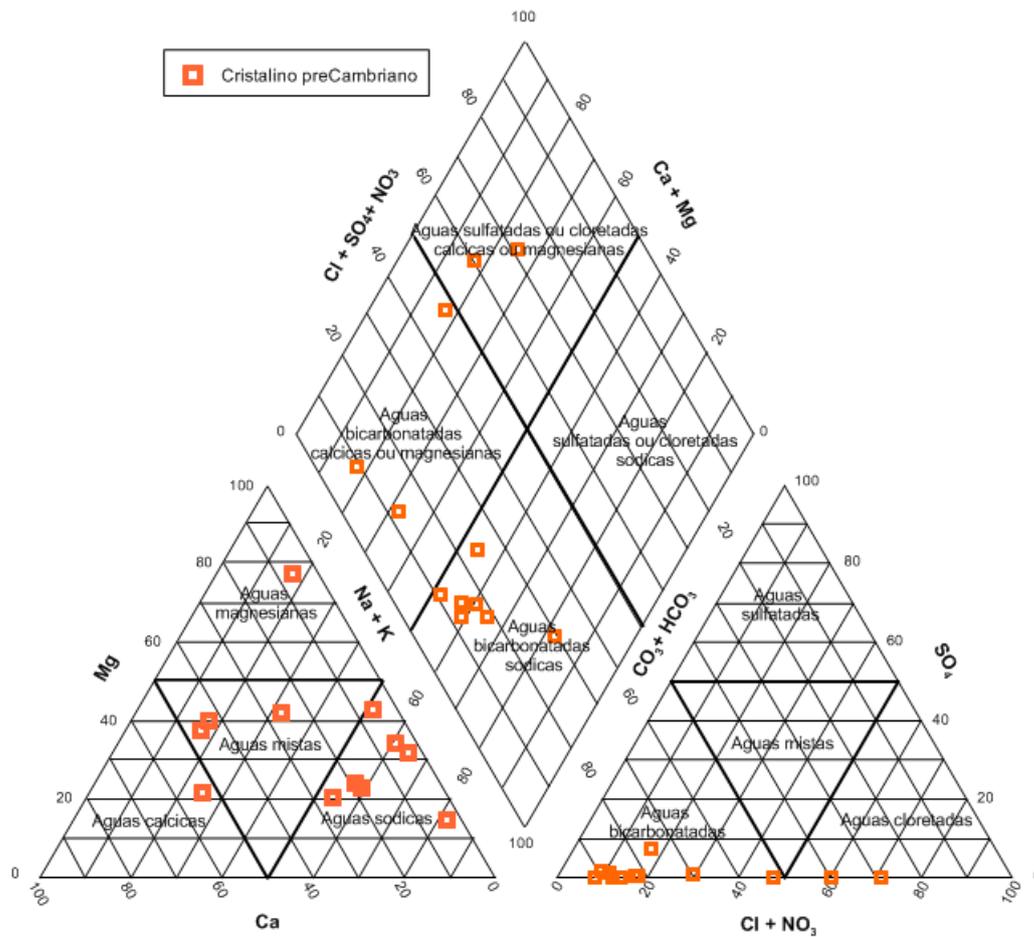


Figura 9.8 - : Diagrama de Piper das águas do aquífero fissural do pre-Cambriano.

9.3.1.2. Diagrama de Schöeller e Berkaloff

A figura 9.9 mostra através do Diagrama de Schöeller e Berkaloff os valores em meq/L e mg/L dos ânions e cátions de onze das análises de águas efetuadas em poços no aquífero fissural. Em todas elas dominam os bicarbonatos entre os ânions e o sódio entre os cátions.

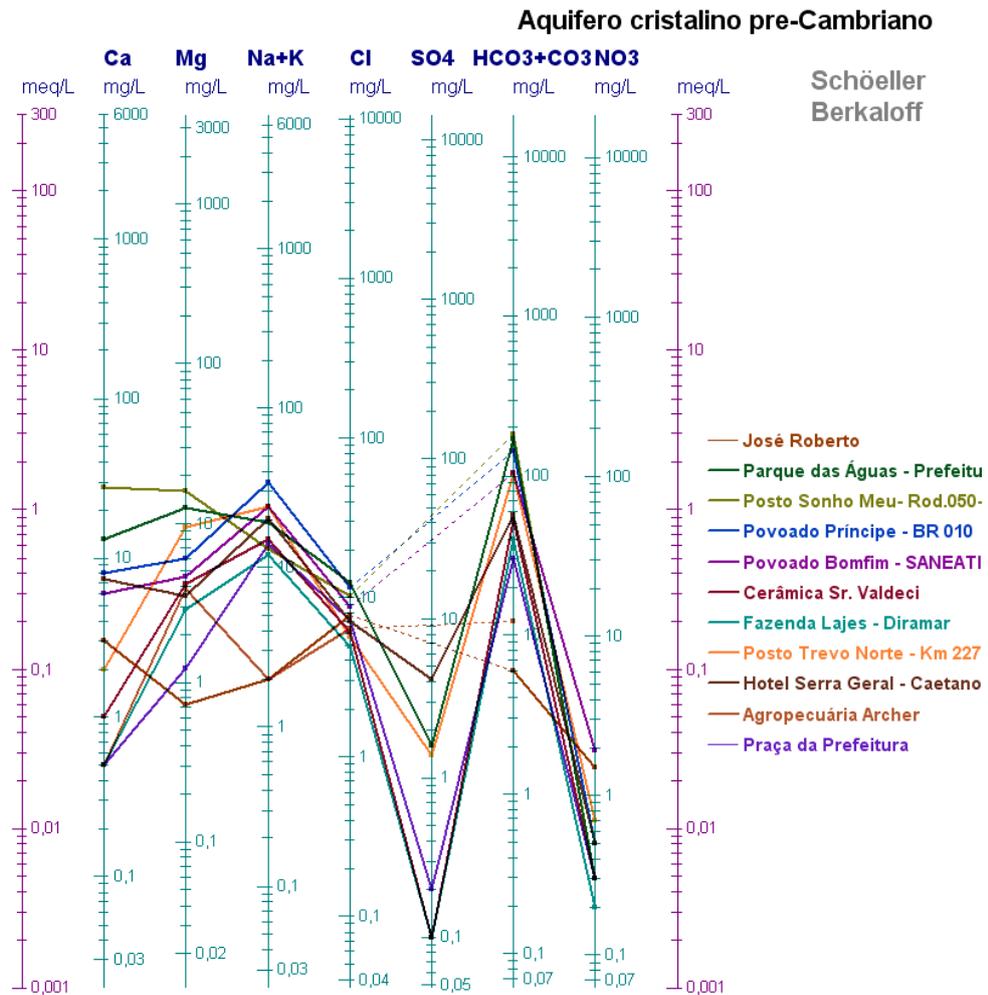


Figura 9.9 - Diagrama de Schöeller e Berkaloff das águas do aquífero fissural pre-Cambriano.

9.3.1.3. Estatísticas

Com 12 amostras de águas, é difícil estabelecer relações estatísticas. Pelos menos, a matriz de coeficientes (Tabela 9.1) permite ver uma boa correlação entre HCO_3 e o pH, o Ca, o Mg e o Na. Pode-se dizer que os minerais como carbonatos de cálcio ou magnésio estão presentes nas rochas e pode controlar a concentração destes íons em solução. O meio pode ser tamponado pelos bicarbonatos. A condutividade é bem ligada ao sódio (77 %), cloreto (79%), cálcio (77%) e magnésio (86%).

As concentrações de nitratos são muito baixas, geralmente inferiores a 1 mg/L.

Tabela 9.1 : Matriz de coeficientes de correlação do momento do produto Pearson para o aquífero pre-Cambriano, em Abril 2010.

Var, n=12	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	NO3	Fe
CE	1	0,82	0,77	0,86	0,77	0,35	0,99	0,08	0,79	0,02	0,00
pH		1	0,55	0,75	0,78	0,20	0,82	0,18	0,43	0,16	0,22
Ca			1	0,82	0,28	0,09	0,77	0,08	0,66	0,05	0,03
Mg				1	0,48	0,04	0,89	0,10	0,56	0,18	0,15
Na					1	0,74	0,77	0,28	0,45	0,10	0,28
K						1	0,34	0,27	0,27	0,36	0,19
HCO3							1	0,10	0,75	0,02	0,05
SO4								1	0,00	0,08	0,67
Cl									1	0,11	0,37
NO3										1	0,08
Fe											1

A figura 9.10 mostra os Scatterdiagrama efetuados para a Condutividade Elétrica e o pH. Os valores de condutividade são repartidos entre 0 até 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e são valores muito baixos típicos de rochas metamórficas (figura 9.10). A maioria das águas têm valores de pH entre 7,5 e 7,9. As amostras que têm altos valores de condutividade também têm alta alcalinidade e pH próximos de 8. Essas amostras podem vir de áreas de aquíferos ricos em carbonatos.

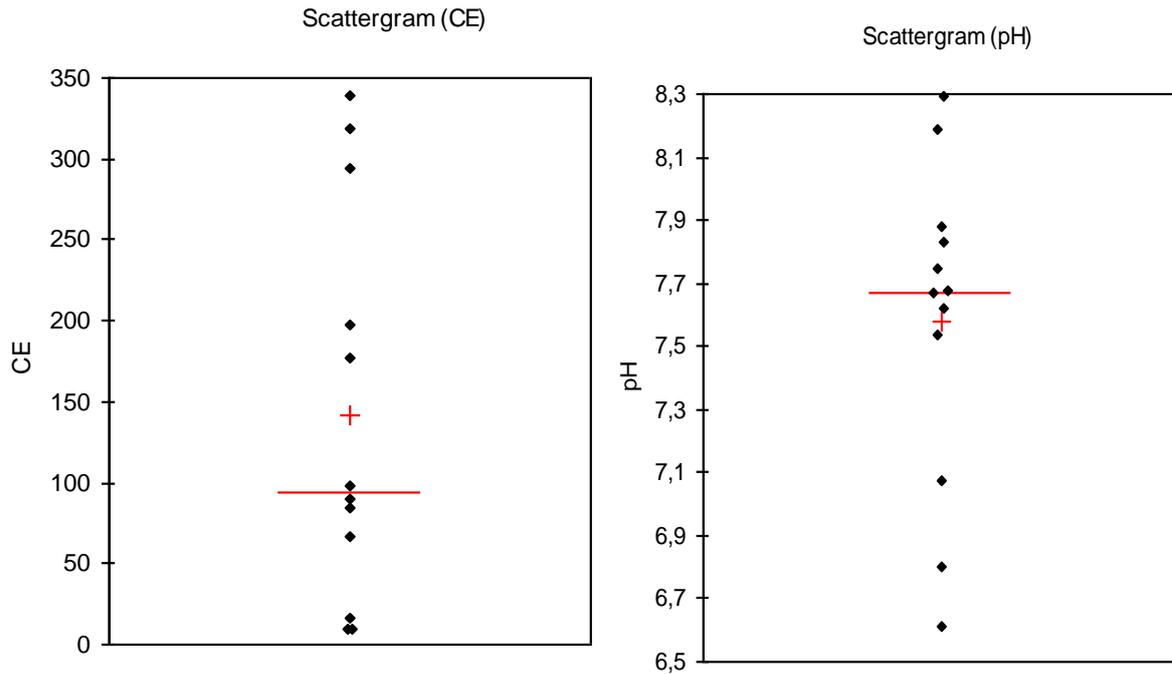


Figura 9.10 - Scatterdiagrama feitos para a condutividade (CE) e o pH.

9.3.2. Águas do aquífero Bambui

9.3.2.1. Diagrama de Piper

O grupo Bambui é um aquífero carstico-fissural constituído de calcários metamórficos. Ele pertence à Província do São Francisco. E intensamente explorado em várias regiões.

As águas dos poços selecionados do aquífero Bambui são mistas bicarbonatadas (figura 9.11). Essa caracterização é coerente com as da ANA (Zoby and Oliveira, 2005), qual seja de águas bicarbonatadas magnesianas. As concentrações em sulfato do aquífero Bambui variam entre 5 % e 35 %, e são as águas mais ricas em sulfato de todos os aquíferos estudados.

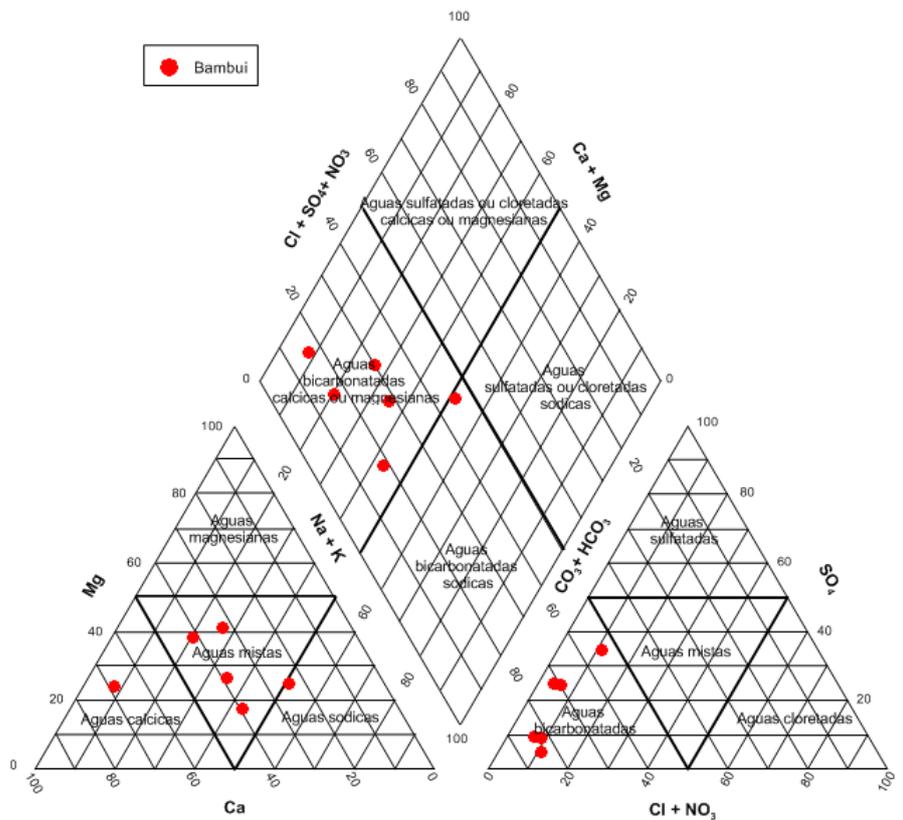


Figura 9.11 - Diagrama de Piper das águas do aquífero Bambui com dados de Abril de 2010.

9.3.2.2. Diagrama de Schöeller e Berkloff

As águas de seis amostras coletadas nesse aquífero mostram claramente a predominância dos bicarbonatos e carbonatos entre os ânions, o que não se constitui em surpresa de vez que o aquífero é cárstico-fissural, representado por rochas calcárias.

Entre os cátions, os valores de cálcio, magnésio e sódio são aproximadamente equivalentes o que caracteriza uma água mista.

As concentrações de nitrato são muito baixas, inferior a 10 mg/L, (figura 9.12).

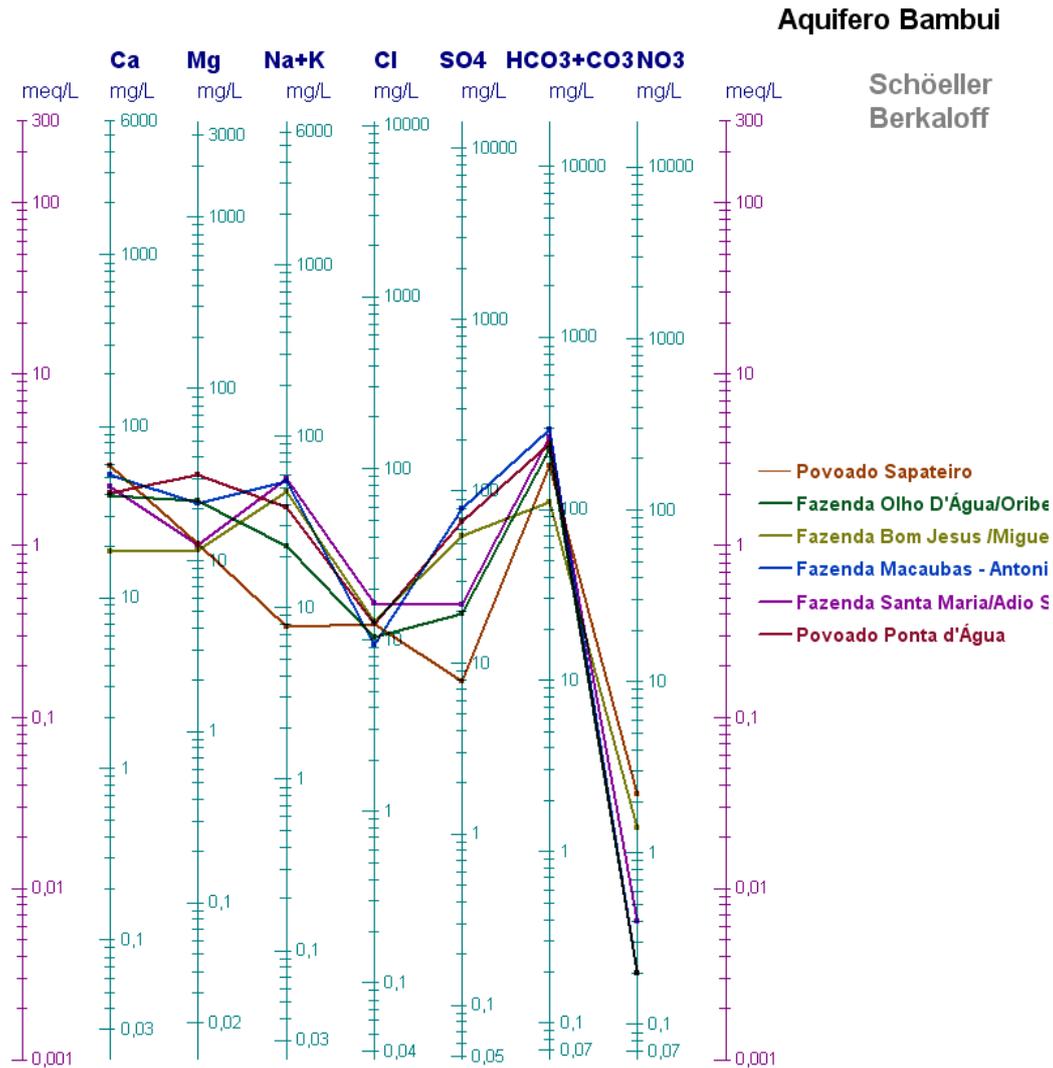


Figura 9.12 - Diagrama de Schöeller e Berkaloff das águas do aquífero neoproterozoico Bambuí.

9.3.2.2. Estatísticas

A tabela 9.2 mostra a matriz de coeficientes obtidos para as amostras de águas do aquífero Bambuí.

Observa-se que o HCO_3 é bem correlacionado com a condutividade e não correlacionado com o pH.

A Figura 9.13 mostra a Análise de Componentes Principais (ACP) dos elementos nas águas do aquífero Bambuí

Tabela 9.2 - Matriz de coeficientes de correlação do momento do produto Pearson para o aquífero Bambui, Abril de 2010.

Var, n=6	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	NO3	Fe
CE	1	0,61	0,53	0,66	0,43	0,33	0,93	0,51	0,23	0,69	0,53
pH		1	0,91	0,29	0,23	0,93	-0,73	0,34	0,01	0,19	0,71
Ca			1	0,09	0,28	0,88	0,60	0,26	0,14	0,08	0,77
Mg				1	0,00	0,01	0,49	0,50	0,47	0,66	0,05
Na					1	0,38	0,42	0,60	0,25	0,59	0,09
K						1	-0,55	0,60	0,02	0,00	0,57
HCO3							1	0,24	0,13	0,73	0,52
SO4								1	0,41	0,45	0,09
Cl									1	0,16	0,37
NO3										1	0,11
Fe											1

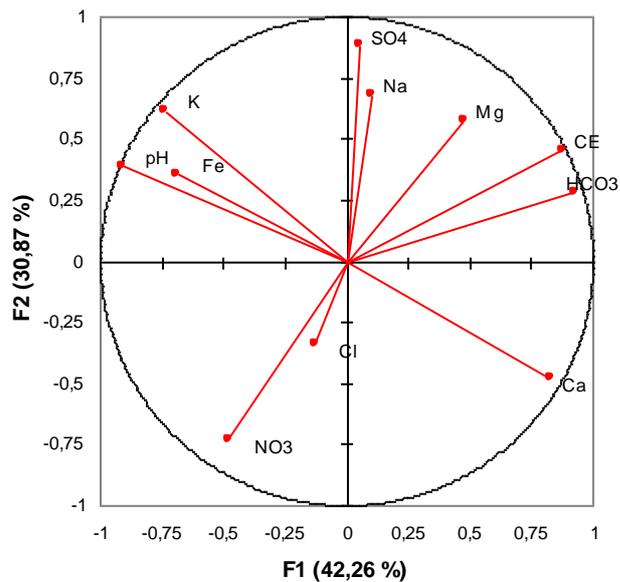


Figura 9.13 - ACP dos elementos nas águas do aquífero Bambui.

A Figura 9.14 mostra a Scatterdiagrama feito para a condutividade (CE) e o pH do aquífero Bambui

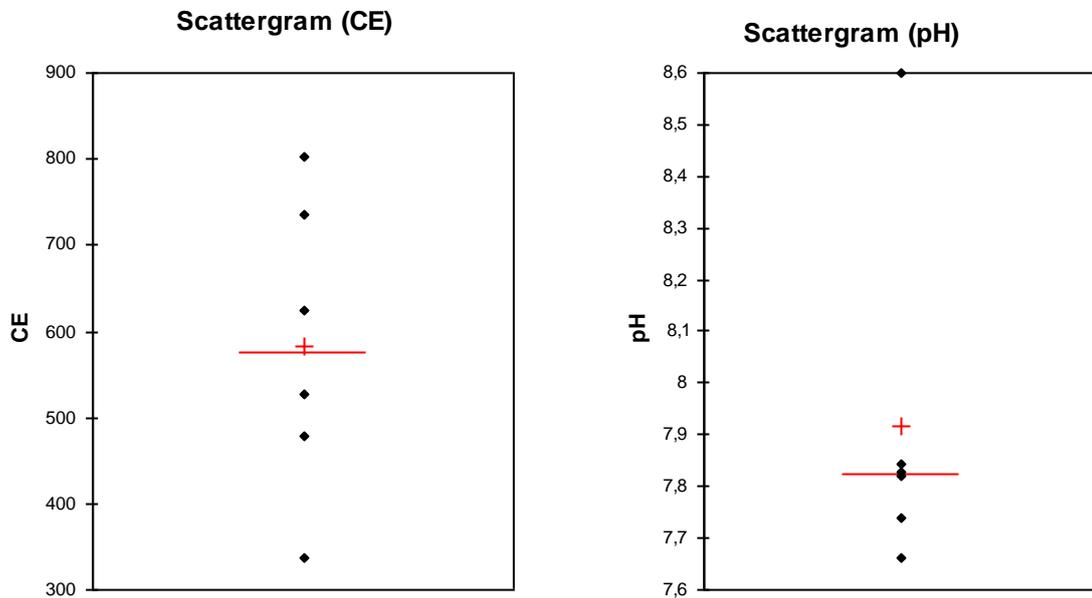


Figura 9.14 - Scatterdiagrama feito para a condutividade (CE) e o pH do aquífero Bambui

Os pHs são superiores a 7.5 com uma condutividade variando entre 350 e 800 $\mu\text{S/cm}$. Geralmente, é possível dizer que esses valores refletem a interação entre águas e rochas calcárias.

9.3.3. Águas do aquífero Serra Grande

O aquífero é composto de arenitos do Siluriano.

9.3.3.1. Diagrama de Piper

De acordo com o diagrama de Piper as águas do aquífero Serra Grande são bicarbonatadas mistas com um poço de águas sódicas, o que é coerente com a

caracterização da ANA, qual seja águas bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas (Zoby and de Oliveira, 2005).

9.3.4. Águas do aquífero Pimenteiras

A formação Pimenteiras é constituída de argilitos e silts com intercalações de arenito ferruginoso e lentes de conglomerado basal.

9.3.4.1. Diagrama de Piper

Vinte amostras das águas do aquífero Pimenteiras foram analisadas. No diagrama de Piper (figura 9.15), observa-se que a maioria das águas é do tipo bicarbonato-magnésio-sódico, com até 10 % de sulfato.

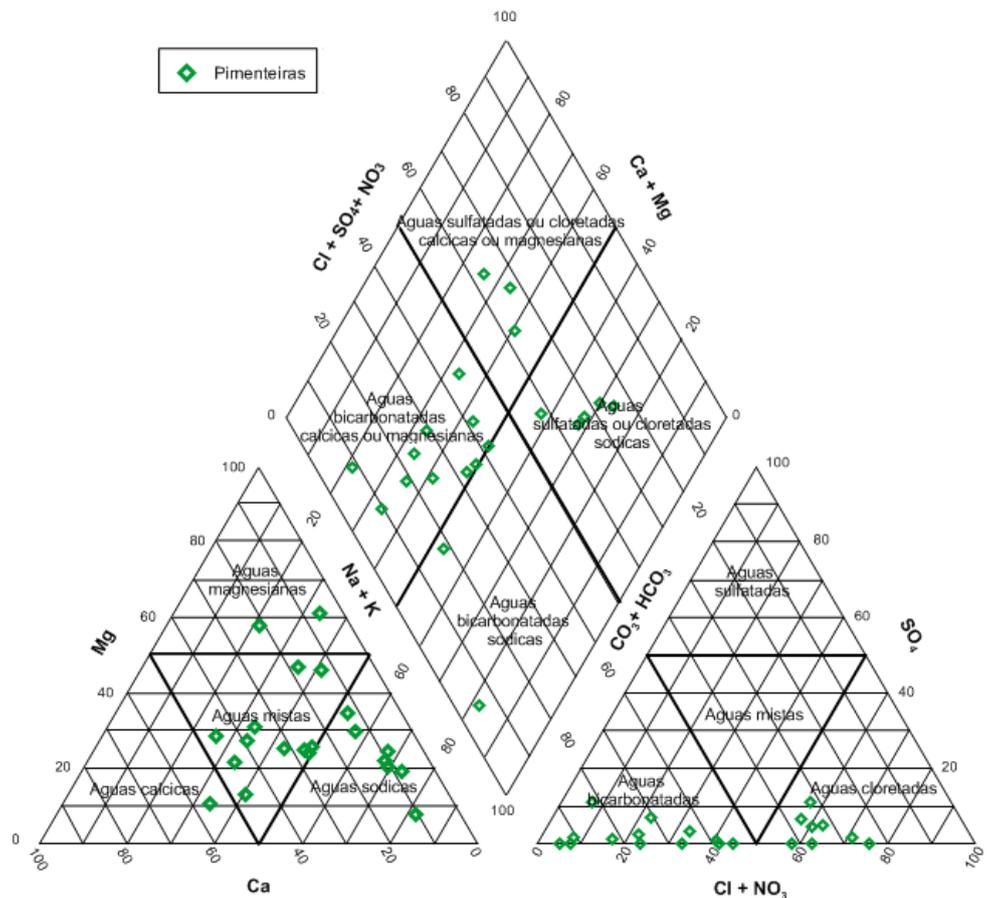


Figura 9.15 - Diagrama de Piper das águas do aquífero Pimenteiras.

Os scatterdiagramas da figura 9.16 mostram que a distribuição dos valores de condutividade é grande. Quanto ao pH, ele se distribui entre 5 até 8,5, sem deixar aparecer uma tendência clara.

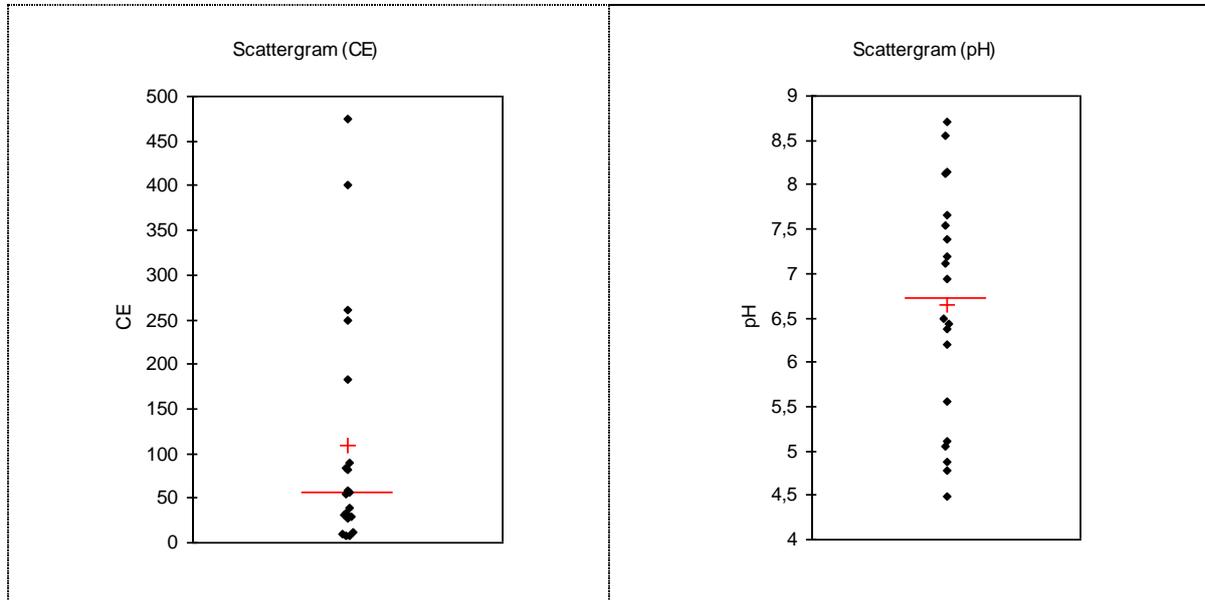


Figura 9.16 - ACP (análise de componentes principais) e scattergramas dos elementos das águas do aquífero Pimenteiras.

A condutividade varia muito, conforme mostrado no scattergrama da Figura . As amostras com valores de condutividade baixa ($< 100\mu\text{S}/\text{cm}$) têm pHs ácidos, e ao contrário, as amostras com alta condutividade ($> 200\mu\text{S}/\text{cm}$) têm pH elevado ($\text{pH}>8$).

9.3.5. Águas dos aquíferos Cabeças e Longá do Devoniano e Poti do Carbonífero

As três formações serão tratadas juntas porque elas são do mesmo Grupo Canindé e por causa do número baixo de amostras.

A formação Cabeças segue a formação Pimenteiras e é constituída por arenitos, diamictitos e siltitos arenosos. Não existem muitos poços nesse aquífero. O sistema aquífero Cabeças é considerado o de melhor potencial hidrogeológico na Bacia Sedimentar do Parnaíba (Zoby and de Oliveira, 2005).

A formação Longá do Devoniano é formada de arenito, folhelho, siltito e calcário.

A formação Poti do Carbonífero é composta de arenito, folhelho, siltito, argilito arenoso e conglomerado. O sistema aquífero Poti-Piauí é um dos que abrange a maior área da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Ele ocorre predominantemente sob condição livre.

Foi observada localmente a mistura de águas dos sistemas aquíferos Cabeças e Poti (Santiago et al., 1999).

9.3.5.1. Diagrama de Piper

Apenas uma amostra de cada aquífero foi analisada, então não é possível ter uma indicação precisão da qualidade das águas. Em primeira observação, as águas não têm a mesma qualidade.

O diagrama de Piper (figura 9.17) mostra que as águas do poços do aquífero Cabeças são do tipo cloretada-sódica, as águas do Longá são bicarbonatadas cálcicas e as águas do Poti são bicarbonatadas cálcicas cloretadas.

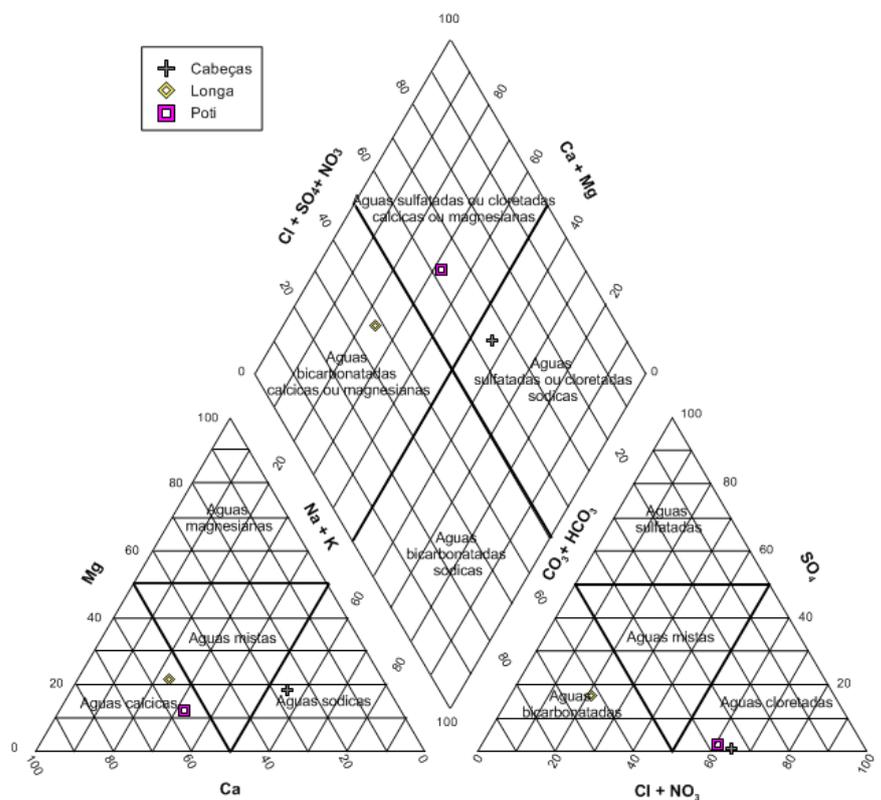


Figura 9.17 - Diagrama de Piper das águas dos aquíferos Cabeças, Longa e Poti.

9.3.5.2. Diagrama de Schoeller Berkaloff

O Diagrama de Schoeller Berkaloff das águas dos aquíferos Cabeças, Longá e Poti, apresentado na Figura 9.18 mostra que as águas dos três poços perfurados nesses aquíferos revelaram uma composição cloretada sódico-magnesiana no aquífero Cabeças, bicarbonatada cálcica no aquífero Longá e cloretada cálcica no aquífero Poti.

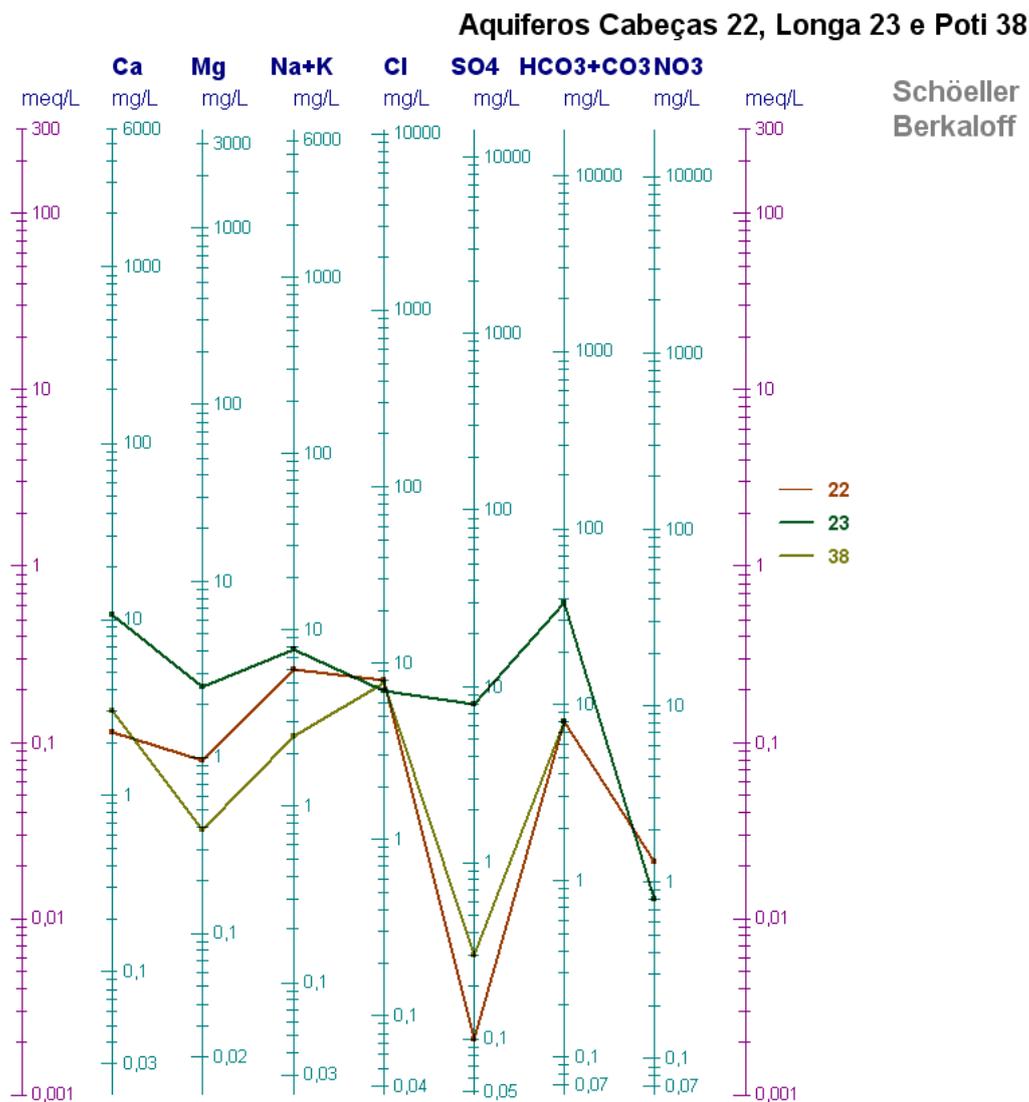


Figura 9.18 - Diagrama de Schoeller Berkaloff das águas dos aquíferos Cabeças (poços 77 e 81), Longa (poço 353) e Poti (poço 977), Janeiro 2010.

As águas dos três aquíferos são pobres em nitratos, com concentrações abaixo de 10 mg/L.

9.3.6. Águas do aquífero aluvial

9.3.6.1. Diagrama de Piper

As aluviões quaternárias são areais, argilas e lentes de cascalho.

As águas do aquífero constituído por aluviões do Quaternário são mistas cloretadas (figura 9.19).

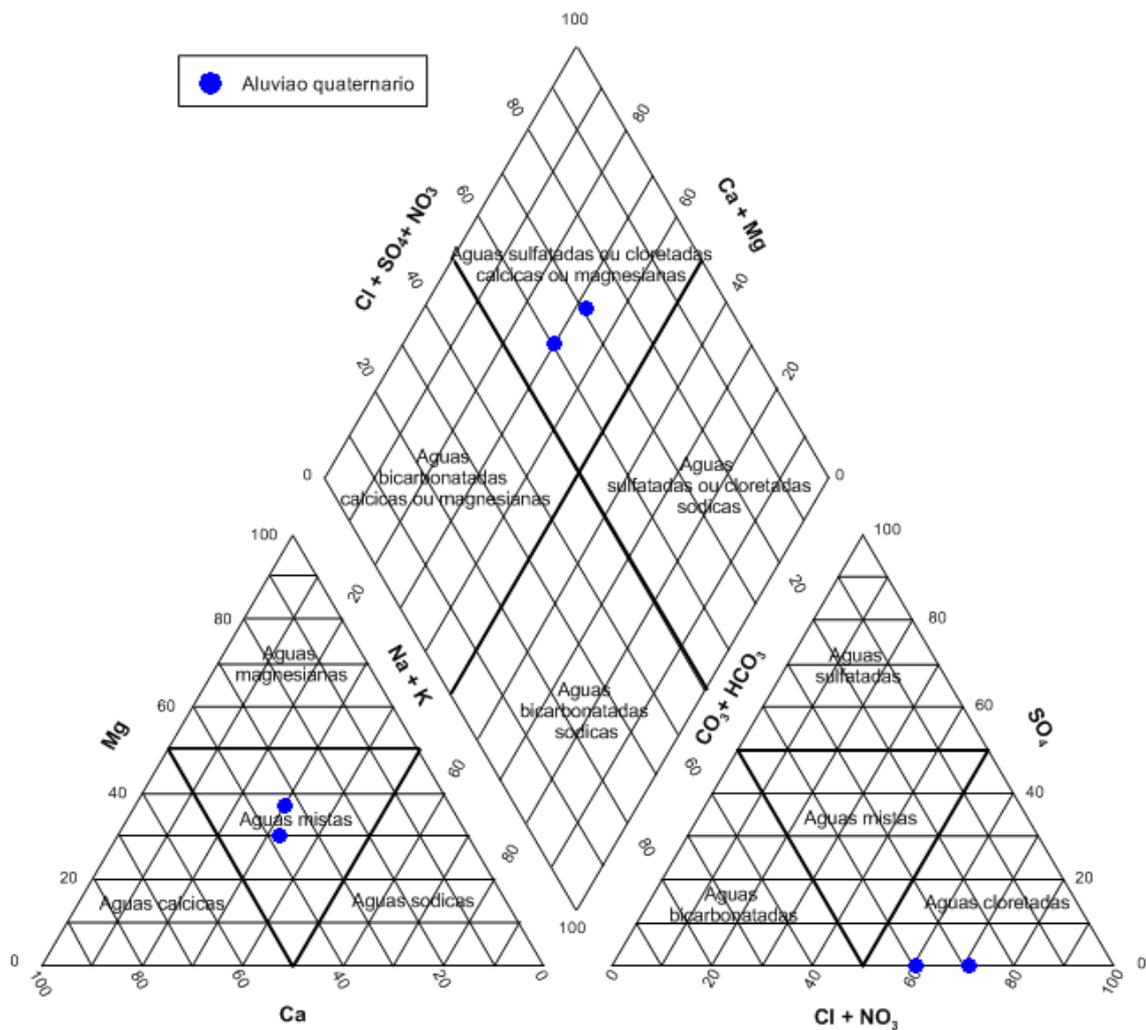


Figura 9.19 - Diagrama de Piper das águas do aquífero das aluviões quaternárias.

9.3.6.2. Diagrama de Schoeller Berkaloff

No diagrama de Schoeller Berkaloff apresentado na a Figura 9.20 uma das amostras de aluvião é classificada como cloretada sódica e a outra cloretada mista.

Como somente duas amostras foram analisadas nesse aquífero fica impossível efetuar um tratamento estatístico.

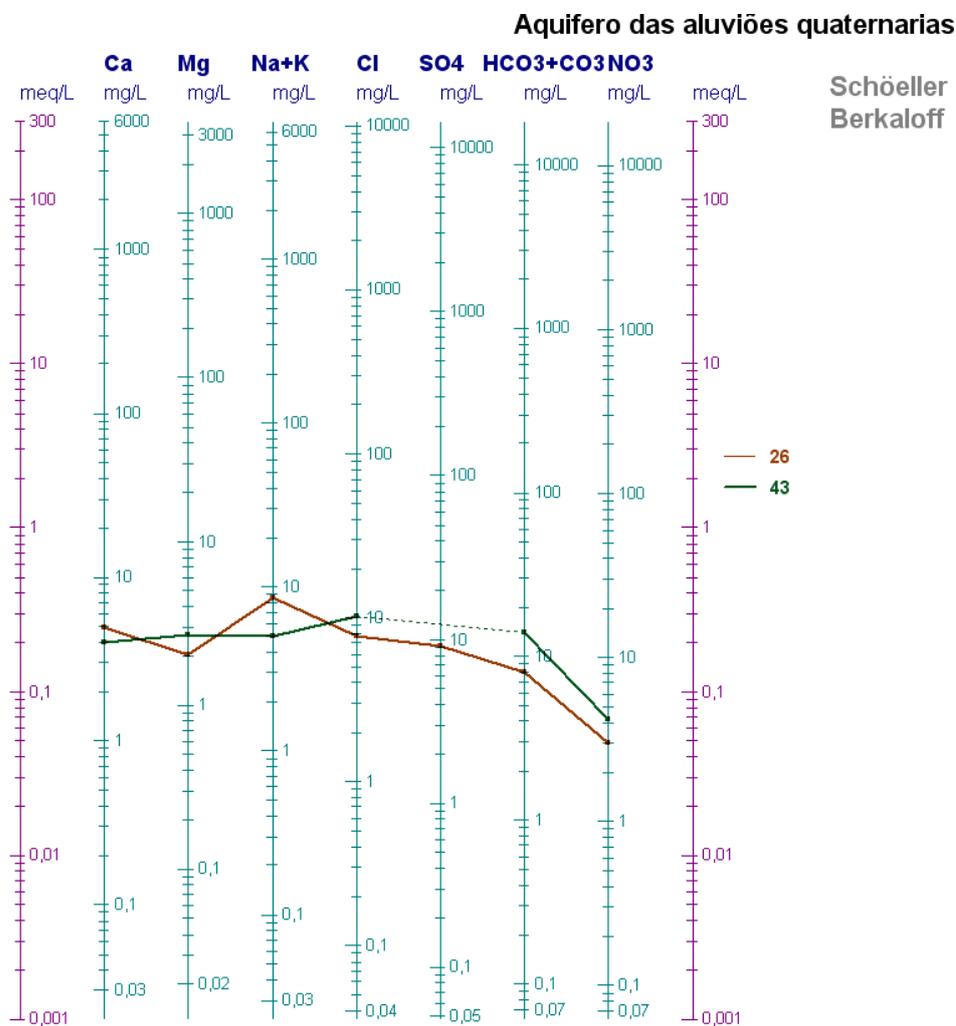


Figura 9.20 - Diagrama de Schöeller das águas do aquífero quaternário.

9.4. Conclusões

A quantidade de amostras das águas dos maiores aquíferos da região estudada do Tocantins permite ter uma primeira avaliação da qualidade das águas. A riqueza das informações sobre cada poço pode permitir estabelecer um banco de dados a fim de conhecer a base geoquímica das águas dos aquíferos. Esse ponto é de grande importância para a gestão integrada dos aquíferos.

Os primeiros resultados sobre a qualidade das águas da região do Tocantins mostram que as águas são, em geral, bicarbonatadas mistas. Em geral, as águas têm uma condutividade elétrica baixa e elas parecem poder ser utilizadas sem restrições para a irrigação em quase todos os solos com fraco risco de aparição de teores nocivos de sódio susceptível de troca, com exceção de algumas partes do aquífero Bambui, onde devem ser tomadas precauções em função da natureza dos solos. No entanto, é necessário esperar outras análises para confirmar os resultados, e especialmente observar a variabilidade da qualidade das águas durante vários anos, a fim de poder estabelecer uma base geoquímica bem específica.

10. NIVELAMENTO DE POÇOS E ELABORAÇÃO DE MAPA POTENCIOMÉTRICO

Conforme previsto na programação, foi efetuada a medição dos níveis estáticos e o nivelamento de 100 poços previamente selecionados dentro do município de Palmas a fim de se executar o mapa potenciométrico do aquífero representado.

No quadro 10.1 são apresentados os resultados dessas atividades, estando os níveis e as cotas dos poços assinalados em colunas distintas. Assim como as cotas piezométricas que serão utilizadas para elaboração do mapa potenciométrico.

O mapa potenciométrico foi executado apenas na região de Palmas tendo em vista a precariedade de informações na extensa área onde ocorriam as demais formações geológicas da bacia sedimentar.

Além das medições das cotas dos níveis estáticos dos poços através do GPS de precisão, foram utilizados os dados obtidos na perfilagem elétrica para dirimir dúvidas sobre o contato entre as formações Pimenteiras e Serra Grande.

A determinação das coordenadas e cotas dos poços foi feita, pela equipe do LABHID do Departamento de Geologia do CTG/UFPE, utilizando um par de GPS (Global Position System) Magellan/Ashtech ProMark 2, incluindo ainda quatro receptores com duas frequências (L1 e L2) e códigos C/A e P com o programa Ashtech Solution 2.6 para pós-processamento dos dados, o que permitiu obter coordenadas e cotas com precisão decimétrica. A figura 10.1 mostra uma medição de nivelamento com GPS geodésico.

Figura 10.1 - Equipamento de GPS (ao lado), onde se vê a antena montada no tripé e a caixa de controle e recepção dos sinais.



Tabela 10.1 - Cotas dos poços nivelados

Nº do cadastro	LOCAL	COORDENADAS		PROFUND. (m)	Nível Estático (m)	Cota (m) de nivelamento	Carga hidráulica (m)	OBSERVAÇÕES
		LATITUDE	LONGITUDE					
390	AGROTINS	8849471	787772	235	0,96	216,331	215,371	OPERANDO
377	GARAGEM DO ESTADO	8873050	789002		14,75	220,749	205,999	OPERANDO
549	ASSOCIAÇÃO FRATENA DOS OFICIAIS - PM	8871194	789062		8,37	228,010	219,640	OPERANDO
389	AEROPORTO PALMAS	8860657	789147		5,40	228,931	223,531	OPERANDO
380	VIVEIRO JALAPÃO	8846702	789322	52	13,29	229,819	216,529	OPERANDO
457	UFT-Proximo Restaurante	8873697	789601		2,00	219,463	217,463	OPERANDO
394	SANEATINS - VILA UNIÃO	8874857	789743		1,58	219,824	218,244	DESATIVADO
394	SANEATINS VILA UNIÃO	8874657	790016		15,83	224,340	208,510	OPERANDO
436	POSTO PALACINHO	8874471	790016		7,29	224,063	216,773	OPERANDO
517	CONDOMÍNIO POLINESIA	8877847	790156	264	19,50	238,983	219,483	OPERANDO
563	POSTO SAN MARINO	8871709	790377		19,14	236,939	217,799	OPERANDO
545	ESCOLA DE FUTEBOL - 407 NORTE	8875671	790646		3,98	238,138	234,158	OPERANDO
948	MONSOI SEMENTES	8829871	790801	144	16,90	253,071	236,171	OPERANDO
454	RANCHO DIAMANTE-Saída Polinésia	8878188	790996	304	30,44	251,413	220,973	OPERANDO
557	1º BPM -Polícia Militar	8871205	791100	240	17,95	234,211	216,261	OPERANDO
376	POSTO PETROLIDER (ARNO 12)	8873259	791168		9,07	243,027	233,957	OPERANDO
383	EIT	8844751	791342		36,68	250,132	213,452	OPERANDO
468	TURIM HOTEL	8873158	791710		27,82	256,968	229,148	OPERANDO
510	HOTEL POUSADA DOS GIRASSOIS 1	8872790	791770	253	37,39	253,932	216,542	OPERANDO
450	UNICLINICA	8870255	791913		29,08	248,332	219,252	OPERANDO
511	Hotel Pousada dos Girassois II	8873718	791948	260	38,3	255,000	216,700	DESATIVADO
491	HOSPITAL CRISTO REI	8869403	792004	240	30,73	253,904	223,174	OPERANDO
575	TRANSBRASILIANA	8870320	792008		8,77	249,689	240,919	OPERANDO
597	COL DE TEMPO INTEGRAL-PADRE JOSIMO	8874633	792024	260	4,51	259,051	254,541	DESATIVADO
559	HOSPITAL GERAL - HGP	8871636	792027	300	16,44	252,302	235,862	DESATIVADO
483	PEUGEOT-Teotônio Segurado	8868548	792067	240	30,66	252,483	221,823	OPERANDO
476	EADCON - AV. TEOTONHO SEGURADO	8863373	792070	270	28,97	254,797	225,827	OPERANDO
612	ESCOLA INFANTIL IRMÃ MACELINA	8874752	792086		34,92	262,011	227,091	OPERANDO
505	HOTEL CASA GRANDE	8871628	792091		14,08	252,844	238,764	OPERANDO
499	PALACIO ARAGUAIA NORTE	8873381	792158		39,31	260,913	221,603	DESATIVADO
500	PALACIO ARAGUAIA SUL	8872866	792226	300	28,64	267,298	238,658	DESATIVADO
564	UNIVERSIDADE CATOLICA-Av. Teotônio	8863500	792267		19,05	258,051	239,001	DESATIVADO
583	ESTADIO NILTON SANTOS	8862238	792321	234	39,82	259,959	220,139	OPERANDO
480	FORUM - AV. TEOTONHO SEGURADO	8869727	792350		28,31	260,385	232,075	DESATIVADO
631	POSTO PETROPALMAS	8869278	792446		9,02	258,085	249,065	OPERANDO
553	POSTO VERÃO	8870764	792458		47,33	239,526	192,196	OPERANDO
593	ATENAS CLUBE	8866013	792519		8,29	269,010	260,720	OPERANDO
448	POSTO PETROLIDER - 05	8870217	792611		35,27	255,495	220,225	OPERANDO
569	CHÁCARA GAIA	8880087	792634			263,847	263,847	DESATIVADO
407	INVESTICO	8846043	792694	280	30,93	243,339	212,409	DESATIVADO
602	ASSISTÊNCIA SOCIAL - 304 SUL	8871478	792731		8,12	262,308	254,188	OPERANDO
620	DETRAN	8875358	792783	300	52,70	276,794	224,094	OPERANDO
608	ESC. DE TEMPO INTEGRAL - CORA CORALINA	8876457	793083		30,74	253,881	223,141	DESATIVADO
487	POLICIA MILITAR - QCG	8871344	793089	240	38,25	267,110	228,860	OPERANDO
573	POSTO PETROLIDER - 1106 SUL	8865763	793199		15,20	277,548	262,348	OPERANDO
540	COL. DE TEMPO INTEGRAL-EURIDES MELO	8858812	793397		37,06	262,952	225,892	OPERANDO
375	APAE	8868638	793442		30,30	275,235	244,935	DESATIVADO
461	RECEP-Residencial Real Park	8873784	793464	222	34,27	267,089	232,819	OPERANDO
591	ESCOLA MUN. ANTONIO CARLOS JOBIN	8864959	793469		5,15	277,973	272,823	OPERANDO
374	PARAISO DAS ÁGUAS	8886849	793662	20	2,24	219,296	217,056	OPERANDO
561	CEAC-Centro Espírita - Aurenny	8868385	793735	192	27,89	273,097	245,207	OPERANDO
455	CLUBE ASSINE	8876564	793790	168	22,03	252,491	230,461	OPERANDO
521	CENTRO ED. SÃO FRANCISCO DE ASSIS	8873075	793852		12,36	279,151	266,791	OPERANDO
695	FLORA RICA	8844297	793853	302	36,76	266,588	229,828	DESATIVADO
589	LAVAJATO CENTRAL - 1112 SUL	8865268	793900		17,20	273,250	256,050	OPERANDO
397	FÉ E ALEGRIA	8874713	793929	122	7,25	281,282	274,032	OPERANDO
418	CAFÉ PARAISO	8866693	794099	256	57,70	290,633	232,933	OPERANDO
386	POLICIA R. ESTADUAL TO. 0.50	8845574	794140		15,72	253,928	238,208	OPERANDO
525	POSTO PEREQUETÉ	8868307	794160	300	52,76	287,829	235,069	DESATIVADO
498	ULBRA JK	8873055	794213		32,97	280,010	247,040	OPERANDO
435	CONDOMÍNIO MORADA IPE	8871300	794216	270	40,03	278,686	238,656	OPERANDO
535	ESCOLA DO FLAMENGO	8871588	794239		13,92	282,997	269,077	OPERANDO
465	CENTRO DE ENSINO MEDIO - CEM	8873938	794244	270	4,64	276,460	271,820	DESATIVADO
530	POSTO TUCUNARÉ - 110 SUL	8872812	794413		44,18	281,869	237,689	OPERANDO
432	BOM DIESEL	8867350	794436	294	53,22	294,034	240,814	OPERANDO
430	FREE LANCE	8867500	794488		50,15	293,889	243,739	OPERANDO
572	COLEGIO MARISTA	8872215	794525		20,26	286,832	266,572	OPERANDO
495	ETF - ESCOLA TECNICA FEDERAL	8871322	794632	300	38,94	282,134	243,194	DESATIVADO
422	ESCOLA DE GESTAO FAZENDARIA	8864667	794650		19,75	265,833	246,083	DESATIVADO
664	SINDICATO RURAL DE PALMAS	8868330	794700		27,76	291,162	263,402	OPERANDO
439	MOTEL (SAIDA AP. RIO NEGRO)	8867838	794900	250	33,87	289,828	255,958	OPERANDO
426	ITAPEMA CLUB	8879970	794980		25,45	270,561	245,111	OPERANDO
393	VIBELA	8852236	795038	54	12,37	266,982	254,612	DESATIVADO
537	TENIS CLUB	8872131	795175		18,30	291,162	272,862	OPERANDO
425	LAVAJATO OMB	8872975	795189		16,17	291,049	274,879	OPERANDO
841	FAZ. FRIGOVALE	8842682	795270		38,77	306,473	267,703	OPERANDO

Tabela 10.1 - Cotas dos poços nivelados (continuação)

Nº do cadastro	LOCAL	COORDENADAS		PROFUND. (m)	Nível Estático (m)	Cota (m) de nivelamento	Carga hidráulica (m)	OBSERVAÇÕES
		LATITUDE	LONGITUDE					
470	RETIFICA BANDEIRANTES	8872088	795271		21.90	292,794	270,894	OPERANDO
680	JOQUEI CLUB (ANTIGO)	8863847	795298		18.09	260,619	242,529	DESATIVADO
490	SEST/SENAT	8870672	795442	264	16.60	273,911	257,311	OPERANDO
442	PRESIDIO PALMAS	8867597	795494	300	8.84	283,320	274,480	DESATIVADO
587	PALACINHO	8873576	795494	300	19.83	294,739	274,909	DESATIVADO
395	CONSTRUTORA SÃO CRISTOVAO	8853123	795497		3,7	267,920	264,220	OPERANDO
412	CHACARA DARCY-Poço 2	8863131	795531	160	26.84	278,877	252,037	OPERANDO
556	RESIDENCIA OFICIAL - GOVERNO	8873181	795546	300	15.17	295,818	280,648	DESATIVADO
472	AGNOLIN - POSTO COMBUSTIVEL	8871981	795580	360	15.04	292,576	277,536	OPERANDO
411	DARCY	8863128	795659	221	16.68	280,683	264,003	DESATIVADO
399	POSTO TERRA (TO.050)	8855898	795732		17.89	284,993	267,103	OPERANDO
401	GINASIO AYRTON SENNA	8857230	795810		12.44	279,843	267,403	DESATIVADO
683	ASDETO	8863814	795930		15.93	285,598	269,668	OPERANDO
527	CEMITERIO JARDINS DAS ACACIAS	8867061	795942		9.95	292,334	282,384	OPERANDO
634	POSTO SERRA DO CARMO	8858479	795944		9.72	280,669	270,949	OPERANDO
372	CHACARA 431 - TO 010	8876441	796027		13.60	282,989	269,389	OPERANDO
696	ASSEMP	8870691	796068	180	2.32	266,722	264,402	OPERANDO
668	CERAMICA (TO 0.50)	8859342	796305		10.33	296,168	285,838	OPERANDO
446	CHACARA BOM DIESEL	8864137	796405	281	3.40	281,946	278,546	OPERANDO
493	UNIVERSIDADE CATOLICA (TO.0.50)	8862123	796720		1.20	241,990	240,790	OPERANDO
415	CHACARA ADORAI (PADRES)	8864273	796758		2.21	303,462	301,252	OPERANDO
416	CHACARA ADORAI (IRMAS)	8864224	796831		6.08	309,111	303,031	OPERANDO
404	POCO DA PREFEITURA	8857774	797059		6.02	254,169	248,149	DESATIVADO
516	CLUBE DE TIRO	8870230	798021	84	0.00	277,224	277,224	OPERANDO

11. PERFURAÇÃO DE POÇOS

11.1. Características previstas para os poços

Os Termos de Referência para o presente estudo previa a perfuração de três poços definidos na proposta da Contratada da seguinte maneira:

a) Poço no aquífero intersticial

O poço deverá ser perfurado com perfuratriz de sistema rotativo ou percussora, dentro das normas técnicas da ABNT e deverá possuir, aproximadamente, as seguintes características, podendo ser efetuada alguma modificação em função das condições hidrogeológicas locais:

- Profundidade: 180 a 200 m
- Diâmetro de perfuração: 14 ¼" (362mm)
- Diâmetro (externo) de revestimento: 6" (174 mm)
- Diâmetro (externo) de filtros: 6" (174 mm)
- Tipo de revestimento: Tubos PVC reforçado
- Tipo de filtro: Tubos PVC ranhurados, com ranhuras de 0,75mm a 1,0mm (a depender da granulometria da formação aquífera)
- Extensão de revestimento: mínimo de 150m e máximo de 170m (a depender da profundidade do poço, da distribuição e extensão das camadas aquíferas)
- Extensão dos filtros: mínimo de 30m e máximo de 50m (a depender da profundidade do poço, da distribuição e extensão das camadas aquíferas)
- Pré-filtro: cascalho selecionado com diâmetro dos grãos entre 2 e 5mm, numa extensão variável entre 50 e 80m
 - Fluido de perfuração: até os 100m de perfuração poderá ser perfurado o poço com bentonita e a partir dessa profundidade, com CMC ("polysafe")
- Cimentação do espaço anelar: no mínimo com extensão de 50m a partir da superfície, usando uma mistura de 80% de cimento e 20% de argila na pasta com água.
- Centralizadores: utilizar centralizadores a cada 30m de extensão do revestimento

- Limpeza: após conclusão do poço deverá ser efetuada a limpeza com hexametáfosfato, cloração e posterior bombeamento
- Desenvolvimento: deverá ser efetuado após a limpeza usando metodologia adequada, por um período que assegure que a água se acha com turbidez dentro dos limites toleráveis
- Teste de bombeamento: após o desenvolvimento, efetuar um teste de bombeamento por 24 h contínuas em vazão constante e observar com anotações periódicas segundo tabela de tempo abaixo apresentada, os rebaixamentos de níveis e a recuperação de níveis após a paralisação do bombeamento.

❖ de 0 a 6 minutos:	intervalo de 1 minuto
❖ de 6 a 12 minutos:	intervalo de 2 minutos
❖ de 15 a 30 minutos:	intervalo de 5 minutos
❖ de 30 a 60 minutos:	intervalo de 10 minutos
❖ de 60 a 120 minutos (1 a 2 horas):	intervalo de 20 minutos
❖ de 120 a 240 minutos (2 a 4 horas):	intervalo de 30 minutos (½ hora)
❖ de 240 a 540 minutos (4 a 9 horas):	intervalo de 60 minutos (1 hora)
❖ de 540 a 900 minutos (9 a 15 horas):	intervalo de 120 minutos (2 horas)
❖ de 900 a 1.440 minutos (15 a 24 horas):	intervalo de 180 minutos (3 horas)
❖ de 1.440 a 2.880 minutos (24 a 48 horas):	intervalo de 240 minutos (4 horas)

Na recuperação, anotar os valores de níveis até uma recuperação de pelo menos 95% do nível estático original.

- Instalação de bomba elétrica: deverá ser adquirida uma bomba do tipo submersa com especificação adequada à vazão e altura manométrica exigida pelo poço (a serem definidas após o teste de bombeamento), assim como a tubulação edutora e fiação desde a profundidade onde será instalada a bomba até a superfície onde deverá ser adquirido e instalado o quadro elétrico.

b) Poço no aquífero cárstico-fissural

O poço deverá ser perfurado com perfuratriz roto-pneumática ou percussora, dentro das normas técnicas da ABNT e deverá possuir, aproximadamente, as seguintes características, podendo ser efetuada alguma modificação em função das condições hidrogeológicas locais:

- Profundidade: 80 a 100 m

- Diâmetro de perfuração: 9 7/8" (251mm)
- Diâmetro (externo) de revestimento: 6" (174 mm)
- Tipo de revestimento: Tubos PVC reforçado
- Extensão de revestimento: cerca de 40m (até o topo da rocha inalterada)
- Cimentação do espaço anelar: no mínimo com extensão de 20m a partir da superfície, para sustentar a tubulação
- Limpeza: após conclusão do poço deverá ser efetuada a limpeza com hexametáfosfato, cloração e posterior bombeamento
- Teste de bombeamento: após o desenvolvimento, efetuar um teste de bombeamento por 24 h contínuas em vazão constante e observar com anotações periódicas segundo tabela de tempo abaixo apresentada, os rebaixamentos de níveis.
 - ❖ de 0 a 6 minutos: intervalo de 1 minuto
 - ❖ de 6 a 12 minutos: intervalo de 2 minutos
 - ❖ de 15 a 30 minutos: intervalo de 5 minutos
 - ❖ de 30 a 60 minutos: intervalo de 10 minutos
 - ❖ de 60 a 120 minutos (1 a 2 horas): intervalo de 20 minutos
 - ❖ de 120 a 240 minutos (2 a 4 horas): intervalo de 30 minutos (½ hora)
 - ❖ de 240 a 540 minutos (4 a 9 horas): intervalo de 60 minutos (1 hora)
 - ❖ de 540 a 900 minutos (9 a 15 horas): intervalo de 120 minutos (2 horas)
 - ❖ de 900 a 1.440 minutos (15 a 24 horas): intervalo de 180 minutos (3 horas)
- Instalação de bomba elétrica: deverá ser adquirida uma bomba do tipo submersa com especificação adequada à vazão e altura manométrica exigida pelo poço (a serem definidas após o teste de bombeamento), assim como a tubulação edutora e fiação desde a profundidade onde será instalada a bomba até a superfície onde deverá ser adquirido e instalado o quadro elétrico.

c) Poço no aquífero fissural

O poço deverá ser perfurado com perfuratriz roto-pneumática ou percussora, dentro das normas técnicas da ABNT e deverá possuir, aproximadamente, as seguintes características, podendo ser efetuada alguma modificação em função das condições hidrogeológicas locais:

- Profundidade: 60 a 80 m
- Diâmetro de perfuração: 9 7/8" (251mm)

- Diâmetro (externo) de revestimento: 6" (174 mm)
- Tipo de revestimento: Tubos PVC reforçado
- Extensão de revestimento: cerca de 20m (até o topo da rocha inalterada)
- Cimentação do espaço anelar: no mínimo com extensão de 20m a partir da superfície, para sustentar a tubulação
- Limpeza: após conclusão do poço deverá ser efetuada a limpeza com hexametáfosfato, cloração e posterior bombeamento
- Teste de bombeamento: após o desenvolvimento, efetuar um teste de bombeamento por 24 h contínuas em vazão constante e observar com anotações periódicas segundo tabela de tempo abaixo apresentada, os rebaixamentos de níveis.
 - ❖ de 0 a 6 minutos: intervalo de 1 minuto
 - ❖ de 6 a 12 minutos: intervalo de 2 minutos
 - ❖ de 15 a 30 minutos: intervalo de 5 minutos
 - ❖ de 30 a 60 minutos: intervalo de 10 minutos
 - ❖ de 60 a 120 minutos (1 a 2 horas): intervalo de 20 minutos
 - ❖ de 120 a 240 minutos (2 a 4 horas): intervalo de 30 minutos (½ hora)
 - ❖ de 240 a 540 minutos (4 a 9 horas): intervalo de 60 minutos (1 hora)
 - ❖ de 540 a 900 minutos (9 a 15 horas): intervalo de 120 minutos (2 horas)
 - ❖ de 900 a 1.440 minutos (15 a 24 horas): intervalo de 180 minutos (3 horas)
- Instalação de bomba elétrica: deverá ser adquirida uma bomba do tipo submersa com especificação adequada à vazão e altura manométrica exigida pelo poço (a serem definidas após o teste de bombeamento), assim como a tubulação e duto e fiação desde a profundidade onde será instalada a bomba até a superfície onde deverá ser adquirido e instalado o quadro elétrico.

Quando da perfuração do poço no aquífero intersticial a profundidade prevista de 200m não foi atingida tendo em vista que aos 100 m o poço já acusava um jorro com vazão que atendia a demanda da população e, pela descrição uniforme da litologia, assim como em função de dados existentes, estaria atendida a necessidade da pesquisa. Foi então estabelecido, em comum acordo com a Contratante, que os 100m restantes seriam utilizados na perfuração de um segundo poço no aquífero fissural em área de extrema necessidade hídrica, o que foi executado pela Contratada.

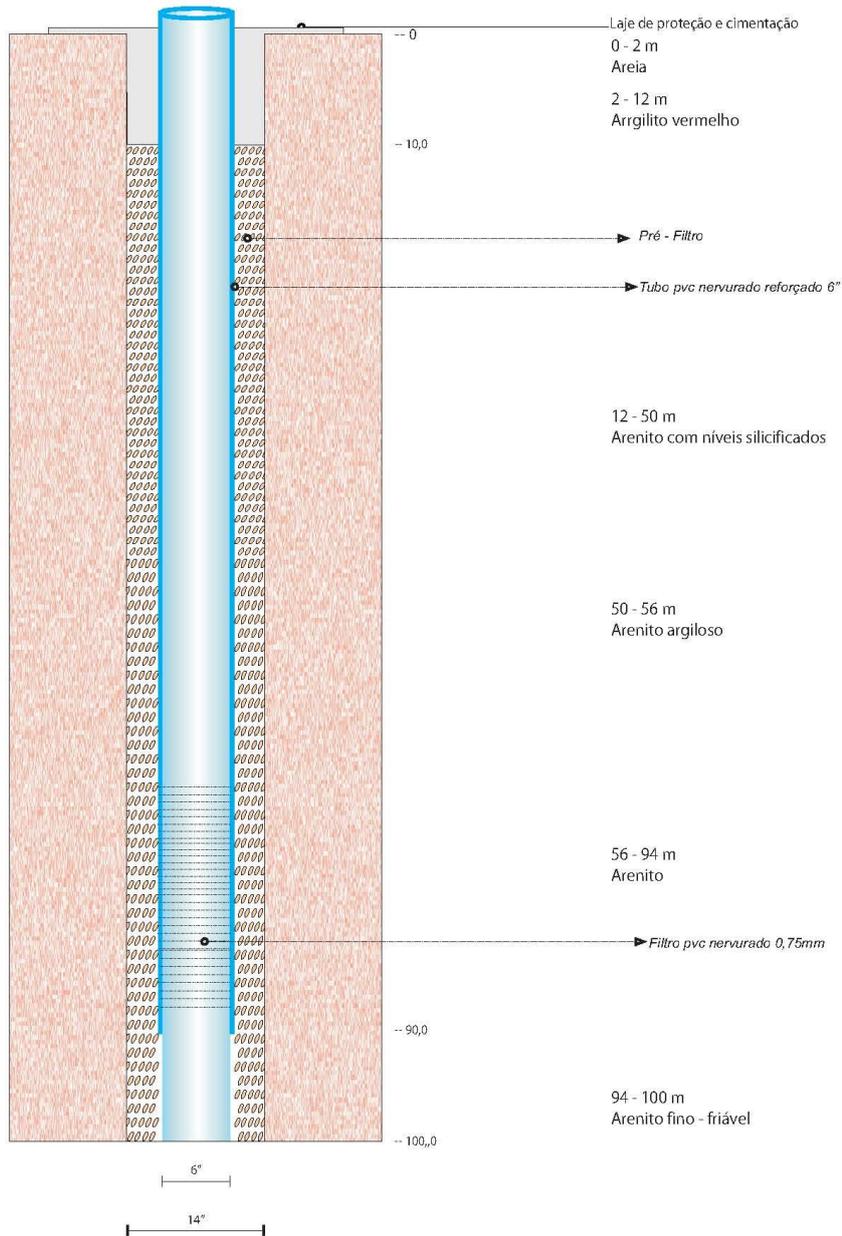
11.2. Relatório dos poços perfurados e testados.

11.2.1. Poço de Mumbuca

	RELATÓRIO FINAL DE POÇO		CIDADE Mateiros - TO				
			POÇO Nº POÇO 1				
LOCAL Comunidade Mumbuca – Mateiros -TO		CONTRATANTE Costa Ltda					
LATITUDE 10°20'43,9”		LONGITUDE 46°34'17,3”		COTA			
DATA DE INÍCIO 30/05/2.010		DATA DE TÉRMINIO 10/07/2.010		EXECUTOR Trhimil			
SONDA R1H – 2		MÉTODO Rotativo		SONDADOR Leandro			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA Formação Urucuia							
COBERTURA Areia		ROCHA Arenito		AQUÍFERO Poroso			
PERFURAÇÃO			REVESTIMENTO				
Ø(pol)	INTERVALO	PROF. DE FENDAS (m)	Ø(pol)	POSIÇÃO	TIPO		
14”	DE 0,0 A 100,0		6”	DE +0,70 A 68,0	Liso		
	DE A		6”	DE 68,0 A 88,0	Filtro		
	DE A		6”	DE 88,0 A 90,0	Liso		
	DE A		DE A				
TOTAL – 100,0 metros			DE A				
ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO			DE A				
TUBO: pvc nervurado reforçado 6”			DE A				
FILTRO: pvc nervurado reforçado 6”			DE A				
LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT/QUANT.)			DE A				
1,0 x 1,0 x 0,20			DE A				
TUBO P/ REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./ Ø / COMP.)			DE A				
			TOTAL DE TUBO: 70,70m	TOTAL DE FILTRO: 20,0m			
COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)							
MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)			POSIÇÃO		QUANTIDADE		
Cimentação			DE 0,0 A 10,0		10,0m		
Pre filtro			DE 10,0 A 90,0		80,0m		
			DE A				
DESENVOLVIMENTO			DESINFECÇÃO/REMOÇÃO DE BENTONITA				
MÉTODO		TEMPO (h)	PRODUTO QUÍMICO		QUANT (kg)		
Air lift		24	10		kg		
TESTE DE BOMBEAMENTO							
TESTE	DATA	EQUIPAMENTO	TEMPO (h)	PROF.(m)	N.E (m)	N.D (m)	VAZÃO(l/h)
01	15/07/10	Bomba submersa	24	32	J – 14,4	13,10	29.941
RESPONSÁVEL TÉCNICO					DATA 03 de agosto de 2010		



Cliente: Costa Consultoria e Serviços Técnicos Ambientais Ltda
Poço Tubular Profundo
Local: Comunidade Mumbuca
Município: Mateiros - TO





TESTE DE BOMBEAMENTO Aqüífero Sedimentar/Poroso			CIDADE	Mateiros-TO			
			POÇO Nº	Cadastro nº			
LOCAL	Comunidade Mumbuca	DATA	15/07/2010	DIÂMETRO	6"	PROFUNDIDADE	100,0m/90,0mRevestido
NÍVEL ESTÁTICO (NE)	Jorante	NÍVEL DINÂMICO (ND)	13,10m	VAZÃO	29.941 l/h	SALIÊNCIA	0,72m
EQUIPAMENTO DE TESTE						HORA DE INÍCIO	
Bomba Ebara 11cv 380V						07:20h	
TUBO E EXTRAÇÃO DA ÁGUA				COORDENADAS			
COMPRIMENTO:	32,0m	DIÂMETRO:	2"	Lat: 10° 20' 43,9" Long: 46° 34' 17,3" Cota: m			

REBAIXAMENTO DO NÍVEL DA ÁGUA								RECUPERAÇÃO	
Tempo (min)	Hora Local	N.D. Medido(m)	N.D. Real(m)	Rebaixam (m)	Tempo (s)	Vazão Q (l/h)	Obs.:	Tempo (min)	N.A (m)
1	07:21	9,36			36,28	20.838		1	1,25
2	07:22	13,48			38,25	19.765		2	Surgente
3	07:23	15,79			37,00	20.432		3	
4	07:24	17,23			37,97	19.910		4	
5	07:25	18,32			37,97	19.910		5	
6	07:26	19,12			38,35	19.713		6	
8	07:28	18,58			38,34	19.718		8	
10	07:30	19,58			38,40	19.688		10	
12	07:32	19,64			37,41	20.209		12	
15	07:35	19,64			36,84	20.521		15	
20	07:40	19,64			36,20	20.884		20	
25	07:45	19,66			36,20	20.884		25	
30	07:50	19,85			36,66	20.622		30	
40	08:00	19,85			36,97	20.449		40	
50	08:10	19,87			36,25	20.855		50	
60	08:20	19,97			35,78	21.129		60	
80	08:40	21,14			35,90	21.058		80	
100	09:00	21,21			34,93	21.643		100	
120	09:20	21,21			35,00	21.600		120	
150	09:50	21,58			35,43	21.338		150	
180	10:20	21,58			35,44	21.332		180	
210	10:50	21,58			35,48	21.308		210	
240	11:20	21,61			35,50	21.296		240	
300	12:20	22,20			33,22	22.757		300	
360	13:20	22,23			33,63	22.480		360	
420	14:20	22,23			33,65	22.466		420	
480	15:20	22,23			33,65	22.466		480	
540	16:20	22,23			33,65	22.466		540	
660	18:20	21,00			26,90	28.104		660	
780	20:20	18,15			25,79	29.313		780	
900	22:20	15,09			25,40	29.764		900	
1080	01:20	17,32			25,25	29.941		1080	
1260	04:20	13,10			25,25	29.941		1260	
1440	07:20	13,10			25,25	29.941		1440	

Equipe de execução: Wilkerson e Antonio Gomes.

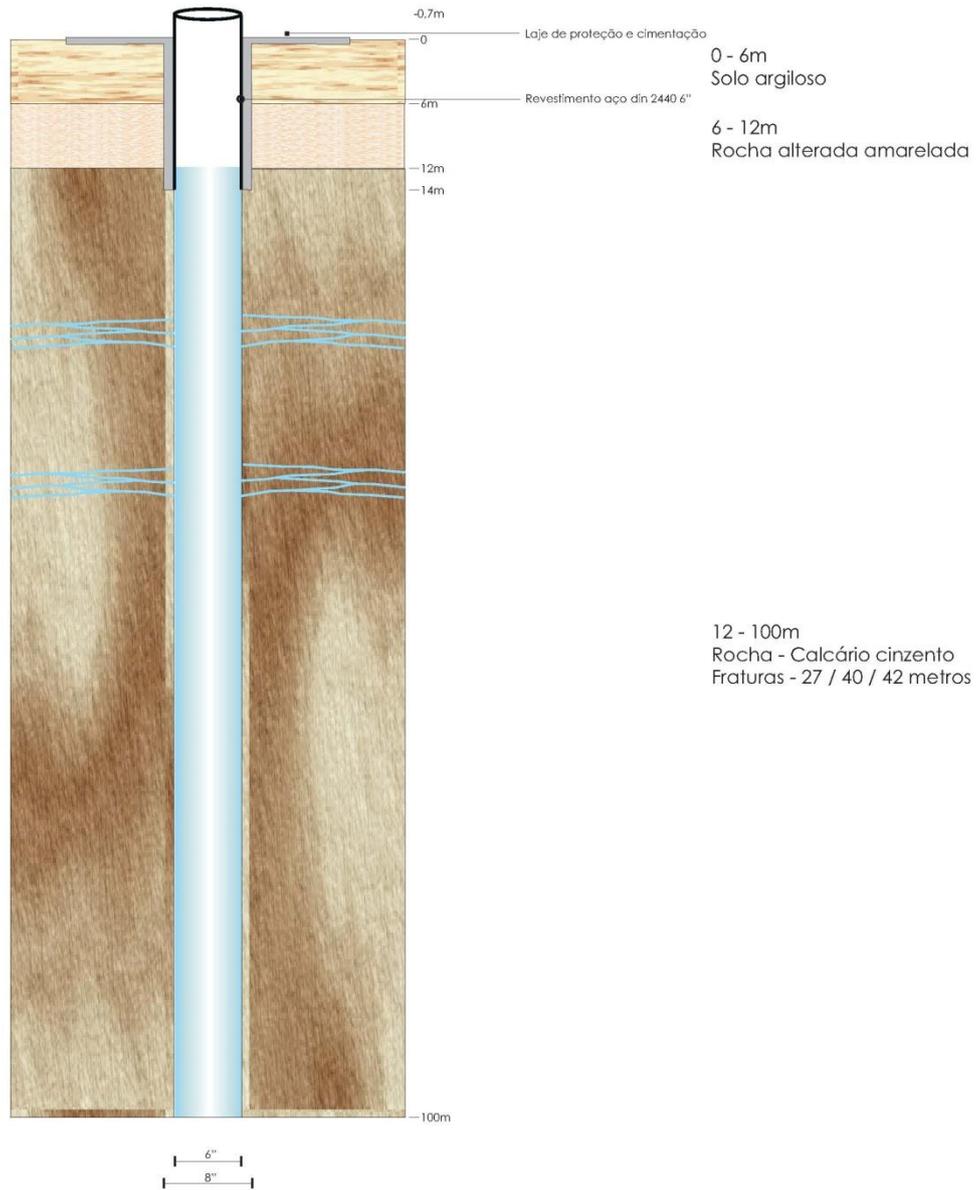
Equipe de fiscalização: Humberto

11.2.2. Poço de Taquarussu

		RELATÓRIO FINAL DE POÇO		CIDADE Novo Alegre - TO			
				POÇO Nº POÇO 1			
LOCAL Taquarussu – Novo Alegre -TO			CONTRATANTE Costa Ltda				
LATITUDE		LONGITUDE		COTA			
DATA DE INICIO 18/05/2.010		DATA DE TÉRMINO 20/05/2.010		EXECUTOR Trhimil			
SONDA R1H – 2		MÉTODO Rotopneumático		SONDADOR Leandro			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA Grupo Bambui							
COBERTURA Solo argiloso		ROCHA Calcário		AQUÍFERO Fraturado			
PERFURAÇÃO			REVESTIMENTO				
Ø(pol)	INTERVALO	PROF. DE FENDAS (m)	Ø(pol)	POSIÇÃO	TIPO		
8"	DE 0,0 A 14,0		6"	DE +0,70 A 14,0	Liso		
6"	DE 14,0 A 100,0			DE A			
	DE A			DE A			
	DE A			DE A			
TOTAL – 100,0 metros				DE A			
ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO				DE A			
TUBO: Aço din 2440 6"				DE A			
FILTRO:				DE A			
				DE A			
LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT/QUANT.) 1,0 x 1,0 x 0,20				DE A			
				DE A			
TUBO P/ REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./ Ø / COMP.)				DE A			
			TOTAL DE TUBO: 14,70		TOTAL DE FILTRO:		
COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)							
MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)				POSIÇÃO	QUANTIDADE		
Cimentação / Fragmento de rocha				DE 0,0 A 14,0	14,0m		
				DE A			
				DE A			
DESENVOLVIMENTO			DESINFECÇÃO/REMOÇÃO DE BENTONITA				
MÉTODO	TEMPO (h)		PRODUTO QUÍMICO		QUANT (kg)		
Air lift	Durante Perfuração		10		kg		
TESTE DE BOMBEAMENTO							
TESTE	DATA	EQUIPAMENTO	TEMPO (h)	PROF.(m)	N.E (m)	N.D (m)	VAZÃO(l/h)
01	20/05/10	Compressor Chicago	6	90			18.000
02	03/07/10	Bomba submersa	24	64	11,85	15,84	8.129
RESPONSÁVEL TÉCNICO					DATA 03 de agosto de 2010		



Cliente: Costa Consultoria e Serviços Técnicos Ambientais Ltda
Poço Tubular Profundo
Local: Taquarussu - Zona Rural - Novo Alegre
Município: Novo Alegre - TO





TESTE DE BOMBEAMENTO Aqüífero Cárstico			CIDADE Novo Alegre-TO
			POÇO Nº Cadastro nº
LOCAL Taquarussu	DATA 03/07/2010	DIÂMETRO 6"	PROFUNDIDADE 100,0m
NÍVEL ESTÁTICO (NE) 11,85m	NÍVEL DINÂMICO (ND) 15,84m	VAZÃO 8.129 l/h	SALIÊNCIA 0,82m+0,75m=
EQUIPAMENTO DE TESTE Bomba Ebara B7-07 3cv 220V			HORA DE INÍCIO 11:00h
TUBO E EXTRAÇÃO DA ÁGUA COMPRIMENTO: 64,0m DIÂMETRO: 1 1/2 "		COORDENADAS Lat: Long: Cota: m	

REBAIXAMENTO DO NÍVEL DA ÁGUA								RECUPERAÇÃO	
Tempo (min)	Hora Local	N.D. Medido(m)	N.D. Real(m)	Rebaixam (m)	Tempo (s)	Vazão Q (l/h)	Obs.:	Tempo (min)	N.A (m)
1	11:01	13,37		1,52	73,0	10.356		1	13,06
2	11:02	14,14		0,77	xxx			2	12,74
3	11:03	14,57		0,43	87,0	8.690		3	12,61
4	11:04	14,80		0,23	xxx			4	12,55
5	11:05	15,14		0,34	90,0	8.400		5	12,53
6	11:06	15,17		0,03	90,0	8.400		6	12,52
8	11:08	15,22		0,05	90,0	8.400		8	12,52
10	11:10	15,27		0,05	90,0	8.400		10	12,51
12	11:12	15,28		0,01	90,0	8.400		12	12,50
15	11:15	15,32		0,04	90,0	8.400		15	12,47
20	11:20	15,33		0,01	90,0	8.400		20	12,45
25	11:25	15,33		0,00	90,0	8.400		25	12,44
30	11:30	15,33		0,00	90,0	8.400		30	12,42
40	11:40	15,33		0,00	90,0	8.400		40	12,39
50	11:50	15,33		0,00	93,0	8.129		50	12,39
60	12:00	15,33		0,00	93,0	8.129		60	12,38
80	12:20	15,33		0,00	93,0	8.129		80	12,37
100	12:40	15,33		0,00	93,0	8.129		100	12,36
120	13:00	15,33		0,00	93,0	8.129		120	12,35
150	13:30	15,33		0,00	93,0	8.129		150	12,34
180	14:00	15,36		0,03	93,0	8.129		180	12,32
210	14:30	15,36		0,00	93,0	8.129		210	12,31
240	15:00	15,40		0,04	93,0	8.129		240	12,30
300	16:00	15,46		0,06	93,0	8.129		300	12,27
360	17:00	15,49		0,03	93,0	8.129		360	12,25
420	18:00	15,58		0,09	93,0	8.129		420	12,25
480	19:00	15,58		0,00	93,0	8.129		480	12,25
540	20:00	15,58		0,00	93,0	8.129		540	12,23
660	22:00	15,67		0,09	93,0	8.129		660	12,19
780	00:00	15,72		0,05	93,0	8.129		780	12,17
900	02:00	15,78		0,06	93,0	8.129		900	12,15
1080	05:00	15,84		0,06	93,0	8.129		1080	12,14
1260	08:00	15,84		0,00	93,0	8.129		1260	12,14
1440	11:00	15,84		0,00	93,0	8.129		1440	12,14

Equipe de execução: Wilkerson e Antonio Gomes.

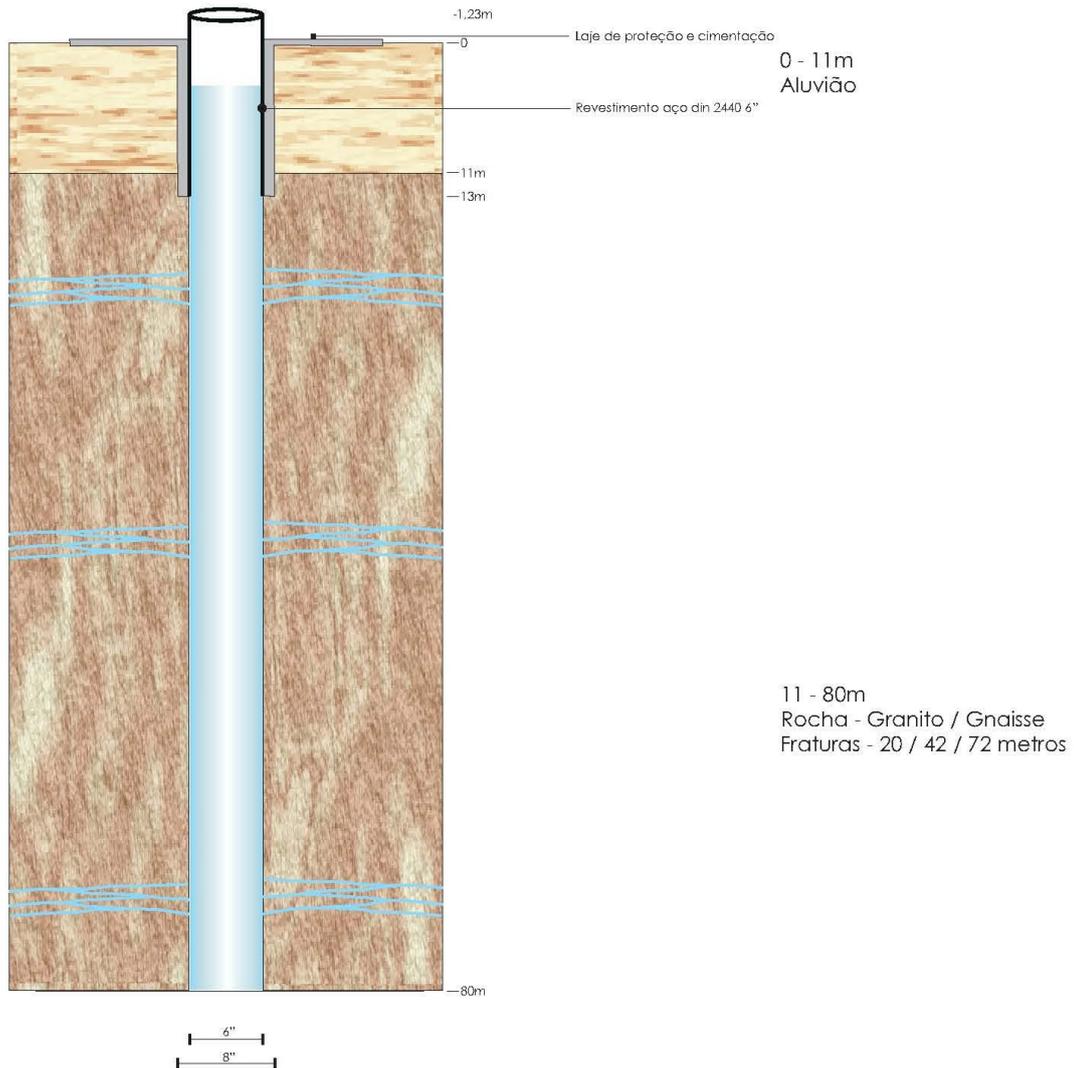
Equipe de fiscalização: Humberto

11.2.3. Poço de Pindorama

	RELATÓRIO FINAL DE POÇO			CIDADE Pindorama - TO			
				POÇO Nº POÇO 1			
LOCAL Zona Rural – Pindorama -TO			CONTRATANTE Costa Ltda				
LATITUDE 11°11'36,5"		LONGITUDE 47°40'52,3"		COTA			
DATA DE INÍCIO 25/05/2.010		DATA DE TÉRMINO 29/05/2.010		EXECUTOR Trhimil			
SONDA R1H – 2		MÉTODO Rotopneumático		SONDADOR Leandro			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA Complexo Goiano							
COBERTURA Aluvião		ROCHA Gnaiss		AQUÍFERO Fraturnado			
PERFURAÇÃO			REVESTIMENTO				
Ø(pol)	INTERVALO	PROF. DE FENDAS (m)	Ø(pol)	POSIÇÃO	TIPO		
8"	DE 0,0 A 13,0		6"	DE +1,23 A 13,0	Liso		
6"	DE 13,0 A 80,0			DE A			
	DE A			DE A			
	DE A			DE A			
TOTAL – 80,0 metros				DE A			
ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO				DE A			
TUBO: Aço din 2440 6"				DE A			
FILTRO:				DE A			
				DE A			
LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT/QUANT.)				DE A			
1,0 x 1,0 x 0,20				DE A			
				DE A			
TUBO P/ REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./ Ø / COMP.)				DE A			
			TOTAL DE TUBO: 14,23	TOTAL DE FILTRO:			
COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)							
MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)				POSIÇÃO		QUANTIDADE	
Cimentação / Fragmento de rocha				DE 0,0 A 13,0		13,0m	
				DE A			
				DE A			
DESENVOLVIMENTO			DESINFECÇÃO/REMOÇÃO DE BENTONITA				
MÉTODO		TEMPO (h)	PRODUTO QUÍMICO		QUANT (kg)		
Air lift		Durante Perfuração	10		kg		
TESTE DE BOMBEAMENTO							
TESTE	DATA	EQUIPAMENTO	TEMPO (h)	PROF.(m)	N.E (m)	N.D (m)	VAZÃO(l/h)
01	29/05/10	Compressor Chicago	6	70			1.000
02	30/06/10	Bomba submersa	24	48	3,65	39,84	1.804
RESPONSÁVEL TÉCNICO					DATA 03 de agosto de 2010		



Cliente: Costa Consultoria e Serviços Técnicos Ambientais Ltda
Poço Tubular Profundo
Local: Zona Rural - Pindorama
Município: Pindorama - TO





TESTE DE BOMBEAMENTO Aqüífero Cristalino			CIDADE Pindorama-TO
			POÇO N° Cadastro n°
LOCAL Zona Rural	DATA 30/06/2010	DIÂMETRO 6"	PROFUNDIDADE 80,0m
NÍVEL ESTÁTICO (NE) 03,65m	NÍVEL DINÂMICO (ND) 39,84m	VAZÃO 1.804 l/h	SALIÊNCIA 1,23m
EQUIPAMENTO DE TESTE Bomba Ebara 4R4-09 – 1cv 220V			HORA DE INÍCIO 13:30h
TUBO E EXTRAÇÃO DA ÁGUA COMPRIMENTO: 48,0m DIÂMETRO: 1 1/2"		COORDENADAS Lat: 11° 11' 36,5" Long: 47° 40' 52,3" Cota: m	

REBAIXAMENTO DO NÍVEL DA ÁGUA								RECUPERAÇÃO	
Tempo (min)	Hora Local	N.D. Medido(m)	N.D. Real(m)	Rebaixam (m)	Tempo (s)	Vazão Q (l/h)	Obs.:	Tempo (min)	N.A (m)
1	13:31	4,92		1,27				1	38,83
2	13:32	6,47		1,55				2	37,37
3	13:33	7,93		1,46				3	35,56
4	13:34	8,70		0,77	240,0	3.150		4	33,77
5	13:35	10,11		1,41				5	31,91
6	13:36	11,98		1,87				6	30,16
8	13:38	13,77		1,79	295,0	2.563		8	26,61
10	13:40	15,82		2,05	298,0	2.537		10	23,44
12	13:42	18,30		2,48	310,0	2.439		12	20,50
15	13:45	19,92		1,62	319,0	2.370		15	16,74
20	13:50	23,05		3,13	331,0	2.284		20	12,36
25	13:55	25,23		2,18	352,0	2.148		25	9,44
30	14:00	27,06		1,83	370,0	2.043		30	7,69
40	14:10	29,39		2,33	372,0	2.032		40	5,90
50	14:20	31,92		2,53	372,0	2.032		50	5,22
60	14:30	32,30		0,38	372,0	2.032		60	4,79
80	14:50	34,57		2,27	377,0	2.005		80	4,44
100	15:10	36,19		1,62	380,0	1.989		100	4,12
120	15:30	36,26		0,07	384,0	1.969		120	4,07
150	16:00	36,48		0,22	389,0	1.943		150	3,99
180	16:30	37,01		0,53	392,0	1.928		180	3,93
210	17:00	37,06		0,05	394,0	1.919		210	3,90
240	17:30	37,10		0,04	397,0	1.904		240	3,85
300	18:30	38,40		1,30	401,0	1.885		300	3,80
360	19:30	39,30		0,90	418,0	1.809		360	
420	20:30	39,72		0,42	419,0	1.804		420	
480	21:30	39,72		0,00	419,0	1.804		480	
540	22:30	39,77		0,05	419,0	1.804		540	
660	00:30	39,84		0,07	419,0	1.804		660	
780	02:30	39,84		0,00	419,0	1.804		780	
900	04:30	39,84		0,00	419,0	1.804		900	
1080	07:30	39,84		0,00	419,0	1.804		1080	
1260	10:30	39,84		0,00	419,0	1.804		1260	
1440	13:30	39,84		0,00	419,0	1.804		1440	

Equipe de execução: Wilkerson e Antonio Gomes.

Equipe de fiscalização: Humberto

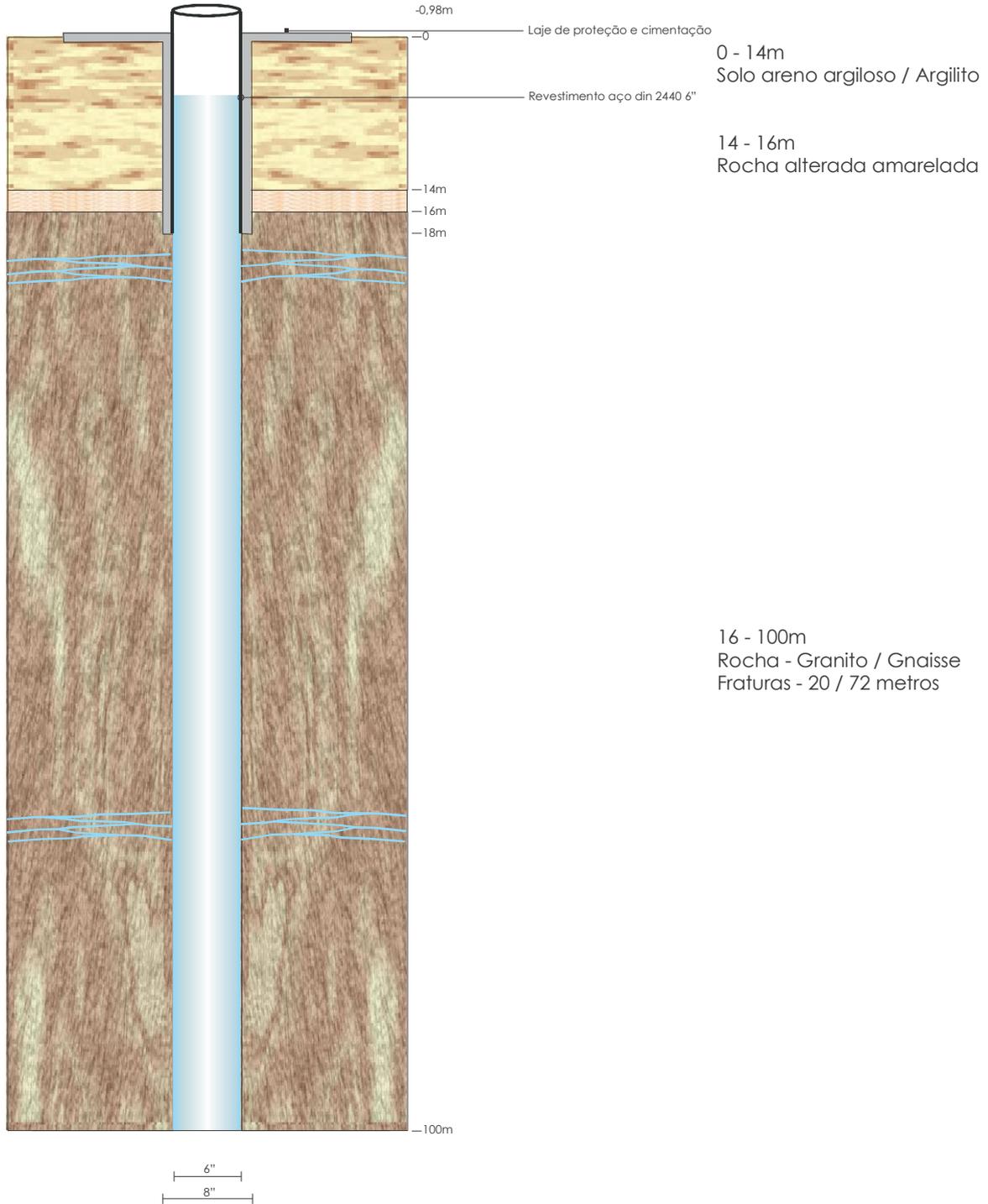
11.2.4. Poço de Paranã



RELATÓRIO FINAL DE POÇO				CIDADE Paraná - TO			
				POÇO Nº POÇO 1			
LOCAL Zona Urbana – Paranã -TO				CONTRATANTE Costa Ltda			
LATITUDE 8.603.330		LONGITUDE 23 L 188.731		COTA 282			
DATA DE INICIO 19/07/2.010		DATA DE TÉRMINIO 20/07/2.010		EXECUTOR Trhimil			
SONDA RIH – 2		MÉTODO Rotopneumático		SONDADOR Leandro			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA Complexo Goiano							
COBERTURA Material areno argiloso		ROCHA Gnaisse		AQUÍFERO Fraturado			
PERFURAÇÃO				REVESTIMENTO			
Ø(pol)	INTERVALO	PROF. DE FENDAS (m)		Ø(pol)	POSIÇÃO	TIPO	
8"	DE 0,0 A 18,0			6"	DE +0,98 A 18,0	Liso	
6"	DE 18,0 A 100,0				DE A		
	DE A				DE A		
	DE A				DE A		
TOTAL – 100,0 metros					DE A		
ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO					DE A		
TUBO: Aço din 2440 6"					DE A		
FILTRO:					DE A		
					DE A		
LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT/QUANT.)					DE A		
1,0 x 1,0 x 0,20					DE A		
					DE A		
TUBO P/ REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./ Ø / COMP.)					DE A		
				TOTAL DE TUBO: 18,98		TOTAL DE FILTRO:	
COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)							
MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)					POSIÇÃO		QUANTIDADE
Cimentação / Fragmento de rocha					DE 0,0 A 18,0		18,0m
					DE A		
					DE A		
DESENVOLVIMENTO				DESINFECÇÃO/REMOÇÃO DE BENTONITA			
MÉTODO		TEMPO (h)		PRODUTO QUÍMICO		QUANT (kg)	
Air lift		Durante Perfuração		10		kg	
TESTE DE BOMBEAMENTO							
TESTE	DATA	EQUIPAMENTO	TEMPO (h)	PROF.(m)	N.E (m)	N.D (m)	VAZÃO(l/h)
01	20/07/10	Compressor Chicago	6	90			4.000
02	23/07/10	Bomba submersa	24	72	7,58	71,80	3.979
RESPONSÁVEL TÉCNICO					DATA 03 de agosto de 2010		



Cliente: Costa Consultoria e Serviços Técnicos Ambientais Ltda
Poço Tubular Profundo
Local: Zona Urbana - Paranã
Município: Paranã - TO





TESTE DE BOMBEAMENTO Aqüífero Cristalino			CIDADE Paraná-TO
			POÇO N° Cadastro n°
LOCAL Zona Urbana	DATA 23/07/2010	DIÂMETRO 6"	PROFUNDIDADE 100,0m
NÍVEL ESTÁTICO (NE) 07,58m	NÍVEL DINÂMICO (ND) 71,80m	VAZÃO 3.979 l/h	SALIÊNCIA 0,98m
EQUIPAMENTO DE TESTE Bomba Ebara 4R4-09 – 2cv 380V			HORA DE INÍCIO 13:30h
TUBO E EXTRAÇÃO DA ÁGUA COMPRIMENTO: 72,0m DIÂMETRO: 1 1/2"		COORDENADAS Lat: 8.603.330 Long: 23 L 0188731 Cota: 282m	

REBAIXAMENTO DO NÍVEL DA ÁGUA								RECUPERAÇÃO	
Tempo (min)	Hora Local	N.D. Medido(m)	N.D. Real(m)	Rebaixam (m)	Tempo (s)	Vazão Q (l/h)	Obs.:	Tempo (min)	N.A (m)
1	07:31	13,00		5,42				1	64,41
2	07:32	16,60		3,60	115	6.574		2	59,61
3	07:33	19,48		2,88				3	56,00
4	07:34	21,75		2,27	117	6.462		4	52,41
5	07:35	23,63		1,88				5	48,69
6	07:36	24,19		0,56	119	6.353		6	45,50
8	07:38	27,88		3,69	122	6.196		8	38,07
10	07:40	29,69		1,81	124	6.097		10	31,04
12	07:42	31,99		1,70	126	6.000		12	25,69
15	07:45	33,67		2,28	127	5.953		15	20,53
20	07:50	39,22		5,55	130	5.815		20	16,80
25	07:55	43,80		4,58	133	5.684		25	15,43
30	08:00	48,01		4,21	136	5.559		30	14,72
40	08:10	55,72		7,71	144	5.250		40	13,56
50	08:20	60,93		5,21	149	5.074		50	13,27
60	08:30	62,61		1,68	153	4.941		60	12,96
80	08:50	63,81		1,20	164	4.610		80	12,73
100	09:10	65,06		1,25	169	4.473		100	12,31
120	09:30	67,10		2,04	180	4.200		120	12,06
150	10:00	68,87		1,77	180	4.200		150	11,72
180	10:30	69,37		0,50	180	4.200		180	11,43
210	11:00	69,68		0,31	182	4.154		210	11,19
240	11:30	69,90		0,22	182	4.154		240	10,89
300	12:30	70,15		0,25	182	4.154		300	10,59
360	13:30	70,40		0,25	190	3.979		360	10,36
420	14:30	70,79		0,39	190	3.979		420	10,07
480	15:30	70,96		0,17	190	3.979		480	09,83
540	16:30	71,11		0,15	190	3.979		540	09,66
660	18:30	71,31		0,20	190	3.979		660	09,36
780	20:30	71,40		0,09	190	3.979		780	09,10
900	22:30	71,51		0,11	190	3.979		900	08,89
1080	01:30	71,65		0,14	190	3.979		1080	08,67
1260	04:30	71,80		0,15	190	3.979		1260	08,50
1440	07:30	71,80		0,00	190	3.979		1440	08,37

Equipe de execução: Wilkerson e Antonio Gomes.

Equipe de fiscalização: Humberto

12. ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

A tabela 7.3 do capítulo 7 mostrou a relação dos poços testados com respectiva localização e dados do poço como profundidade, níveis estático e dinâmico e vazão. Os poços foram testados obedecendo às especificações técnicas da ABNT e de conformidade com os Termos de Referência e proposta da Contratada.

Foram efetuados ensaios de bombeamento nos aquíferos/aquitardos Pimenteiras, Pimenteiras/Serra Grande, Cabeças/Pimenteiras, Poti/Piauí e Urucuaia, entretanto em nenhum deles pôde ser avaliado o coeficiente de armazenamento por não ter sido possível utilizar um poço de observação.

O método de interpretação utilizado foi o de Cooper-Jacob in Feitosa et al, que pode ser utilizado em regime transitório tanto para aquíferos confinados ou semi-confinados como para aquíferos livres, desde que, para estes, o rebaixamento produzido pelo bombeamento seja pequeno (<25%) em relação à espessura saturada, como ocorreu em todos os ensaios executados

A equação de Jacob para os casos em que u é muito pequeno ($u < 0,01$) reduziu a equação de Theis à seguinte expressão:

$$s = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (1)$$

Onde:

s = rebaixamento a uma distância r do poço bombeado

Q = vazão de bombeamento

T = transmissividade

t = tempo de bombeamento

r = distância do poço bombeado a um poço de observação

S = coeficiente de armazenamento

A equação (1) pode ser escrita da seguinte maneira:

$$s = \frac{0,183Q}{T} \left(\log \frac{2,25T}{r^2 S} + \log t \right) \quad (2)$$

A expressão anterior é a equação de uma reta na forma $y = a \log x + b$, onde a é o coeficiente angular dado pela $tg \alpha$. Assim:

$$tg \alpha = a = \frac{s_2 - s_1}{\log t_2 - \log t_1} \log \frac{\Delta s}{\log(t_2/t_1)} \quad (3)$$

Como $a = \frac{0,183Q}{T}$, tirando-se o valor de T , vem:

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \log \frac{t_2}{t_1} \quad (4)$$

Para um ciclo logarítmico, t_2/t_1 é sempre igual a 10 (dez) e, conseqüentemente, o $\log t_2/t_1$ é sempre igual a 1 (um). Logo, para um ciclo logarítmico o coeficiente angular da reta é sempre igual à variação do rebaixamento, e a equação (4) passa a ser:

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \quad (5)$$

Onde:

T = coeficiente de transmissividade [L^2T^{-1}]

Q = vazão de bombeamento [L^3T^{-1}]

Δs = variação do rebaixamento tomado num ciclo logarítmico [L]

t_1 = tempo correspondente ao rebaixamento s_1 [T]

t_2 = tempo correspondente ao rebaixamento s_2 [T]



Figura 12.1 – Equipe de testes se preparando para iniciar a instalação da bomba para realização do teste de bombeamento



Figura 12.2 – Teste expedito para dimensionar a bomba a utilizar



Figura 12.3 – Detalhe do tubo de escoamento e régua de medição da pressão

As equações das retas apresentadas nas figuras D.1 a D.20 do Anexo D foram utilizadas para avaliação do coeficiente de transmissividade através da equação (5).

Para avaliação da condutividade hidráulica foi dividido o valor da transmissividade pela espessura do aquífero atravessada pelo poço.

Os resultados sumarizados dos ensaios de bombeamento são mostrados na tabela 121. Como podem ser observados os valores dos coeficientes de transmissividade e condutividade hidráulica apresentaram os seguintes valores:

Tabela 12.1 - Resultados dos testes de aquíferos realizados

Nº ordem	Nº cadastro	Local	Município	Aquífero	b	T (m ² /s)	K (m/s)
1	564	Faculdade Católica do Tocantins	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	264	2,08x10 ⁻⁴	8,01x10 ⁻⁷
2	587	Palacinho	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	280	1,35x10 ⁻⁴	4,85x10 ⁻⁷
3	511	Hotel Pousada dos Girassóis	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	220	9,84x10 ⁻⁴	4,40x10 ⁻⁶
4	557	1º Batalhão Polícia Militar	Palmas	Pimenteiras	222	1,16x10 ⁻⁴	5,0x10 ⁻⁷
5	454	Rancho Diamante	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	280	2,91x10 ⁻⁴	1,04x10 ⁻⁶
6	566	Residência Oficial do Governo	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	280	7,36x10 ⁻⁵	2,63x10 ⁻⁷
7	627	Chácara Vila Boa	Palmas	Pimenteiras	100	2,07x10 ⁻⁴	2,07x10 ⁻⁶
8	559	Hospital Geral de Palmas	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	120	1,39x10 ⁻⁴	1,16x10 ⁻⁶
9	687	Chácara Sulamericana	Palmas	Pimenteiras	50	4,79x10 ⁻⁵	5,53x10 ⁻⁷
10	686	ASRSE	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	138	2,28x10 ⁻⁵	2,64x10 ⁻⁷
11	422	Chácara do Darcy - Taquaralto	Palmas	Pimenteiras/Serra Grande	233	1,56x10 ⁻⁵	1,8x10 ⁻⁷
12	561	CEAC-Centro Espírita - Taquaralto	Palmas	Pimenteiras	164	4,29x10 ⁻⁶	4,95x10 ⁻⁸
13	569	Chácara da GAIA	Palmas	Pimenteiras	186	4,81x10 ⁻⁴	5,55x10 ⁻⁶
14	272	Faz. Água Limpa - D.Cícera	Lagoa do Tocantins	Cabeças/Pimenteiras	81	5,14x10 ⁻⁵	5,94x10 ⁻⁷
15	363	Faz. Águas de Março - João Moreira	Novo Acordo	Cabeças/Pimenteiras	98	5,21x10 ⁻⁴	5,11x10 ⁻⁶
16	303	Comunidade Mumbuca	Mateiros	Uruçua	100	8,17x10 ⁻⁴	8,17x10 ⁻⁶
17	750	Prodecer	Pedro Afonso	Pimenteiras	165	2,46x10 ⁻⁴	2,84x10 ⁻⁶
18	952	Faz. Rio Grande - Ricardo	Rio Sono	Poti/Piauí	92	1,91x10 ⁻⁴	2,21x10 ⁻⁶
19	947	Estação Monsoy	Porto Nacional	Pimenteiras	132	2,47x10 ⁻⁵	2,85x10 ⁻⁷
20	968	Assentamento TEIMA	Santa Tereza	Pimenteiras	87	2,71x10 ⁻⁴	3,12x10 ⁻⁶

Da tabela 12.1 podem-se observar os seguintes valores para os diversos aquíferos ou conjuntos de dois aquíferos:

a) Aquitardo Pimenteiras (oito testes)

- Coeficiente de transmissividade: variou entre $4,29 \times 10^{-6}$ e $4,81 \times 10^{-4}$ m²/s
T médio = $1,64 \times 10^{-4}$ m²/s
- Condutividade hidráulica: variou entre $4,95 \times 10^{-8}$ e $5,55 \times 10^{-6}$ m/s
K médio = $1,8 \times 10^{-6}$ m/s

b) Aquitardo Pimenteiras/Aquífero Serra Grande (oito testes)

- Coeficiente de transmissividade: variou entre $1,56 \times 10^{-5}$ e $9,84 \times 10^{-4}$ m²/s
T médio = $2,34 \times 10^{-4}$ m²/s
- Condutividade hidráulica: variou entre $1,80 \times 10^{-7}$ e $4,40 \times 10^{-6}$ m/s
K médio = $1,0 \times 10^{-6}$ m/s

c) Aquífero Cabeças/Aquitardo Pimenteiras (dois testes)

- Coeficiente de transmissividade: variou entre $5,14 \times 10^{-5}$ e $5,21 \times 10^{-4}$ m²/s
T médio = $2,86 \times 10^{-4}$ m²/s
- Condutividade hidráulica: variou entre $5,94 \times 10^{-7}$ e $5,11 \times 10^{-6}$ m/s
K médio = $2,8 \times 10^{-6}$ m/s

d) Aquífero Poti/Piauí (teste único)

- Coeficiente de transmissividade: $1,91 \times 10^{-4}$ m²/s
- Condutividade hidráulica: $2,21 \times 10^{-6}$ m/s

e) Aquífero Urucua (teste único)

- Coeficiente de transmissividade: $8,17 \times 10^{-4}$ m²/s
- Condutividade hidráulica: $8,17 \times 10^{-6}$ m/s

Uma comparação com os dados hidrodinâmicos dos aquíferos da bacia do Parnaíba no Estado do Piauí, onde foram executados mais de cem testes em diversas localidades ao longo de décadas de estudo será feita a seguir.

Devem ser levados em consideração nessa comparação os seguintes condicionantes de execução:

- a) No Piauí se dispõe de testes executados em cada aquífero ou aquífero de forma isolada, enquanto em Palmas, grande parte dos poços estava captando simultaneamente dois aquíferos
- b) O número de testes já executados no Piauí foi de mais de uma centena o que confere maior segurança na avaliação de valores médios
- c) Em Tocantins, como foi mencionado o nível de informações advindo dos poços cadastrados é muito falho, inexistindo perfis geológicos em quase todos os poços, o que não ocorre no Estado do Piauí

Tabela 12.2 – Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos da Bacia do Parnaíba no Estado do Piauí

Aquíferos ou Aquíferos	Coeficientes hidrodinâmicos	Valores		
		Mínimo	Máximo	Médio
Serra Grande	Transmissividade	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$5,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$9,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
	Condutividade	$1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	$3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Pimenteiras	Transmissividade	$4,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
	Condutividade	$5,1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$6,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Poti/Piauí	Transmissividade	$6,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
	Condutividade	$3,3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	$3,1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$8,4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Cabeças	Transmissividade	$1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$5,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
	Condutividade	$6,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	$2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	$5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Pedra de Fogo	Transmissividade	$8,4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$	$2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
	Condutividade	$2,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	$1,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Sambaíba	Transmissividade	$9,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$2,8 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
	Condutividade	$1,3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$3,6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	$1,9 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
Aluvial	Transmissividade	$1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$9,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
	Condutividade	$8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

Para o aquífero Pimenteiras, os valores de transmissividade encontrados em Palmas são compatíveis com aqueles encontrados no Piauí, ou seja, apenas duas vezes menor - $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Palmas) contra $3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Piauí).

Ao que tudo indica todos os poços testados foram apenas no aquífero Pimenteiras. Nos poços em que ocorria o aquífero Pimenteiras e uma reduzida camada de aquífero Serra Grande houve uma ligeira melhora nos parâmetros hidrodinâmicos, com média de $2,34 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ para a transmissividade e $2,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ para condutividade hidráulica. Essa pouca sensível melhora mostra o quanto reduzida é a participação do aquífero Serra Grande por sua ínfima participação em espessura, em relação ao aquífero Pimenteiras.

Quanto ao sistema aquífero Poti/Piauí não houve muita semelhança entre os valores encontrados no único teste realizado em Palmas com os valores médios dos coeficientes de transmissividade e condutividade hidráulica desse sistema aquífero no Piauí. Com efeito, em Palmas o teste acusou uma transmissividade de $1,91 \cdot 10^{-4}$ m²/s contra o valor médio de $2,1 \cdot 10^{-3}$ m²/s do Piauí e a condutividade hidráulica em Palmas ficou em $2,21 \cdot 10^{-6}$ m/s contra $8,4 \cdot 10^{-6}$ m/s no Piauí. De qualquer forma, considerando a faixa de variação desses parâmetros ocorrida no Piauí, os valores encontrados em Palmas são perfeitamente coerentes.

Dessa maneira, serão considerados como valores representativos para a avaliação quantitativa das reservas hídricas, objeto do capítulo seguinte deste relatório, os seguintes valores médios dos coeficientes de transmissividade (T), condutividade hidráulica (K) e armazenamento (S):

Tabela 12.3 – Parâmetros hidrodinâmicos médios das formações sedimentares da região sudeste do Estado do Tocantins

AQUÍFERO OU AQUITARDO	PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS		
	T (m ² /s)	K (m/s)	S (adimensional)
Serra Grande	$9,1 \times 10^{-3}$	$5,3 \times 10^{-5}$	$4,2 \times 10^{-4}$
Pimenteiras	$3,2 \times 10^{-4}$	$6,3 \times 10^{-6}$	$6,0 \times 10^{-4}$
Cabeças	$1,0 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-5}$	$7,6 \times 10^{-4}$
Longá	$7,8 \times 10^{-5}$	$7,4 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-4}$
Poti/Piauí	$2,1 \times 10^{-3}$	$8,4 \times 10^{-6}$	$3,1 \times 10^{-4}$
Pedra de Fogo	$1,0 \times 10^{-3}$	$9,0 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-3}$
Sambaíba	$1,4 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$
Urucuia	$8,2 \times 10^{-4}$	$8,2 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-4}$
Aluvial-coluvial	$1,6 \times 10^{-2}$	$8,0 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-2}$

13. PERFILAGENS ÓPTICA E ELÉTRICA COM RAIOS GAMA

Foi selecionada uma relação de 22 poços existentes em Palmas para serem perfilados (tabela 13.1). Eles foram escolhidos entre aqueles que obedeciam a premissa de serem abertos ou então revestidos com tubulação de PVC.

Tabela 13.1 – Poços selecionados para realização de perfilagens elétricas

Poços com perfilagem elétrica e óptica						
Nº cadastro	Local	UTM-NS	UTM-EO	Cota	Prof.	N.E.
499	Palacio Araguaia - Poço norte 1	8.873.381	792.158	274	300	49,92
564	Faculdade Católica do Tocantins	8.863.378	792.297	243	286	19,88
587	Palacinho	8.873.576	795.494	299	300	18,21
375	APAE	8.868.638	793.442	281	215	32,23
620	DETRAN	8.875.358	792.783	286	300	55,58
407	Investico	8.846.043	792.694	282	280	15,67
511	Hotel Pousada dos Girassóis	8.873.718	791.948	272	260	45,09
454	Rancho Diamante	8.878.188	790.996	260	304	32,06
495	Escola Técnica Federal	8.871.322	794.632	288	300	41,99
517	Condomínio Polinésia	8.877.847	790.156	234	264	21,68
559	Hospital Geral de Palmas	8.871.636	792.027	262	300	25,63
483	Peugeot	8.868.548	792.067	262	240	35,35
557	1º Batalhão Polícia Militar	8.871.205	791.100	230	240	22,91
617	Kartródromo	8.862.167	792.652	237	228	35,19
574	CESAM	8.874.754	790.810	266	275	37,46
418	Café Paraíso	8.866.693	794.099	295	256	57,59
487	QCG-Quartel do Comando Geral	8.871.301	793.048	254	229	48,85
566	Residência Oficial do Governo	8.873.181	795.546	300	300	15,49
525	Posto Perequetê	8.868.307	794.160	301	300	65,23
627	Chácara Vila Boa	8.883.469	793.306	279	106	0
Poços com perfilagem óptica						
Nº cadastro	Local	UTM-NS	UTM-EO	Cota	Prof.	N.E.
465	CEM-Centro de Ensino Médio	8.873.938	794.244	279	270	4,64
412	Chácara Darcy	8.863.131	795.531	280	160	26,84
383	EIT	8.844.751	791.342	255		36,68
680	Jockey Club	8.863.714	795.138	267	100	

Para evitar surpresas os poços foram filmados primeiro com o intuito de se confirmar as profundidades e garantir que o poço, em principio, atingisse a Formação Serra Grande.

Desta forma, alguns poços originalmente selecionados não foram perfilados e outros não programados foram incluídos, conforme a relação abaixo:

Tabela 13.2 – Poços perfilados

Poços Perfilados em Palmas - Tocantins							
UTM EO	UTM NS	Cota	Prof.	NE	Ordem	Perfilados	Local
792226	8872866	268	300	28.64	1		Não Perfilado
792158	8873381	274	300	49.92	2	1	Palacio Araguaia - Poço Norte 1
795494	8873576	299	300	18.21	3	3	Palacinho
795546	8873181	300	300	15.49	4	18	Residência Oficial - Governo
791100	8871205	230	240	22.91	5	13	1º Batalhão - Polícia Militar
791342	8844751	255	272	36.68	6		Não Perfilado
792694	8846043	282	280	15.67	7	6	Investico
795659	8863128	283	221	16.68	8		Não Perfilado
794099	8866693	295	256	57.59	9	16	Café Paraíso
794436	8867350	304	294	53.22	10		Não Perfilado
792321	8862238	260	234	39.82	11		Não Perfilado
792027	8871636	262	300	25.63	12	11	Hospital Geral de Palmas
790996	8878188	260	304	32.06	13	8	Rancho Diamante
792652	8862167	237	228	35.19	14	14	Kartódromo
792783	8875358	286	300	55.58	15	5	Detran
790810	8874754	266	275	37.46	16	15	Cesam
790156	8877847	234	264	21.68	17	10	Condomínio Polinésia
793442	8868638	281	215	32.23	18	4	Apae
794160	8868307	301	300	65.23	19	19	Posto Perequetê
791948	8873718	272	260	45.09	20	7	Hotel Pousada Girassóis II
792067	8868548	262	240	35.35	21	12	Peugeot
794632	8871322	288	300	41.99	22	9	Escola Tecnica Federal
792297	8863378	243	286	19.88	23	2	Faculdade Católica do Tocantins
793048	8871301	254	229	48.85	24	17	QCG - Quartel Comando Geral
793306	8883469	279	106	0	25	20	Chacara Vila Boa - Jorrante

13.1. Metodologia do trabalho

Os poços abertos foram perfilados com a ferramenta Multifunção – 9043, cujos sensores aproveitados foram os de Raios Gama Naturais e a curva Lateral, calculada pelo software Display da Century a partir das curvas de Resistividades 16” e 64”

Os poços revestidos com PVC foram perfilados com a ferramenta Indução – 9511, com os sensores Raios Gama e Indução que consegue “ler” as características da formação mesmo em poços revestidos ou secos.

Foi construída uma curva padrão, baseada no estudo feito em Aparecida do Rio Negro e Lagoa do Tocantins.

A figura 13.1 mostra a interpretação do perfil corrido na localidade em questão, com as características das duas formações principais que ocorrem na região:

1. Formação Pimenteiras
2. Formação Serra Grande.

O furo de pesquisa mineral foi perfurado com sondagem rotativa a diamante com recuperação de testemunho.

Neles foi identificado o contato da Formação Pimenteiras com a Formação Serra Grande aos 170 metros de profundidade.

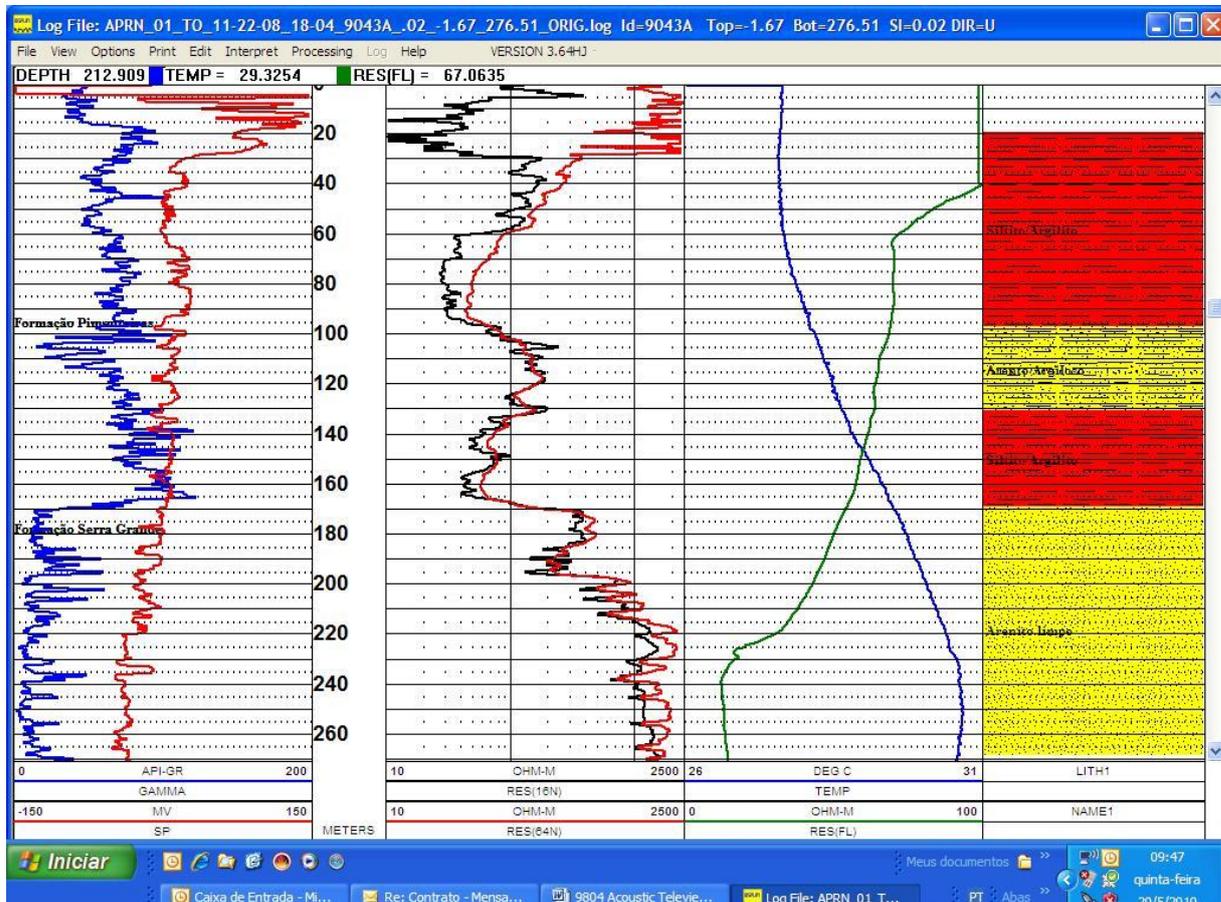


Figura 13.1 – Interpretação do perfil ocorrido em Aparecida do Rio Negro e Lagoa do Tocantins

Foi então definido um padrão geofísico para as duas formações em questão:

1. Formação Pimenteiras – Raios Gama variando de 20 a 100 °API e Resistividades de 30 Ohm-m até 200 Ohm-m no máximo. Isto significa que temos uma alternância de siltitos com arenitos argilosos;
2. Formação Serra Grande – Raios Gama inferiores da 20 e no máximo 40 °API e resistividade superior a 400 Ohm-m no topo e acima de 1000 Ohm-m na parte intermediária.

É nítida a diferença entre as duas formações o que permite uma correlação perfeita no levantamento efetuado nos poços perfilados em Palmas.

13.2. Resultados Obtidos

Foram perfilados 20 poços, filmados 24 e construídas duas seções geofísicas sendo uma norte - sul (AB) e outra este – oeste (CD), impressas pelo programa Display da Century.

De uma maneira geral os poços perfurados na cidade de Palmas apenas tocam o topo da Formação Serra Grande e param. São quase sempre abertos sem revestimento o que permitiu que as paredes dos poços fossem filmadas revelando alguns detalhes da sequência sedimentar atravessada.

Pelo fato de apenas tocarem o arenito, produtor por excelência, por vezes não conseguimos identificar o arenito pelos perfis por causa do *set up* das ferramentas.

Desta forma podemos afirmar que os poços que atingiram o aquífero confirmados foram:

1. PLM_02_TO – Poço Faculdade Católica Campus I - 265 metros;
2. PLM_03_TO – Poço Palacinho P1 - 296 metros;
3. PLM_08_TO – Poço Rancho Diamante – 275 metros;
4. PLM_10_TO – Poço Condomínio Polinésia – 258 metros;
5. PLM_11_TO – Poço Hospital Geral de Palmas – 292 metros;
6. PLM_15_TO – Poço Cesam – 257 metros;

Parece que os poços, PLM_04_TO – Poço APAE, PLM_12_TO – Poço Peugeot, PLM_18_TO – Poço Residência Oficial do Governo e PLM_20_TO – Chácara Vila Boa, atingiram o arenito Serra Grande, porém, não se tem como confirmar por não serem os perfis geofisicamente conclusivos.

A partir das interpretações efetuadas foram traçadas duas seções geofísicas, N-S e E-O, ajustando os dados dos poços em função das cotas dos vários poços nelas incluídos e se correlacionou as assinaturas digitais geofísicas características. Esses marcos geofísicos aparecem nos poços das seções correlacionados, bem como nos

poços de Aparecida do Rio Negro e Lagoa do Tocantins, também perfilado e igualmente testemunhado.

Na figura 13.2 são mostrados esses poços em mapa e a localização (em azul) das seções geofísicas apresentadas nas figuras 13.3 e 13.4. No anexo G desse relatório são mostrados todos os perfis ópticos e elétricos.

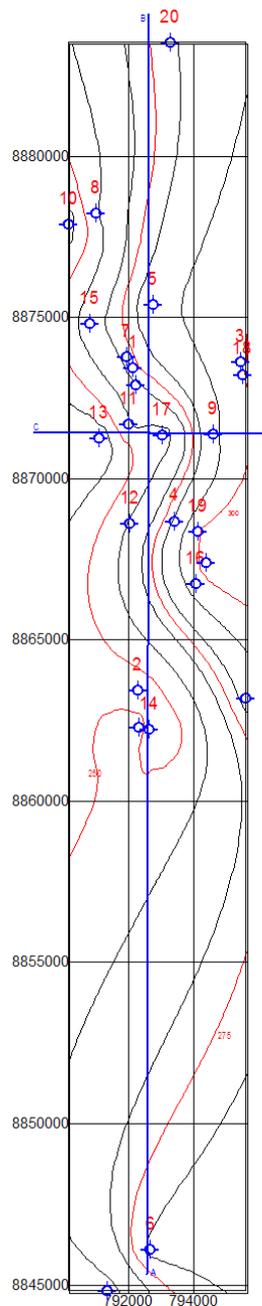
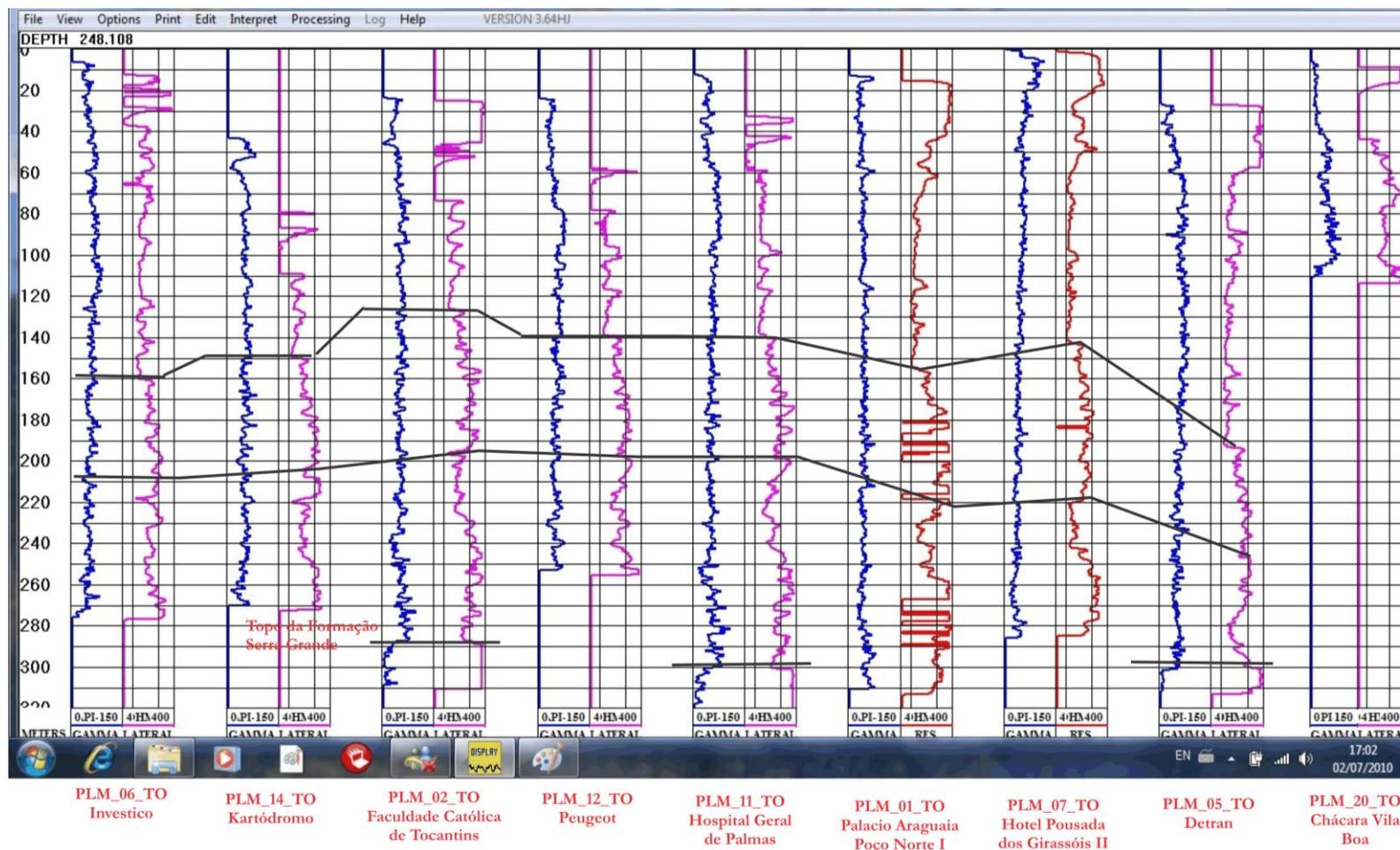
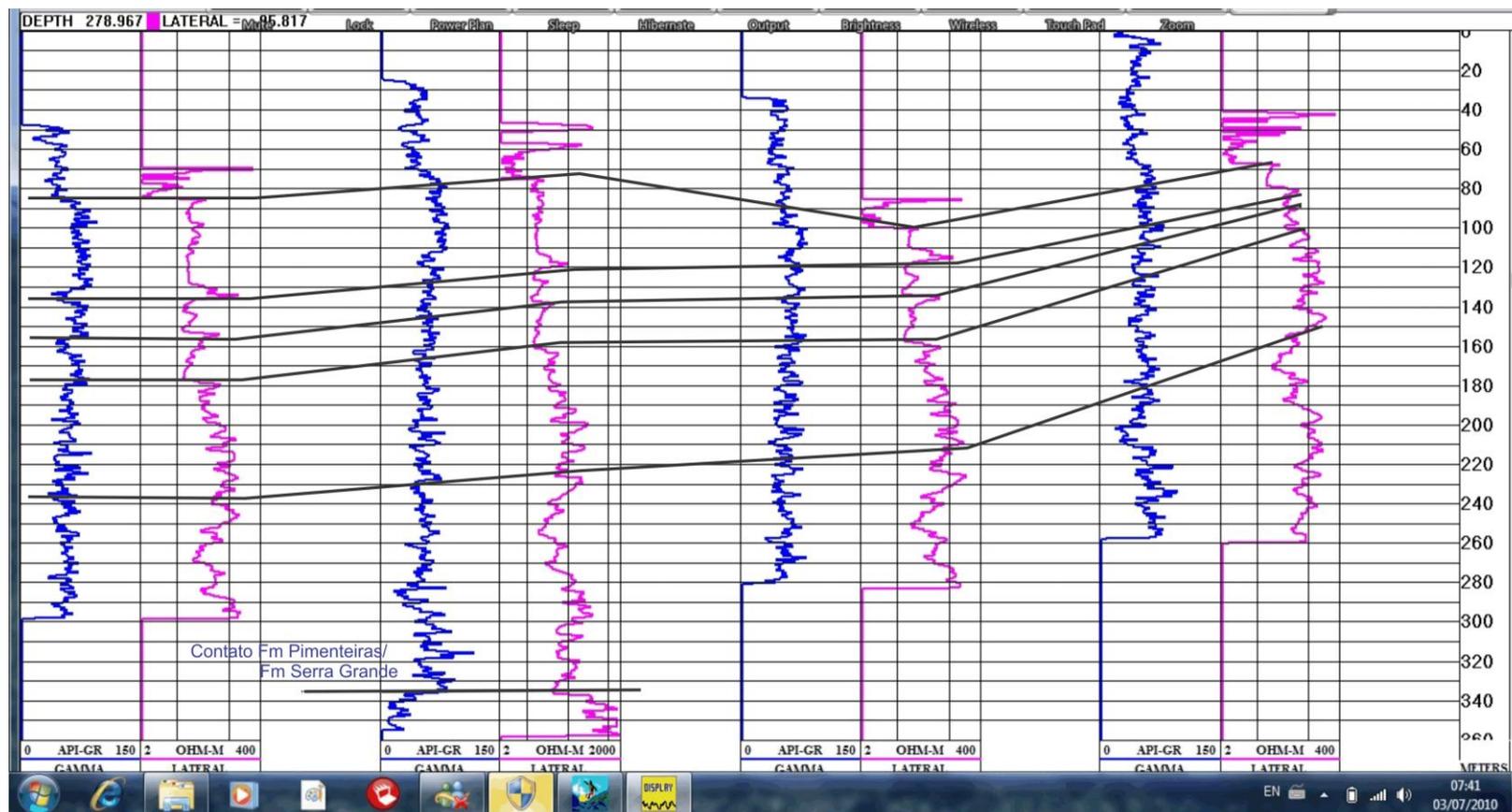


Figura 13.2 – Localização em planta baixa das sondagens com indicação das seções apresentadas nas figuras seguintes



1. Os perfis foram todos referenciados em relação à cota mais alta, no caso o poço PLM_05_TO, 286 metros.
2. As assinaturas digitais típicas dos sedimentos da Formação Pimenteiras permitiram correlacionar os estratos.
3. Os poços PLM_02, PLM_11 e PLM_05 perfuraram o topo dos arenitos da Formação Serra Grande.
4. Os perfis em azul são Raios Gama Naturais, em violeta Resistividade Lateral e em vermelho Indução.

Figura 13.3 – Seção de sondagens elétricas segundo a direção aproximada S-N (ver localização na figura 13.2)



PLM_13_TO
1º BP Militar

PLM_11_TO
Hospital G Palmas

PLM_17_TO
Quartel C Geral

PLM_09_TO
Escola Técnica Federal

1. Os perfis foram todos referenciados em relação à cota mais alta, no caso o poço PLM_09_TO, 288 metros.
2. As assinaturas digitais típicas dos sedimentos da Formação Pimenteiras permitiram correlacionar os estratos.
3. Somente o poço PLM_09 perfurou o topo dos arenitos da Formação Serra Grande.

Figura 13.4 – Seção de sondagens elétricas segundo a direção aproximada W-E (ver localização na figura 13.2)

14. AVALIAÇÃO DE RESERVAS, POTENCIALIDADES E DISPONIBILIDADES DOS AQUÍFEROS

A estimativa das reservas (permanentes e reguladoras) e das disponibilidades ou recursos exploráveis, compreendeu o desenvolvimento dos estudos de avaliação do potencial de água subterrânea dos sistemas aquíferos do Domínio Poroso (Intersticial), do Domínio Cárstico Fissural e do Domínio Fissural da região sudeste do Estado de Tocantins.

Um dos aspectos mais controvertidos da hidrogeologia é o da conceituação e avaliação das reservas e recursos exploráveis, principalmente quando se estende para a potencialidade e disponibilidade, que são termos aplicáveis especialmente à oferta d'água.

Considerando a heterogeneidade de conceituações a respeito dos parâmetros quantitativos dos sistemas aquíferos, apresenta-se inicialmente uma definição dos parâmetros acima indicados. O cálculo desses parâmetros geralmente quando se dispõe dos dados é realizado utilizando a terminologia proposta por COSTA (19980 e reformulada por COSTA (2005e 2010).

14.1. Conceituação das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades

14.1.1. Reservas

A quantidade de água subterrânea armazenada no meio aquífero (subsolo) e depende da porosidade efetiva, chuva, características do solo e do coeficiente de armazenamento; compreende duas parcelas: reserva permanente e reserva reguladora.

A reserva permanente ou secular é o volume de água acumulado no meio aquífero, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica. Estas reservas são compostas por águas mais antigas, associadas aos sistemas de fluxo intermediário a regional e, em geral, mais mineralizadas.

A reserva reguladora ou transitória é o volume de água acumulado no meio aquífero, variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios, correspondendo, portanto, à recarga anual do aquífero.

As reservas totais ou naturais são representadas pelo conjunto das reservas permanentes ou seculares somadas às reservas reguladoras ou transitórias, constituindo a totalidade da água presente num aquífero ou sistema aquífero.

As reservas de exploração ou recursos explotáveis correspondem, em uma primeira aproximação ou em condições de equilíbrio, às reservas reguladoras, representando a quantidade máxima de água que poderia ser explotada de um aquífero, sem riscos de prejuízos ao manancial.

A avaliação das reservas de água subterrânea dos aquíferos no estado de Tocantins considera a condição de livres ou confinados por camadas impermeáveis e/ou semipermeáveis, como também, a sua distribuição, forma de ocorrência e profundidade útil, na qual a água se apresenta em condições de exploração.

14.1.2. Reservas Permanentes

As reservas permanentes ou seculares compõem o volume de água de lenta circulação que ocupa a porosidade efetiva abaixo do nível da superfície piezométrica (freática) média.

Domínio Poroso

Para os sistemas aquíferos intersticiais (freáticos ou livres e semi-confinados ou confinados), as reservas permanentes geralmente são avaliadas quando se conhecem os seguintes parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos: área de ocorrência do aquífero, espessura saturada, porosidade efetiva, carga potenciométrica do aquífero confinado e coeficiente de armazenamento.

- para aquíferos livres em que se conhece os parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos a partir de ensaio de bombeamento com piezômetro:

$$R_{p1} = A_1 \times b \times \mu \quad (m^3) \quad (1)$$

Sendo:

- R_{p1} - reserva permanente no aquífero intersticial livre (m^3)
 A_1 - área de ocorrência do aquífero livre (m^2)
 b - espessura saturada do aquífero livre ou confinado (m)
 μ - porosidade efetiva do aquífero (adimensional)

- para aquíferos confinados ou semi-confinados, com idêntico nível de conhecimentos:

$$R_{p2} = (A_2 \times h \times S) + (A_2 \times b \times \mu) \quad (m^3) \quad (2)$$

Sendo:

- R_{p2} - reserva permanente no aquífero intersticial confinado (m^3)
 A_2 - área de ocorrência do aquífero confinado (m^2)
 h - carga potenciométrica do aquífero confinado (m)
 S - coeficiente de armazenamento do aquífero confinado (adm)

Domínio Fissural e Cárstico Fissural

Para os sistemas aquíferos fissurais e cárstico-fissurais, as reservas permanentes geralmente não são avaliadas, tendo em vista a grande variação de profundidade da zona fraturada, da heterogeneidade na distribuição das fraturas, da existência e dimensionamento de cavernas ou outras formas de dissolução cárstica e do nível de conhecimento existente na atualidade. Admite-se que as reservas permanentes sejam pelo menos 10 (dez) vezes as recargas anuais (reservas reguladoras).

14.1.3. Reservas Reguladoras

Essas reservas, também chamadas de recursos renováveis, compõem os volumes que anualmente circulam rapidamente pelo aquífero, de águas jovens e em geral vinculadas a fluxo hidrogeológico local. As reservas reguladoras correspondem ao escoamento de base dos rios.

Domínio Poroso

Em condição de equilíbrio, as Reservas Reguladoras correspondem à vazão do fluxo subterrâneo natural e a infiltração eficaz. Quando se dispõem de dados de transmissividade do aquífero e mapas potenciométricos (gradiente hidráulico e largura da frente de escoamento), as reservas reguladoras podem ser avaliadas pela VEN – vazão de escoamento natural.

$$R_r = VEN = k \times b \times l \times i \quad (m^3/ano) \quad (3)$$

Sendo:

- R_r** - reserva reguladora do aquífero (m³/ano)
- k** - condutividade hidráulica do aquífero (m/ano)
- b** - espessura saturada do aquífero (m)
- l** - largura da frente de escoamento (m)
- i** - gradiente hidráulico medido entre curvas potenciométricas (adimensional)

As reservas reguladoras podem ser obtidas também a partir da variação das superfícies potenciométricas e de infiltrômetros na área, quando se conhecem os seguintes parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos: área de recarga do aquífero, rebaixamento médio anual da água no poço, porosidade eficaz do aquífero, precipitação média anual na área e taxa de infiltração.

- a partir da variação da superfície potenciométrica, quando se tem medidas inter-anuais da variação do nível estático da água nos poços da região:

$$R_{r1} = A_3 \times \Delta s \times \mu \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (4)$$

Sendo:

A₃ - área de recarga do aquífero (m²)

Δs - rebaixamento médio anual da água no poço (m)

μ - porosidade efetiva do aquífero, que em camadas arenosas pode ser considerada igual a 0,1 quando não se dispõe de dados de ensaio de bombeamento

- quando se dispõe de infiltrômetros instalados na área, calcula-se por:

$$R_{r1} = A_4 \times h' \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (5)$$

Sendo:

A₄ - área do infiltrômetro (m²)

h' - altura da coluna d'água medida no infiltrômetro (m)

- quando se conhece a taxa de infiltração, calcula-se por:

$$R_r = A_1 \times P \times I \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (6)$$

Sendo:

P - precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano)

I - taxa de infiltração

Domínio Fissural e Cárstico-fissural

A estimativa das reservas reguladoras é baseada no balanço hídrico e considerando a princípio que 0,15% até 0,5% da precipitação representa a lâmina d'água infiltrada nos sistemas fraturados em profundidade de até 200 metros. Nos aquíferos cárstico-fissurais torna-se necessária a avaliação das infiltrações em sumidouros e dolinas superficiais que se intercomunicam com cavernas interiores, cálculo esse que varia muito de um local para outro num mesmo aquífero e em diferentes aquíferos, como calcários sedimentares e calcários metamórficos.

Considerando as reservas aquíferas sob o ponto de vista de oferta de água para atendimento à demanda dos vários tipos de uso a que se destina a água, dois outros parâmetros costumam ser empregados, também sujeitos a muita discussão e controvérsias: *disponibilidades e potencialidades*.

14.1.4. Potencialidades

Compõem o volume que pode ser retirado do aquífero em termos sustentáveis, sem causar danos irreversíveis aos reservatórios subterrâneos. Corresponde ao volume hídrico que pode ser utilizado anualmente incluindo, eventualmente, uma parcela das *reservas permanentes*, passíveis de serem exploradas com descarga constante durante um determinado período de tempo.

No aquífero intersticial ou poroso em bacias sedimentares, a potencialidade representa o somatório das reservas reguladoras com a parcela das reservas permanentes que pode vir a ser explorada. Corresponde ao “safe yield” dos hidrólogos americanos. Meinzer (1934) (*in* Rocha 2005) definiu “safe yield”, como a vazão de extração do aquífero que pode se manter permanentemente, proporcionando água adequada para consumo humano. Conkling (1946) (*in* Rocha 2005) define como a vazão média anual extraída artificialmente do aquífero, sem acarretar resultados indesejáveis.

- apesar de o limite de exploração convencionalmente adotado nos estudos iniciais procedidos pela SUDENE ter sido de 30% da reserva permanente em 50 anos, que seriam adicionados ao total das reservas reguladoras, foi adotado neste trabalho o percentual de 10% dessas reservas no mesmo período, como margem de segurança, o que equivale a 0,2% ao ano, durante 50 anos consecutivos. Assim, vem;

$$P = (R_p \times 0,002) + R_r \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (7)$$

Sendo:

P – potencialidade em m³/ano

R_p – reserva permanente em m³/ano

R_r – reserva reguladora em m³/ano

14.1.5. Disponibilidades

Significa o volume que pode ser extraído do aquífero por intervenções humanas. Contemplam várias alternativas em função dos distintos níveis de segurança, quer do aquífero, quer do sistema hídrico superficial e ainda, das obras de captação existentes ou a implantar no aquífero. Assim, podem ser distinguidos os termos:

14.1.6. Disponibilidade Instalada

É o volume anual máximo que se pode obter das obras de captação, já existentes, com base na vazão máxima de exploração – ou vazão ótima – num regime de bombeamento de 24/24 horas, desde que não venha a comprometer as reservas permanentes. Para a avaliação dessa disponibilidade são considerados tanto os poços em operação quanto os desativados, que podem eventualmente vir a ser operados.

A sua avaliação é feita da seguinte forma

$$D_i = n \times Q_m \times 8.760 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (8)$$

Sendo:

n - número de poços ou outras captações existentes no aquífero
(adimensional)

Q_m - vazão média horária (m³/h)

8760 – total do número de horas no ano

14.1.7. Disponibilidade Efetiva

Corresponde ao volume anual atualmente explotado nas obras de captação existentes. A disponibilidade efetiva é geralmente inferior à disponibilidade instalada, pois, em geral, sobretudo em obras particulares, as vazões explotadas são inferiores à vazão ótima e o regime de bombeamento dificilmente supera 8/24 horas, sendo até mesmo comum o uso em dias consecutivos; além do mais, a quantidade de poços desativados ou abandonados é grande.

A avaliação dessa disponibilidade é executada pela expressão seguinte:

$$D_e = n \times Q_m \times Y \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (9)$$

Sendo:

n – número de poços

Q_m – vazão média horária (em m³/h)

Y – número de horas por ano em que o poço é bombeado
Quando não se efetua um levantamento de campo para se obter um parâmetro médio estatístico para o quantitativo de horas de bombeamento dos poços, costuma-se utilizar os dados encontrados no projeto ÁRIDAS (1998) com 6 horas por dia para poços particulares e 20 horas por dia para poços públicos (eventualmente pode ser utilizado nesse caso o regime de 24/24 horas).

14.1.8. Disponibilidade Explotável

Também designado por alguns autores como *recursos explotáveis*, representa os volumes que ainda podem vir a ser explotados do aquífero, além daqueles atualmente existentes e levando em conta a preservação das reservas ecológicas (restituição do aquífero para a drenagem superficial).

$$D_{ex} = P_o - (R_r \times 0,3 + D_e) \quad (10)$$

Em que 30% das reservas reguladoras (recarga) correspondem às reservas ecológicas.

14.1.9. Disponibilidade Sustentável

Corresponde a todo o volume disponível para explotação, isto é, excluindo as reservas ecológicas, todos os volumes atualmente captados (D_e) somados aos volumes passíveis de explotação por novos poços (D_{ex}). Se o aquífero já está em regime de super-explotação a disponibilidade sustentável deverá ser inferior a própria disponibilidade efetiva.

$$D_s = D_e + D_{ex} \quad (11)$$

Sendo:

D_s – disponibilidade sustentável em m^3 /ano;

D_e – disponibilidade efetiva em m^3 /ano;

D_{ex} – disponibilidade explotável em m^3 /ano.

14.2. Avaliação das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades

Um dos principais elementos para avaliação dos parâmetros quantitativos dos aquíferos é o dimensionamento dos volumes das formações geológicas, isto é, as suas respectivas áreas de ocorrência e espessura. Para os aquíferos fissurais a espessura não é considerada, pois são milhares de metros que representam toda a litosfera.

Na tabela 14.1 são apresentadas as áreas das formações sedimentares nas condições de livre e confinamento, além das espessuras médias.

Tabela 14.1 - Área e espessura das formações geológicas da Bacia do Parnaíba

Unidade geológica	ÁREA				ESPESSURA MÉDIA (m)
	Km ²		% da área total		
	Livre	Confinado	Livre	Confinado	
Coberturas recentes	1.250	0	100,00	0	20
Sambaíba	664	7.375	8,26	91,74	200
Pedra de Fogo	341	3.164	9,73	90,27	130
Piauí	3.075	17.150	15,20	84,80	200
Potí	3.176	20.225	13,57	86,43	200
Longá	852	7.576	10,11	89,99	180
Cabeças	2.849	21.077	11,91	88,09	250
Pimenteiras	11.582	23.926	32,62	67,38	250
Serra Grande	2.161	35.508	5,74	94,76	300

Os valores das áreas na tabela 14.1 foram obtidos por medição direta no mapa geológico, todavia as espessuras médias foram extrapoladas dos estudos efetuados no estado do Piauí.

Para o aquífero Urucuia, na Província São Francisco foi avaliada a área de ocorrência no Estado do Tocantins em 21.205 km², todavia não se dispõe de dados seguros sobre a sua espessura média. Na Bahia, estudos preliminares conferem a essa formação espessuras que variam entre 500 (nas bordas da bacia) e 1000m (no depocentro da bacia).

Como na região em estudo a situação é mais para borda, vamos considerar uma espessura média da ordem de 300m, sujeita a alterações futuras em decorrência de estudos em nível de detalhe que venham a ser desenvolvidos, utilizando-se de métodos geofísicos por gravimetria e eletro-resistividade, além de poços estratigráficos.

Além dos valores volumétricos das formações geológicas, outros elementos são necessários e que não se dispõe de dados locais e terão que ser estimados em analogia com outras localidades já estudadas, tais como:

- Porosidade efetiva dos aquíferos livres
- Carga hidráulica dos aquíferos confinados
- Taxa de infiltração em cada formação
- Rebaixamento médio anual da água no poço
- Vazão de escoamento natural para todos os aquíferos (somente foi possível executar o mapa potenciométrico na região de Palmas onde existia uma grande quantidade de poços)

Para a avaliação das precipitações ao longo de cada formação aquífera será considerada a faixa de variação do mapa pluviométrico apresentado na Figura 14.1

Na tabela 14.2 são apresentados os valores admitidos para essas variáveis e na tabela 14.3 a síntese das avaliações cuja memória de cálculo é apresentada no anexo H.

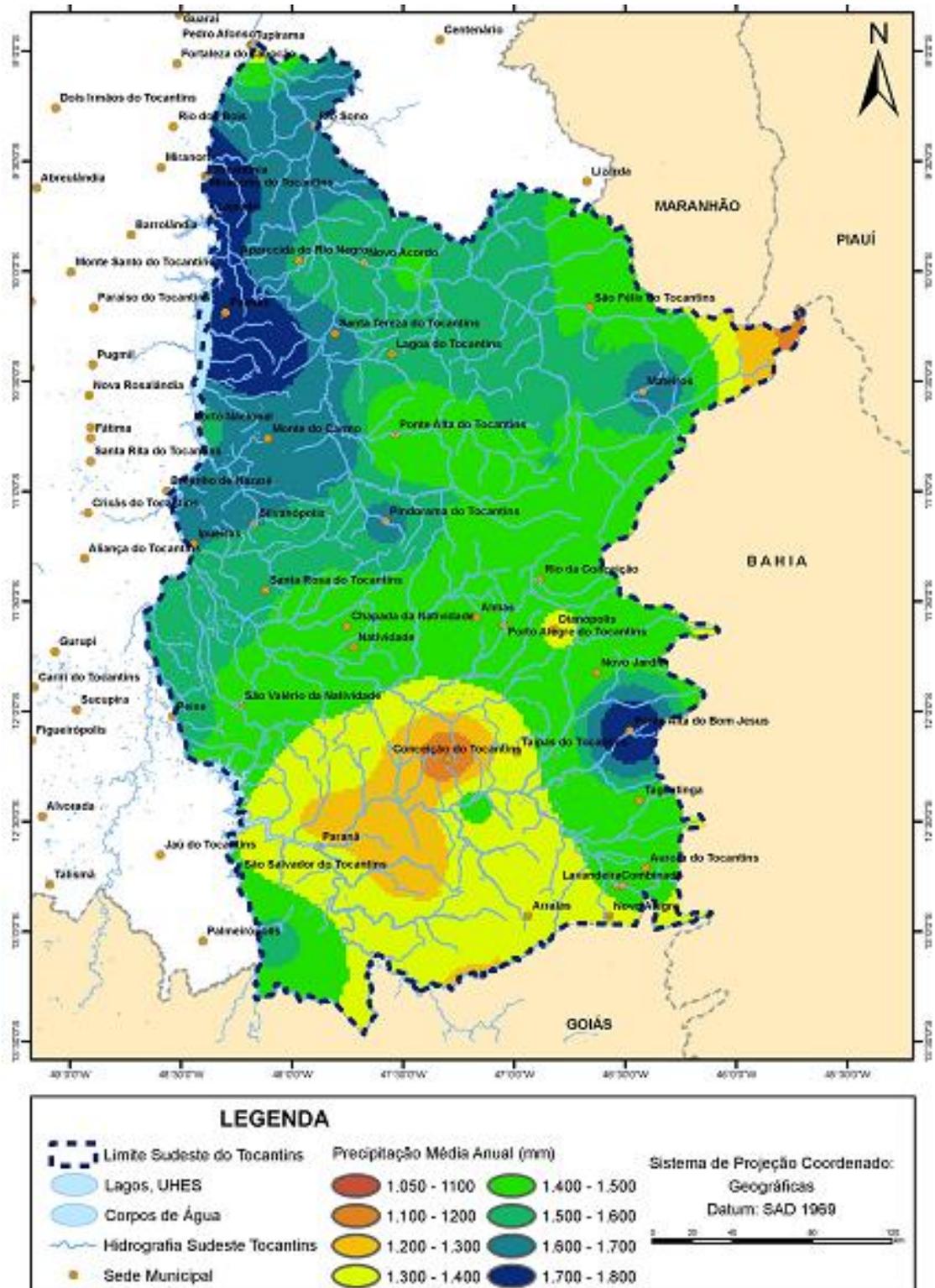


Figura 14.1 – Mapa de precipitações pluviométricas na área estudada

Tabela 14.2 - Valores admitidos para as variáveis na avaliação dos parâmetros quantitativos dos aquíferos

AQUÍFERO OU AQUITARDO	Reserva Permanente		Reserva Reguladora		Disponibilidade Instalada		Disponibilidade Efetiva	
	μ (%)	h (m)	P (mm/ano)	I (%P)	n (nº poços)	Q_m (m ³ /h)	n (nº poços)	Y (horas/ano)
Coberturas recentes	15	0	1.600	15	0	0	0	0
Urucuia	15	0	1.500	15	23	15	21	2.190
Sambaíba	10	30	1.500	10	0	0	0	0
Pedra de Fogo	10	30	1.500	10	0	0	0	0
Piauí	10	50	1.500	10	0	0	0	0
Poti	10	50	1.500	10	0	0	0	0
Longá	5	30	1.500	5	0	0	0	0
Cabeças	15	50	1.500	10	5	15	3	2.190
Pimenteiras	5	50	1.700	5	435	3,7	367	2.190
Serra Grande	10	100	1.700	10	47	27,8	26	2.190

Tabela 14.3 - Resumo dos valores das avaliações de parâmetros quantitativos dos aquíferos

AQUÍFERO OU AQUITARDO	Reserva Permanente			Reserva Reguladora	Potencialidade	Disponibilidades			
	Livre	Confinado	Total			Instalada	Efetiva	Explotável	Sustentável
	x 10 ⁹			x 10 ⁶					
Coberturas recentes	55	0	4	300	310	0	0	220	220
Urucuia	954	0	954	4.771	6.680	3,02	0,69	5.247	2.248
Sambaíba	13	151	164	100	427	0	0	397	397
Pedra de Fogo	4	42	46	51	143	0	0	125	125
Piauí	62	343	405	461	1.271	0	0	1.133	1.133
Poti	63	405	468	476	1.413	0	0	1.270	1.270
Longá	8	68	76	64	216	0	0	196	196
Cabeças	107	791	898	427	2.223	0,66	0,1	2.095	2.095
Pimenteiras	145	299	444	984	1.874	14,1	2,97	1.575	1.578
Serra Grande	65	1.065	1.066	367	2.630	11,45	1,58	2.518	2.520
TOTAIS	1476	3164	4.525	8.001	17.187	29,23	5,34	14.776	11.782

15. EXECUÇÃO DO ZONEAMENTO DE EXPLOTAÇÃO

15.1. Mapeamento de zonas de exploração

O mapeamento de zonas de exploração levou em conta as características hidrogeológicas, as condições de exploração, as características dos poços, a qualidade da água subterrânea e as restrições da exploração.

Foram distinguidas na área de estudo 8 (oito) zonas de exploração, das quais 5 (cinco) correspondem ao domínio sedimentar, 1 (uma) ao domínio cárstico-fissural e 2 (duas) ao domínio fissural.

A seguir são descritas as zonas de exploração propostas para a área sudeste do Estado do Tocantins e apresentadas na figura 15.1:

15.1.1. Zona A

a) Localização

Essa zona localiza-se na região oriental do estado do Tocantins, fazendo limite com os estados da Bahia e do Piauí, incluindo total ou parcialmente os municípios de Ponte Alta do Bom Jesus, Dianópolis, Rio da Conceição, Mateiros, Lagoa do Tocantins, São Félix do Tocantins, Rio Sono e Lizarda.

b) Aquífero dominante:

Urucuia

c) Área de ocorrência:

21.205 km²

d) Características geológicas e hidrogeológicas:

O Sistema Aquífero Urucuia mostra-se como um manancial subterrâneo poroso e isotrópico de extensão regional. Embora o Grupo Urucuia seja uma unidade homogênea e com pouca variedade de litotipos, pequenas e restritas variações faciológicas nesta unidade conferem ao sistema importantes mudanças hidrodinâmicas que permitem a compartimentação em subtipos de aquíferos.

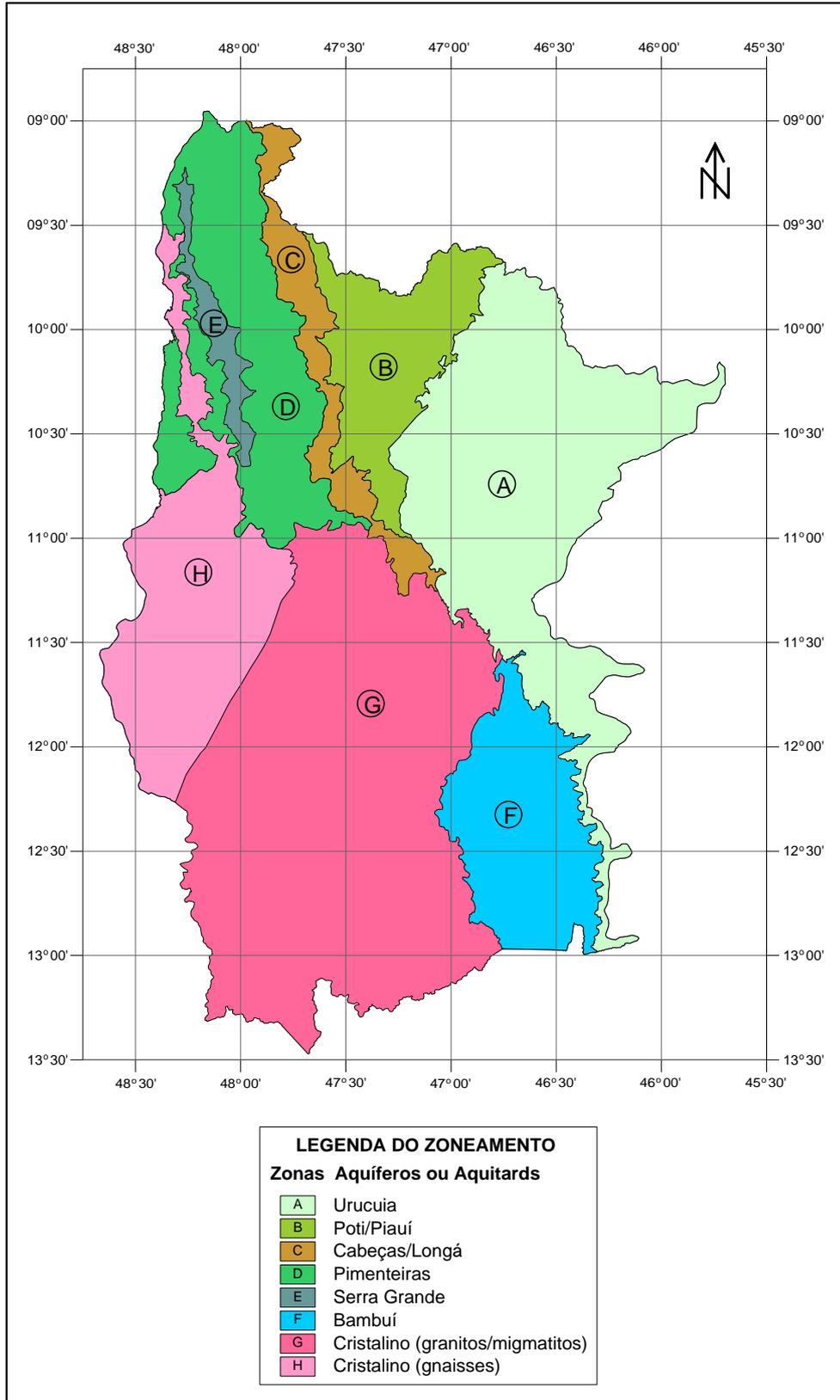


Figura 15.1 – Mapa de Zoneamento Explotável da Região Sudeste do Estado do Tocantins

Os dados disponíveis admitem a proposição de quatro subtipos de aquíferos: aquífero livre regional; aquífero suspenso local; aquífero confinado ou semiconfinado e aquífero livre profundo (Gaspar 2006).

A recarga deste aquífero ocorre por infiltração da água de chuvas na área do chapadão do oeste baiano, que corresponde aos relevos mais planos e elevados, associados a espessos latossolos de textura média e arenosa, de fundamental importância para a recarga do aquífero. Os valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) obtidas por Gaspar (2006) nesses solos foram da ordem de 10^{-4} a 10^{-7} m/s.

Segundo Gaspar (2006), os principais parâmetros hidrodinâmicos e dimensionais do Sistema Aquífero Urucuia são:

- condutividade hidráulica (K) média de $1,3 \times 10^{-6}$ m/s para o aquífero em suas porções livres e de $1,3 \times 10^{-5}$ m/s para as áreas sob confinamento;
- transmissividade média de $4,0 \times 10^{-4}$ m²/s para as porções livres e de $1,17 \times 10^{-2}$ m²/s para as áreas sob confinamento;
- coeficiente de armazenamento de 10^{-4} ;
- valores de espessuras totais variáveis de 100 a 600 metros;
- espessura saturada do sistema apresenta valores da ordem de 80 a 460 metros;
- porosidade eficaz média de 15%;
- as capacidades específicas variam de 20 a 48 (m³/h)/m e vazões maiores que 500 m³/h são reportadas na região de Luiz Eduardo Magalhães-BA;

e) Parâmetros quantitativos na área estudada:

- Reservas permanentes: 954.10^9 m³
- Reservas reguladoras: $4,77.10^9$ m³/ano
- Potencialidade: $6,68. 10^9$ m³/ano
- Disponibilidade instalada: $3,02. 10^6$ m³/ano
- Disponibilidade efetiva: $0,69. 10^6$ m³/ano
- Disponibilidade explorável: $5,25. 10^9$ m³/ano
- Disponibilidade sustentável: $2,25. 10^9$ m³/ano

f) Características de poços nesse aquífero

O aquífero permite a captação de vazões da ordem de 200 m³/h para poços bem construídos, totalmente penetrantes no aquífero (da ordem de 300m de profundidade), totalmente revestidos com tubos de aço galvanizado e filtros, com diâmetro mínimo de 10” na câmara de bombeamento e 6” na zona produtora.

g) Qualidade da água

A água é de excelente qualidade, dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, podendo ser utilizada sem restrições para qualquer finalidade.

h) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 40m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Para poços de elevadas vazões (da ordem de 200 m³/h) deve ser guardada uma distância mínima de 1.000m entre um poço e outro, salvo se estudos hidrodinâmicos locais indicarem outra distância.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

15.1.2. Zona B

a) Localização:

Essa zona localiza-se na região centro-norte da área estudada, fazendo limite parcial com o estado do Piauí, incluindo total ou parcialmente os municípios de Novo Acordo, Rio Sono e Lizarda

b) Aquífero dominante:

Sistema aquífero Poti/Piauí, incluindo ainda uma reduzida área de ocorrência dos aquíferos Sambaíba e Pedra de Fogo

c) Área de ocorrência:

7.410 km²

d) Características geológicas e hidrogeológicas:

Na Formação Poti (C1po), para Góes e Feijó (1994), predominam arenitos cinza-esbranquiçados intercalados e interlaminados com folhelho e siltito, depositados em delta, e planícies de maré sob a influência ocasional de tempestade. Faraco *et al.* (2004) incluíram as litologias argilito arenoso e conglomerado.

A Formação Piauí (C2pi) consiste de depósitos de dunas eólicas, de interdunas e planícies de deflação (Silva *et al.*, 2003), representados por litologias, tais como: arenito, siltito, folhelho, calcário e argilito (Vasconcelos *et al.*, 2004; Faraco *et al.*, 2004). Segundo estudos da SERETE (1975) no estado do Piauí, o sistema aquífero Poti/Piauí apresentava os seguintes valores médios dos coeficiente hidrodinâmicos: Transmissividade (T) = $2,1 \cdot 10^{-3}$ m²/s; Condutividade hidráulica (K) = $8,4 \cdot 10^{-6}$ m/s; Coeficiente de armazenamento (S) = $3,1 \cdot 10^{-4}$.

Conforme Silva *et al.* (2003), a Formação Pedra de Fogo (P12pf) apresenta duas seqüências de arenitos: (i) na inferior, os arenitos correspondem a dunas; na superior, os arenitos retratam um ambiente litorâneo, com presença localizada de biostromas com estromatólitos hemisféricos. Estes, por sua vez, são superpostos por arenitos com estratificação cruzada sigmoidal e alternâncias de folhelho e arenito depositados em planície de maré. Vasconcelos *et al.* (2004) e Faraco *et al.* (2004) caracterizaram a Formação Pedra de Fogo como sendo integrada por arenito, folhelho, siltito, calcário, evaporito, linhito e silexito. Segundo estudos da SERETE (1975) no estado do Piauí, o sistema aquífero Pedra de Fogo apresentava os seguintes valores médios dos coeficiente hidrodinâmicos: Transmissividade (T) = $1 \cdot 10^{-3}$ m²/s; Condutividade hidráulica (K) = $9 \cdot 10^{-6}$ m/s; Coeficiente de armazenamento (S) = $5 \cdot 10^{-4}$ e Porosidade efetiva (μ) = $5 \cdot 10^{-3}$.

Encerrando a sedimentação na Bacia do Parnaíba, aparece a Formação Sambaíba (T12s) que consiste de arenito fino, caolínico, com granulometria bimodal, interpretado como eólico. Os arenitos bimodais mostram, como estrutura primária, estratificação cruzada de grande porte (Vasconcelos *et al.*, 2004).

e) Parâmetros quantitativos na área estudada (do conjunto de aquíferos da zona B):

O dimensionamento das reservas, potencialidade e disponibilidades levarão em conta apenas o aquífero na área de afloramento, ou seja, na condição de livre, e não os volumes totais considerados na avaliação das reservas, potencialidade e

disponibilidade, quando foram consideradas também a zona confinada de cada aquífero.

- Reservas permanentes: 105.10^9 m^3
- Reservas reguladoras: $1,11.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Potencialidade: $1,32. 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade instalada: 0
- Disponibilidade efetiva: 0
- Disponibilidade explorável: $987. 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade sustentável: $987. 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

f) Características de poços nesse aquífero

O sistema aquífero Poti/Piauí permite a captação de vazões da ordem de 50 a 80 m^3/h para poços bem construídos, totalmente penetrantes no aquífero (da ordem de 200m de profundidade), totalmente revestidos com tubos de aço galvanizado e filtros, com diâmetro mínimo de 8" na câmara de bombeamento e 6" na zona produtora.

g) Qualidade da água

A água é de excelente qualidade, dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, podendo ser utilizada sem restrições para qualquer finalidade.

h) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 40m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Para poços de vazões da ordem de $80 \text{ m}^3/\text{h}$ deve ser guardada uma distância mínima de 500m entre um poço e outro, salvo se estudos hidrodinâmicos locais indicarem outra distância.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

15.1.3. Zona C

a) Localização:

Essa zona localiza-se numa faixa de direção aproximadamente norte-sul, com 370 km de extensão por 10 km de largura, paralela ao Rio das Balsas, incluindo partes dos municípios de Lagoa do Tocantins, Novo Acordo e Rio Sono.

b) Aquífero dominante:

Aquífero Cabeças incluindo ainda uma reduzida área de ocorrência do aquífero Longá.

c) Área de ocorrência:

3.700 km²

d) Características geológicas e hidrogeológicas:

A Formação Cabeças (D2c) é composta por arenitos com geometria sigmoidal abaulada, e, localmente, intercalações de diamictitos (SILVA *et al.*, 2003). A Formação Cabeças apresenta predominantemente arenito com intercalações delgadas de siltitos e folhelhos, com estratificação cruzada tabular ou sigmoidal, ocorrendo tempestitos na base da unidade (Della Fávera, 1990; Faraco *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2004). Segundo estudos da SERETE (1975) no estado do Piauí, o aquífero Cabeças apresentava os seguintes valores médios dos coeficiente hidrodinâmicos: Transmissividade (T) = 1.10^{-2} m²/s; Condutividade hidráulica (K) = $5,3.10^{-5}$ m/s; Coeficiente de armazenamento (S) = $7,6.10^{-4}$.

A Formação Longá (D3C1I) consiste de arenitos finos e siltitos (Silva *et al.*, 2003). De acordo com Vasconcelos *et al.* (2004), tal formação constitui-se de folhelho e siltito cinza; para Góes e Feijó (1994), a Formação Longá encerra arenito branco, fino e argiloso, depositado em ambiente marinho plataformar dominado por tempestade; e Faraco *et al.* (2004) acrescentaram a presença de calcário. Segundo estudos da SERETE (1975) no estado do Piauí, o aquífero Longá apresentava os seguintes valores médios dos coeficiente hidrodinâmicos: Transmissividade (T) = $7,8.10^{-5}$ m²/s; Condutividade hidráulica (K) = $7,4.10^{-6}$ m/s; Coeficiente de armazenamento (S) = 1.10^{-6} .

e) Parâmetros quantitativos na área estudada (conjunto Cabeças + Longá):

O dimensionamento das reservas, potencialidade e disponibilidades levarão em conta apenas o aquífero na área de afloramento, ou seja, na condição de livre, e não

os volumes totais considerados na avaliação das reservas, potencialidade e disponibilidade, quando foram consideradas também a zona confinada de cada aquífero.

- Reservas permanentes: $42,55 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
- Reservas reguladoras: $666 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Potencialidade: $751 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade instalada: $0,66 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade efetiva: $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade explorável: $551 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade sustentável: $551 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

f) Características de poços nesse aquífero

O aquífero Cabeças permite a captação de vazões da ordem de $200 \text{ m}^3/\text{h}$ em poços totalmente penetrantes (da ordem de 300m de profundidade), totalmente revestidos com tubos de aço galvanizado e filtros, com diâmetro mínimo de 10” na câmara de bombeamento e 6” na zona produtora.

g) Qualidade da água

A água é de excelente qualidade, dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, podendo ser utilizada sem restrições para qualquer finalidade.

h) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 40m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Para poços de vazões da ordem de $200 \text{ m}^3/\text{h}$ deve ser guardada uma distância mínima de 1.000m entre um poço e outro, salvo se estudos hidrodinâmicos locais indicarem outra distância.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

15.1.4. Zona D

a) Localização:

Essa zona localiza-se numa faixa de direção aproximadamente norte-sul, com cerca de 300 km de extensão por 30 km de largura, drenada pelo Rio das Balsas, além de uma faixa marginal ao Rio Tocantins desde Porto Nacional até o limite norte do município de Palmas, com cerca de 500 km², incluindo partes dos municípios de Santa Tereza do Tocantins, Aparecida Do Rio Negro, Tocantinia e Tupirama.

b) Aquífero dominante:

Aquífero Pimenteiras.

c) Área de ocorrência:

11.580 km²

d) Características geológicas e hidrogeológicas:

A Formação Pimenteiras (Dp) caracteriza-se por constituir um pacote de argilitos, siltitos, folhelhos e arenitos finos de cores cinza, creme, verde e roxa, bem estratificados (laminação plano-paralela).

Apresenta variações laterais de suas fácies sedimentares e suas espessuras diminuem para oeste. Em Palmas e Serra do Lajeado, a espessura chega a atingir 225 m. Seu contato inferior é transicional e seu topo é parcialmente coberto por material Tércio-quadernário, localmente por depósitos aluvionares quadernários (Frasca; Araújo, 2001).

Segundo estudos da SERETE (1975) no estado do Piauí, o aquífero Pimenteiras apresentava os seguintes valores médios dos coeficientes hidrodinâmicos: Transmissividade (T) = $3,2 \cdot 10^{-4}$ m²/s; Condutividade hidráulica (K) = $6,3 \cdot 10^{-6}$ m/s; Coeficiente de armazenamento (S) = $6 \cdot 10^{-4}$.

e) Parâmetros quantitativos na área estudada:

O dimensionamento das reservas, potencialidade e disponibilidades levarão em conta apenas o aquífero na área de afloramento, ou seja, na condição de livre, e não os volumes totais considerados na avaliação das reservas, potencialidade e disponibilidade, quando foram consideradas também a zona confinada de cada aquífero.

- Reservas permanentes: $84 \cdot 10^9$ m³
- Reservas reguladoras: $984 \cdot 10^6$ m³/ano

- Potencialidade: $1.152.10^6$ m³/ano
- Disponibilidade instalada: $14,1.10^6$ m³/ano
- Disponibilidade efetiva: $2,97.10^6$ m³/ano
- Disponibilidade explorável: 854.10^6 m³/ano
- Disponibilidade sustentável: 857.10^6 m³/ano

f) Características de poços nesse aquífero

O aquífero Pimenteiras permite a captação de vazões da ordem de 20 m³/h em poços totalmente revestidos com tubos de aço galvanizado e filtros, com diâmetro mínimo de 8” na câmara de bombeamento e 6” na zona produtora. Para poços com profundidades superiores a 300m, pode-se atingir o aquífero Serra Grande sotoposto ao aquífero Pimenteiras e se obter vazões superiores a 50 m³/h, desde que se perfure pelo menos 100m dentro desse aquífero. Essa situação é frequentemente encontrada no município de Palmas, todavia as vazões são reduzidas pois ao penetrar no aquífero Serra Grande se conclui o poço com pouco mais de uma dezena de metros perfurados.

g) Qualidade da água

A água é de boa qualidade, dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, podendo ser utilizada sem restrições para qualquer finalidade.

h) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 40m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Para poços de vazões da ordem de 50 m³/h deve ser guardada uma distância mínima de 200m entre um poço e outro, salvo se estudos hidrodinâmicos locais indicarem outra distância.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

15.1.5. Zona E

a) Localização:

Essa zona localiza-se numa estreita faixa de direção aproximadamente norte-sul, com cerca de 200 km de extensão por 10 km de largura, entre o Rio das Balsas e o Rio Tocantins, incluindo partes dos municípios de Tocantínea, Lajeado e Aparecida do Rio Negro.

b) Aquífero dominante:

Aquífero Serra Grande.

c) Área de ocorrência:

2.160 km²

d) Características geológicas e hidrogeológicas:

A Formação Serra Grande (Ssg) aparece, nas bordas das serras Lajeado e do Carmo, formando escarpas sinuosas e abruptas. Por meio de interpretação de imagens Landsat, expandiu-se a área dessa formação para leste, conforme apresentado no Mapa Geológico.

A unidade apresenta variações de espessura e, nas cercanias de Palmas, Serra do Lajeado, alcança seu máximo, em torno de 120 m. Suas litologias são representadas, da base para o topo, por paraconglomerados grossos, arenitos conglomeráticos arcoseanos locais e clásticos finos com siltitos e argilitos. As estruturas típicas são estratificações plano-paralelas e cruzada (médio a pequeno porte), a baixo ângulo.

O contato o embasamento é ora tectônico ora por discordância (angular, litológica ou erosiva), enquanto o contato superior, com a Formação Pimenteiras, é transicional ora abrupto (Frasca; Araújo, 2001).

Segundo estudos da SERETE (1975) no estado do Piauí, o aquífero Serra Grande apresentava os seguintes valores médios dos coeficiente hidrodinâmicos: Transmissividade (T) = $9,1 \cdot 10^{-3}$ m²/s; Condutividade hidráulica (K) = $5,3 \cdot 10^{-3}$ m/s; Coeficiente de armazenamento (S) = $4,2 \cdot 10^{-4}$.

e) Parâmetros quantitativos na área

O dimensionamento das reservas, potencialidade e disponibilidades levarão em conta apenas o aquífero na área de afloramento, ou seja, na condição de livre, e não os volumes totais considerados na avaliação das reservas, potencialidade e

disponibilidade, quando foram consideradas também a zona confinada de cada aquífero.

- Reservas permanentes: 14.10^9 m^3
- Reservas reguladoras: $367.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Potencialidade: $395.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade instalada: $11,45.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade efetiva: $1,58.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade explorável: $283.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade sustentável: $285.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

f) Características de poços nesse aquífero

O aquífero Serra Grande permite a captação de vazões da ordem de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ em poços totalmente penetrantes e revestidos com tubos de aço galvanizado e filtros, com diâmetro mínimo de 8" na câmara de bombeamento e 6" na zona produtora. Para poços com profundidades superiores a 300m no aquífero Pimenteiras, pode-se atingir o aquífero Serra Grande a ele sotoposto e se obter vazões superiores a $50 \text{ m}^3/\text{h}$, desde que se perfure pelo menos 100m dentro desse aquífero. Essa situação é frequentemente encontrada no município de Palmas, todavia as vazões são reduzidas pois ao penetrar no aquífero Serra Grande se conclui o poço com pouco mais de uma dezena de metros perfurados.

g) Qualidade da água

A água é de boa qualidade, dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, podendo ser utilizada sem restrições para qualquer finalidade.

h) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 40m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Para poços de vazões da ordem de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ deve ser guardada uma distância mínima de 200m entre um poço e outro, salvo se estudos hidrodinâmicos locais indicarem outra distância.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

15.1.6. Zona F

a) Localização:

Essa zona localiza-se no extremo sudeste da área estudada, fazendo limite com o estado de Goiás, incluindo importantes municípios como Aurora, Combinado, Dianópolis, Lavandeira, Novo Jardins, Ponte Alta do Bom Jesus e Taguatinga.

a) Aquífero dominante:

Aquífero Bambuí.

b) Área de ocorrência:

8.270 km²

c) Características geológicas e hidrogeológicas:

Na área estudada, destacam-se os sedimentos carbonáticos e terrígenos do Grupo Bambuí, das formações Sete Lagoas (NP2sl), Serra de Santa Helena (NP2sh) e Lagoa do Jacaré (NP2lj). O Domínio Bacia de Antepaís Intracratônicas Neoproterozoicas (Três Marias-Bambuí - 5a) concentra-se no sul da Província São Francisco, distribuindo-se pelos terrenos dos municípios de: Dianópolis, Novo Jardim, Taipas do Tocantins, Ponte Alta do Bom Jesus, Taguatinga, Aurora do Tocantins, Lavandeira, Arraias, Combinado e Novo Alegre do Tocantins. A sua extensão é de 8.032,6 km², perfazendo 28,9% da área total da província.

Na base do Grupo Bambuí, está a Formação Sete Lagoas, constituída por espessos pacotes de pelitos, calcários e dolomitos contendo localmente estruturas algais estromatolíticas. Segundo Dardenne (2000), a Formação Sete Lagoas (NP2sl) consiste de sedimentos pelíticos-carbonatados, com granulação mais grossa em direção ao topo, com pelitos e calcilutito cinza escuro a preto na base, passando para calcário e dolomito no topo (megaciclo I de sedimentação Bambuí). Também representam a Formação Sete Lagoas, metasilexitos (NP2slx).

A Formação Sete Lagoas acha-se sobreposta pelos folhelhos e siltitos laminados cinza a cinza esverdeados da Formação Serra de Santa Helena (NP2sh). Esse conjunto carbonático-pelítico é sobreposto por calcarenitos pretos e margas, ricos em matéria orgânica e siltitos da Formação Lagoa do Jacaré (NP2lj). Calcários individualizados foram cartografados por Souza *et al.* (2004) como pertencentes à Formação Lagoa do Jacaré (NP2ljc). As formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré constituem o segundo megaciclo de sedimentação Bambuí.

Os valores obtidos por Campos *et al.* (2006) para este subsistema na porção nordeste do Estado de Goiás, onde abrange uma grande parte da bacia do rio Tocantins, dos principais parâmetros dimensionais deste subsistema são: condutividade hidráulica média de $2,8 \times 10^{-5}$ m/s; transmissividade média de $1,8 \times 10^{-4}$ m²/s, vazão específica média de 7,53 (m³/h)/m; vazão específica mínima de 0,013 m³/h/m e vazão específica máxima de 70,75 (m³/h)/m. Notar que estes valores são sensivelmente maiores que os atribuídos ao Subsistema Físsuro-cárstico e que valores de vazão específica maiores que 40 (m³/h)/m são apenas possíveis em sistemas cársticos clássicos.

d) Parâmetros quantitativos na área

- Reservas permanentes: 124.10^9 m³
- Reservas reguladoras: 661.10^6 m³/ano
- Potencialidade: 909.10^6 m³/ano
- Disponibilidade instalada: $9,47.10^6$ m³/ano
- Disponibilidade efetiva: $1,98.10^6$ m³/ano
- Disponibilidade explorável: 709.10^6 m³/ano
- Disponibilidade sustentável: 711.10^6 m³/ano

e) Características de poços nesse aquífero

O aquífero Bambuí permite a captação de vazões da ordem de 50 m³/h em poços como são registrados dados em Aurora (50 m³/h) e Dianópolis (52 m³/h), todavia, a média dos cerca de 160 poços cadastrados na região foi em torno dos 7 m³/h, tendo a profundidade máxima alcançado 166m em Lavandeira. Considerando que o aquífero é muito heterogêneo e anisotrópico, a obtenção de boas vazões é muito aleatória, pois poderá variar em mais de 10 vezes o seu valor a distância de algumas dezenas de metros.

f) Qualidade da água

A água é de qualidade boa a regular, podendo estar dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, ou apresentar valores de alta dureza, sólidos totais elevados e pH muito alto o que torna a água fora dos padrões de potabilidade e pode comprometer o uso para fins agrícolas.

g) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 30m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Os poços deverão ser revestidos até pelo menos a profundidade de 30m a fim de evitar desmoronamentos da zona mais decomposta.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

15.1.7. Zona G

a) Localização:

Essa zona localiza-se na porção centro sul da área estudada, fazendo limite com o estado de Goiás, incluindo importantes municípios como: Pindorama do Tocantins, Chapada da Natividade, Natividade, São Valério da Natividade, Peixe, Paranã, Almas, Porto Alegre do Tocantins, Dianópolis, Conceição do Tocantins, Taipas do Tocantins, Aurora do Tocantins e Lavandeira.

b) Aquífero dominante:

Aquífero fissural.

c) Área de ocorrência:

29.070 km²

d) Características geológicas e hidrogeológicas:

Delgado *et al.* (2003), a Faixa Móvel Paleoproterozoica Dianópolis-Silvânia é um segmento de crosta continental, e serviu de embasamento da Faixa Brasília. Na área estudada, a faixa móvel está representada pelo Domínio Dianópolis que se estende no sentido NS, no centro da Província Tocantins.

O domínio encerra as unidades geológicas: (i) complexos de ortognaisses graníticos Almas-Cavalcante (PP12); (ii) sequência metavulcanossedimentar (Grupo Riachão do Ouro - PP1ro); Formação Ticunzal (PP3tz); (iii) rochas intrusivas máfico-ultramáficas Tipo Gameleira (PP μ); (iv) granitóides intrusivos (Suíte Serra do Boqueirão - PP γ sb).

O Complexo Almas-Cavalcante (PP12) é a unidade predominante nesse domínio, cerca de 90% da área total do domínio. O complexo é constituído por duas unidades

de gnaisses tonalítico-trondhjemitico-granodioríticos (TTG): uma de Ortognaisse Granítica (PP12gr) contendo tonalito, trondhjemitito, granodiorito, monzogranito e biotita granito; e outra de Ortognaisse Migmatítica (PP12gm) com litótipos, como gnaiss migmatítico, enclaves de anfibolito, tonalito, granodiorito, trondhjemitito, quartzo-monzo-diorito, quartzo-diorito. As duas unidades são intrudidas por corpos de graníticos.

O Domínio Bacia Rife Paleoproterozoica desenvolveu-se mediante a fragmentação da crosta continental e geração de bacias rife paleo a mesoproterozoicas, representadas pelas rochas metassedimentares e metavulcanossedimentares dos grupos Araí, Natividade, Serra da Mesa e Serra Dourada (Delgado *et al.*, 2003). Na área estudada, o Domínio Bacia Rife Paleoproterozoica está disperso nos terrenos dos municípios de Pindorama do Tocantins, Natividade, São Valério da Natividade, Peixe, Paranã, Porto Alegre do Tocantins, Almas, e Arraias. Com 5.515,0 km², esse domínio ocupa 13,4% da área da Província Tocantins.

O Grupo Araí contém as formações Arraias (PP4a) e Traíras (PP4t), e é um espesso pacote de rochas metassedimentares depositadas sobre uma superfície erosiva em discordância com embasamento paleoproterozoico. Sua parte inferior, a Formação Arraias (PP4a) é um pacote com predomínio de metassedimentos associados a metavulcânicas ácidas e intermediárias (Frasca; Araújo, 2001). A base da formação é composta pelas rochas vulcânicas (riodacitos, andesitos, dacitos e riolitos), que se intercalam com termos metassedimentares. A componente metassedimentar é formada por metarenitos, metaconglomerados, quartzitos (com estratificação plano-paralela, cruzada e até acanalada) e quartzitos conglomeráticos. A sequência superior, denominada Formação Traíras (PP4t), constitui-se de metassiltito, filito, calcixistos, clorita xisto, quartzito e lentes de metacalcário e metadolomito (Lacerda Filho *et al.*, 2004).

O Grupo Serra da Mesa, conforme Lacerda Filho *et al.* (2004), encerra as unidades A (basal) e B (superior). Apenas a Unidade B (PP4smb) aparece na área estudada, sendo composta de litologias como micaxistos com granada, estaurólita e cianita, com intercalações de quartzitos finos, xistos grafitosos e calcixistos com lentes de mármore grosseiros impuros e camadas de xisto grafitoso (Marini *et al.*, 1984; Lacerda Filho *et al.*, 2004).

O Grupo Natividade (PP4n) constitui uma sequência de metassedimentos de baixo grau, predominando quartzitos puros e micáceos, com pequenas intercalações de metaconglomerados e ardósias. Também inclui níveis carbonáticos dolomíticos. Estruturas primárias, como estratificações cruzada de pequeno porte e plano-paralela e marcas de onda, são frequentes nessa sequência (GORAYEB, 1996). Lacerda Filho *et al.* (2004) apresentaram o Grupo Natividade formado por duas unidades (A e B). A unidade A (PP4na) é basal e comporta rochas como quartzito conglomerático, quartzito xisto, filito e mármore. A unidade B (PP4nb) é a unidade superior e está cartografada contendo litologias do tipo sericita quartzito.

Hidrogeologicamente esse aquífero é anisotrópico e heterogêneo e não possui espaços intergranulares, sendo toda a água acumulada apenas em falhas, fraturas ou fissuras da rocha. Possui ao longo de quase toda a superfície um capeamento de eluvião, produto do intemperismo, que dificulta a locação de poços, pois mascara as zonas preferenciais de ruptura das rochas.

e) Parâmetros quantitativos na área

- Reservas reguladoras: 756.10^6 m³/ano
- Potencialidade: 756.10^6 m³/ano
- Disponibilidade instalada: $12,14.10^6$ m³/ano
- Disponibilidade efetiva: $2,33.10^6$ m³/ano
- Disponibilidade explorável: 527.10^6 m³/ano
- Disponibilidade sustentável: 529.10^6 m³/ano

f) Características de poços nesse aquífero

O aquífero fissural em função do seu caráter de permeabilidade secundária e reduzida capacidade de acumulação não fornece elevadas vazões, com média regional de 5,5 m³/h e a profundidade de exploração é, em geral, inferior aos 100m. Apesar dessa média baixa, alguns poços nesse aquífero apresentaram vazões relativamente elevadas, como 80 m³/h (em Arraias), 52 m³/h (em Ipueiras), 30 m³/h (em Natividade), 25 m³/h (em Paranã, Porto Alegre e Almas).

g) Qualidade da água

A água é de qualidade boa a regular, dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, podendo ser utilizada para qualquer finalidade.

h) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 30m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Os poços deverão ser revestidos até pelo menos a profundidade de 30m a fim de evitar desmoronamentos da zona mais decomposta.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

15.1.8. Zona H

a) Localização:

Essa zona localiza-se na porção ocidental da área estudada, margeando o Rio Tocantins desde o município de Peixe até o município de Porto Nacional. Inclui importantes municípios como: Ipueiras, Monte do Carmo, Peixe, São Valério, Santa Rosa do Tocantins e Silvanópolis.

b) Aquífero dominante:

Aquífero fissural.

c) Área de ocorrência:

10.040 km²

d) Características geológicas e hidrogeológicas:

O Domínio Arco Magmático de Goiás abrange terrenos dos municípios de Porto Nacional, Silvanópolis, Santa Rosa do Tocantins, São Valério da Natividade e Peixe. Apresenta-se como uma faixa de largura em torno de 40 km e disposta na direção SW-NE.

As unidades estratigráficas encontradas nesse domínio são, os Ortognaisses do Oeste de Goiás e a Suíte Santa Tereza.

A Suíte Santa Tereza (NP3γ2st) é formada por plútons graníticos intrusivos nos Ortognaisses do Oeste de Goiás. Caracteriza-se por biotita granitos, álcali-granitos porfíricos, leucogranitos e tonalitos (Faraco *et al.*, 2004; Lacerda Filho *et al.*, 2004).

A Suíte Santa Tereza (NP3γ2st) é formada por plútons graníticos intrusivos nos Ortognaisses do Oeste de Goiás. Caracteriza-se por biotita granitos, álcali-granitos porfíricos, leucogranitos e tonalitos (Faraco *et al.*, 2004; Lacerda Filho *et al.*, 2004).

As estruturas encontradas para esse domínio têm como direções principais N20-30°E e N30-40°E. Em tais direções, estão instaladas zonas de cisalhamentos transcorrentes dextrais, subparalelas ao *trend* do Lineamento Transbrasiliiano.

O Domínio Porto Nacional-Nova Crixás localiza-se no noroeste da Província Tocantins. Encontra-se distribuído pelos terrenos dos municípios de Palmas, Porto Nacional, Monte do Carmo, Ipueiras, Silvanópolis, Santa Rosa do Tocantins, São Valério da Natividade e Peixe.

Alongado na direção NE-SW, o domínio é composto por rochas dos complexos Porto Nacional (PPgpn; PPgpn) e Rio dos Mangues (PP2γrm); Formação Monte do Carmo (PP23mca); Gabro Carreira Comprida (PP2δcc); Suíte Lajeado (NP3γ2).

O Complexo Porto Nacional (PPgpn) reúne dois conjuntos litológicos, um de ortogranulitos (PPgpn) formado por rochas máficas, intermediárias e félsicas, contendo enderbitos, metahornblenda gabronorito, charnoenderbitos e charnockitos, com variações de cores e granulometria; e outro de supracrustais (PPgpn), com gnaisses aluminosos, sillimanita-cianita gnaiss, granada gnaiss, kinzigitos e gonditos.

O Complexo Porto Nacional (PPgpn) reúne dois conjuntos litológicos, um de ortogranulitos (PPgpn) formado por rochas máficas, intermediárias e félsicas, contendo enderbitos, metahornblenda gabronorito, charnoenderbitos e charnockitos, com variações de cores e granulometria; e outro de supracrustais (PPgpn), com gnaisses aluminosos, sillimanita-cianita gnaiss, granada gnaiss, kinzigitos e gonditos

Hidrogeologicamente esse aquífero é anisotrópico e heterogêneo e não possui espaços intergranulares, sendo toda a água acumulada apenas em falhas, fraturas ou fissuras da rocha. Possui ao longo de quase toda a superfície um capeamento de eluvião, produto do intemperismo, que dificulta a locação de poços, pois mascara as zonas preferenciais de ruptura das rochas.

e) Parâmetros quantitativos na área

- Reservas reguladoras: 281.10^6 m³/ano
- Potencialidade: 281.10^6 m³/ano
- Disponibilidade instalada: $2,47.10^6$ m³/ano

- Disponibilidade efetiva: $0,42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade explorável: $196 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Disponibilidade sustentável: $197 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

f) Características de poços nesse aquífero

O aquífero fissural em função do seu caráter de permeabilidade secundária e reduzida capacidade de acumulação não fornece elevadas vazões, com média regional de $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ e a profundidade de exploração é, em geral, inferior aos 100m. Apesar dessa média baixa, alguns poços nesse aquífero apresentaram vazões mais elevadas, como $20 \text{ m}^3/\text{h}$ (em São Valério e Silvanópolis), $15 \text{ m}^3/\text{h}$ (em Peixe), $10 \text{ m}^3/\text{h}$ (em Monte do Carmo).

O que diferencia essa zona da zona G, também representada por rochas cristalinas (aquífero fissural) é justamente as vazões mais baixas, isto é, essa zona apresenta uma produtividade mais baixa que a zona G. É provável que essa diminuição se deva à maior proximidade da zona de recarga dos arenitos e calcários (zonas A e F respectivamente) que alimentam os altos cursos dos rios daquela região e, por conseguinte, alimentam os aquíferos fissurais da área.

g) Qualidade da água

A água é de qualidade boa a regular, dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, podendo ser utilizada para qualquer finalidade.

h) Restrições técnicas

- O poço deve ter o espaço anelar devidamente cimentado até a profundidade de 30m a fim de evitar qualquer contaminação por infiltração superficial
- Os poços deverão ser revestidos até pelo menos a profundidade de 30m a fim de evitar desmoronamentos da zona mais decomposta.
- Não há nenhuma restrição no momento atual sobre limitação de vazão a ser captada num poço

16. DIAGNÓSTICO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

16.1. Condições de recarga, circulação e exutórios dos aquíferos

A recarga de um aquífero pode ser processada de várias maneiras:

- a) Infiltração direta das precipitações pluviométricas sobre as formações geológicas;
- b) Infiltração direta das águas dos rios influentes (nível da base do rio acima da superfície hidrostática freática do aquífero);
- c) Infiltração de água acumulada em barragens, açudes ou barreiros
- d) Drenança vertical ascendente ou descendente de um aquífero para outro;

Considerando o nível regional do estudo numa área de cerca de 93.000 km², não haveria condições de analisar as recargas a não ser pela primeira condição, de infiltração direta das precipitações pluviométricas.

A recarga avaliada a partir da infiltração das precipitações pluviométricas corresponde à reserva reguladora do aquífero, ou seja, às variações da reserva acumulada sujeitas a variação sazonal das precipitações.

Quanto a metodologia de estudo da infiltração, podem ser usadas as seguintes:

- Através da Vazão de Escoamento Natural

Pode ser calculada pela seguinte expressão matemática:

$$R_r = VEN = k \times b \times l \times i \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (1)$$

Sendo:

R_r - reserva reguladora do aquífero (m³/ano)

k - condutividade hidráulica do aquífero (m/ano)

b - espessura saturada do aquífero (m)

l - largura da frente de escoamento (m)

i - gradiente hidráulico medido entre curvas potenciométricas (adimensional)

- Pelo uso de Infiltrômetros

Pode ser calculada pela seguinte expressão matemática:

$$R_r = A_4 \times h' \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (2)$$

Sendo:

A₄ - área do infiltrômetro (m²)

h' - altura da coluna d'água medida no infiltrômetro (m)

- Pela variação anual dos níveis dos poços

Pode ser calculada pela seguinte expressão matemática:

$$R_r = A_3 \times \Delta s \times \mu \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (3)$$

Sendo:

A₃ - área de recarga do aquífero (m²)

Δs - rebaixamento médio anual da água no poço (m)

μ - porosidade efetiva do aquífero, que em camadas arenosas pode ser considerada igual a 0,1 quando não se dispõe de dados de ensaio de bombeamento

- A partir da taxa de infiltração

Pode ser calculada pela seguinte expressão matemática:

$$R_r = A_1 \times P \times I \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (4)$$

Sendo:

R_r – reserva reguladora ou recarga do aquífero

P - precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano)

I - taxa de infiltração

Analisando os distintos métodos acima assinalados, pode-se constatar que:

- a) O método da VEN somente se aplica aos aquíferos intersticiais e na condição em que se possua dados potenciométricos mapeáveis de todas as formações aquíferas o que não ocorre na área pelo reduzido número de poços com dados em todas as formações geológicas sedimentares;
- b) O segundo método também não pode ser aplicado pois não foi prevista a instalação de infiltrômetros ao longo de toda a área coberta por formações sedimentares;
- c) O terceiro método também não poderia ser aplicado pois se desconhece a variação dos níveis dos poços entre os períodos chuvosos e de estiagem;
- d) O último método, apesar de não se ter dados precisos sobre a taxa de infiltração em cada aquífero, pode-se admitir valores com base em estudos realizados em outras regiões onde ocorrem os mesmos aquíferos.

Assim, foram avaliados os volumes de recarga para cada aquífero, conforme será apresentado no capítulo seguinte, resultando nos seguintes valores para os aquíferos da bacia sedimentar:

<u>Aquífero</u>	<u>Recarga</u>
Aluviões e coberturas	300 x 10 ⁶ m ³ /ano
Urucuia	4.771 x 10 ⁶ m ³ /ano
Sambaíba	100 x 10 ⁶ m ³ /ano
Pedra de Fogo	51 x 10 ⁶ m ³ /ano
Piauí	461 x 10 ⁶ m ³ /ano
Poti	476 x 10 ⁶ m ³ /ano
Longá	64 x 10 ⁶ m ³ /ano
Cabeças	427 x 10 ⁶ m ³ /ano
Pimenteiras	984 x 10 ⁶ m ³ /ano
Serra Grande	367 x 10 ⁶ m ³ /ano
TOTAL DOS AQUÍFEROS POROSOS	8.001 x 10 ⁶ m ³ /ano

Para avaliação dessa recarga foram admitidos os seguintes valores das taxas de infiltração nos diversos aquíferos e aquíferos da bacia:

- a) Sedimentos recentes e Aquífero Urucuia – 15%
- b) Aquíferos Sambaíba, Pedra de Fogo, Piauí, Poti, Cabeças e Serra Grande – 10%
- c) Aquíferos Longá e Pimenteiras – 5%

Considerando que a área total sedimentar alcança cerca de 46.000 km², com uma precipitação média de 1.600 mm/ano, o valor total encontrado para os aquíferos porosos, da ordem de 8.000.10⁶ m³/ano resultou numa taxa de infiltração média de 10,8% o que se mostra bastante coerente.

No caso do aquífero cárstico-fissural, da Formação Bambuí, que ocupa uma área de 8.270 km², pode-se considerar uma taxa de infiltração de 5% devido as dissoluções de fraturas, o que proporciona uma recarga anual, considerando uma precipitação pluviométrica média de 1.500 mm, no valor de 620.10⁶ m³/ano.

Finalmente para o aquífero fissural que ocorre numa vasta área de 39.110 km², com uma precipitação pluviométrica média de 1.300 mm/ano, pode-se considerar uma taxa de infiltração da ordem de 2%, no que resulta a recarga anual da ordem de 1.016.10⁶ m³/ano.

Quanto a circulação dos aquíferos os dados existentes não permitem, a nível regional de estabelecer valores quantitativos, de vez que, como já foi mencionado, não se dispõe de elementos para realizar mapas potenciométricos de cada aquífero.

De um modo geral, os fluxos na bacia sedimentar devem ocorrer de sudoeste para nordeste, na bacia sedimentar do Parnaíba, enquanto na Província do São Francisco (aquífero Urucuia) os fluxos possuem o sentido de leste para oeste, a partir do divisor hídrico subterrâneo localizado fora dos limites do estado do Tocantins, já no estado da Bahia.

Os fluxos originados do aquífero Urucuia e do aquífero Bambuí na sua base são responsáveis pela perenização da calha principal dos rios Palma e Manuel Alves na região do aquífero fissural.

Quanto aos exutórios, devem ser distinguidos dois tipos: os exutórios naturais e os exutórios artificiais. Os primeiros dizem respeito a saída da água dos aquíferos para a superfície, alimentando os rios da região enquanto os artificiais correspondem aos volumes que estão sendo retirados dos aquíferos a partir de poços existentes.

Para avaliação dos exutórios naturais faltam elementos necessários ao cálculo da vazão de escoamento natural – VEN – como já mencionado, além do que também não se dispõe de dados de descarga das centenas de fontes (exutórios naturais) que ocorrem ao longo da faixa de contato da Formação Urucuia com o aquífero Bambuí e inclusive no próprio aquífero Bambuí como a fonte que alimenta o rio dos Azuis (considerado o menor rio do mundo). Um levantamento com medição de descargas de todas as fontes da região levaria no mínimo 24 meses de trabalho contínuo.

Quanto aos exutórios artificiais representados por poços perfurados nos diversos tipos de aquífero, pode ser efetuada a avaliação desses volumes através da disponibilidade efetiva calculada no capítulo seguinte.

Dessa maneira, os valores avaliados no capítulo das reservas, potencialidades e disponibilidades, revelou os seguintes números para os distintos tipos de aquíferos:

- a) Aquíferos intersticiais de bacias sedimentares: $5,34.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- b) Aquífero cárstico fissural do Bambuí: $1,98.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- c) Aquífero fissural $2,57. 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$

16.2. Reservas, Potencialidades e Disponibilidades

Foram avaliadas para cada aquífero as reservas, potencialidades e disponibilidades nas bacias sedimentares e nos aquíferos cárstico-fissural e fissural.

De um modo geral, os aquíferos intersticiais das bacias sedimentares estão ainda num nível incipiente de exploração tendo em vista que os poços perfurados além de não serem em número excessivo, vêm captando volumes muito aquém daqueles que poderiam ser extraídos.

16.2.1. Domínio intersticial (poroso)

a) Aquífero Urucuia

Com uma reserva de 954 bilhões de m^3 acumulados na área estudada, e uma reserva reguladora de 4,7 milhões de m^3 anuais, vem sendo efetivamente captados apenas 690 mil m^3 por ano que corresponde a 0,014% da recarga anual do aquífero. A disponibilidade sustentável (leva em conta a preservação da restituição do aquífero para os rios) é, portanto, da ordem de 2,25 bilhões de m^3/ano

b) Sistema aquífero Pedra de Fogo/Sambaíba

Considerando apenas a área de ocorrência do sistema aquífero livre, as suas reservas permanentes são reduzidas devido a pequena área de ocorrência, situando-se em 17 bilhões de m^3 , com uma reserva reguladora de 151 milhões de m^3 . Não há registro de poços perfurados nesse sistema aquífero, pelo que a disponibilidade sustentável (leva em conta a preservação da restituição do aquífero para os rios) é da ordem de 522 milhões de m^3/ano .

c) Sistema aquífero Poti/Piauí

Considerando apenas a área de ocorrência do sistema aquífero livre, as suas reservas permanentes são de 125 bilhões de m³ com uma reserva reguladora da ordem de 937 milhões de m³ anuais. Como também não há registro de poços a disponibilidade sustentável é da ordem de 2.4 bilhões de m³

d) Aquífero Cabeças

Considerando apenas a área de ocorrência do sistema aquífero livre, as suas reservas permanentes são de 107 bilhões de m³ com uma reserva reguladora da ordem de 427 milhões de m³ anuais. A exploração anual é irrisória, não passando de 100 mil m³ anuais o que corresponde a apenas 0,023% da recarga anual do aquífero. A disponibilidade sustentável (leva em conta a preservação da restituição do aquífero para os rios) é da ordem de 2 bilhões de m³/ano.

e) Aquitardo Pimenteiras

A sua extensa área e considerável espessura permite a acumulação de uma reserva livre de 145 bilhões de m³, e uma reserva reguladora de 984 milhões de m³ anuais. A exploração anual de aproximadamente 3 milhões de m³/ano corresponde a apenas 0,3% da recarga anual, possibilitando uma disponibilidade sustentável (leva em conta a preservação da restituição do aquífero para os rios) da ordem de 1,6 bilhões de m³/ano.

f) Aquífero Serra Grande

Considerando apenas a reduzida área de ocorrência do sistema aquífero livre, as suas reservas permanentes são de 65 bilhões de m³ com uma reserva reguladora da ordem de 367 milhões de m³ anuais. A exploração anual de aproximadamente 1,5 milhões de m³/ano corresponde a apenas 0,4% da recarga anual, possibilitando uma disponibilidade sustentável (leva em conta a preservação da restituição do aquífero para os rios) da ordem de 2,5 bilhões de m³/ano. Esse aquífero pode ser ainda captado em poços profundos que atravessem o aquitardo Pimenteiras, como vem ocorrendo na cidade de Palmas, para poços com mais de 270 m (em média) de profundidade.

16.2.2. Domínio cárstico fissural

Esse domínio corresponde ao aquífero Bambui de constituição calcária, que acumula uma reserva de 124 bilhões de m³ com uma reserva reguladora da ordem de 661 milhões de m³. Considerando que apenas 2 milhões de m³/ano correspondendo a 0,3% das recargas anuais são atualmente extraídos do aquífero, são ainda disponibilizados 711 milhões de m³/ano.

16.2.3. Domínio fissural

Esse é um vasto domínio superficial em área de ocorrência, correspondendo às rochas do embasamento cristalino. Nesse tipo de aquífero, como já explicitado no estudo da avaliação das reservas, não se avalia a reserva permanente, mas apenas as reservas reguladoras, que alcançam o elevado valor de 1 bilhão de m³ anuais. Considerando que apenas 2,7 milhões de m³ por ano estão sendo captados do aquífero, o que corresponde a 0,26% da recarga anual, a disponibilidade sustentável é de cerca de 700 milhões de m³/ano.

16.3. Qualidade das águas subterrâneas

16.3.1. Classificação das águas de toda a região estudada

16.3.1.1. Classificação lônica

Na figura 16.1, pode-se ver que as águas têm uma grande variedade química, divididas entre o tipo de águas bicarbonatadas cálcicas e magnesianas, águas sulfatadas, cloretadas e sódicas.

As águas dos aquíferos Serra Grande e Bambui (cárstico-fissural) são predominantemente bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas. As águas dos aquíferos Poti e aluvial são do tipo cloretadas cálcicas ou magnesianas. As águas do aquífero Pimenteiras e cristalino (fissural) são as que apresentam maior grau de

variedade, indo desde as cloretadas (cálcicas ou magnesianas) até as bicarbonatadas (cálcicas, magnesianas ou sódicas).

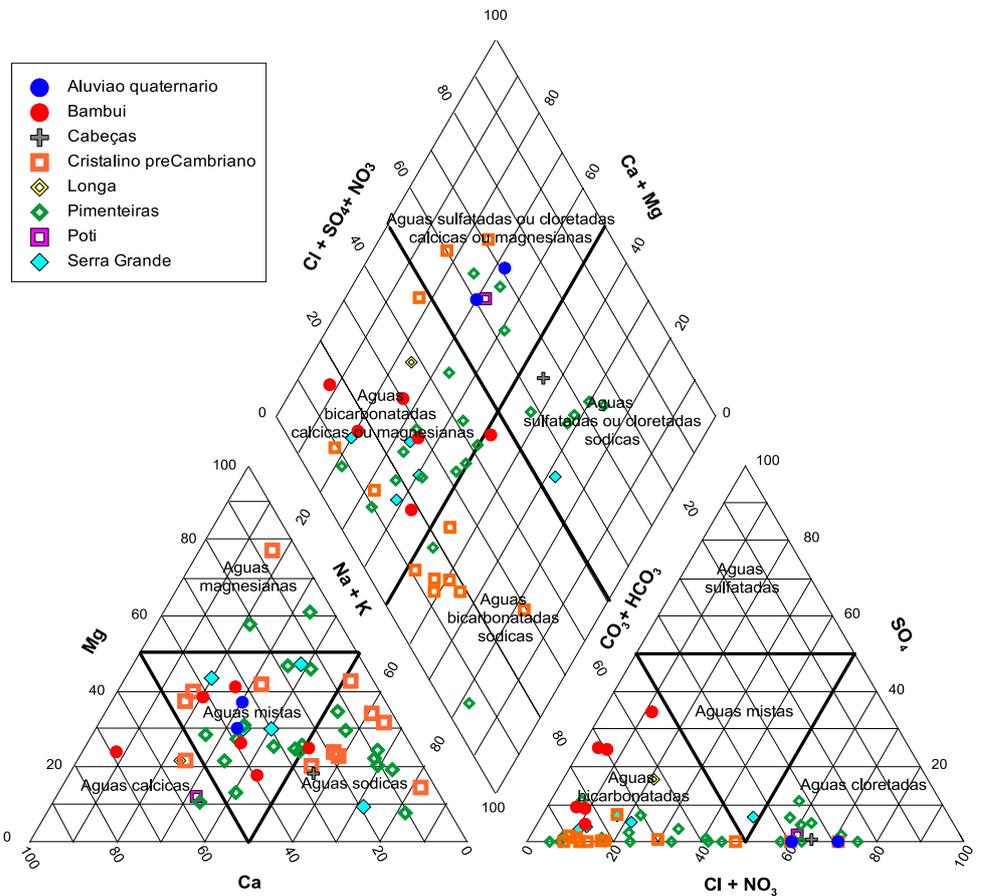


Figura 16.1 - Diagrama de Piper de todas as águas coletadas em Abril 2010.

16.3.1.2. Classificação das águas para irrigação

A figura 16.2 do diagrama do USSL (US Departement of Agriculture, 1954) representa a classificação utilizada para indicar as salinidades.

As águas dos aquíferos pertencem ao grupo de baixo até médio risco de sódio (SAR), com condutividades elétricas de nível nulo (C0-S1), baixo (C1-S1) até médio (C2-S1).

As águas do tipo C0-S1 podem ser utilizadas sem restrições para a irrigação em quase todos os solos com fraco risco de aparição de teores nocivos de sódio susceptível de troca. As águas do tipo C1-S1 podem ser utilizadas para a irrigação

na maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes da salinidade do solo, salvo se a permeabilidade deste ultimo for extremamente fraca

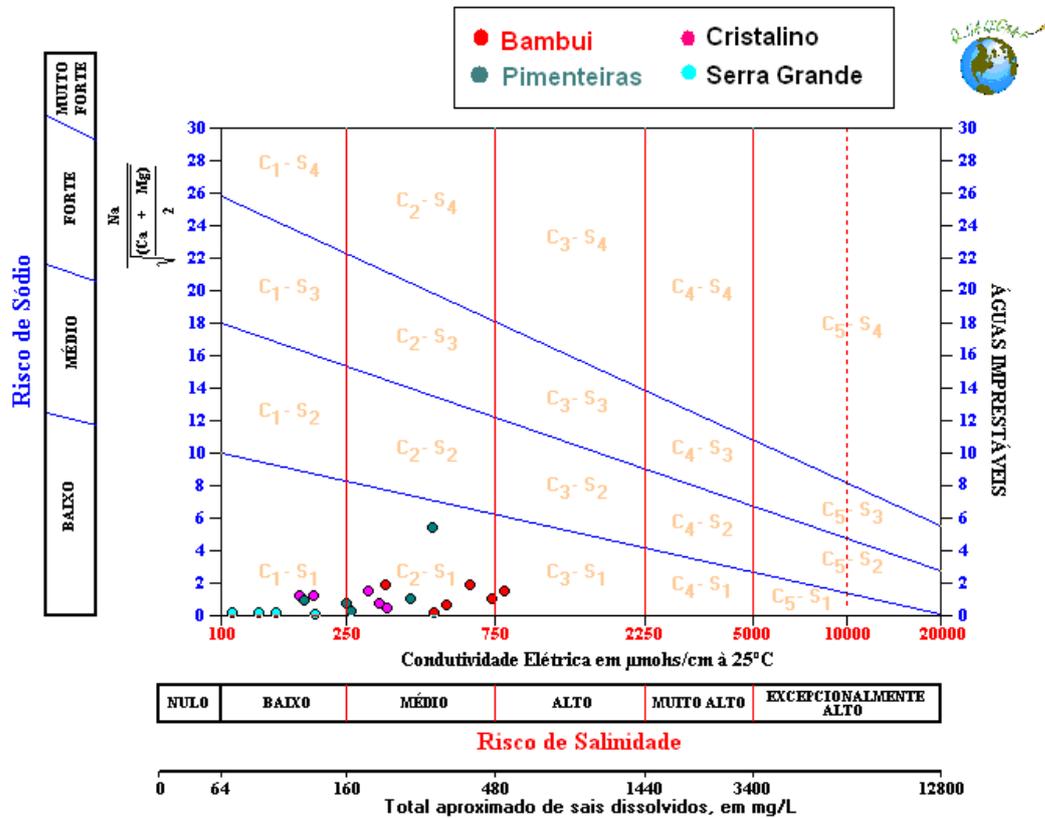


Figura 16.2 – Diagrama de Riverside do USSL para a classificação de Águas para irrigação.

As águas subterrâneas da região estudada são de excelente qualidade: 75% das amostras coletadas e analisadas acusaram sólidos totais dissolvidos (STD) inferior a 100 mg/L e os outros 25% mostraram-se com STD entre 100 e 500 mg/L. Considerando que o limite de potabilidade para consumo humano é de 1.000 mg/L, conclui-se que todas as águas são potáveis.

17. PLANO DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

17.1. Sugestão de legislação específica para as águas subterrâneas...

17.1.1. Considerações preliminares

Poucos são os estados brasileiros que possuíam uma legislação própria para os recursos hídricos subterrâneos, todavia, nos últimos anos, alguns estados como Piauí, Ceará e Alagoas incorporaram leis específicas às já existentes sobre os recursos hídricos considerando a especificidade que representa a exploração das águas subterrâneas com relação às águas superficiais.

A legislação das águas subterrâneas tem a ver também com a estrutura institucional do governo do estado uma vez que todos os mananciais hídricos subterrâneos são de domínio estadual, não havendo dominialidade federal mesmo quando um aquífero ultrapassa os limites da unidade federativa.

Por outro lado deve haver a nível estadual uma sintonia entre o órgão gestor dos recursos hídricos e o órgão ambiental, uma vez que, por lei federal estabelecida pelo CONAMA, todas as obras de engenharia visando captar, armazenar ou distribuir águas (superficiais ou subterrâneas) estão sujeitas ao licenciamento ambiental, através das licenças prévia, de instalação e de operação.

Assim, por exemplo, quando se pretende perfurar um poço, é necessário se obter as licenças ambientais emitidas pelo órgão ambiental e a outorga de uso da água pelo órgão gestor.

A situação é então a mais diversificada entre um estado e outro, pois em alguns estados existem Secretaria de Meio Ambiente e Secretaria de Recursos Hídricos, noutros existe uma única Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, ou de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Para exemplificar as distintas situações funcionais, no Estado do Rio Grande do Norte existem as duas secretarias e em ambas são exigidas licenças para perfurar e operar um poço. Assim o interessado solicita uma licença ambiental à Secretaria de Meio Ambiente e outra licença à Secretaria de Recursos Hídricos. Se ambas as

solicitações são aprovados o interessado volta à Secretaria de Recursos Hídricos e solicita a outorga do uso da água.

Em Pernambuco, o interessado na perfuração de um poço solicita ao órgão ambiental (Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente) a licença para perfurar o poço; esta secretaria solicita do órgão gestor de recursos hídricos (Secretaria de Recursos Hídricos) parecer acerca do pedido e, se favorável, emite a licença de execução; após perfurado o poço o interessado solicita ao órgão ambiental a licença de operação que, após analisada é emitida em conjunto com a outorga de uso da água, emitida pelo órgão gestor.

Finalmente no Estado de Alagoas, como funciona numa mesma secretaria (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), tanto o licenciamento ambiental como a outorga são emitidos no mesmo lugar.

No Estado do Tocantins a situação é semelhante à do Estado de Alagoas, onde existe uma única entidade que cuida da gestão dos recursos hídricos e dos aspectos ambientais, que é a Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, logo a situação é mais facilmente administrada entre os aspectos ambientais que cuida mais da *qualidade* da água e os aspectos gerenciais do recurso hídrico que tem mais relação com a *quantidade*.

A proposta que ora se apresenta tomou como base a lei das águas subterrâneas do Estado de Pernambuco, considerada uma das mais completas do país, devidamente adequada à situação administrativa dos recursos hídricos no Estado do Tocantins.

17.1.2. Proposta de Lei de Águas Subterrâneas

LEI Nº DE DE DE

Dispõe sobre a conservação, a preservação e a administração das águas subterrâneas no Estado de Tocantins e dá outras providências.

O GOVERNADOR DO ESTADO DO TOCANTINS:

Faço saber que a Assembléia Legislativa decretou e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1º Esta Lei dispõe sobre a conservação, a preservação e a administração das águas subterrâneas no Estado de Tocantins e dá outras providências.

CAPÍTULO I

Da Conservação e Preservação das Águas Subterrâneas

Art. 2º. As águas subterrâneas terão Programa Permanente de Conservação e Preservação, visando seu melhor aproveitamento.

Parágrafo único - A conservação e a preservação das águas subterrâneas implicam no seu uso racional, no controle da exploração, na aplicação de medidas de controle à contaminação e na manutenção do seu equilíbrio físico-químico e biológico em relação aos demais recursos naturais.

Art 3º. Quando necessário à conservação ou manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas, dos serviços públicos de abastecimento d'água ou por motivos geológicos ou ambientais, o órgão gestor poderá propor ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos elaborar mapas de zoneamento explorável, instituir áreas de proteção, restrição e controle, restringir as vazões captadas através de poços, proibir a perfuração de novos poços, estabelecer distâncias mínimas entre poços e outras medidas que o caso requerer.

Art 4º. É proibido contaminar as águas subterrâneas através de qualquer atividade antrópica.

§ 1º - Os resíduos líquidos, sólidos ou gasosos provenientes de atividades agropecuárias, industriais, comerciais, minerais ou de qualquer natureza, somente poderão ser armazenados, transportados ou lançados no solo ou nos cursos d'água, de forma a não degradarem a qualidade das águas subterrâneas.

§ 2º - A descarga de contaminantes que possam degradar a qualidade das águas subterrâneas será punida na forma prevista nesta lei e em normas incidentes, sem prejuízo de outras sanções cabíveis.

§ 3º. As obras de captação de água subterrânea deverão ser dotadas de dispositivos adequados de proteção sanitária, no propósito de evitar a penetração de contaminantes.

Art.5^o Visando à preservação e à administração dos aquíferos comuns a mais de uma unidade federativa o Estado de Tocantins através do órgão gestor de recursos hídricos poderá celebrar convênios com os respectivos estados envolvidos.

Art.6^o - O poder público deverá promover e incentivar os usuários da água subterrânea ao reuso da água e, nos seguintes casos, a realizar recarga artificial de aquíferos:

- I – sobre-exploração com exaustão iminente do aquífero;
- II – contaminação do aquífero por infiltração de poluentes químicos ou orgânicos;
- III – risco de subsidência regional ou recalque diferencial localizado.

CAPÍTULO II

Da Administração e do Controle da Exploração das Águas Subterrâneas

SEÇÃO I

Do Órgão Gestor

Art.7^o - O Órgão Gestor deverá desempenhar, dentre outras, as seguintes atividades fundamentais:

- I - avaliar as potencialidades, disponibilidades e recursos exploráveis de águas subterrâneas, bem como planejar o seu aproveitamento racional;
- II – cadastrar todas as obras de captação de águas subterrâneas no Estado de Tocantins, no Sistema de Informações de Recursos Hídricos, mantendo-o permanentemente atualizado;
- III – receber os pedidos de Licença de Instalação e, após a análise, conceder ou negar a referida licença;
- IV - receber os pedidos de Licença de Operação das obras de captação executadas e conceder ou negar a referida licença;
- V - outorgar o direito de uso das águas subterrâneas;

VI – receber e analisar os pedidos de renovação de Licença de Operação e de Outorga de Uso da Água e, após análise, conceder ou negar a renovação do documento legal;

VII - vistoriar a obra de captação subterrânea;

VIII - fiscalizar os testes de produção e de aquífero;

IX - cobrar pelo uso das águas subterrâneas

X – fiscalizar o cumprimento do termo de outorga;

XI - monitorar a exploração dos recursos hídricos subterrâneos;

IX – aplicar aos infratores as penalidades previstas.

Sub-Seção I

Da Avaliação das Potencialidades, Disponibilidades e Recursos Explotáveis de Águas Subterrâneas

Art. 8º - Deverão ser desenvolvidos estudos hidrogeológicos através dos órgãos competentes, no sentido de definir as reservas, a potencialidade, a disponibilidade e os recursos explotáveis dos aquíferos no Estado do Tocantins, bem como as condições de sua exploração, para subsidiar o processo de análise do requerimento de outorga.

Parágrafo único: Esses estudos, sempre que possível, deverão conter, com base na disponibilidade e recursos explotáveis, bem como ainda nas características físico-químicas da água, o “mapa de zoneamento explotável” que estabelecerá restrições e condições de uso das águas dos aquíferos.

Sub-Seção II

Do Cadastro de Obras de Captação de Águas Subterrâneas

Art- 9º - O órgão gestor cadastrará as captações de águas subterrâneas, no Sistema de Informações de Recursos Hídricos, abrangendo os poços em operação e aqueles abandonados.

Art. 10 - Todo poço perfurado no Estado do Tocantins deverá ser cadastrado na forma prevista em regulamento, com as informações técnicas exigidas.

Art. 11 - As captações de água subterrâneas já existentes deverão ser cadastradas no prazo de 180 (cento e oitenta) dias contados da publicação desta lei, e as novas captações em até 90 (noventa) dias após a conclusão das obras.

Art. 12 - Os relatórios e dados hidrogeológicos tais como: fichas de poços, análises químicas e outras, constantes no sistema de informações, serão de utilidade pública, podendo qualquer interessado ter acesso aos mesmos.

Sub-Seção III

Da Licença de Instalação

Art. 13 - A execução das obras destinadas à captação de água subterrânea dependerá de Licença de Instalação, concedida pelo órgão gestor, de conformidade com critérios definidos em regulamento.

Art. 14 - Para obtenção da Licença de Instalação - LI - da obra de captação no Estado do Tocantins, o interessado deverá apresentar requerimento padrão solicitando licenciamento para execução da obra.

Art. 15 - Aprovados os estudos e projetos da obra de captação de água subterrânea, e desde que não existam restrições ambientais, o órgão gestor expedirá a Licença de Instalação.

Art. 16 - A construção da obra de captação de água subterrânea deverá ser efetuada de acordo com as normas técnicas específicas adotadas pelo órgão gestor e será subordinada à existência de condições naturais que não venham a ser comprometidas quantitativa ou qualitativamente pela exploração pretendida, cabendo a esse órgão, definir essas condições em cada local solicitado.

Art. 17 - A implantação ou ampliação de distritos industriais e projetos de irrigação, colonização, urbanização e abastecimento comunitário, bem como outras captações de elevados volumes de águas subterrâneas, deverão ser precedidas de estudo hidrogeológico para avaliação das disponibilidades hídricas e do não comprometimento da qualidade da água do aquífero.

Parágrafo único - Os estudos hidrogeológicos e projetos de captação de água subterrânea deverão ser executados por profissionais, empresas ou instituições legalmente habilitados perante o CREA/TO, e submetidos à apreciação do órgão gestor dos recursos hídricos.

Sub-Seção IV

Da Licença de Operação

Art 18 - Concluída a obra de captação de água subterrânea, o responsável técnico deverá apresentar ao órgão gestor, relatório pormenorizado, contendo as informações necessárias a exploração da água subterrânea, conforme modelo específico definido pelo órgão gestor, de forma a possibilitar a expedição da competente Licença de Operação- LO.

Art 19 - As condições de exploração de água subterrânea em cada captação serão estabelecidas pelo órgão gestor por intermédio do termo de outorga.

Sub-Seção V

Da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos

Art. 20 - A utilização das águas subterrâneas no Estado dependerá da concessão ou autorização administrativa, outorgada pelo Órgão Gestor de recursos hídricos de Tocantins nos seguintes casos:

I - concessão administrativa, quando a água destinar-se a usos de utilidade pública;

II - autorização administrativa, quando a água captada destinar-se a outras finalidades.

Art. 21 - A outorga de direito de uso das águas subterrâneas será concedida concomitantemente com a licença de operação e levará em conta as condições de explotabilidade dos diversos aquíferos no Estado do Tocantins, conforme parecer emitido pelo órgão gestor.

Parágrafo único – O órgão gestor de recursos hídricos, nos casos omissos ou duvidosos, poderá solicitar complementação de documentação além do previsto no artigo 18 da presente Lei.

Art. 22 - O responsável por qualquer terreno poderá, nos termos desta lei, explorar as águas subterrâneas, desde que não venha a inviabilizar captações pré-existentes na área.

Art. 23 - As captações de águas subterrâneas destinadas exclusivamente ao usuário doméstico residencial ou rural, com profundidades reduzidas ou vazões insignificantes e condições especiais a serem regulamentadas, estarão dispensadas de outorga e das licenças de instalação e operação.

§1º - Os critérios para caracterização de “profundidades reduzidas”, de “vazão insignificante” e “condições especiais”, serão regulamentados pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

§2º - Os proprietários dessas captações ficam obrigados a cadastrá-las, na forma dos artigos 9º a 12 desta lei e de sua posterior regulamentação.

Art. 24 – Os titulares das outorgas de direito de uso da água são obrigados a:

- I - cumprir as exigências formuladas pela autoridade outorgante;
- II - atender à fiscalização, permitindo o livre acesso aos planos, projetos, contratos, relatórios, registros e quaisquer documentos referentes à concessão ou à autorização;
- III - construir e manter, quando e onde determinado pela autoridade outorgante, as instalações necessárias às observações hidrométricas das águas extraídas;
- IV - manter em perfeito estado de conservação e funcionamento os bens e as instalações vinculadas à concessão ou à autorização;
- V - não ceder a água captada a terceiros, com ou sem ônus, sem a prévia anuência da autoridade outorgante;
- VI - permitir a realização de testes e análises do interesse hidrogeológico, por técnicos credenciados pela autoridade outorgante.

Art 25 - As concessões e autorizações serão outorgadas por prazo compatível com a finalidade a que se destine a captação, não excedente a vinte anos, podendo ser renovadas.

Parágrafo único - O exercício do direito de uso das águas subterrâneas será sempre condicionado à disponibilidade hídrica existente.

Art. 26 - Em caso de risco de escassez das águas subterrâneas, ou sempre que o interesse público assim o exigir, e sem que assista ao outorgado qualquer direito à indenização, a nenhum título, a autoridade outorgante poderá:

I - determinar a suspensão da outorga de uso, até que o aquífero se recupere, ou seja, superada a situação que determinou a carência de água;

II - determinar a restrição ao regime de operação outorgado;

III - revogar a concessão ou a autorização para uso de água subterrânea.

Sub-Seção VI

Da Cobrança pelo Uso das Águas Subterrâneas

Art. 27 - A água por ser um recurso natural escasso e que deve ser preservada contra a exaustão e degradação da sua qualidade, deve ser cobrada pelo Estado, detentor de seu domínio conforme previsto no art.16, inciso I, da Constituição Federal.

Art. 28 - Os procedimentos, o valor e o agente da cobrança pelo uso da água subterrânea serão definidos posteriormente, através de leis específicas, ouvido o Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Sub-Seção VII

Da Fiscalização

Art. 29 - Fica assegurado aos agentes fiscais, dos órgãos competentes, o livre acesso aos locais em que estiverem situadas as captações e onde forem executados serviços ou obras que, de alguma forma, possam afetar os aquíferos.

Parágrafo único - No exercício das suas funções, os órgãos gestor e licenciador poderão requisitar força policial, para garantir a realização dos seus trabalhos.

Art. 30 - Aos agentes fiscais, além de outras funções que lhes forem designadas pelos órgãos gestor e licenciador, cabem:

I - efetuar vistorias, levantamentos, avaliações e verificar a documentação pertinente;

II - colher amostras e efetuar medições;

III - verificar a ocorrência de infrações e expedir os respectivos autos;

IV - intimar, por escrito, os responsáveis pelas fontes contaminantes, ou por ações indesejáveis sobre as águas subterrâneas, a prestarem esclarecimentos em local e em data previamente estabelecidos;

V - aplicar as sanções previstas em Lei.

Sub-Seção VIII

Do Monitoramento do Aquífero e Manutenção de Obras de Captação

Art. 31 - Os aquíferos do estado do Tocantins deverão ser continuamente monitorados pelo órgão gestor, objetivando preservar sua disponibilidade e qualidade.

Art. 32 - Será estabelecido pelo órgão gestor um contínuo controle sobre a exploração da água dos aquíferos a fim de evitar problemas de sobre-exploração, exaustão, salinização, subsidência e outros, decorrentes da retirada de volumes d'água superiores à potencialidade do aquífero.

§ 1º - Os poços sujeitos à outorga deverão ser dotados de:

a) equipamento de medição de vazão com capacidade de registro cumulativo dos volumes captados, compatível com a vazão a ser bombeada;

b) tubos de acesso para medição de níveis ou sensor de nível permanente com profundidade até as proximidades da bomba

§ 2º - Os poços jorrantes deverão ainda ser dotados de dispositivos para evitar desperdícios.

Art. 33 - Os relatórios dos procedimentos de manutenção periódica de captação de água subterrânea deverão, obrigatoriamente, ser remetidos ao órgão gestor pela empresa que os executou, devidamente assinado pelo técnico responsável, acompanhado da respectiva ART

Sub-Seção IX

Das Sanções

Art. 34 - O descumprimento das disposições contidas nesta lei e nos regulamentos ou normas dela decorrentes sujeitará o infrator às seguintes penalidades, aplicáveis pelo órgão licenciador e/ou órgão gestor, no que lhe competem, sem prejuízo das ações civis e penais cabíveis:

- I - advertência por escrito;
- II - multa;
- III – embargo da obra
- IV - cimentação do poço;
- V – suspensão do funcionamento do poço;
- VI - revogação da outorga do direito de uso;

Parágrafo único - As sanções previstas nos incisos III, IV e V deste artigo poderão ser aplicadas sem prejuízo daquela constante no inciso II, inclusive cumulativamente.

Art.35 - As infrações serão classificadas, a critério da autoridade competente, em leves, graves e gravíssimas, levando-se em conta:

- I - a maior ou menor gravidade;
- II - as circunstâncias atenuantes e agravantes;
- III - os antecedentes do infrator.

Art. 36 - As multas terão os seus valores definidos por decreto, variáveis conforme o grau de infração.

§1º - Em caso de reincidência, a multa deverá ser aplicada pelo valor correspondente ao dobro da anteriormente imposta.

§2º - Nos casos de irregularidade não sanadas nos prazos estabelecidos para sua correção, poderá ser aplicada multa diária, que será devida até que o infrator faça cessar a irregularidade.

Art. 37 - O embargo da obra poderá ser efetuado no caso de ser executada sem a necessária licença, ou quando sua permanência ou manutenção contrariar as disposições desta Lei ou das normas dela decorrentes.

Art. 38 – A cimentação do poço deverá ser executada quando for comprovado por estudo específico que o mesmo esteja irreversivelmente contaminado.

Art. 39 - A suspensão do funcionamento do poço poderá ser decretada quando houver perigo iminente à saúde pública e na ocorrência de infração continuada, implicando, quando for o caso, na revogação ou na suspensão da licença de operação e respectiva outorga.

Parágrafo único - A suspensão prevista neste artigo deverá cessar quando removidas as causas determinantes da mesma.

Art. 40 - A revogação da outorga do direito de uso poderá ser efetuada pelo poder concedente na ocorrência de qualquer das seguintes infrações:

- I - alteração não autorizada dos projetos aprovados para as obras e instalações;
- II - não aproveitamento das águas, acarretando prejuízo a terceiros;
- III - utilização das águas para fins diversos aos previstos na outorga;
- IV - extração da água em volume superior ao outorgado;
- V - descumprimento das disposições do ato de outorga ou de dispositivos legais aplicáveis;
- VI - descumprimento das normas de proteção ao meio ambiente.

CAPÍTULO III

Da defesa da qualidade e da quantidade

SEÇÃO I

Do Programa Permanente de Conservação e Preservação das Águas Subterrâneas

Art. 41 - O Programa Permanente de Conservação e Preservação das Águas Subterrâneas - PPPAS a ser executado pelo Órgão Gestor de Recursos Hídricos, terá as seguintes finalidades:

I - avaliar continuamente as disponibilidades hídricas subterrâneas, coibindo a super-exploração localizada ou regional do aquífero que incorra em risco de exaustão ou comprometimento na continuidade de sua exploração;

II - analisar continuamente a qualidade química e bacteriológica das águas subterrâneas, identificando e procurando sanar ou minimizar os efeitos produzidos pelos focos de contaminação, evitando que processos de degradação venham a se alastrar em todo o aquífero;

III - no aquífero fissural realizar estudos e pesquisas visando melhor aproveitamento desse manancial;

IV - acompanhar a execução das ações programadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos e nos Planos Diretores de Bacias Hidrográficas, no que se refere às águas subterrâneas.

SEÇÃO II

Da Proteção Sanitária e Qualidade da água

Art.42 – Os poços tubulares profundos – com mais de vinte metros de profundidade – assim como os poços rasos – até vinte metros de profundidade – deverão ter o espaço anelar – entre o revestimento e o furo – devidamente cimentado para evitar a contaminação do aquífero, devendo ser a extensão da

cimentação regulamentada, em função dos conhecimentos geológicos regionais e/ou locais.

SEÇÃO III

Das Áreas de Proteção, Restrição e Controle

Art. 43. Tendo sido caracterizada a necessidade da implantação de medidas que assegurem a preservação dos aquíferos, conforme estabelece o art. 3º da presente Lei, serão estabelecidas e delimitadas áreas de proteção, restrição e controle.

§ 1º.- Nas áreas a que se refere este artigo, a extração de águas subterrâneas poderá ser condicionada à recarga natural ou artificial dos aquíferos;

§ 2º. - As áreas de proteção serão estabelecidas com base em estudos hidrogeológicos;

§ 3º - As áreas de restrição serão inseridas no “mapa de zoneamento explotável” das águas subterrâneas conforme estabelece o art. 8º da presente Lei.

§ 4º. O estabelecimento de áreas de controle não implica desapropriação da terra, mas somente restrição ao uso da água a fim de evitar a redução ou exaustão da capacidade do aquífero.

§ 5º - A resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos que estabelecer áreas de controle deverá conter os elementos necessários à sua perfeita delimitação e a discriminação das concessões e autorizações a serem abrangidas.

Art. 44 - Para fins desta Lei, as áreas classificam-se em:

I - Área de Proteção Máxima: compreendendo, no todo ou em parte, zonas de recarga de aquíferos altamente vulneráveis à contaminação e que se constituam em depósitos de águas essenciais para o abastecimento público;

II - Área de Restrição e Controle: caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações no que se refere a volumes máximos diários extraídos, controle máximo das fontes contaminantes já implantadas e restrição a novas atividades potencialmente contaminadoras ou ao controle de vazões bombeadas;

III - Área de Proteção de Poços e outras Captações: incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.

CAPÍTULO IV

Das Disposições Gerais e Transitórias

Art. 45 - O Programa Permanente de Conservação e Preservação das Águas Subterrâneas contará com recursos financeiros do Fundo Estadual de Recursos Hídricos, sem prejuízo de outras dotações orçamentárias do Poder Executivo.

Art. 46 - O Poder Público incentivará a criação de Associações de Usuários das Águas Subterrâneas no sentido de auxiliar as ações públicas de preservação desse manancial de forma descentralizada e participativa.

Art. 47 – As captações e aproveitamentos das águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários, que são regidas por legislação própria, ficam sujeitas às Licenças de Instalação e Operação, constantes na disciplina desta Lei.

Art. 48 - Esta lei será regulamentada pelo Poder Executivo no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias contados da data de sua publicação.

Art. 49 - Esta lei entrará em vigor na data de sua publicação.

Art. 50 - Revogam-se as disposições em contrário.

PALÁCIO DO GOVERNO DO TOCANTINS

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Governador do Estado

17.2. Diretrizes para o enquadramento das águas subterrâneas

O capítulo II da Lei 396/2008 estabelece o seguinte:

DA CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Art. 3º As águas subterrâneas são classificadas em:

I - Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

II - Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

III - Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

IV - Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

V - Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e

VI - Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

O artigo 6º que estabelece as condições e padrões de qualidade, diz textualmente:

Art. 6º- Os padrões das Classes 1 a 4 deverão ser estabelecidos com base nos Valores de Referência de Qualidade-VRQ, determinados pelos órgãos competentes, e nos Valores Máximos permitidos para cada uso preponderante, observados os Limites de Quantificação Praticáveis-LQPs.

Ainda referente aos padrões de qualidade o art.12 estabelece que:

Art. 12. Os parâmetros a serem selecionados para subsidiar a proposta de enquadramento das águas subterrâneas em classes deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente.

Parágrafo único. Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes.

Os parâmetros selecionados para subsidiar o enquadramento das águas subterrâneas em classes foram escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas (aquífero, grau de confinamento, vulnerabilidade, profundidade do nível d'água) e hidrogeoquímicas (parâmetros físico-químico e bacteriológico), das fontes potenciais de poluição e do mapa de risco de contaminação. Os parâmetros físico-químico e bacteriológico selecionados para o enquadramento das águas subterrâneas na RMM, foram: pH, sólidos totais dissolvidos (STD), cloretos, turbidez, condutividade elétrica (CE), nitrato e coliformes termotolerantes.

17.2.1. Padrões para cada uso das águas subterrâneas

As águas subterrâneas no momento do uso deverão atender os seguintes Padrões:

Quadro 17.2 - Valores Máximos Permitidos (VMP) e os Limites de Quantificação Praticáveis (LQP) dos parâmetros químicos, Agrotóxicos e Microorganismos das águas subterrâneas de acordo com a Resolução **CONAMA nº 396**, para cada um dos usos considerados como preponderantes.

Parâmetros	Nº CAS	Usos Preponderantes da Água				Limite de Quantificação Praticável - (LQP)
		Consumo Humano	Dessedentar Animais	Irrigação	Recreação	
Parâmetros Inorgânicos das Águas Subterrâneas ($\mu\text{g.L}^{-1}$)						
Cloreto	16887-00-6	250.000 (1)	-	100.000 a 700.000	400.000	2.000
Ferro	7439-89-6	300 (1)	-	5.000	300	100
Nitrato NO ₃	14797-55-8	10.000	90.000	-	10.000	300
Nitrito NO ₂	14797-65-0	1.000	10.000	1.000	1.000	20
Sódio	7440-23-5	200.000 (1)	-	-	300.000	1.000
STD	-	1.000.000 (1)	-	-	-	2.000
Sulfatos	-	250.000	1.000.000	-	400.000	5.000
Parâmetros orgânicos das Águas Subterrâneas ($\mu\text{g.L}^{-1}$)						
Benzeno	71-43-2	5	-	-	10	2
Fenóis	-	3	2	-	2	10
Etilbenzeno	100-41-4	200 (1)	-	-	-	5
Tetracloroetano	127-18-4	40	-	-	10	5
Tolueno	108-88-3	170	24	-	--	5
Xileno Total (O+m+p)	0-95-47-6/m-108-383/106-42-3	300	-	-	-	5 para cada
Microorganismos das Águas Subterrâneas (nº/100mL)						
<i>E. coli</i>	-	Ausentes	200	-	800	-
Enterococos	-	-	-	-	100	-
Coliformes termotolerantes	-	Ausentes	200	-	1.000	-

Notas:

1. Efeito organoléptico

VMP_{Pr+} valor máximo permitido mais restritivo entre todos os usos preponderantes.

VMP_{Pr-} valor máximo permitido menos restritivo entre todos os usos preponderantes.

Classe 1: o VRQ <ou = VMP_{Pr+}

Classe 2: o VRQ > VMP_{Pr+} .

17.3. Critérios e procedimentos gerais para a proteção e conservação das águas subterrâneas

A proteção e conservação das águas subterrâneas envolvem dois aspectos distintos, a saber: qualidade da água e conservação dos volumes explotáveis.

17.3.1. Preservação da qualidade das águas subterrâneas

A preservação da qualidade das águas subterrâneas envolve cuidados específicos em relação ao risco de contaminação dos aquíferos por agentes físicos, químicos ou orgânicos.

O risco de contaminação de um aquífero depende de dois fatores: a vulnerabilidade do aquífero e a presença de carga contaminante.

17.3.1.1. Vulnerabilidade do aquífero

De modo geral, define-se a vulnerabilidade de um aquífero como sua suscetibilidade a ação de determinada carga contaminante. O conceito de *Vulnerabilidade de um aquífero*, baseia-se na suposição de que o subsolo (litologia) pode promover algum grau de proteção da água subterrânea, por meio, principalmente, da inacessibilidade hidráulica à penetração de contaminantes e da capacidade de atenuação do contaminante na zona não saturada e/ou dos estratos acima da zona saturada, contra o impacto antrópico (contaminação) e natural.

Ambos os fatores interagem com os componentes da carga contaminante com respeito ao seu modo de disposição no subsolo, em particular, com a magnitude da carga hidráulica associada e classe ou tipo de contaminante, em termos de mobilidade e persistência.

O êxito na avaliação da vulnerabilidade de um aquífero, depende, principalmente, da quantidade e qualidade dos dados representativos disponíveis. O conceito fundamental de vulnerabilidade de aquíferos é que algumas áreas são mais vulneráveis a contaminação das águas subterrâneas do que outras.

Para delinear o grau de vulnerabilidade como função das condições hidrogeológicas, são usados mapas de vulnerabilidade, que, de modo científico, representam a melhor maneira para indicar zonas potencialmente vulneráveis.

A metodologia empírica proposta para estimar-se a vulnerabilidade do aquífero à contaminação por Foster e Hirata (1988) envolve alguns estágios distintos:

- primeiro: identificação do tipo de confinamento de água subterrânea, com a posterior indexação desse parâmetro na escala de 0,0–1,0;
- segundo: especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero em termos de (a) grau de consolidação (e, portanto, provável presença ou ausência de permeabilidade por fissuras) e (b) tipo de litologia (e, portanto, porosidade indiretamente dinâmico-efetiva, permeabilidade da matriz e teor de umidade da zona não saturada ou retenção específica); isto leva a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4–1,0;
- terceiro: estimativa da profundidade até o aquífero (lençol) freático (de aquíferos não confinados) ou da profundidade do primeiro nível principal de água subterrânea (para aquíferos confinados), com posterior classificação na escala de 0,6–1,0.

O índice final integral de vulnerabilidade do aquífero é o produto dos três índices desses parâmetros (Figura 17.1). Primeiramente seleciona-se o parâmetro G (tipo de aquífero), multiplicando-se em seguida pelo valor atribuído ao parâmetro O (litologia). O resultado desta operação será multiplicado finalmente pelo valor atribuído a D (Distância à água). Esses valores serão divididos em 5 classes a que correspondem graus de vulnerabilidade diferentes (Quadro 17.3).

O resultado do produto destes três índices é colocado em termos qualitativo em índice de vulnerabilidade: extrema; alta; média; baixa e insignificante.

Vulnerabilidade insignificante ou nula - indica que não existe aquífero, quer pela ausência de água em quantidades aproveitáveis, quer pela baixa qualidade natural;

Vulnerabilidade baixa - significa que o aquífero é vulnerável a apenas compostos extremamente móveis e persistentes, como sais, nitratos e alguns solventes organo-sintéticos;

Vulnerabilidade média ou moderada – o aquífero é susceptível a contaminantes moderadamente móveis e persistentes, como hidrocarbonetos halogenados ou não e alguns metais pesados. Sais menos solúveis são também incluídos nesse grupo.

Vulnerabilidade alta indica aquífero vulnerável a muitos contaminantes exceto aqueles que são muito absorvíveis e/ou facilmente transformáveis;

Vulnerabilidade extrema é aplicável ao aquífero que possui sensibilidade para contaminantes degradáveis, como bactérias e vírus, sendo vulnerável a maioria dos contaminantes da água com um impacto relativamente rápido em muitos cenários de poluição.

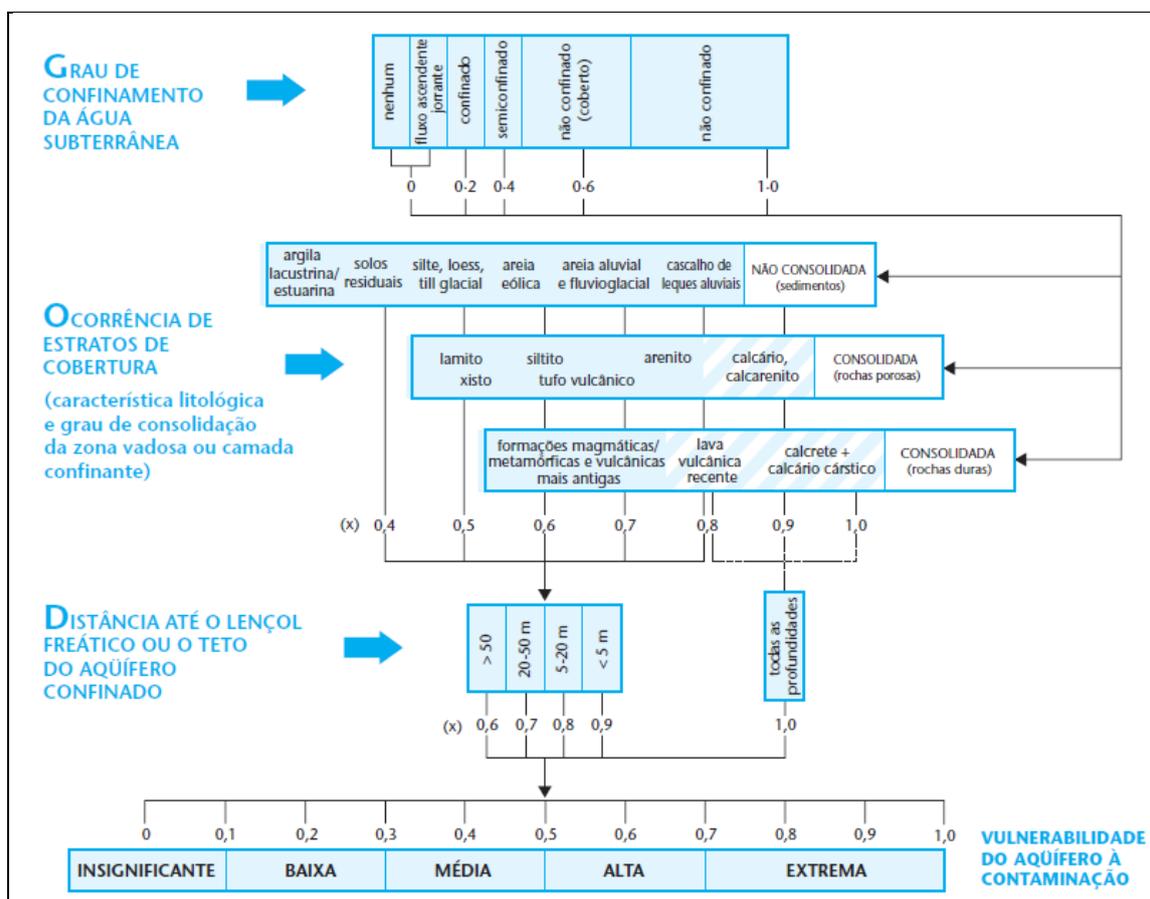


Figura 17.1 - Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (Foster et al. 1988).

Quadro 17.3 – Índices GOD e classes de vulnerabilidade

Índice GOD	Grau de vulnerabilidade
0,7 -1,0	Extrema
0,5 – 0,7	Alta
0,3 – 0,5	Média ou moderada
0,1 – 0,3	Baixa
0,0 – 0,1	Insignificante ou nula

17.3.1.2. Caracterização da Carga Contaminante

Diversas atividades antrópicas podem gerar carga contaminante no subsolo, do ponto de vista teórico, e para cada atividade contaminante, são estabelecidas as seguintes características associadas à carga segundo Foster & Hirata, (1993):

1. **A classe de contaminante envolvida** : definida pelas tendências de degradação ou biotransformação “in situ” (reações químicas ou atividade microbiana) e retardação com respeito ao fluxo de água subterrânea (troca de cátions, precipitação etc).

2. **A intensidade da contaminação**: definida pela concentração relativa de cada contaminante envolvido, os padrões estabelecidos pela OMS e proporção da recarga local da água afetada pela contaminação.

3. **A forma de disposição no subsolo**: definida pela carga hidráulica associada ao contaminante, incluindo a infiltração natural da precipitação, colocação de efluentes em superfície de baixa profundidade e lixiviação os resíduos sólidos.

4. **O tempo de aplicação da carga contaminante**: leva-se em conta a probabilidade de disposição do contaminante no solo (exceto em acidentes ambientais), e o período que se aplica a carga.

A estimativa dos fatores envolvidos em cada uma das características, permite classificar os componentes da carga contaminante em uma escala relativa. Estas características interagem individualmente com um componente de vulnerabilidade

de contaminação do aquífero determinando o grau de risco de contaminação das águas subterrâneas.

17.3.1.3. Risco de contaminação do aquífero

Nos últimos anos, tem se dado maior ênfase aos riscos de contaminação das águas subterrâneas, do que aos problemas de exploração. A renovação da água num aquífero se processa em velocidade muito baixa, o que dificulta a recuperação de suas características qualitativas. São comuns exemplos de aquíferos salinizados, contaminados por nitratos agrícolas e resíduos industriais e, mais recentemente, por praguicidas, diversos solventes orgânicos e hidrocarbonetos.

O termo *risco de contaminação*, dentre outras conceituações, é definido como a probabilidade de contaminação das águas subterrâneas alcançando teores acima dos padrões de qualidade, recomendados pela OMS, para consumo humano. A conversão do risco numa séria ameaça de contaminação depende da mobilidade dos contaminantes.

O grau de risco de contaminação das águas subterrâneas, decorrentes de qualquer atividade ou forma de ocupação antrópica do meio ambiente, é determinado pelas interação de dois fatores semi-independentes - Rebouças (1994):

- **As características das cargas contaminantes** ou dos eventos impactantes (forma de aplicação, volume, extensão, intensidade, duração e composição).

- **A vulnerabilidade do aquífero**, que é função das características naturais do meio aquífero em questão (porosidade / permeabilidade, tempo de transito e capacidade de atenuação físico-bio-geoquímica).

A carga contaminante pode ser controlada ou modificada, o que não acontece com a vulnerabilidade do aquífero. A Figura 17.2 ilustra a interação entre os dois fatores, na forma de um modelo conceitual de avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas de aquíferos.

Conforme o mapa de vulnerabilidade apresentado é possível identificar áreas de vulnerabilidade extrema que, sem carga contaminante não apresenta risco de

contaminação. Da mesma forma, áreas de baixa vulnerabilidade do aquífero Barreiras, submetida a elevadas cargas contaminantes, apresentam os maiores riscos de contaminação das águas subterrâneas.

A inacessibilidade hidráulica é função do grau de confinamento e profundidade da superfície freática do aquífero, do conteúdo de umidade da zona não saturada e da condutividade hidráulica vertical da zona não saturada.

A capacidade de atenuação do aquífero poroso é função da distribuição dos tamanhos dos grãos e dos minerais presentes na zona não saturada. Portanto, o conceito de vulnerabilidade, neste contexto, representa a sensibilidade de uma parte do aquífero de ser afetado por uma carga poluente.

De acordo ainda com Rebouças op.cit a tendência atual de avaliação dos riscos de contaminação das águas subterrâneas (Figura 17.2) é da evolução de uma abordagem tecnológica (vulnerabilidade versus cargas contaminantes, ou de quantidade/qualidade versus níveis de usos atuais e/ou futuros), para uma avaliação dos riscos e definição das ações de gerenciamento destes riscos, em termos de saúde pública.

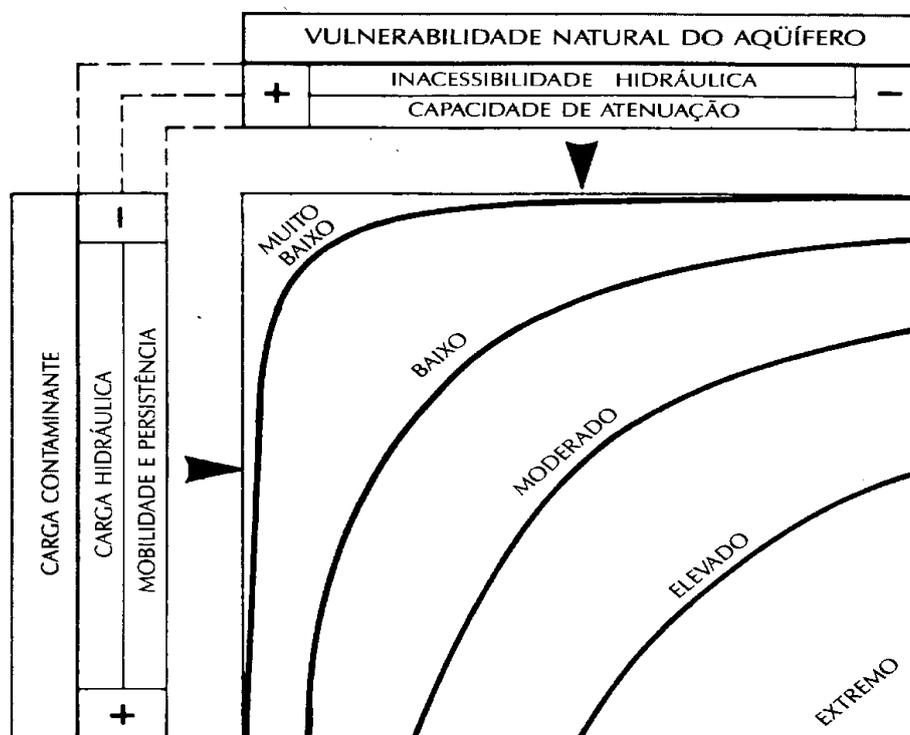


Figura 17.2 - Esquema conceitual para avaliação do risco de contaminação - Foster et al. (1993).

Dessa maneira, o risco de contaminação envolve duas variáveis sendo uma independente de ação antrópica que é a vulnerabilidade do aquífero e a outra que pode ser controlada pelo homem, que é a carga contaminante.

Para evitar a contaminação devem ser, portanto desenvolvidas medidas capazes de impedir ou minimizar ao máximo o efeito das cargas contaminantes que podem ser de várias origens, como sejam:

a) Agentes contaminantes predominantes na zona urbana:

- Saneamento sem esgoto
- Vazamento de esgotos
- Lagoas de oxidação
- Descarga de águas residuais na superfície
- Rios e canais de recepção
- Lixiviados de lixões/aterros sanitários
- Lixiviados de cemitérios
- Vazamentos de tanques e condutos de combustível
- Vazamento de tanques ou tubos em indústrias
- Lixiviado de resíduos sólidos industriais
- Lagoas de efluentes de indústria
- Material em suspensão e gases
- Poços mal construídos

b) Agentes contaminantes na zona rural (campo)

- Áreas de cultivo com agroquímicos ou irrigação com águas residuais
- Criação de gado com estêrco espalhado na superfície do terreno
- Atividades decorrentes da extração mineral
- Rejeito concentrado salino em procedimentos de dessalinização
- Contaminação salina por aerossóis, em regiões semi-áridas

c) Caso Particular do Aquífero Aluvial

O aquífero aluvial por ser descontínuo, de reduzida espessura, de comportamento freático e ocorrer na região semi-árida na maior parte sobre o embasamento cristalino, apresenta as seguintes particularidades com respeito aos riscos de contaminação:

- São mais susceptíveis à contaminação salina nas áreas onde a evaporação é muito superior à precipitação;
- São facilmente contaminados por pesticidas ou fertilizantes utilizados na irrigação pelo escoamento dos excedentes hídricos do solo para as calhas fluviais;
- São frequentemente contaminados pela urina e fezes dos animais, das águas empossadas nos leitos semi-secos ou cacimbas escavadas pelo homem com essa finalidade

17.3.2. Medidas de Proteção à Contaminação

Apesar das dificuldades que geralmente são interpostas às ações de proteção ambiental sob a alegação de se estar querendo impedir o progresso, algumas medidas devem ser adotadas no sentido de exercer uma proteção à contaminação das águas subterrâneas.

- Monitoramento dos potenciais focos de contaminação
- Impermeabilização do substrato onde serão locados os lixões/aterros sanitários, lagoas de oxidação e de efluentes, e de depósitos residuais em indústrias.
- Cimentação/impermeabilização do espaço anelar em poços, na zona não produtora de água
- Armazenamento dos rejeitos concentrados em sais como sub-produto da dessalinização, em tanques impermeabilizados, para fins comerciais (cultivo de camarões, p.e.);
- Tratamento químico de águas residuais antes do despejo na superfície.

17.4. Plano de monitoramento dos aquíferos

O monitoramento dos aquíferos deve ser considerado sob dois aspectos: quantitativo e qualitativo.

O monitoramento quantitativo diz respeito aos aspectos volumétricos do manancial hídrico subterrâneo tendo em vista os rebaixamentos acentuados da superfície potenciométrica, que venham a causar problemas de salinização, recalques diferenciais no terreno e até mesmo uma exaustão do depósito aquífero quando em casos extremos de super-exploração.

Enquanto isso, o monitoramento qualitativo refere-se à qualidade da água e ao controle sobre possíveis contaminações, quer por salinização, quer por substâncias tóxicas de natureza orgânica ou inorgânica.

O estudo hidrogeológico ora realizado se constituiu num primeiro diagnóstico da hidrogeologia da Região Sudeste do Tocantins, devendo esse trabalho ser continuado com observações sistemáticas que irão no futuro oferecer subsídios para a atualização do presente diagnóstico.

O diagnóstico ora apresentado já revelou uma situação bastante diferenciada entre a região urbana da cidade de Palmas, submetida a uma intensa exploração para o abastecimento d'água do município e o restante da área, onde o uso da água subterrânea é ainda incipiente, resultando numa situação de equilíbrio e sustentabilidade entre as entradas e saídas de água no sistema hídrico subterrâneo.

Essa é uma grande diferença entre um manancial hídrico acumulado na superfície e um manancial hídrico subterrâneo. No primeiro, um bombeamento intensivo em qualquer parte do reservatório acarretará um rebaixamento generalizado de toda a superfície do corpo hídrico (ou espelho d'água), enquanto num aquífero o rebaixamento da superfície potenciométrica se fará de modo diferenciado, com depressões acentuadas nos locais de intensa exploração, rebaixamento pouco acentuado em locais pouco explorados e nenhum rebaixamento onde não ocorrer nenhuma captação. A Figura 17.3 ilustra essa diferenciação entre os dois tipos de mananciais.

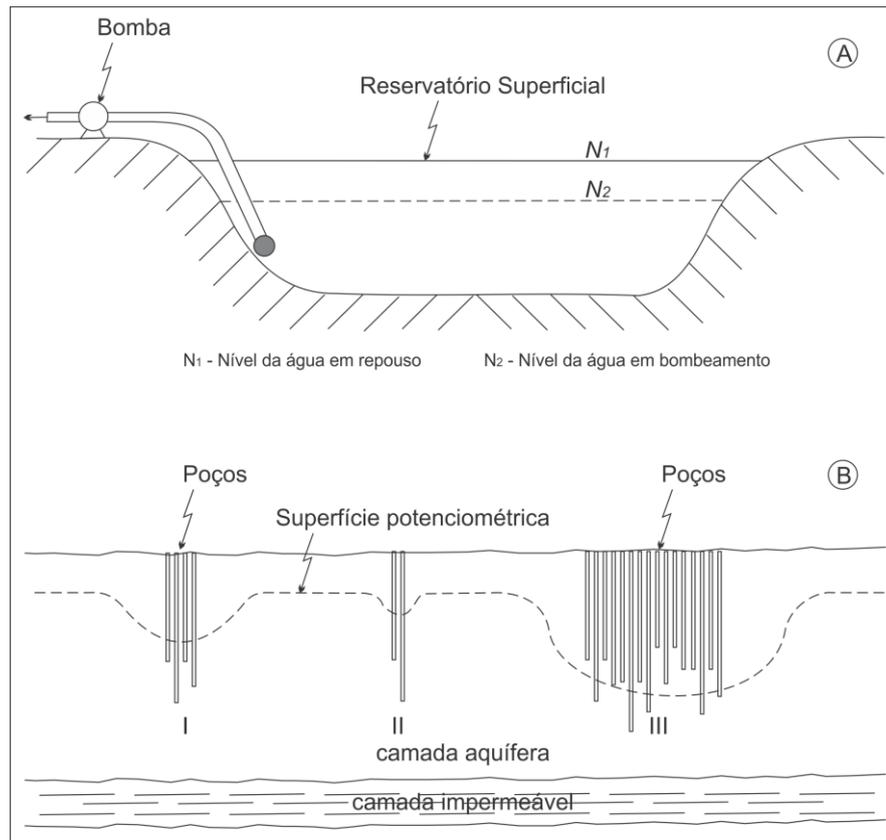


Figura 17.3 – Em (A) observa-se um bombeamento num reservatório d'água em superfície; em (B) mostra a captação de água subterrânea num mesmo aquífero, sendo que em (I) o cone de rebaixamento múltiplo foi mais acentuado do que em (II) que possui menos poços e em (III) com o maior número de poços ocorreu o maior rebaixamento da superfície potenciométrica do aquífero.

O monitoramento dos níveis d'água e qualidade da água pode ser procedido de duas maneiras, as quais podem funcionar simultaneamente, quais sejam;

a) Medições sistemáticas dos níveis com sondas elétricas e coleta de amostras d'água para realização de análises específicas, a serem realizadas pelo menos uma vez a cada semestre, por técnicos da concessionária dos serviços de abastecimento d'água. Não é necessário que se monitore todos os poços, mas uma rede de poços pré-selecionada que poderia inclusive coincidir com aquela escolhida no âmbito do presente estudo.

b) Instalação de sensores telemétricos que registrem pelo menos a profundidade do nível e a condutividade elétrica da água. Outros

elementos podem vir a ser detectados como a vazão do poço e o teor de cloretos, dentre outros.

O monitoramento por sensores telemétricos instalados dentro dos poços pode também variar quanto a forma de envio e recepção dos dados registrados.

De um modo geral, as seguintes formas de captação e envio dos dados podem ser adotadas, necessitando uma análise da direção do órgão gestor sobre a conveniência técnica, administrativa e financeira mais adequada a ser implantada:

➤ Os sensores telemétricos dentro do poço são acoplados a um aparelho receptor localizado fora do poço que acumulará os dados emitidos a cada intervalo de tempo que for dimensionado (por hora, por dia, por semana, etc). Ao final do mês, ou de dois em dois meses, ou ainda a cada semestre, o técnico irá ao poço e captará no computador as informações acumuladas no aparelho receptor, trazendo-as para o escritório para análise do período desejado.

➤ Os sensores telemétricos ficam dentro do poço e são ligados por fios a uma caixa receptora de sinais que fica fora do poço. Dessa caixa são enviadas automaticamente para um aparelho receptor localizado no órgão gestor, que acumulará os sinais emitidos pelos vários sensores localizados em poços de monitoramento distribuídos na área.

Quanto ao envio dos sinais da caixa de recepção localizada fora do poço para o equipamento de controle localizado no órgão gestor, pode ser efetuado de várias maneiras;

- Por telefone
- Por rádio
- Por satélite

As duas primeiras alternativas são mais dispendiosas e sujeitas a panes repentinas no sistema de telefonia ou de rádio. Quanto a transmissão via satélite há duas alternativas: por satélites estrangeiros, que têm uma frequência de emissão de dados mais contínua e com pequenos intervalos de tempo e o satélite brasileiro que passa em cada ponto de três em três dias. Consideramos que essa última alternativa é a mais viável, pois dez informações mensais são mais do que

suficientes para o acompanhamento dos processos de variação de nível e de qualidade da água.

À título de exemplo pode ser citado o caso do Recife, que chegou a alcançar há mais de 10 anos o regime de sobre-exploração na captação das águas subterrâneas, com rebaixamentos de 8 metros/ano em poços da região costeira.

Um procedimento de monitoramento foi instalado em 2002 a partir de 10 poços com sensores telemétricos instalados com sistema de transmissão por telefone para o órgão controlador, no caso a CPRH. Atualmente todos esses monitores estão desativados por problemas vários surgidos na transmissão.

O sistema instalado previa a emissão de dados a cada hora, pois era de interesse científico investigar a inter-relação entre a variação dos níveis da água e a variação da maré bem como com a variação pluviométrica diária e sazonal.

O gráfico da Figura 17.4 mostra o registro da variação do nível da água (na parte superior do gráfico) e da qualidade da água em condutividade elétrica (na base do gráfico).

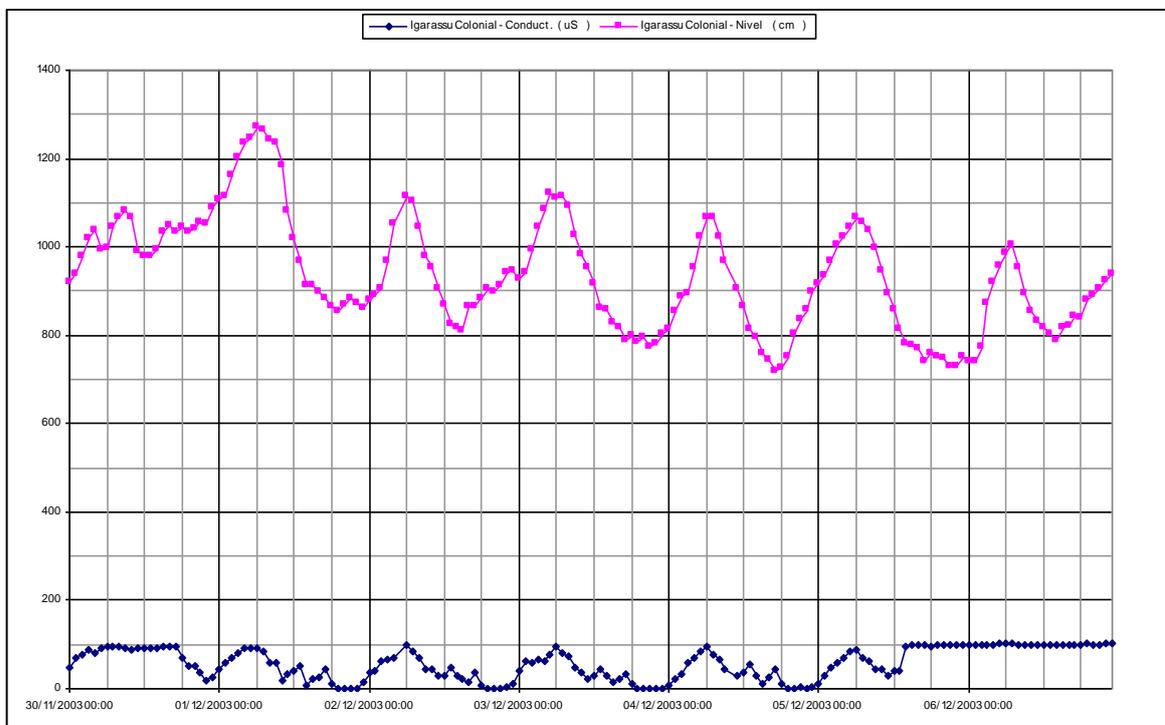


Figura 3.4. Gráfico da variação dos níveis d'água e da condutividade elétrica em poço de monitoramento localizado no Recife.

A escolha final dos pontos de monitoramento assim como uma definição sobre o tipo de equipamento e modo de transmissão a ser escolhido pelo órgão gestor deverá sair após reunião conjunta dos técnicos do consórcio com dirigentes e técnicos da SEMARH (órgão gestor).

As áreas mais importantes para monitoramento são aquelas onde se concentra o maior número de poços, no caso os municípios de Palmas e Porto Nacional.

Preferencialmente deverão ser escolhidos poços desativados, pois permitirá uma maior proteção e controle por parte do órgão gestor além de não ficar sujeito a variações de nível decorrente da ligação e desligamento do sistema de bombeamento pelo usuário.

Também será importante o monitoramento de poços de distintos aquíferos nos domínios sedimentar, cárstico e cristalino.

18. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GEOLOGIA/GEOMORFOLOGIA

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras, In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977. **Atas...** Campina Grande: SBG, 1977. p.363-391.

ALVAREZ, M. C. A. **Mineralizações de ouro no terreno Almas-Dianópolis-TO:** guias de exploração mineral. Dissertação (Mestrado em Prospecção e Geologia Econômica) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

AMORIM JUNIOR, V. **Avaliação Hidrogeológica do aquífero Urucua na bacia do Rio das Fêmeas usando IP-Resistividade.** 82f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2003.

BARBOSA, G. V.; BOAVENTURA; R. A. S.; PINTO, M. N. **Geomorfologia.** Folha SC.23 Rio São Francisco e parte da Folha SC.23 Aracaju: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Radambrasil, 1973. Projeto Radambrasil. (Levantamento de Recursos Naturais, 1).

BIZZI, L. A. *et al.* (Org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil:** texto, mapa & SIG. Brasília: CPRM, 2003. 692 p.

BOAVENTURA; R. S. **Geomorfologia.** Folha SB.22 Araguaia e parte da Folha SC.22 Tocantins: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Radambrasil, 1974. Projeto Radambrasil. (Levantamento de Recursos Naturais, 4).

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Monitoramento por Satélites (CNPM). Brasil em relevo: download do SRTM // Tocantins. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/to/to.htm>>. Acesso em: 25 out. 2009.

CAMPOS, J. E.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p.

269-282, 1997.

CASSETI, V.; DIAS, R. R.; BORGES, R. S. T. **Geomorfologia**. Folha SB.22-X-D Marabá. Estado do Tocantins. Escala 1:250.000. Palmas: Seplan/DZE, 2002a. (Zoneamento Ecológico-Econômico do Bico do Papagaio. Projeto de Gestão Ambiental Integrada Bico do Papagaio).

CASSETI, V.; DIAS, R. R.; BORGES, R. S. T. **Geomorfologia**. Folha SB.23-V-C Imperatriz. Estado do Tocantins. Escala 1:250.000. Palmas: Seplan/DZE, 2002b. (Zoneamento Ecológico-Econômico do Bico do Papagaio. Projeto de Gestão Ambiental Integrada Bico do Papagaio).

CHAVES, C. I.; GORAYEB; P. S. S.; MOURA, C. A. V. Geologia, geocronologia e litoquímica dos granitos paleoproterozoicos do tipo A no setor setentrional da Província Tocantins. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2, p.366-378, 2008.

CONSÓRCIO CENTRO TECNOLÓGICO DE ENGENHARIA (CTE) LTDA. / MRS ENGENHARIA DE PROJETO S/C LTDA. **Plano de manejo do Parque Estadual do Jalapão**. Palmas: Seplan, 2004.

COSTA, J.B.S.; HASUI, Y.; HARALYI, N.B.E. 1988. A zona de articulação dos blocos Brasília e Araguacema no Centro-Norte de Goiás. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35, Belém, 1988. **Anais...** Belém, SBG, v.5, p. 2197-2207.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia**. São José dos Campos: Inpe, 2004. (INPE-11238-RPQ/761).

CRUZ; E. L. C. C.; KUYUMJIAN, R. M. The geology and tectonic evolution of the Tocantins granite-greenstone terrane: Almas-Dianópolis region, Tocantins State, central Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 173-182. 1998.

DEL'ARCO, D. M. et al. Mapa Geoambiental do Estado do Tocantins. Escala 1:1.000.000. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada, 6., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Ed. Universidade Federal de Goiás, 1995.

DELGADO, I. M. *et al.* Geotectônica do Escudo Atlântico. In: BIZZI, L. A. *et al.* (Org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapa & SIG**. Brasília: CPRM, 2003. 692 p. Cap. V, p. 227-334.

DELLA FÁVERA, J. C. **Tempestitos da bacia do Parnaíba**. 243f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1990.

FARACO, M. T. L. *et al.* 2004. **Folha SC.22-Tocantins**. In: Schobbenhaus, C. *et al.* (eds.), Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

FRASCA; A. A. S.; ARAÚJO, V. A. de **Projeto Hidrogeologia no Tocantins - Folha Palmas** – SD.22-Z-B. Goiânia: CPRM, 2001.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Geomorfologia do Estado do Tocantins**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007a. 1 mapa Escala 1:1.000.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Geologia do Estado do Tocantins**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007b. 1 mapa Escala 1:1.000.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1997. 1 mapa Escala 1:5.000.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Árvores do Brasil**.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. 1994. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 57-67, 1994.

GORAYEB, P.S.S. **Petrologia e evolução crustal das rochas de alto grau de Porto Nacional**. 262f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

LACERDA FILHO, J. V. *et al.* 2004. **Folha SD.22-Goiás**. In: Schobbenhaus, C. *et al.* (eds.), Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

MACRO Consultoria e Meio Ambiente. **Plano de manejo do Parque Estadual do Lajeado**. Palmas: Seplan, 2003.

MAMEDE, L. NASCIMENTO, M. A. L. S. do; FRANCO, M. S. M. **Geomorfologia**. Folha SD.22 Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação. Rio de Janeiro: Radam, 1981. Projeto Radambrasil. (Levantamento de Recursos Naturais, 25).

MAMEDE, L.; ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. dos. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Folha SC.22 Tocantins**. Rio Janeiro: Radambrasil, 1981. Projeto Radambrasil. (Levantamento de Recursos Naturais, 22).

MARINI, O. J.; FUCK, R. A.; DANNI, J. C. M.; DARDENNE, M. A.; LOGUERCIO, S. O. C.; RAMALHO, R. 1984. As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E., **Geologia do Brasil**. Brasília: DNPM, p.251-303.

MOURA, C. A. DANTAS, M.; ROSO, F. A. **Geomorfologia**. Folha SD.23 Brasília: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação. Rio de Janeiro, Radam, 1982. Projeto Radambrasil. (Levantamento de Recursos Naturais, 29).

PEREIRA, R. S. **Cráton do São Francisco, kimberlitos e diamantes**. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

SCHOBENHAUS, C. *et al.* 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas SIG e 46 folhas na escala 1:1.000.000. CPRM, Brasília. 41 CD-ROMs.

SILVA, A. J. P. da *et al.* Bacias sedimentares paleozoicas e mesocenoicas interiores. In: BIZZI, L. A. *et al.* (Org.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapa & SIG**. Brasília: CPRM, 2003. 692 p. Cap. II, p. 55-85.

SOUZA, J.O. *et al.* 2004. **Folha SD.23-Brasília**. In: Schobbenhaus, C. *et al.* (eds.), Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

TOCANTINS. Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves no Estado do Tocantins. Relatório Técnico Parcial: Fase A**. Palmas: Consórcio GAMA ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA. / OFFICE INTERNACIONAL DE L'EAU, 2007.

TOCANTINS. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan-TO). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: Seplan/DZE, 2009.

VASCONCELOS, A. M. *et al.*, 2004. **Folha SC.23-Rio São Francisco**. In: Schobbenhaus, C. *et al.* (eds.), Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. CPRM, Brasília. CD-ROM.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos, INPE, 1982 (INPE-227-MD/014).

HIDROQUÍMICA

SANTIAGO MF, C.E.D. C, FRISCKORN H, MENDES FILHO J, SANTIAGO RS. **Estudo hidroquímico das águas subterrâneas do aquífero Cabeças no Vale do Gurguéia.**, In : Simpósio Brasileiro de recursos hídricos, 13, Belo Horizonte, ABRH., 1999.

ZOBY JLG, DE OLIVEIRA FR. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Agência Nacional de Águas, Brasília-DF, 200

HIDROLOGIA/HIDROGEOLOGIA

COSTA,W.D., **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco**, Secretaria de Recursos Hídricos – Recife – Pernambuco, SECTMA/PE, 1998

COSTA,W.D., COSTA FILHO,W.D., COSTA,H.F., FERREIRA,C.A., MORAIS, J.F.S.de, VILA VERDE,E.R., COSTA,L.B. – **Estudo Hidrogeológico de Recife-Olinda-Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes – HIDROREC II**. Elaborado pela COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda., para a SRH-Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco. 2002.

COSTA,W.D., **Estudo Hidrogeológico da Bacia Sedimentar de São José do Belmonte**. SECTMA-PE, 2005.

COSTA,W.D., **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe – SEMARH/SE**, 2010

CPRM, **Projeto Hidrogeologia no Tocantins** – Folha Palmas – SD.22-Z-B-TO. Goiânia; 81 p. + mapas. Frasca, A.A.S. & Araújo, V.A. de 2001.

GASPAR, M.T.P., **Sistema aquífero Urucua: caracterização regional e propostas de gestão**. Tese de Doutorado apresentada no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 2006.160p.

SRHMA/TO - **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves (Tocantins)**. Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável do Tocantins (BIRD). Trabalho desenvolvido para a Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins pelo Consórcio GAMA Engenharia de Recursos Hídricos Ltda. e Office International de L'eau. Período: 2007-2008.

SRHMA/TO - **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Palma (Tocantins)**. Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável do Tocantins (BIRD). Trabalho desenvolvido para a Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins pelo Consórcio GAMA Engenharia de Recursos Hídricos Ltda. e Office International de L'eau. Período: 2007-2008.

SRHMA/TO - **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Tocantins e Araguaia**. Trabalho desenvolvido pelo Consórcio COHIDRO/Magna Engenharia Ltda. e ANA. Período: janeiro de 2006 a agosto de 2008.

RELAÇÃO DOS ANEXOS

TOMO II

A- MAPAS A0

- MAPA PLANI-ALTIMÉTRICO COM POÇOS CADASTRADOS
- MAPA GEOMORFOLÓGICO 1:1.000.000
- MAPA GEOLÓGICO 1:500.000
- MAPA GEOLÓGICO 1:250.000 (13 folhas)
- MAPA GEOLÓGICO 1:25.000 (3 folhas)

TOMO III

B – MAPAS A4

- CLIMATOLOGIA: ETP
- CLIMATOLOGIA ETPO
- HIDRO-CLIMATOLOGIA: DÉFICIT X EXCESSO
- HIDROCLIMATOLOGIA: DISPONIBILIDADE HÍDRICA

C - BANCO DE DADOS DE POÇOS

TOMO IV

D – CADASTRO SÓCIO-ECONÔMICO DAS CIDADES

E – BOLETIM DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

F – FICHAS DOS TESTES DE BOMBEAMENTO EM POÇOS EXISTENTES

G - MEMÓRIA DE CÁLCULO DA AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS AQUÍFEROS

TOMO V

H – BOLETINS E GRÁFICOS DOS PERFÍS ÓPTICOS E ELÉTRICOS