



**GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS**  
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL INTEGRADO E SUSTENTÁVEL**

# **ELABORAÇÃO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO CENTRO- NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS**

**- DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO -**

**VOLUME 3**

# **GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS**

**WANDERLEI BARBOSA - Governador**

## **SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO**

**SERGISLEI SILVA DE MOURA - Secretário**

## **SECRETARIA EXECUTIVA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO**

**JOSÉ PEDRO DIAS LEITE - Secretário Executivo**

## **SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL**

**ROMILDO LEITE DIAS - Superintendente**

## **DIRETORIA DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS E SOCIOECONÔMICAS**

**RODRIGO SABINO TEIXEIRA BORGES - Diretor**

## **GERÊNCIA DE ZONEAMENTO TERRITORIAL**

**PAULO AUGUSTO BARROS DE SOUSA - Gerente**

## **EQUIPE TÉCNICA**

**Bruno Moure Cícero** - Bacharel em Ciências Econômicas - Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio

**Jair Souza da Silva** - Bacharel em Geografia

**Leandro Roeder** - Bacharel em Ciências Econômicas

**Maurício Fregonesi** - Bacharel em Engenharia Civil

**Paulo Augusto Barros de Sousa** - Bacharel em Ciência da Computação - Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas

**Rodrigo Sabino Teixeira Borges** - Bacharel em Geografia - Mestre em Geografia

**GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS**  
**SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO**

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL**  
**INTEGRADO E SUSTENTÁVEL**

**ELABORAÇÃO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA**  
**REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS**

**DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO**

**VOLUME 3**

Palmas, 2022.

## CRÉDITOS DE AUTORIA

### TEXTO EXPLICATIVO

Waldir Duarte Costa  
Ricardo Ribeiro Dias  
Wilton José Silva da Rocha  
José Viana de Carvalho  
Cláudio Marchand Krugger

### COLABORADORES

Eduardo Antônio Audibert  
Erton Inácio Monteiro de Moraes  
Ghislaine Medeiros de Almeida  
Isac Tavares de Santana  
Jailton Soares dos Reis  
Rescivaldo Barros de Amorim  
Vinicius de Melo Lima  
Virlei Álvaro de Oliveira

## ACOMPANHAMENTO TÉCNICO E ANÁLISE

### ACOMPANHAMENTO TÉCNICO

Rodrigo Sabino Teixeira Borges  
Maurício Fregonesi

### ANÁLISE

Bruno Moure Cícero  
Jair Souza da Silva  
Leandro Roeder

Maurício Fregonesi  
Paulo Augusto Barros de Sousa  
Rodrigo Sabino Teixeira Borges

COSTA, Waldir Duarte; DIAS, Ricardo Ribeiro Dias; ROCHA, Wilton José Silva da; CARVALHO, José Viana de; KRUGGER, Cláudio Marchand.

Secretaria do Planejamento e Orçamento - SEPLAN. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial - GZT. Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Elaboração de Estudos Hidrogeológicos da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins. Diagnóstico Hidrogeológico. Palmas: SEPLAN/GZT, 2022. Volume 3.

196 p., Ilust.

Série TOCANTINS - Centro-Norte / Recursos Naturais - 3/3.

Executado pelo Consórcio Sambaíba - formado pelas empresas COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais e OIKOS Pesquisa Aplicada Ltda., para a Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins no âmbito do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável.

1. Hidrogeologia. 2. Diagnóstico Hidrogeológico. 3. Centro-Norte do Tocantins. 4. relatório. 5. mapas.

I. Tocantins. Secretaria do Planejamento e Orçamento. II. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. III. Título.

P452e



## RESUMO

Os estudos hidrogeológicos efetuados na região Centro-Norte do Estado do Tocantins foram realizados no período de sete meses - 29/06/2021 e 29/01/2022. A rede de monitoramento para realização dos estudos foi composta por 124 poços, selecionada a partir de uma relação inicial de 332 poços cadastrados nas bases de dados da empresa pública Serviço Geológico do Brasil (SGB) / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e da empresa privada Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda., e refinada por critérios técnicos e visita *in situ* dos poços para cadastramento de campo. A ausência dos ensaios de bombeamento foi amplamente suprida pela interpretação dos dados de testes executados anteriormente por empresas de perfuração em 73 poços da área, os quais serviram para avaliar os coeficientes hidrodinâmicos dos aquíferos. Para ampliar os dados hidrodinâmicos dos poços, foram transferidos dados de testes em poços perfurados nesses mesmos aquíferos em outras áreas da mesma bacia geológica. A partir dos 124 poços da rede de monitoramento efetuou-se uma análise estatística, tanto dos poços em aquíferos porosos como do aquífero fissural, obtendo-se médias, medianas, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo para os parâmetros de profundidade, níveis estático e dinâmico, rebaixamento, vazão, vazão específica, além dos parâmetros químicos medidos no campo, como a condutividade elétrica e pH. Através da cota altimétrica de cada poço medida no campo foi possível efetuar o mapa potenciométrico dos aquíferos livres, que demonstrou serem os fluxos desses aquíferos dirigidos sempre para a drenagem superficial, caracterizando, portanto, uma drenagem efluente. A qualidade das águas subterrâneas dos diversos aquíferos da região, inclusive do aquífero fissural, pode ser considerada como “muito boa” para usos gerais, uma vez que os sólidos totais dissolvidos - STD (cujo limite para potabilidade, estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, é de 1.000 mg/L) é superado em apenas uma amostra coletada e as águas coletadas nos poços possuem valores médios da ordem de 120 mg/L, quase uma água desmineralizada. O índice de vulnerabilidade desses aquíferos foi em 68% dos casos considerado de Moderado a Negligível, o que representa uma perspectiva aceitável para obtenção de baixos riscos de contaminação. O mapa de zoneamento explotável, principal elemento para a gestão dos aquíferos, mostrou 6 zonas (A a F) nos aquíferos porosos e uma zona no aquífero fissural. As zonas B, C, D e F se subdividem em subzonas para caracterizar situações distintas de livre a confinado. Os principais aquíferos da região são: Rio das Barreiras, Corda, Sambaíba, Poti/Piauí e Urucuia, sendo que neste último não foi cadastrado nenhum poço. O primeiro (Rio das Barreiras) e o último (Urucuia) ocorrem somente na situação de livre, enquanto os demais ocorrem nas situações de livre e confinado. O principal aquífero da área é o Sistema aquífero Poti-Piauí, que ocupa uma área de 24.945 km<sup>2</sup>, coeficiente de transmissividade médio de  $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , condutividade hidráulica média de  $8,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  e um coeficiente de armazenamento médio de  $3,10 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{ano}$ , possuindo uma reserva reguladora de água subterrânea da ordem de  $11,46 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$  e uma



potencialidade de  $14,31 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Todos os aquíferos se acham subexplorados, com volumes explorados inferiores a 0,5% da reserva reguladora. Para cada aquífero foram avaliadas reservas totais, reservas reguladoras, potencialidade, vulnerabilidade, disponibilidade instalada, disponibilidade efetiva e, por fim, efetuados os balanços hidrogeológicos de cada aquífero. Foi ainda calculado o custo das águas subterrâneas que é relativamente baixo, variando desde o mínimo de R\$ 0,18/m<sup>3</sup> para poços de profundidade até 100,00 m até o máximo de R\$ 0,44/m<sup>3</sup> para poços com até 440,00 m de profundidade. No que se refere à questão legal, embora o Estado do Tocantins não possua legislação específica sobre as águas subterrâneas, já dispõe de dispositivos legais na legislação de recursos hídricos que atendem quase inteiramente às necessidades para a gestão dos aquíferos. Nesse sentido, foram propostas adequações aos dispositivos de licenciamento e outorga.



## Sumário

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	1
<b>1. CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	3
1.1. Objetivos do Estudo .....	3
1.1.1. Objetivos gerais.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
1.2. Área de Estudo.....	4
1.3. Metodologia .....	5
1.3.1. Metodologia para Levantamento de Dados.....	5
1.3.2. Sistematização de Aspectos Fisiográficos e Socioeconômicos .....	7
1.3.3. Fontes de Informação Utilizadas.....	11
1.3.4. Cadastramento da Rede de Monitoramento no Campo.....	12
1.3.5. Interpretação dos testes de bombeamento.....	15
1.3.6. Avaliação do Índice de Vulnerabilidade .....	15
1.3.7. Elaboração do Zoneamento Explotável.....	16
1.3.8. Método de Avaliação do Custo da Água Bombeada.....	17
<b>2. HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS POROSOS</b> .....	19
2.1. Identificação e Cadastramento da Rede de Monitoramento.....	19
2.2. Caracterização dos Aquíferos Porosos e Fissurais e dos Aquitardes.....	19
2.3. Análise dos Poços Existentes por Aquífero e Aquitarde.....	21
2.3.1. Análise Estatística dos Poços nos Aquíferos Porosos .....	21
2.3.1.1. Profundidade (P) .....	24
2.3.1.2. Nível Estático (N.E.) .....	25
2.3.1.3. Nível Dinâmico (N.D.) .....	26
2.3.1.4. Rebaixamento (s) .....	27
2.3.1.5. Vazão (Q) .....	28
2.3.1.6. Vazão Específica (Qe) .....	28
2.3.1.7. Relação entre os Aquíferos e Sistemas Aquíferos Porosos.....	29
2.4. Interpretação de Ensaios de Bombeamento: Avaliação dos Parâmetros Hidrodinâmicos.....	32
2.4.1 Resultados Obtidos .....	34
2.4.2. Comparação com Dados Existentes .....	40



2.5. Potenciometria dos Aquíferos Porosos na Condição de Livres .....	42
2.6. Avaliação das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades dos Aquíferos - Balanço Hidrogeológico	
45	
2.6.1. Aquífero Poti .....	55
2.6.1.1. Reservas Permanentes - Rp .....	55
2.6.1.2. Reservas Reguladoras - Rr .....	56
2.6.1.3. Potencialidade - Po.....	56
2.6.1.4. Disponibilidade Instalada - Di.....	56
2.6.1.5. Disponibilidade Efetiva - De .....	56
2.6.1.6. Recursos Explotáveis - Re .....	56
2.6.2. Aquífero Piauí .....	57
2.6.2.1. Reservas Permanentes - Rp .....	57
2.6.2.2. Reservas Reguladoras - Rr .....	57
2.6.2.3. Potencialidade - Po.....	57
2.6.2.4. Disponibilidade Instalada - Di.....	58
2.6.2.5. Disponibilidade Efetiva - De .....	58
2.6.2.6. Recursos Explotáveis - Re .....	58
2.6.3. Aquífero Sambaíba.....	58
2.6.3.1. Reservas Permanentes - Rp .....	58
2.6.3.2. Reservas Reguladoras - Rr .....	59
2.6.3.3. Potencialidade - Po.....	59
2.6.3.4. Disponibilidade Instalada - Di.....	59
2.6.3.5. Disponibilidade efetiva - De .....	60
2.6.3.6. Recursos Explotáveis - Re .....	60
2.6.4. Aquífero Rio das Barreiras .....	60
2.6.4.1. Reservas Permanentes - Rp .....	60
2.6.4.2. Reservas Reguladoras - Rr .....	61
2.6.4.3. Potencialidade - Po.....	61
2.6.4.4. Disponibilidade Instalada - Di.....	61
2.6.4.5. Disponibilidade Efetiva - De .....	61
2.6.4.6. Recursos Explotáveis - Re .....	62
2.7. A Qualidade da Água nos Aquíferos e Aquitardes Porosos.....	63
2.8. Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos Porosos .....	73
2.9. Zoneamento de Explotação dos Aquíferos.....	82



2.9.1. Zona “A” .....	82
2.9.2. Zona “B1” - Aquífero Corda Confinado pelos Aquitardes Itapecuru e Codó .....	82
2.9.3. Zona “B2” - Aquífero Corda na Condição de Livre, sobre o Basalto (Formação Mosquito) ....	83
2.9.4. Zona “C1” - Aquífero Sambaíba Livre .....	83
2.9.5. Zona “C2” - Aquífero Sambaíba Confinado pelo Basalto (Formação Mosquito) .....	84
2.9.6. Zona “C3” - Aquífero Sambaíba Confinado pelo Basalto, com cobertura do Aquífero Corda (B2) 85	
2.9.7. Zona “D1” - Sistema Aquífero Poti Piauí.....	85
2.9.8. Zona “D2” - Poti ou Piauí Confinado pelo Aquitarde Pedra de Fogo .....	86
2.9.9. Zona “E” - Aquífero Urucua .....	86
2.9.10. Zona “F1” - Conjunto Marginal de Aquitardes e Aquíferos .....	87
2.9.11. Zona “F2” - Conjunto de Pimenteiras/Serra Grande.....	87
2.9.12. Zona “G” - Rochas Cristalinas.....	88
<b>3 HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS FISSURAIS .....</b>	<b>95</b>
3.1. Identificação e Cadastramento da Rede de Monitoramento.....	95
3.2. Caracterização dos Aquíferos Fissurais .....	95
3.3. Análise dos Poços Existentes por Aquífero e Aquitardes .....	97
3.3.1. Análises Estatística dos Poços nos Aquíferos Fissurais.....	97
3.3.1.1. Profundidade (P) .....	100
3.3.1.2. Nível Estático (N.E.) .....	101
3.3.1.3. Nível Dinâmico (N.D.) .....	101
3.3.1.4. Rebaixamento (s) .....	102
3.3.1.5. Vazão (Q) .....	103
3.3.1.6. Vazão Específica (Qe) .....	104
3.3.2. Comparação entre os Dados dos Poços nos Aquíferos Poroso e Fissural .....	106
3.4. Interpretação de Ensaios de Bombeamento: Avaliação dos Parâmetros Hidrodinâmicos.....	107
3.5. Avaliação das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades dos Aquíferos - Balanço Hidrogeológico 107	
3.6. A Qualidade da Água nos Aquíferos Fissurais.....	108
<b>4 PLANO DE GESTÃO .....</b>	<b>114</b>
4.1. A Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos.....	114
4.1.1.1. Tipos de Obras de Captação .....	115
4.1.1.2. Distanciamento entre Poços.....	116
4.1.1.3. Regime de Bombeamento .....	117
4.1.2. Licenciamento e Outorga do Direito de Uso da Água Subterrânea .....	117



4.2. Síntese do Zoneamento de Exploração dos Aquíferos.....	119
4.3. Diretrizes Para Enquadramento das Águas Subterrâneas com Base na Resolução CONAMA 396/2008 126	
4.3.1. Padrões para Cada Uso das Águas Subterrâneas.....	127
4.3.2. Valor Máximo Permitido - VMP .....	128
4.3.3. O Enquadramento das Águas Subterrâneas da Região Centro-Norte do Tocantins .....	129
4.4. Aspectos Legais .....	130
4.4.1. Adequação e/ou Reformulação da Legislação Vigente com Vistas a Controlar o Uso e a Preservação das Águas Subterrâneas .....	130
4.4.2. Análise Econômica dos Poços - Custo do m <sup>3</sup> da Água para Distintas Profundidades .....	134
4.4.3 Aspectos Administrativos .....	141
4.4.3.1. Atividades de Monitoramento e Acompanhamento .....	141
4.4.3.2. Manutenção de Obras Hídricas.....	145
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>146</b>
5.1. Conclusões.....	146
5.2. Recomendações.....	147
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>148</b>
<b>OUTRAS FONTES CONSULTADAS .....</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>160</b>
I. Mapa Potenciométrico da Superfície Hidroestática Livre dos Aquíferos da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins	
II. Mapa de Sólidos Totais dos Aquíferos Porosos da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins	
III. Mapa de Avaliação da Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação dos Aquíferos da Região Centro- Norte do Estado do Tocantins	
IV. Mapa de Zoneamento Explotável da Região Centro Norte do Estado do Tocantins	
V. Mapa de Localização dos Poços Cadastrados da Rede de Monitoramento da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins	
VI. Mapa de Sólidos Totais dos Aquíferos Fissurais da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins	
VII. Proposta de Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídrico	



## Lista de Figura

<b>Figura 1.</b> Área do Mapeamento Hidrogeológico da Região Centro-Norte do estado do Tocantins .....	5
<b>Figura 2.</b> Modelo de ficha de cadastro de poços .....	14
<b>Figura 3.</b> Procedimento para a avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero.....	16
<b>Figura 4.</b> Representação gráfica da variação da profundidade dos poços nos aquíferos porosos. ....	24
<b>Figura 5.</b> Representação gráfica da variação do nível estático dos poços nos aquíferos porosos. ....	25
<b>Figura 6.</b> Representação gráfica da variação do nível dinâmico dos poços nos aquíferos porosos. ....	26
<b>Figura 7.</b> Representação gráfica da variação do rebaixamento dos poços nos aquíferos porosos. ....	27
<b>Figura 8.</b> Representação gráfica da variação da vazão dos poços nos aquíferos porosos. ....	28
<b>Figura 9.</b> Representação gráfica da variação da vazão específica dos poços nos aquíferos porosos .....	29
<b>Figura 10.</b> Mapa potenciométrico dos aquíferos livres da RCN-TO .....	44
<b>Figura 11.</b> Esquema de uma drenagem efluente em relação ao aquífero .....	45
<b>Figura 12.</b> Relação entre os valores de C.E. ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) e os STD ( $\text{mg}/\text{L}$ ) nas águas dos diversos tipos de aquífero na Região Sudeste do Tocantins.....	63
<b>Figura 13.</b> Mapa de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) dos aquíferos porosos .....	64
<b>Figura 14.</b> Mapa de pH dos aquíferos porosos.....	71
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Riverside do USSL para a classificação de Águas para irrigação. ....	72
<b>Figura 16.</b> Distribuição em mapa das classes de vulnerabilidade .....	75
<b>Figura 17.</b> Mapa de Zoneamento Explotável da região Centro-Norte do Tocantins. ....	94
<b>Figura 18.</b> Representação gráfica da variação da profundidade dos poços nos aquíferos fissurais.....	100
<b>Figura 19.</b> Representação gráfica da variação do nível estático dos poços nos aquíferos fissurais.....	101
<b>Figura 20.</b> Representação gráfica da variação do nível dinâmico dos poços nos aquíferos fissurais.....	102
<b>Figura 21.</b> Representação gráfica da variação do rebaixamento dos poços nos aquíferos fissurais.....	103
<b>Figura 22.</b> Representação gráfica da variação da vazão dos poços nos aquíferos fissurais. ...	104
<b>Figura 23.</b> Representação gráfica da variação da vazão específica dos poços nos aquíferos fissurais.....	105
<b>Figura 24.</b> Mapa de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) dos aquíferos fissurais.....	111
<b>Figura 25.</b> Mapa de pH dos aquíferos fissurais. ....	112
<b>Figura 26.</b> Bomba a vácuo.....	143
<b>Figura 27.</b> Gráfico da variação dos níveis d'água e da condutividade elétrica em poço de monitoramento localizado no Recife - PE. ....	145



## Lista de Quadros

<b>Quadro 1.</b> Classificação do índice e da classe de vulnerabilidade GOD. ....	16
<b>Quadro 2.</b> Parâmetros dos dados construtivos e hídricos dos poços nos aquíferos porosos.....	21
<b>Quadro 3.</b> Parâmetros dos dados físico-químicos e regime de operação dos poços nos aquíferos porosos .....	23
<b>Quadro 4.</b> Variação da profundidade dos poços no aquífero poroso, por classes.....	24
<b>Quadro 5.</b> Variação do nível estático dos poços no aquífero poroso, por classes.....	25
<b>Quadro 6.</b> Variação do nível dinâmico dos poços no aquífero poroso, por classes.....	26
<b>Quadro 7.</b> Variação do rebaixamento dos poços no aquífero poroso, por classes.....	27
<b>Quadro 8.</b> Variação da vazão dos poços no aquífero poroso, segundo as classes.....	28
<b>Quadro 9.</b> Variação da vazão específica dos poços no aquífero poroso, por classes.....	29
<b>Quadro 10.</b> Correlação entre os dados dos poços nos distintos aquíferos.....	29
<b>Quadro 11.</b> Outros elementos analisados .....	32
<b>Quadro 12.</b> Número de poços com vazões médias por aquífero nos poços cadastrados pela Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. ....	47
<b>Quadro 13.</b> Número de poços com vazões médias por aquífero nos poços cadastrados pela SIAGAS/CPRM.....	47
<b>Quadro 14.</b> Número de poços dos quatro aquíferos a partir dos dois cadastros considerados no estudo .....	48
<b>Quadro 15.</b> Valores volumétricos dos aquífero estudados na RCN-TO.....	62
<b>Quadro 16.</b> Resultados de C.E. e pH medidos no campo em poços da RCN-TO.....	65
<b>Quadro 17.</b> Resultados hidroquímicos das águas em aquíferos livres.....	69
<b>Quadro 18.</b> Resultados hidroquímicos das águas em aquíferos confinados e semi-confinados	69
<b>Quadro 19.</b> Resumo das classes de vulnerabilidade encontradas na área.....	73
<b>Quadro 20.</b> Avaliação dos índices de vulnerabilidade e das respectivas classes de vulnerabilidade .....	76
<b>Quadro 21.</b> Resumo das características explotáveis e condições de uso de cada zona .....	90
<b>Quadro 22.</b> Unidades litológicas do embasamento cristalino .....	95
<b>Quadro 23.</b> Parâmetros dos dados construtivos e hídricos dos poços nos aquíferos fissurais ..	97
<b>Quadro 24.</b> Parâmetros dos dados físico-químicos e regime de exploração dos poços nos aquíferos fissurais.....	99
<b>Quadro 25.</b> Variação da profundidade dos poços no aquífero fissural, por classes .....	100
<b>Quadro 26.</b> Variação do nível estático dos poços no aquífero fissural, por classes .....	101
<b>Quadro 27.</b> Variação do nível dinâmico dos poços no aquífero fissural, por classes .....	102
<b>Quadro 28.</b> Variação do rebaixamento dos poços no aquífero fissural, por classes .....	102
<b>Quadro 29.</b> Variação da vazão dos poços no aquífero fissural, por classes .....	104
<b>Quadro 30.</b> Variação da vazão específica dos poços no aquífero fissural, por classes .....	105
<b>Quadro 31.</b> Outros elementos analisados no aquífero fissural.....	106
<b>Quadro 32.</b> Dados hidroquímicos medidos no campo no aquífero fissural.....	109
<b>Quadro 33.</b> Análise estatística dos dados de C.E., STD e pH das águas de poços no aquífero fissural.....	113
<b>Quadro 34.</b> Padrões de Potabilidade .....	127



<b>Quadro 35.</b> Valores Máximos Permitidos (VMP) e os Limites de Quantificação Praticáveis (LQP) dos parâmetros químicos, Agrotóxicos e Micro-organismos das águas subterrâneas de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008, para cada um dos usos considerados como preponderantes.....	128
<b>Quadro 36.</b> Custo da água bombeada nos diversos tipos de poços .....	141



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Resultado dos testes de aquíferos analisados.....	35
<b>Tabela 2.</b> Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos e sistemas aquíferos da Bacia do Parnaíba no estado do Piauí e Região Sudeste do estado do Tocantins.....	41



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Água e Saneamento Básico
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
BDGP	Banco de dados geográficos do projeto
CERH/TO	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins
CIM	Carta Internacional ao Milionésimo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNPS	Centro Nacional de Pesquisa de Solos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FIETO	Federação de Indústrias de Tocantins
<i>GeoSGB</i>	Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
ICMbio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
Naturatins	Instituto Natureza do Tocantins
PDRIS	Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável do Tocantins
PEA	População Economicamente Ativa
RCN-TO	Região Centro-Norte do Estado do Tocantins



SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Seplan	Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SIGI	Sistema de Gestão Integrado
SGB	Serviço Geológico do Brasil
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TDR	Termo de Referência
UnB	Universidade de Brasília
Unesp	Universidade Estadual de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
UTM	Universal Transversa de Mercator



## APRESENTAÇÃO

O relatório técnico DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO é parte integrante da ELABORAÇÃO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS<sup>[1]</sup>. Este trabalho foi desenvolvido no escopo do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável (PDRIS), elaborado com recursos do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD)<sup>[2]</sup>.

Os estudos hidrogeológicos efetuados na região Centro-Norte do Estado do Tocantins foram realizados entre 29/06/2021 e 29/01/2022.

Os resultados do trabalho estão sistematizados em três volumes: (i) Diagnóstico Ambiental e Socioambiental; (ii) Escolha da Rede de Monitoramento / Cadastramento dos Poços da Rede / Interpretação dos Testes de Aquíferos / Potenciometria dos Aquíferos Livres; e (iii) Diagnóstico Hidrogeológico.

O relatório técnico DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO apresenta uma síntese de todos os trabalhos executados, tanto em campo como em gabinete, com interpretações dos dados e elaboração de mapas específicos, conclusões, recomendações e, por fim, as referências bibliográficas citadas no texto.

---

<sup>[1]</sup> A ELABORAÇÃO DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS foi executada por meio do contrato nº 04/2021, assinado entre a Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins - SEPLAN e o CONSÓRCIO SAMBAÍBA - formado pelas empresas COSTA CONSULTORIA E SERVIÇOS TÉCNICOS e OIKOS PESQUISA APLICADA LTDA.

<sup>[2]</sup> Contrato de empréstimo nº 8185-0-BR.





## 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1.1. Objetivos do Estudo

#### 1.1.1. Objetivos gerais

O objetivo geral da *Elaboração de Estudos Hidrogeológicos da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins*, por meio da geração de mapa hidrogeológico, consiste em destacar, por aquífero, suas condições hidrogeológicas, vulnerabilidades, potencialidades, qualidade físico-química das águas subterrâneas e inventário dos poços.

Os resultados do trabalho subsidiarão o Estado do Tocantins na elaboração de políticas públicas adequadas ao aproveitamento sustentável das águas subterrâneas da região objeto de estudo.

#### 1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que se consubstanciam em metas de desenvolvimento do projeto, são os seguintes:

- a) avaliar o estado da arte na hidrogeologia, geomorfologia, geologia, hidrologia, hidrogeoquímica, geofísica, estudos socioeconômicos, de uso e ocupação da terra na área de estudo;
- b) realizar o cadastramento dos poços de captação de água, identificando, sempre que possível, informações de caráter construtivo, vazão de exploração, aquíferos captados, níveis estático e dinâmico, qualidade química e usos da água, tipo e capacidade da bomba instalada, regime de bombeamento e observar se o uso da água do poço está outorgado;
- c) fornecer subsídios para a construção de poços futuros, conforme objetivos e áreas de localização, com melhor performance na relação custo/benefício;
- d) delinear a distribuição espacial das diversas unidades estratigráficas com vistas à sua importância hidrogeológica relativa ao estado do Tocantins, identificando a potencialidade dos aquíferos;
- e) estabelecer as disponibilidades e demandas das águas subterrâneas (situação atual da exploração de água subterrânea por aquífero) e projetar a demanda para 25 anos;
- f) determinar as áreas críticas em termos de quantidade e/ou qualidade e aquelas de uso restrito (naturais ou antrópicos);
- g) caracterizar hidroquimicamente as águas subterrâneas por aquífero, com base em análises químicas e em diagramas hidroquímicos específicos;
- h) estabelecer as relações existentes entre as águas superficiais e subterrâneas (interação rio x aquífero);



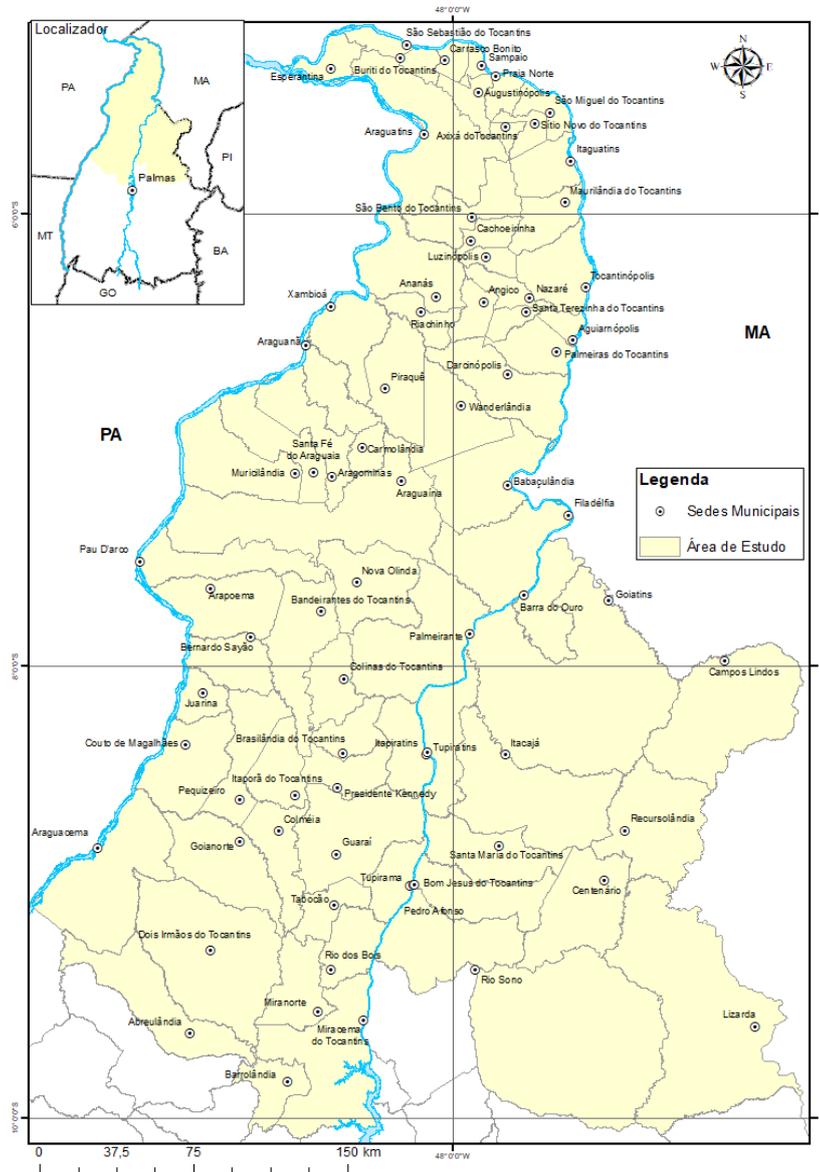
- i) obter séries de vazões dos rios na área de estudo e elaborar hidrogramas, após consistência das séries históricas disponíveis;
- j) estimar as descargas de base (fluxos basais) através do balanço hídrico ou por meio da separação do fluxo de base nos hidrogramas, quando possível;
- k) obter dados que sirvam de subsídio à análise de processos de outorga e licenciamento ambiental de empreendimentos que utilizem águas subterrâneas ou apresentem potencialidade de contaminá-las.

## 1.2. Área de Estudo

A área objeto dos estudos é a Região Centro-Norte do Estado do Tocantins (Figura 1), limitada a oeste pelo estado do Pará; a leste e norte pelo estado do Maranhão; e a sul por municípios tocantinenses.

A extensão da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins (RCN-TO) é de 104.455,97 km<sup>2</sup>, representando 38,19% da área total do Estado.

A região contempla os 74 municípios relacionados a seguir: Abreulândia, Aguiarnópolis, Ananás, Angico, Aragominas, Araguacema, Araguanã, Araguatins, Araguaína, Arapoema, Augustinópolis, Axixá do Tocantins, Babaçulândia, Bandeirantes do Tocantins, Barra do Ouro, Barrolândia, Bernardo Sayão, Bom Jesus do Tocantins, Brasilândia do Tocantins, Buriti do Tocantins, Cachoeirinha, Campos Lindos, Carmolândia, Carrasco Bonito, Centenário, Colinas do Tocantins, Colmeia, Couto Magalhães, Darcinópolis, Dois Irmãos do Tocantins, Esperantina, Filadélfia, Tabocão, Goianorte, Goiatins, Guaraí, Itacajá, Itaguatins, Itapiratins, Itaporã do Tocantins, Juarina, Lizarda, Luzinópolis, Maurilândia do Tocantins, Miracema do Tocantins, Miranorte, Muricilândia, Nazaré, Nova Olinda, Palmeirante, Palmeiras do Tocantins, Pau D'arco, Pedro Afonso, Pequizeiro, Piraquê, Praia Norte, Presidente Kennedy, Recursolândia, Riachinho, Rio Sono, Rio dos Bois, Sampaio, Santa Fé do Araguaia, Santa Maria do Tocantins, Santa Terezinha do Tocantins, São Bento do Tocantins, São Miguel do Tocantins, São Sebastião do Tocantins, Sítio Novo do Tocantins, Tocantinópolis, Tupirama, Tupiratins, Wanderlândia e Xambioá.



**Figura 1.** Área do Mapeamento Hidrogeológico da Região Centro-Norte do estado do Tocantins

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 1.3. Metodologia

#### 1.3.1. Metodologia para Levantamento de Dados

*Durante a atividade de Levantamento e sistematização dos dados, informações e estudos existentes, a equipe realizou pesquisas bibliográfica e documental a fim de obter dados de fontes públicas e privadas, para formar a base de informações geográficas da área em estudo para os temas de interesse do projeto. As buscas por informações e dados foram realizadas em ambiente web em sites de órgãos públicos estaduais e federais, e de empresas privadas.*



Dados de recursos naturais e socioeconômicos tiveram suas buscas priorizadas em sites dos governos estadual e federal. As informações de águas subterrâneas foram pesquisadas em sites dos governos estadual e federal, sobretudo do Serviço Geológico do Brasil, e também de empresas privadas que realizam perfuração de poços tubulares profundos no Tocantins.

As principais fontes de informação pesquisadas foram as seguintes:

- a. Órgãos públicos estaduais do Tocantins que mantêm publicações de estudos compreendendo planos de bacias hidrográficas, zoneamentos, ou dados de recursos naturais (geologia, relevo, solos, relevo e clima) e informações socioeconômicas em seus sites, assim como de bases cartográficas básicas e de temas ambientais;
- b. Órgãos públicos federais que detêm estudos ou informações de recursos naturais, envolvendo: geologia, relevo, solos, clima, vegetação, gestão de recursos hídricos, águas subterrâneas, altimetria, entre outros;
- c. Empresas privadas do segmento de águas subterrâneas, em especial aquelas que mantêm um cadastro ativo de poços tubulares perfurados.

Para os dados cartográficos básicos ou temáticos, à medida que eles iam sendo obtidos (camadas ou planos de informação geográfica), eles foram inseridos em um banco de dados preliminar em *ArcGIS* para serem submetidos à validação topológica obedecendo às regras para cada tipo de representação vetorial, sendo:

- Polígonos: não devem se sobrepor; não devem conter fendas; não devem conter geometrias inválidas; não devem conter duplicidade de feições;
- Linhas: não devem interceptar-se sem um nó; não devem conter duplicatas; não devem conter geometrias inválidas, não devem conter pseudonós, não devem conter oscilações;
- Pontos: devem estar dentro da área estudo, não deve ser duplicado, não devem ter geometrias inválidas.

Após a validação, os planos de informação foram reservados para compor o banco de dados geográficos do projeto (BDGP).

Em relação aos dados de águas subterrâneas, tanto aqueles que se referem a estudos existentes, como os dados de poço, iam sendo analisados, levando-se em conta os seguintes aspectos:

*Confiabilidade da informação*: muitas análises físico-químicas são de procedência duvidosa, e ao ser calculado o erro permissível constata-se a sua invalidade; os perfis geológicos muitas vezes são apresentados por empresas de perfuração que não dispõem de especialista responsável (geólogo ou engenheiro de minas) e descrevem termos não convencionais.

*Análise da exatidão das avaliações apresentadas*: alguns estudos já foram elaborados sem a devida profundidade e, a partir de informações ou dados imprecisos, ou ainda em



função de metodologias inadequadas, foram efetuadas avaliações de parâmetros quantitativos de aquífero, não confiáveis.

*Correlação de informações e resultados:* torna-se necessário correlacionar todos os dados levantados a fim de evitar duplicidade de informações, como por exemplo, um mesmo poço ser apresentado em duas “listagens” com numerações diversas, uma mesma análise físico-química ser apresentada em dois ou mais poços, dentre outras.

### 1.3.2. Sistematização de Aspectos Fisiográficos e Socioeconômicos

Para a caracterização do regime pluviométrico da RCN-TO, foram selecionados dados de 37 postos pluviométricos localizados dentro ou próximos dos limites da área do estudo. As séries de totais acumulados mensais foram obtidas por meio do Portal *Hidroweb*, optando-se pelas séries de dados consistidos (1981 / 2010).

Em termos climatológicos, as variáveis tratadas e analisadas no estudo foram: Evaporação Real (evaporímetro de Piché), Evapotranspiração Potencial, Evapotranspiração Real, Temperatura média e Umidade Relativa do Ar. Na caracterização do regime hídrico os dados utilizados dos 22 postos fluviométricos (séries de dados diários consistidos foram obtidas por meio do Portal *Hidroweb*) foram interpolados e exibidos por meio da distribuição espacial das vazões médias específicas (em L/s.km<sup>2</sup>).

Para o balanço hídrico utilizou-se o Portal *Sisdagro* - Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária, que possui um aplicativo para o cálculo do balanço hidroclimatológico para as estações cadastradas no sistema, utilizando o método de *Thornthwaite e Mather*. As análises consideram um armazenamento inicial de 100 mm. O balanço hídrico climatológico é mais frequentemente apresentado na escala mensal e para um ano médio, ou seja, o balanço hídrico cíclico, elaborado a partir das normais climatológicas de temperatura média e chuva do local. O balanço hídrico climatológico é um instrumento agrometeorológico útil e prático para caracterizar o fator umidade do clima, sendo sua utilização indispensável na caracterização climática de uma região estudada.

Quanto à vegetação, a partir de dados preexistentes sobre a flora do Tocantins, sobretudo do projeto Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2013<sup>[3]</sup>), foi realizado um diagnóstico das unidades fitofisionômicas ou fitofisionomias com suas distribuições por municípios e unidades geológicas. O diagnóstico contemplou a caracterização das unidades fitofisionômicas, seus papéis como parte integrante da paisagem e suas funções como elemento que favoreça a infiltração da água no solo e, conseqüentemente, a recarga de aquíferos.

[3] SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). 2013. Departamento de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. **Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins**. Inventário Florestal do Tocantins. Escala 1:100.000. Palmas: Seplan/DZE, 2013. 156 p. (Série TOCANTINS - Recursos Naturais / Vegetação - v. 7/9).



Agregou-se informações do tema “uso da terra” dentro desta análise, por meio de dados preexistentes nas instituições do Governo do Estado do Tocantins (SEPLAN, SEMARH e Naturatins) e do Governo Federal (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE). Os dados da SEPLAN mais relevantes que subsidiaram o trabalho, foram os mapas de cobertura e uso da terra de 2007 e 2015 (SEPLAN, 2012b<sup>[4]</sup>; SEFAZ, 2021<sup>[5]</sup>). O mapa de cobertura e uso da terra apresenta classes de cobertura e uso da terra de acordo com Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013<sup>[6]</sup>), Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra (SEPLAN, 2012b<sup>[4]</sup>), e Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2013).

Para o relevo foram adotados procedimentos similares aos de geologia. As unidades tiveram seus limites revisados. Foi usada a textura como principal elemento de reconhecimento nas imagens, uma vez que ela se fundamenta nos aspectos da drenagem e do relevo, cujo arranjo geométrico leva ao padrão predominante de um modelado (IBGE, 2009<sup>[7]</sup>). O mapa final ficou composto por unidades geomorfológicas com base em IBGE, 2007c<sup>[8]</sup> e dos trabalhos de geomorfologia elaborados no Zoneamento Ecológico-Econômico do Norte do Estado do Tocantins (SEPLAN, 2004<sup>[9]</sup>).

Para os solos, no diagnóstico foi realizada a revisão das unidades sobre imagens de Landsat 8 combinadas com a imagem relevo sombreado do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), a partir do mapa exploratório de solos do estado do Tocantins recortado para a RCN-TO. As unidades foram revisadas de acordo com a metodologia preconizada e adotada pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS) da Embrapa, e as unidades identificadas e caracterizadas ao nível de grandes grupos, de

<sup>[4]</sup> SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). 2012. Diretoria Geral de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. **Estudo da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra do Estado do Tocantins**. Dinâmica do Tocantins. Escala 1:100.000. Palmas: Seplan/DZE, 2012. (Organizado por Rodrigo Sabino Teixeira Borges).

<sup>5</sup> SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO (SEFAZ). 2021. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. **Cobertura e Uso da Terra do Ano de 2015**. Escala 1:100.000. Palmas: SEFAZ/GZT, 2021.

<sup>[6]</sup> INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2013. Diretoria de Geociências. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 7).

<sup>[7]</sup> INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2009. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

<sup>[8]</sup> INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2007. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Mapa de Geomorfologia do Estado do Tocantins**. Escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em <[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/to\\_geomorfologia.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/to_geomorfologia.pdf)>. Acesso: 19 jun. 2021.

<sup>[9]</sup> SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE (SEPLAN). 2004. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. **Plano de Zoneamento Ecológico-Econômico do Norte do Estado do Tocantins**. Org. por Vítor Bellia e Ricardo Ribeiro Dias. Palmas, Seplan/DZE, 2004.



acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). A nomenclatura das unidades foi mantida conforme o mapa de solos do IBGE (IBGE, 2007b<sup>[10]</sup>).

Na reinterpretação geológica aplicaram-se os conceitos e procedimentos de interpretação visual de imagens de Veneziani e Anjos (1982<sup>[11]</sup>) que se baseiam em elementos texturais de drenagem e relevo (Método Lógico e Sistemático). 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 de relevo sombreado no processo foi consequência dos resultados obtidos por Crepani e Medeiros (2004<sup>[12]</sup>) e Dias (2008<sup>[13]</sup>) quando usaram imagens derivadas de modelo numérico de terreno do SRTM na interpretação para geologia, geomorfologia e pedologia.

A análise do meio socioeconômico teve como ênfase aspectos relacionados à demografia. Em seguida, foi realizada análise do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) da população, utilizando-se a adaptação brasileira do Índice de Desenvolvimento Humano Global (IDH) adotado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Esse índice é de grande relevância para a avaliação das transformações e do desenvolvimento da população local, utilizando-se de três dimensões básicas que são agregadas para formar o índice: IDHM-L - Longevidade; IDHM-E - Educação; e IDHM-R - Renda. O IDHM é calculado como a média geométrica dos índices parciais relacionados a cada dimensão, varia de 0 a 1, e pode ser classificado em cinco categorias.

A caracterização da população da região também foi feita por meio de avaliação das faixas etárias dos habitantes dos municípios estudados. A população da região foi obtida para os 23 municípios estudados segundo informações dos censos demográficos de 2000, 2010 e estimativa populacional 2020 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e foi distribuída por faixa etária segundo o modelo de pirâmide etária. Com isso, é possível verificar e avaliar a distribuição da população por diferentes faixas, tanto para a população masculina quanto a feminina. Com a avaliação para os anos de 2000 e 2010, é possível verificar tendências que poderão levar a alterações econômicas na região e, com isso, no uso e demanda hídrica. A pirâmide etária da região foi comparada com o mesmo modelo para o estado de Tocantins e para o Brasil para os anos de 2000 e 2010 de forma a verificar diferentes e características regionais.

[10] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2007. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Pedologia**: Mapa Exploratório de Solos. Estado do Tocantins. Escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/tematico\_estadual/TO\_solos.pdf >. Acesso: 19 jun. 2021.

[11] VENEZIANI, P.; ANJOS, CC. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 1982. (INPE-227-MD/014)

[12] CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. 2004. **Imagens fotográficas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia**. São José dos Campos: Inpe, 2004. (INPE-11238-RPQ/761).

[13] DIAS, R. R. 2008. **Zoneamento Ecológico-econômico no Tocantins**: contribuição metodológica e processual para sua execução. 2008. 181 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008.



Outro aspecto relevante para a avaliação da população de uma região e que tem influência na demanda hídrica trata da relação entre população urbana e rural e suas tendências. A tendência de urbanização verificada no Brasil também foi identificada na região, o que leva a mudanças no uso da água e nas atividades econômicas. Também a análise de densidade demográfica ajuda nessa análise mostrando serem municípios com baixa concentração populacional, o que é importante para avaliar a condição de pressão por demanda hídrica para que possa levar a um maior incremento da população.

A análise de emprego e renda da região foi avaliada por meio de índice de População Economicamente Ativa (PEA), que trata daquela inserida no mercado de trabalho e em idade de trabalhar. Nesse caso, a metodologia adotada para a obtenção desse índice é que a população ocupada se refere às pessoas que estão trabalhando ou vinculadas a algum trabalho. Por outro lado, a consideração como população desocupada trata daquelas pessoas que não estão trabalhando, mas que buscaram de alguma forma trabalho nos 30 dias que antecederam a pesquisa. A população ocupada foi distribuída, ainda, por tipologia de serviço entre os trabalhadores agrícolas, do comércio, serviços ou outros.

Seguindo a análise, foi avaliada a economia da região, por meio da ocupação do solo e dinâmica relacionada aos principais empreendimentos existentes. Iniciou-se a análise por meio da busca de informações do Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios, comparando com a condição do restante do estado e índices de crescimento do país ao longo dos últimos anos. A verificação dos municípios com maior índice relacionado ao PIB foi realizada com a finalidade de verificar os principais polos da região, como pode ser verificado no capítulo que apresenta os resultados dessa análise.

A análise da economia regional segue pela avaliação do Valor Adicionado Bruto e a metodologia adotada foi por meio de sua divisão por setor da economia e a comparação dos índices locais com a condição do estado de Tocantins e do país.

Trata-se de mais uma análise importante para identificação das principais características da região e a comparação com outras áreas permite identificar condições específicas locais.

A partir daí, foram avaliados os principais aspectos relacionados a cada setor econômico da região. Para essa avaliação foram buscadas informações de Produção Agropecuária Municipal do IBGE, envolvendo número de cabeças de cada tipologia animal e tipologias de empreendimentos existentes na região, baseando-se nas informações de outorgas da região e da Federação de Indústrias de Tocantins (FIETO). A produção agrícola foi avaliada com base nos índices apresentados por município pela Secretaria de Agricultura e Pecuária e Aquicultura (SEAGRO). Nesse sentido, de acordo com as informações disponíveis foi feita avaliação da produção, culturas plantadas, área de plantio e produtividade em toneladas por hectare. Outros setores econômicos foram também avaliados com base em informações de IBGE, FIETO, SEAGRO e Serviço Geológico do Brasil / CPRM, notadamente o setor mineral e piscicultura, pelo fato de abrigar dois importantes empreendimentos e com grande



consumo de água por meio de evaporação em função da grande superfície de espelho d'água.

### 1.3.3. Fontes de Informação Utilizadas

A pesquisa de dados em órgãos públicos do Tocantins abrangeu diferentes recortes geográficos, entre eles: estadual, regional, bacias hidrográficas, cartas do recorte da Carta Internacional ao Milionésimo - CIM (escalas 1:100.000 e 1:250.000) e municípios inseridos dentro da área de interesse do estudo.

Quanto aos aspectos físico e bióticos, os dados foram pesquisados pelas equipes do projeto, sendo ao final do processo compilados e agrupados pelos temas: (a) dados cartográficos básicos (hidrografia, limites municipais, sedes municipais, unidades de conservação, terras indígenas); (b) gestão de recursos hídricos (planos de bacias hidrográficas); (c) climatologia e hidrologia; (d) vegetação (regiões fitoecológicas e fitofisionomias); (e) cobertura e uso da terra (unidades); (f) geologia (unidades e estruturas); (g) hidrogeologia (aquíferos); (h) solos (unidades - grupos e subgrupos); (i) relevo (declividade, unidades de relevo, altimetria). Também foram obtidas imagens de satélite Plêiades do ano de 2015, disponibilizadas para uso durante o projeto.

Em relação aos aspectos socioeconômicos, os dados pesquisados e organizados para as posteriores análises envolveram: (a) população e perfil socioeconômico dos usuários da água; (b) dados das principais atividades econômicas regionais (indústria, comércio, agricultura, serviços públicos e privados, dentre outros); (c) atividades econômicas dos municípios, com ênfase para as demandas hídricas para consumo humano, irrigação, dessedentação de animais, indústrias, agropecuária, piscicultura, mineração; (d) aspectos sanitários das sedes municipais, distritos e comunidades urbanas; (e) aspectos indicativos de fontes potenciais de contaminação como lixões, efluentes de esgotos, efluentes de indústrias, concentrados de dessalinizadores, uso de agrotóxicos na irrigação, dentre outros; (f) indicadores de Desenvolvimento Humano, de Educação e de Desenvolvimento Industrial.

Os dados foram pesquisados nos sites da Secretaria do Planejamento e Orçamento do Tocantins (SEPLAN), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) e Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins).

A pesquisa de dados em órgãos públicos federais, também, abrangeu diferentes recortes geográficos, entre eles: estadual, regional, bacias hidrográficas, cartas do recorte CIM (escalas 1:100.000 e 1:250.000) e municípios inseridos dentro da área de interesse do estudo.

Para os aspectos físico e bióticos, os dados foram pesquisados, compilados e agrupados pelos temas: (a) dados cartográficos básicos (unidades de conservação); (b) gestão de recursos hídricos (planos de bacias hidrográficas); (c) climatologia e hidrologia (série de dados históricos de pluviometria, fluviometria e normais climatológicas); (d) geologia (unidades e estruturas); (e) hidrogeologia (aquíferos e poços); (f) solos (unidades - grupos e subgrupos); (g) relevo (declividade, unidades de



relevo, altimetria). Imagens de satélite Landsat 8 do ano de 2021 foram obtidas para incorporação nos trabalhos de diagnóstico envolvendo geologia, relevo e solos.

Em termos dos aspectos socioeconômicos, os dados pesquisados e organizados para as posteriores análises envolveram: (a) população e perfil socioeconômico dos usuários da água; (b) dados das principais atividades econômicas regionais (indústria, comércio, agricultura, serviços públicos e privados, dentre outros); (c) atividades econômicas dos municípios, com ênfase para as demandas hídricas para consumo humano, irrigação, dessedentação de animais, indústrias, agropecuária, piscicultura, mineração; (d) aspectos sanitários das sedes municipais, distritos e comunidades urbanas; (e) aspectos indicativos de fontes potenciais de contaminação como lixões, efluentes de esgotos, efluentes de indústrias, concentrados de dessalinizadores, uso de agrotóxicos na irrigação, dentre outros; (f) indicadores de Desenvolvimento Humano, de Educação e de Desenvolvimento Industrial.

Os dados foram pesquisados nos sites do Serviço Geológico do Brasil, nos portais do Sistema de Geociências do Serviço Geológico do Brasil (*GeoSGB*) e Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (*SIAGAS*), Instituto Nacional de Meteorologia (*INMET*), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (*ANA*) por meio do portal *Hidroweb*, Ministério do Meio Ambiente (*MMA*), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (*ICMbio*), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (*IBGE*), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (*Embrapa*), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (*INPE*). Também foram realizadas pesquisas em sites de universidades - Universidade Estadual Paulista (*Unesp*), Universidade de São Paulo (*USP*), UnB (Universidade de Brasília), dentre outros).

A pesquisa de dados em empresas privadas foi direcionada para águas subterrâneas. Inicialmente efetuou-se uma pesquisa preliminar em ambiente web e realizou-se contato direto com empresas, buscando em uma informação verbal obter um panorama sobre quantidade de poços perfurados, localização/distribuição dos poços perfurados na área de interesse, e sobre a existência de uma base de dados de poços com possibilidade de geração de consultas, pesquisas, extração e geração de relatórios.

Com base nas informações obtidas, priorizou-se a compra de uma base de dados da área de interesse diretamente da empresa Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. (*TRHIMIL*), que detém um amplo acervo com informações contundentes de poços no estado de Tocantins, em meio digital (localização, data de perfuração, profundidade do poço, profundidade de filtros, tipos de filtros, diâmetro, nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, vazão, vazão específica, tipo de aquífero).

#### **1.3.4. Cadastramento da Rede de Monitoramento no Campo**

Para cada poço pré-selecionado a partir dos dois cadastros existentes: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (*SIAGAS*), ligado à Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (*CPRM*), e *Trhimil* - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda., foi efetuada uma averiguação de campo com preenchimento de uma Ficha Cadastral, mostrada como exemplo na Figura 2, com inclusão total no *Apêndice II. Ficha dos*



*Poços Cadastrados* do relatório técnico ESCOLHA DA REDE DE MONITORAMENTO / CADASTRAMENTO DOS POÇOS DA REDE / INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE AQUÍFEROS / POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS LIVRES.

Em cada poço foram preenchidos os dados locais, registrada as coordenadas geográficas e altitude com uso do equipamento *Global Positioning System (GPS)* de navegação modelo *Etrex da Garmin* e em seguida foram medidos os dados de profundidade de NE e do ND, rebaixamento e vazão.

Durante o bombeamento, foi retirada uma amostra de água na torneira existente na saída do poço (vide figura inserida na ficha do poço) e efetuadas as medições de Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos, através de um equipamento "*Portable E-1 TDS&EC meter* e de um peagômetro portátil AK90 da Akso;

Os demais elementos da Ficha Cadastral foram obtidos por informação junto ao proprietário / operador.

Na parte inferior da referida ficha consta uma foto do poço, com uma etiqueta de identificação no topo e ao lado um croqui do local obtido pelo serviço da "*Google maps*"



CADASTRO DE USUÁRIOS DE PONTOS D'ÁGUA		FICHA Nº 093	
<b>DADOS DE IDENTIFICAÇÃO</b>			
Código: T18	SIAGAS:	Poço tubular <input checked="" type="checkbox"/> Poço amazonas <input type="checkbox"/> Fonte <input type="checkbox"/>	
Local: PA Santa Clara Araguacema TO		Proprietário: ATS	
Endereço:		Município: Araguacema TO	
Bacia Sedimentar: CRISTALINO		Bacia Hidrográfica: Rio Araguaia	
Coordenadas UTM: N: 22L 650.124		E: 8.985.400	MC: Cota: 194 m
Data da Perfuração: 15/06/2007		Empresa que perfurou: TRHIMIL	
<b>DADOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS</b>			
Formação geológica: rocha cristalina		Estruturas geológicas: não expostas	
Tipo de solo: Argiloso		Nome do aquífero explotado: Fraturado Centro-Sul	
Tipo de aquífero: Poroso <input type="checkbox"/> Fissural <input checked="" type="checkbox"/> Cárstico-fissural <input type="checkbox"/>			
Condição hidráulica do aquífero: Livre <input checked="" type="checkbox"/> confinado <input type="checkbox"/> Semi-confinado <input type="checkbox"/>			
Profundidade: 164 m	Alt.boca: 50 cm	Cota boca: 194 m	Diâmetro: 6"
N.E. 13 m	N.D. 97 m	Vazão: 17200 l/h	Vazão específica: 200 l/h/m
Tipo revestimento: Aço		Equipamento de bombeamento: Bomba submersa	
Energia elétrica: monofásica <input type="checkbox"/> trifásica <input checked="" type="checkbox"/>		Outra fonte energia:	
<b>QUALIDADE DA ÁGUA</b>			
Condutividade Elétrica: 0126 µS/cm		pH: 7,8	Temperatura: 30 °C
<b>SITUAÇÃO DO POÇO:</b>			
Operando <input checked="" type="checkbox"/> Desativado <input type="checkbox"/>		Motivo da desativação:	Desde:
Regime de operação: 18 h/dia		7 dias/semana	12 meses por ano
<b>ATENDIMENTO E USO DA ÁGUA</b>			
Público <input checked="" type="checkbox"/> Particular <input type="checkbox"/>		Nº de famílias atendidas: 225	Uso(s): Cons. Humano
Tipo de reservatório: Taça 30 mil lts		Distribuição: Rede domestica	
Condição sanitária: Poço protegido		Fonte de contaminação:	
<b>SITUAÇÃO DE REGULARIZAÇÃO DO POÇO: Não soube informar</b>			
Registrado? SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/>		Licença de Instalação nº	Data:
Licença de Operação nº		Data:	Outorga inicial nº
Data:			
<b>DOCUMENTOS ANEXADOS</b>			
Perfil construtivo <input type="checkbox"/> Perfil geológico/estratigráfico <input type="checkbox"/> Análise físico-química <input type="checkbox"/>			
Análises bacteriológica <input type="checkbox"/> Perfilagem geofísica <input type="checkbox"/> Ensaios de bombeamento <input type="checkbox"/>			
Fotografia colorida e georreferenciada		Croqui de localização	
			
<b>OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES</b>			
Data do cadastro: 03/08/2021		Nome do informante: Francisco José da Silva	
Nome do cadastrante: Resivaldo Barros de Amorim			

**Figura 2.** Modelo de ficha de cadastro de poços

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



### 1.3.5. Interpretação dos testes de bombeamento

Para o cálculo da transmissividade (T) através do *software GWW* não foi possível utilizar as medidas de recuperação do nível dinâmico, tendo em vista a reduzida duração de medição dessa recuperação, além do que, na maioria dos poços não era esperado o tempo total a ser medido.

Esse software possui 4 rotinas principais de ajuste das curvas:

- a) **Theis**, o método de ajuste de curva usa a função padrão de poço  $W(u)$ ;
- b) **Jacob**, que é uma aproximação da solução da equação de **Theis**;
- c) **Hantush**, o método de ajuste de curva usa a função padrão para poços drenantes  $W(u,r/B)$ ;
- d) **Método de Recuperação**.

Para avaliação da condutividade hidráulica (K) foi dividido o valor da transmissividade (T) pela espessura do aquífero penetrado pelo poço, obtida pela análise do perfil litológico apresentado no relatório técnico do poço. Nesse cadastro de poços da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda., alguns não tinham o perfil litológico e construtivo do mesmo.

### 1.3.6. Avaliação do Índice de Vulnerabilidade

Para definição da vulnerabilidade natural dos aquíferos foi utilizada a metodologia adotada por Foster e Hirata (1988): o **índice de vulnerabilidade GOD**.

O índice de vulnerabilidade GOD considera os seguintes parâmetros (Foster e Hirata, 1988):

- **Tipo de ocorrência do aquífero** (parâmetro G): desde livre a confinado, ou ausente.
- **Tipos litológicos acima da zona saturada** (parâmetro O): que além dos litótipos, considera o grau de consolidação, o grau de fraturamento e conteúdo de argila, componentes que relevam o grau de permeabilidade do aquífero.
- **Profundidade do nível da água ou do teto do aquífero confinado** (parâmetro D).

A cada um destes fatores é atribuído um índice, sendo feito o produto dos três índices cujo resultado é um quarto índice que representa a vulnerabilidade natural do aquífero. O processo de avaliação do **índice de vulnerabilidade GOD** é ilustrado na Figura 3. O índice GOD quantitativo obtido é transformado numa escala qualitativa ou classe de vulnerabilidade que se sumariza no Quadro 1.

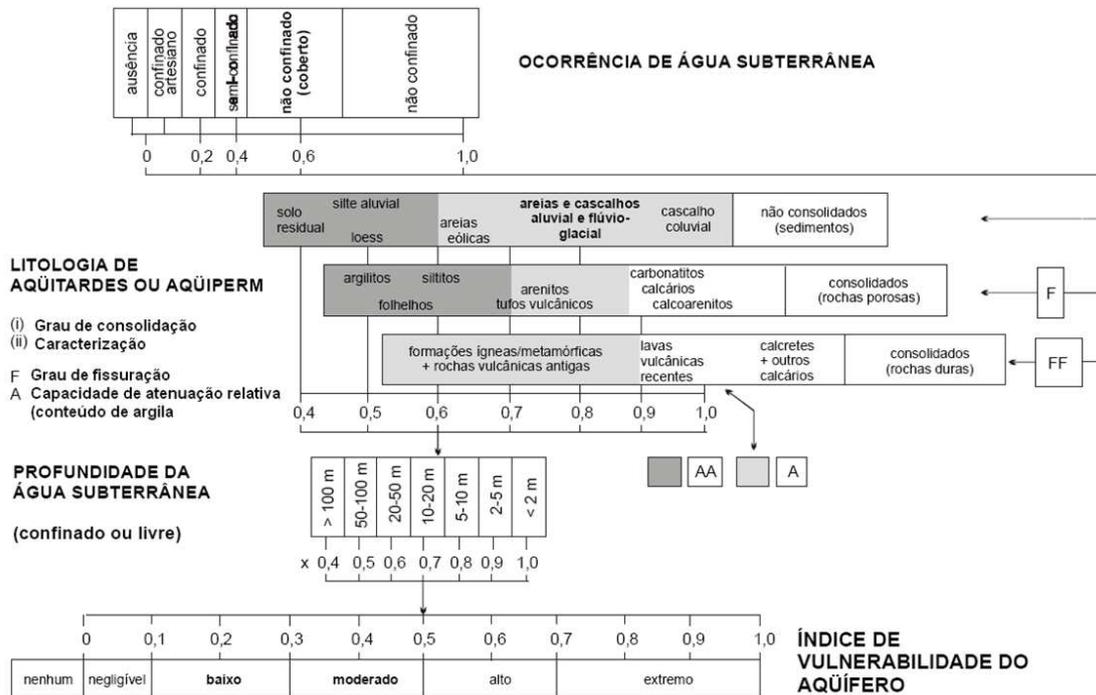


Figura 3. Procedimento para a avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero

Fonte: Foster e Hirata, 1988<sup>[14]</sup>

Quadro 1. Classificação do índice e da classe de vulnerabilidade GOD.

Índice GOD	Classe de vulnerabilidade
0,0 - 0,1	Negligível (ou Desprezível)
0,1 - 0,3	Baixo
0,3 - 0,5	Moderado
0,5 - 0,7	Alto
0,7 - 1,0	Extremo

Fonte: Foster e Hirata, 1988.

O Quadro 1 apresenta a avaliação dos índices de vulnerabilidade para os diversos aquíferos da área de estudo, a partir dos dados de ocorrência da água subterrânea (G), litologia de aquítares e aquícludes (aquíperme) (O) e profundidade do nível estático (D).

### 1.3.7. Elaboração do Zoneamento Explotável

Para execução de um mapa de zoneamento mais rigoroso teria que ser utilizada uma “ferramenta” mais precisa, que seria a modelagem numérica dos aquíferos, não solicitada no Termo de Referência, e que jamais poderia ter sido executada nos prazos

[14] FOSTER, S; HIRATA, R. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology based on available data. Lima-Peru: WHO-PAHO; CEPIS, 1988.



exigidos para este trabalho. Somente a modelagem exigiria o mínimo de cinco meses para sua planificação, calibragem e execução.

Como a situação de exploração atual dos aquíferos porosos, bem como dos fissurais, é incipiente, muito longe dos recursos disponíveis, o mapa a ser apresentado satisfaz plenamente à gestão desses aquíferos.

O zoneamento de exploração considera os seguintes elementos:

- I. Identificação da zona: através de uma letra maiúscula (A, B, C, etc...); quando um determinado aquífero ocorre em situação de livre e de confinado ou semiconfinado, são consideradas subzonas distintas com a mesma letra, e com índices numéricos específicos (exemplo B1 e B2);
- II. Localização na área: principais municípios em que a zona está inserida;
- III. Disposição regional: em faixa, em polígono, disposição irregular;
- IV. Aquífero, sistema aquífero ou uma sequência alternada de aquífero e aquitarde;
- V. Situação do aquífero: livre, semiconfinado ou confinado;
- VI. Área total de ocorrência;
- VII. Espessura da camada aquífera;
- VIII. Dados hidráulicos do poço: nível estático, vazão e rebaixamento;
- IX. Qualidade da água, representada pelo STD (sólidos totais dissolvidos);
- X. Característica de poço recomendado;
- XI. Regime de bombeamento;
- XII. Espaçamento para poço existente ou para baterias de poços;
- XIII. Vazão máxima diária a ser outorgada pelo órgão outorgante;
- XIV. Apresentação da zona no mapa de zoneamento explorável;

### 1.3.8. Método de Avaliação do Custo da Água Bombeada

A avaliação do custo do m<sup>3</sup> de água bombeada é procedida pela equação seguinte:

$$C = (GFp + GFb + GE) / Va \quad (1.1)$$

Sendo:

GFp = gastos financeiros anuais referentes ao investimento no poço (R\$/ano)

GFb = gastos financeiros anuais referentes ao investimento na bomba e energização do poço (R\$/ano)

GE = gastos anuais com a energia de bombeamento (R\$/ano)

Va = volume anual produzido (m<sup>3</sup>)



Por outro lado, os valores de GFp, GFb, GE e Va são calculados a partir das seguintes equações:

$$GFp = (Ip.i / 2) + (Ip / Vp) \quad (1.2)$$

$$GFb = (Ib.i / 2) + (Ib / Vb) \quad (1.3)$$

$$GE = 0,002727 (Va AMt / u) ce \quad (1.4)$$

Sendo:

*Ip* = investimento na construção do poço (R\$)

*Ib* = investimento na aquisição da bomba e energização do poço (R\$)

*i* = taxa de remuneração do capital investido (% ao ano)

*Vp* = vida útil do poço (anos)

*Vb* = vida útil da bomba (anos)

*AMt* = altura manométrica de recalque da água bombeada (m)

*u* = rendimento do grupo motor-bomba (%)

*ce* = custo de energia (R\$/Kwh)

As equações 1.1 a 1.4 podem ser expressas conjuntamente como se segue:

$$C = \frac{[(Ip.i/2)+(Ip/Vp)] + [(Ib.i/2)+(Ib/Vb)] + 0,002727 \cdot (Va \cdot \frac{AMt}{u}) \cdot ce}{Va} \quad (1.5)$$



## 2. HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS POROSOS

### 2.1. Identificação e Cadastramento da Rede de Monitoramento

Na etapa inicial foram levantados os dados do cadastro do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, contendo 191 poços, e da base cadastral da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda., empresa privada de perfuração de poços sediada na cidade de Paraíso do Tocantins, contendo 141 poços.

Considerando a duplicidade de poços nos dois cadastros, bem como ainda a inexistência de poços da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. em vários municípios da área em estudo, foi efetuada uma planilha de poços para serem levantados no campo, contendo 182 poços, dos quais 141 poços eram da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. e 41 poços do SIAGAS/CPRM.

A predominância de poços da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. deveu-se ao fato de serem os dados desta empresa mais completos, contendo as fichas de construção do poço, o perfil litoestratigráfico e até, em vários deles, a planilha do ensaio de bombeamento.

Ao final do trabalho de campo, a rede de monitoramento fez o montante de 124 poços, levando-se em consideração que apesar de possuírem dados completos para o estudo, apenas 102 deles teriam condições de coleta de amostras para realização de análises físico-químicas.

O cadastro dos poços da rede de monitoramento é apresentado no *Apêndice I. Cadastro dos Poços da Rede de Monitoramento* do relatório técnico ESCOLHA DA REDE DE MONITORAMENTO / CADASTRAMENTO DOS POÇOS DA REDE / INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE AQUÍFEROS / POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS LIVRES.

### 2.2. Caracterização dos Aquíferos Porosos e Fissurais e dos Aquitardes

A região em estudo contempla aquíferos porosos, relacionados às rochas sedimentares, aquíferos fissurais, que dizem respeito às rochas cristalinas (magmáticas ou metamórficas) e ainda aquitardes, em rochas sedimentares que retêm a água em seus poros e a libera lentamente, como as rochas areno-argilosos, e em aquícludes, rochas sedimentares totalmente impermeáveis como os folhelhos e argilitos.

Com relação ao posicionamento no espaço subterrâneo, os aquíferos e aquitardes podem se apresentar como livres, quando a superfície hidrostática está submetida apenas a pressão atmosférica, semiconfinados quando se acha encoberto por um aquitarde, ou ainda confinado, se o aquífero se encontra sob camadas aquícludes. Quando o aquífero se encontra confinado ou semiconfinado, a água sobe no interior do poço podendo vir a jorrar (artesianismo surgente) ou ficar próxima a superfície (artesianismo semisurgente).



Na região Centro Norte do Estado do Tocantins, aproximadamente 70% da área corresponde à presença de aquíferos porosos e aquítarde, enquanto 30% é representado pelo aquífero fissural.

Os aquíferos e aquítarde da região são os seguintes:

- a) Aquíferos: Serra Grande, Cabeças, Poti, Piauí, Sambaíba, Corda, Urucuia, Rio das Barreiras e Depósitos cenozóicos colúvio-elúvio-aluvionares (na ordem estratigráfica);
- b) Aquítarde: Pimenteiras, Longá, Pedra de Fogo, Motuca, Codó e Itapecuru (na ordem estratigráfica);
- c) Aquífero fissural: Mosquito (rochas vulcânicas) ao norte e cristalinas diversas (rochas metamórficas e ígneas) na área sudoeste.

Em termos de exposição superficial, os aquíferos apresentam as seguintes áreas, da maior para a menor: Poti (13.173 km<sup>2</sup>), Piauí (11.795 km<sup>2</sup>), Sambaíba (5.943 km<sup>2</sup>), Rio das Barreiras (4.447 km<sup>2</sup>), Corda (4.170 km<sup>2</sup>), Cabeças (4.132 km<sup>2</sup>), Urucuia (904 km<sup>2</sup>), Serra Grande (39 km<sup>2</sup>) além de depósitos descontínuos mais recentes que, no total, ocupam uma área em torno de 6.000 km<sup>2</sup>.

Quanto aos aquítarde, têm-se na ordem decrescente de área, Pimenteiras (9.851 km<sup>2</sup>), Pedra de Fogo (6.889 km<sup>2</sup>), Motuca (5.977 km<sup>2</sup>), Itapecuru (2.912 km<sup>2</sup>), Longá (2.805 km<sup>2</sup>) e Codó (471 km<sup>2</sup>).

Os aquíferos Poti e Piauí como não possuem discordâncias entre si, atuam como um sistema aquífero, ao longo dos 11.795 km<sup>2</sup> em que os dois aquíferos ocorrem juntamente.

O aquífero Serra Grande em sua reduzida área de exposição não possui nenhum poço e toda a sua exploração ocorre através de poços que atravessam todo o aquítarde Pimenteiras e captam 20 a 30 m desse aquífero.

O aquífero Sambaíba além de ocorrer na condição de livre, nos seus 2.202 km<sup>2</sup> de exposição, também ocorre na condição de confinado, sob o aquífero fissural Mosquito (derrame vulcânico) que o recobre numa área de 3.740 km<sup>2</sup>.

Alguns aquítarde que possuem camadas arenosas intercaladas à outra pelíticas, vêm sendo explorados por poços de pequena vazão, como é o caso dos aquítarde Pimenteiras, Motuca e Itapecuru.

As espessuras médias dos aquíferos e aquítarde, livres ou confinados, na bacia, são em média de: Serra Grande = 200 m, Pimenteiras = 300 m, Cabeças = 200 m, Sambaíba = 300 m, Longá = 200 m, Poti/Piauí = 400 m, Motuca = 200 m, Pedra de Fogo = 200 m, Corda = 150 m, Urucuia = 200 m, Rio das Barreiras = 80 m, Codó = 80 m, Itapecuru = 200 m. Nas áreas aflorantes da borda da bacia sedimentar do Parnaíba, esses aquíferos apresentam espessuras mais reduzidas.



## 2.3. Análise dos Poços Existentes por Aquífero e Aquitarde

A planilha dos 124 (cento e vinte e quatro) poços cadastrados no campo, apresentada *Apêndice II. Fichas dos Poços Cadastrados* do relatório técnico ESCOLHA DA REDE DE MONITORAMENTO / CADASTRAMENTO DOS POÇOS DA REDE / INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE AQUÍFEROS / POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS LIVRES, foi subdividida em duas outras planilhas para efeito de análise estatística dos dados: uma planilha contendo os dados dos aquíferos porosos, com 87 poços e uma planilha os dados do aquífero fissural, com 37 poços.

### 2.3.1. Análise Estatística dos Poços nos Aquíferos Porosos

A análise estatística foi elaborada com dados construtivos (profundidade, altura da boca, cota da boca, diâmetro do tubo na boca) e dados hídricos (nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, vazão e vazão específica), que constam do Quadro 2, além dos dados físico-químicos medidos no campo (condutividade elétrica, pH e temperatura) bem como do regime de operação, constantes do Quadro 3.

**Quadro 2.** Parâmetros dos dados construtivos e hídricos dos poços nos aquíferos porosos

Parâmetros estatísticos	Prof.	Altura boca	Cota boca	Diâm. Boca (pol.)	Nível Estát.	Nível Dinân.	Rebax.	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão Espec. (m <sup>3</sup> /h/m)
	(m)				(m)				
Média	144,16	1,16	220,87	6,14	18,71	60,35	41,88	15,64	0,65
Mediana	130,00	0,60	216,00	6,00	14,00	56,00	38,50	9,00	0,34
Desvio Padrão	62,88	5,27	77,68	0,95	17,27	28,33	26,55	28,03	1,13
Coefficiente de Variação	43,62	452,54	35,17	15,46	92,28	46,95	63,39	179,19	174,52
Valor máximo	376,00	50,00	429,00	12,00	91,00	140,00	136,00	250,00	7,35
Valor mínimo	45,00	0,10	0,50	4,00	0,00	7,50	2,50	0,27	0,02
Número de dados	87	87	80	87	84	84	84	84	82

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

No Quadro 2, verifica-se inicialmente, que os dados de profundidade, altura da boca, cota da boca, diâmetro da boca, e nível dinâmico apresentam coeficiente de variação inferior a 50%, o que significa uma baixa dispersão de valores em torno da média; os dados de nível estático e rebaixamento, apresentam coeficiente de variação entre 50% e 100% o que representa uma média dispersão de valores; finalmente os dados de vazão e vazão específica apresentam coeficiente de variação superiores a 100%, o que representa uma elevada dispersão de valores em torno da média.

Ainda nesse quadro, constata-se pequenas variações entre as médias e as medianas, o que revela a inexistência de valores anômalos tanto inferiores, como superiores, à exceção dos dados de vazão e vazão específica em que a média corresponde a quase o dobro da mediana.

Analisando a variação de cada um desses dados do Quadro 2, nota-se que:



- A profundidade apresenta a mediana de 130,00 m, com um valor máximo de 376,00 m e mínimo de 45,00 m; os valores maiores correspondem aos poços em que se teve que perfurar toda a espessura do basalto (Formação Mosquito) para alcançar a Formação Sambaíba, ou a Formação Corda (mais ao norte), onde se captou no máximo 30 m do aquífero poroso;
- A altura da boca é um dado importante para se ter a cota do topo do aquífero; a mediana ficou em 0,60 m, com variação entre 1,0 e 0,1m;
- A cota da boca do poço complementa a informação para avaliação da cota do terreno; sua mediana de 217,00 m, com variação entre o mínimo de 99,00 m e o máximo de 429,00 m mostrou que os poços que se localizam mais ao norte da área apresentam cotas menores;
- O diâmetro da boca do poço foi em sua grande maioria de 6" (seis polegadas), daí a média de 6,14" (seis polegadas e quatorze décimos), variando desde o máximo de 12" (doze polegadas) num poço perfurado no conjunto Mosquito/Sambaíba, ao mínimo de 4" (quatro polegadas), num poço perfurado no aquífero Poti livre;
- A variação dos níveis estáticos foi maior, tendo em vista o mínimo de 0,00 m nos poços confinados (a altura acima do nível do solo, desprezível em função das reduzidas cargas hidráulicas, não foi medida) para os mais profundos em torno dos 100,00 m; daí a variação entre a média de 18,71m e a mediana, com 14,00 m;
- A variação dos níveis dinâmicos também foi um pouco elevada em função dos valores inferiores, de 7,50 m e 9,50 m acusados no aquífero Piauí livre, e 140,00 m no aquífero Pimenteiras, o que resultou numa média de 60,35m contra a mediana de 56,00 m;
- Quanto ao rebaixamento, de um modo geral, pode ser considerado como regular, em torno de 40,00 m (entre média e mediana); os valores máximo e médio foram encontrados no mesmo sistema aquífero Poti/Piauí, com máximo de 136,00 m quando no confinado e mínimo de 2,50 m em poço raso, na condição de livre;
- A vazão revelou uma grande dispersão de valores em torno da média de 15,64 m<sup>3</sup>/h, daí a diferença para o valor da mediana, de apenas 9,00 m<sup>3</sup>/h, tendo em vista valores muito elevados como 250,00 m<sup>3</sup>/h no poço perfurado no aquífero Sambaíba livre e 0,27 m<sup>3</sup>/h (quase seco), num poço perfurado no aquífero Pimenteiras;
- Finalmente a vazão específica, também apresentou elevada dispersão de valores entre a média de 0,65 m<sup>3</sup>/h/m, para a mediana de 0,34 m<sup>3</sup>/h/m, em função dos valores máximo e mínimo, acusados, respectivamente, nos poços perfurados no aquífero Sambaíba livre (7,35 m<sup>3</sup>/h/m) e Codó (0,02 m<sup>3</sup>/h/m).



**Quadro 3.** Parâmetros dos dados físico-químicos e regime de operação dos poços nos aquíferos porosos

Parâmetros estatísticos	Cond. Elétr μS/cm.	pH	Temperat.	Regime de operação		
			°C	hs/dia	dias/sem.	meses/ano
Média	230,86	6,57	29,27	13,24	6,74	11,93
Mediana	153,00	6,70	29,00	12,00	7,00	12,00
Desvio Padrão	390,33	1,24	3,94	7,85	0,90	2,11
Coefficiente de Variação	169,08	18,88	13,47	59,29	13,32	17,70
Valor máximo	2.820,00	8,80	59,00	24,00	7,00	26,00
Valor mínimo	10,00	3,90	24,00	1,00	2,00	5,00
Número de dados	72	71	72	70	72	71

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

No Quadro 3, verifica-se inicialmente, que os dados de condutividade elétrica apresentam uma elevada dispersão de valores em torno da média, com coeficiente de variação maior que 100, enquanto os demais dados podem ser considerados com baixa dispersão de valores, em torno ou bem inferiores a 50%.

Também nesse quadro percebe-se uma ligeira variação entre a média e a mediana, com exceção da condutividade, em face de elevada dispersão de valores.

Analisando a variação de cada um desses dados do Quadro 3, nota-se que:

- A grande dispersão dos valores de condutividade elétrica verificou-se por dois fatores:
  - a) Os três valores acima de 1.000 μS/cm, chegando a 2.820 μS/cm, que equivale aproximadamente a 1.700 mg/L de sólidos totais dissolvidos na água, bem acima do limite de potabilidade;
  - b) Os 28 valores (cerca de 40% dos poços cadastrados) com valores de condutividade elétrica abaixo de 100 μS/cm, ou seja, uma água quase inteiramente desmineralizada;
- O pH (potencial hidrogeniônico) varia de 1 a 14uh, tendo o valor neutro de 7uh; os valores abaixo de 7uh são considerados água ácida e acima de 7uh, água básica; embora não seja considerado um intervalo determinado para efeito da potabilidade, conforme padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 396/2007, admite-se que o intervalo ideal fique entre 6,5 e 8,5uh; no caso das águas analisadas nesta região, 16,70% apresentaram valores abaixo ou acima desse intervalo, chegando nos extremos a 8,8 e 3,9uh;
- A temperatura apresentou um quadro coerente com o clima da localidade, variando na água desde o máximo de 37 °C ao mínimo de 24 °C, com mediana de 29 °C;
- O regime de operação colocado no referido quadro considerou indistintamente os poços públicos e privados (particulares); uma análise efetuada separadamente para os dois tipos apresentou a seguinte distinção no regime horário:



- a) Poço público: Média de 16 h por dia de bombeamento;
- b) Poço particular: Média de 8 h por dia de bombeamento.

Para uma melhor compreensão da variação de cada dado, segue-se uma análise estatística levando em conta as classes de variação:

### 2.3.1.1. Profundidade (P)

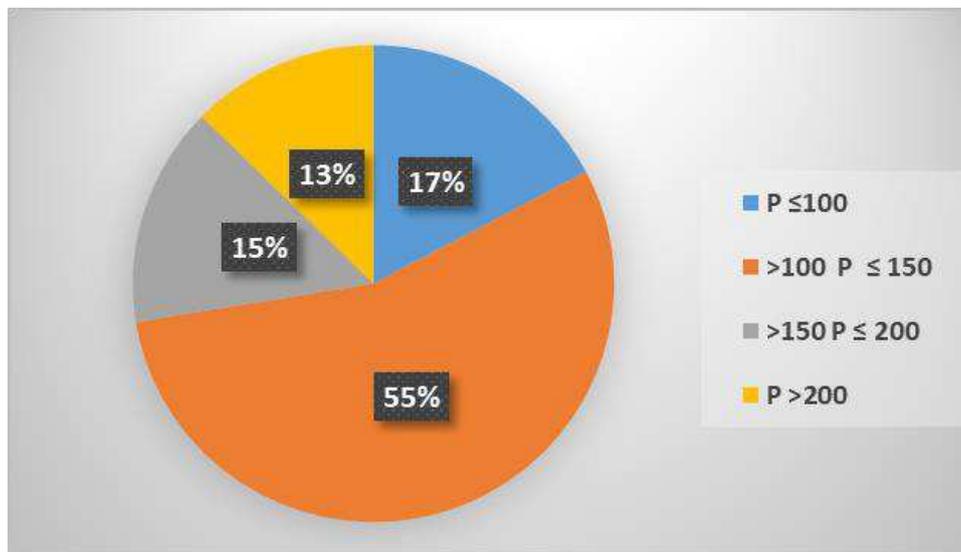
Com relação a esse quesito, foram consideradas quatro classes de profundidade: menor que 100,00 m, entre 100,00 e 150,00 m, entre 150,00 e 200,00 m e superior a 200,00 m, como pode ser visto no Quadro 4.

**Quadro 4.** Variação da profundidade dos poços no aquífero poroso, por classes.

Classes de variação da profundidade (m)	Número de poços quanto a profundidade	% do total
$P \leq 100$	15	17,24
$>100 P \leq 150$	48	55,17
$>150 P \leq 200$	13	14,94
$P > 200$	11	12,64
<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 4.



**Figura 4.** Representação gráfica da variação da profundidade dos poços nos aquíferos porosos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Constata-se que a maioria dos poços (55%) possuem profundidades entre 100,00 e 150,00 m; os poços que possuem maiores profundidades foram aqueles que



atravessaram o basalto (Formação Mosquito) para alcançarem as formações Sambaíba ou Corda, em geral, na situação de confinamento ou ainda, aqueles que atravessaram o aquitarde Pimenteiras para alcançar o aquífero Serra Grande.

### 2.3.1.2. Nível Estático (N.E.)

Igualmente para o nível estático, foram consideradas quatro classes de variação: inferior ou igual a 5,00 m, superior a 5,00 m e inferior ou igual a 15,00 m, superior a 15,00 m e inferior ou igual a 30,00 m e finalmente, superior a 30,00 m, como mostrado no Quadro 5.

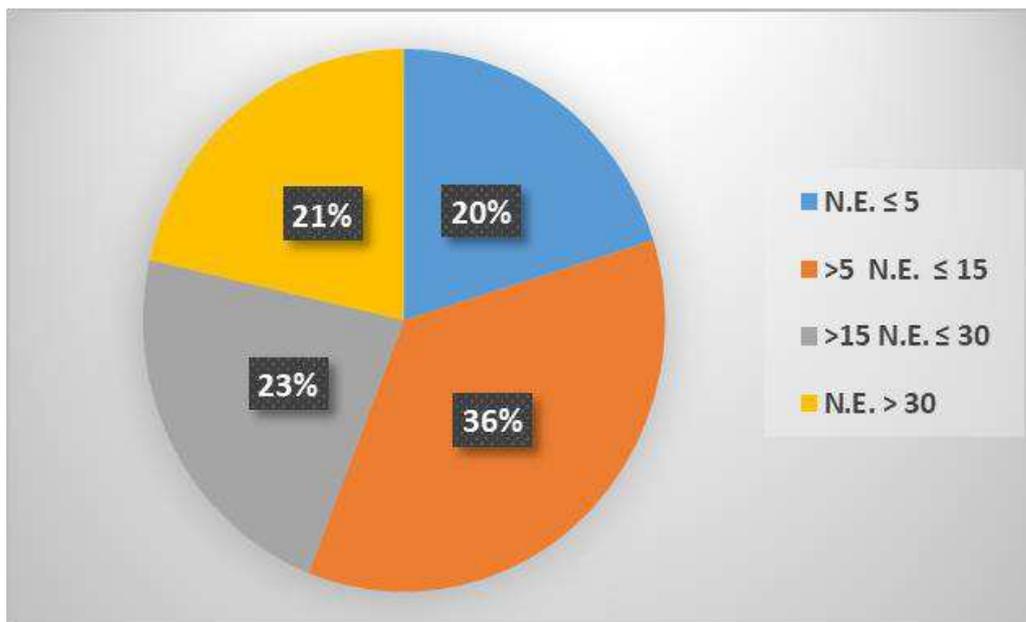
**Quadro 5.** Variação do nível estático dos poços no aquífero poroso, por classes

Classes de variação do N.E. (m)	Número de poços quanto ao N.E.	% do total
N.E. ≤ 5	17	20,23
>5 N.E. ≤ 15	30	35,71
>15 N.E. ≤ 30	19	22,62
N.E. > 30	18	21,43
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Verifica-se que as profundidades de nível estático preponderante se situam até os 15,00 m de profundidade, com 56% dos poços; aqueles que possuem níveis mais profundos, além dos 30,00 m, perfazem apenas 21% e correspondem aos poços mais profundos.

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 5.



**Figura 5.** Representação gráfica da variação do nível estático dos poços nos aquíferos porosos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



### 2.3.1.3. Nível Dinâmico (N.D.)

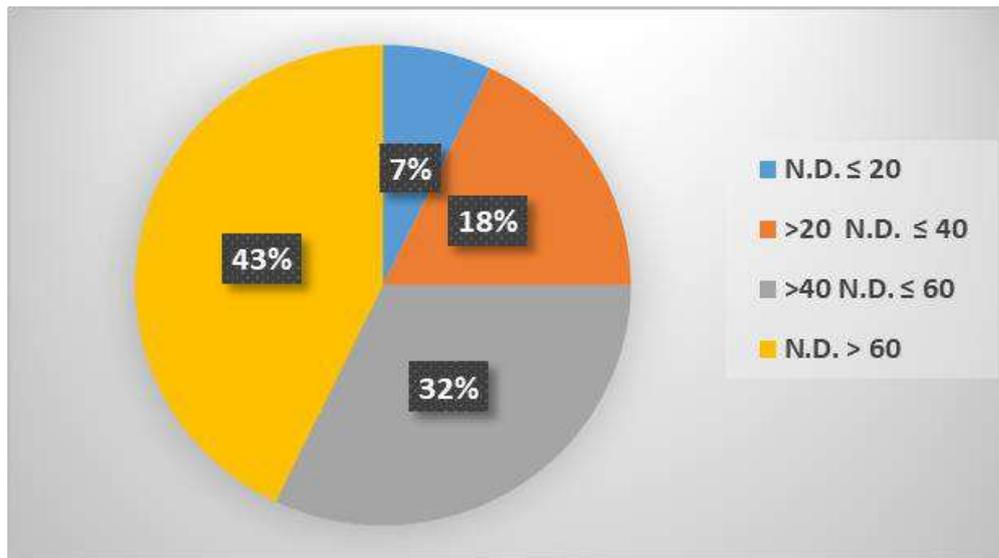
Também foram consideradas quatro classes de variação: menor ou igual a 20,00 m, maior que 20,00 m e inferior ou igual a 40,00 m, superior a 40,00 m e inferior ou igual a 60,00 m e, por fim, aqueles com N.D. superior a 60,00 m (Quadro 6).

**Quadro 6.** Variação do nível dinâmico dos poços no aquífero poroso, por classes

Classes de variação do N.D. (m)	Número de poços quanto ao N.D.	% do total
N.D. ≤ 20	6	7,14
>20 N.D. ≤ 40	15	17,86
>40 N.D. ≤ 60	27	32,14
N.D. > 60	36	42,85
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 6.



**Figura 6.** Representação gráfica da variação do nível dinâmico dos poços nos aquíferos porosos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Verifica-se que apenas 25% dos poços possuem níveis dinâmicos a profundidades inferiores a 40,00 m e que a maioria (43%) possui níveis superiores a 6,00 m de profundidade.



### 2.3.1.4. Rebaixamento (s)

O rebaixamento consiste na diferença entre o nível dinâmico e o nível estático, isto é, quanto à superfície potenciométrica do aquífero em repouso, rebaixou a final do bombeamento.

Verifica-se no Quadro 7, que os rebaixamentos foram enquadrados nas seguintes classes: menor ou igual a 20 m, maior que 20 m e menor ou igual a 40 m, superior a 40 m e inferior ou igual a 60 m e finalmente, maior que 60 m.

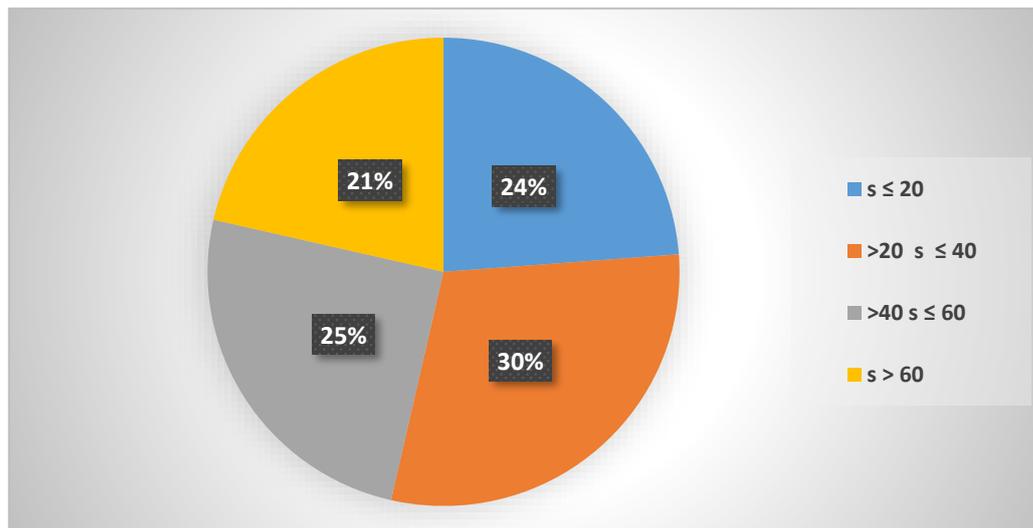
**Quadro 7.** Variação do rebaixamento dos poços no aquífero poroso, por classes

Classes de variação do rebaixamento (m)	Número de poços quanto ao Rebaixamento	% do total
$s \leq 20$	20	23,81
$>20 s \leq 40$	25	29,76
$>40 s \leq 60$	21	25,00
$s > 60$	18	21,43
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Constata-se que, embora predomine o intervalo de rebaixamento entre 20 e 40 m, os percentuais de cada classe são muito próximos um do outro.

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 7.



**Figura 7.** Representação gráfica da variação do rebaixamento dos poços nos aquíferos porosos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



### 2.3.1.5. Vazão (Q)

O Quadro 8 assinala que as vazões foram enquadradas nas seguintes classes: menor ou igual a 10,00 m<sup>3</sup>/h, maior que 10,00 m<sup>3</sup>/h e menor ou igual a 30,00 m<sup>3</sup>/h, superior a 30,00 m<sup>3</sup>/h e inferior ou igual a 80,00 m<sup>3</sup>/h e finalmente, maior que 80,00 m<sup>3</sup>/h.

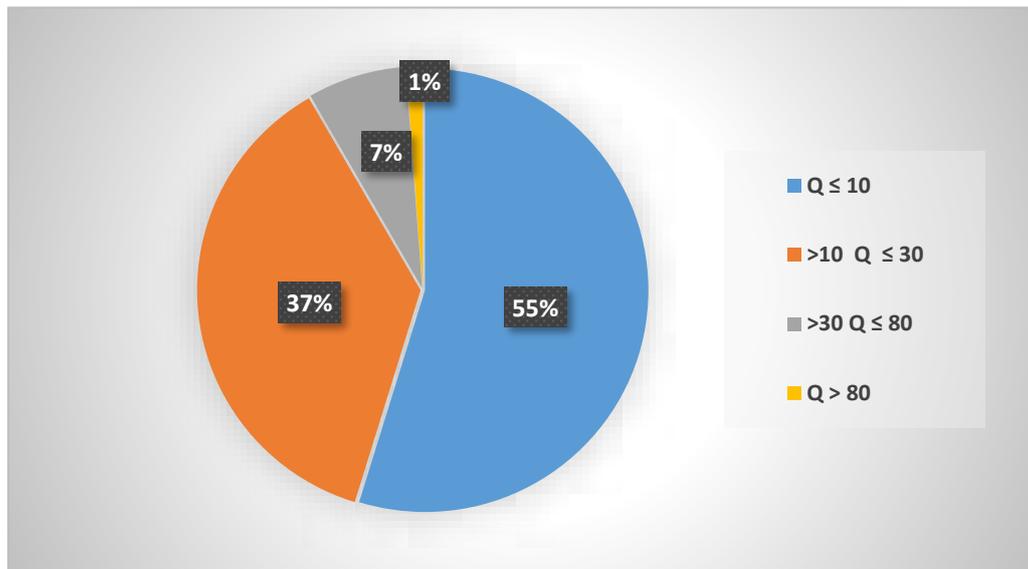
**Quadro 8.** Variação da vazão dos poços no aquífero poroso, segundo as classes

Classes de variação da Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Número de poços quanto a Vazão	% do total
Q ≤ 10	46	54,76
>10 Q ≤ 30	31	36,90
>30 Q ≤ 80	6	7,14
Q > 80	1	1,19
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Verifica-se que quase todos os poços (92%) possuem vazões menores que 30,00 m<sup>3</sup>/h.

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 8.



**Figura 8.** Representação gráfica da variação da vazão dos poços nos aquíferos porosos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 2.3.1.6. Vazão Específica (Qe)

Do mesmo modo, a vazão específica compreende quatro classes de variação, a saber: menor ou igual a 0,5 m<sup>3</sup>/h/m, maior que 0,5 e menor ou igual a 1,0 m<sup>3</sup>/h/m, maior que 1,0 e menor ou igual a 2,0 m<sup>3</sup>/h/m e, finalmente, maior que 2,0 m<sup>3</sup>/h/m (Quadro 9).



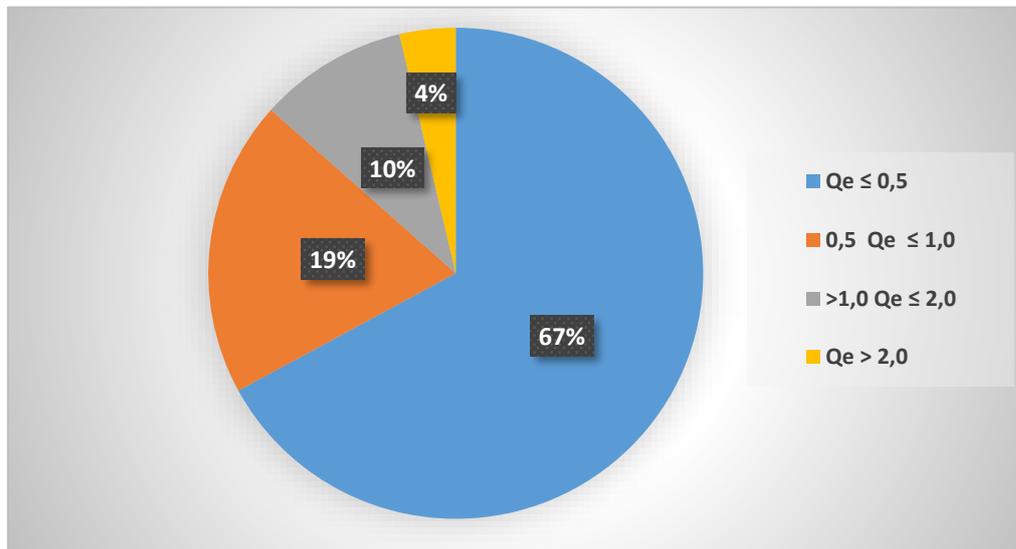
**Quadro 9.** Variação da vazão específica dos poços no aquífero poroso, por classes

Classes de variação da Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	Número de poços quanto a Vazão Específica	% do total
$Q_e \leq 0,5$	55	67,07
$0,5 Q_e \leq 1,0$	16	19,51
$>1,0 Q_e \leq 2,0$	8	9,76
$Q_e > 2,0$	3	3,66
<b>Total</b>	<b>82</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Igualmente a vazão, 84% dos poços possuem vazão específica inferior a 1,0 m<sup>3</sup>/h/m.

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 9.



**Figura 9.** Representação gráfica da variação da vazão específica dos poços nos aquíferos porosos

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 2.3.1.7. Relação entre os Aquíferos e Sistemas Aquíferos Porosos

O Quadro 10 mostra a relação dos principais dados analisados entre os distintos aquíferos e sistemas aquíferos.

**Quadro 10.** Correlação entre os dados dos poços nos distintos aquíferos

Dados médios do poço e do aquífero	Formação Rio das Barreiras	Formação Sambaíba	Sistemas aquíferos				Total dos aquíferos porosos
			Itapecuru-Codó-Corda	Pedra de Fogo-Plauí-Poti	Mosquito - Sambaíba	Pimenteiras - Serra Grande	
Profundidade (m)	131,50	139,00	128,07	128,67	158,94	182,28	144,16



Dados médios do poço e do aquífero	Formação Rio das Barreiras	Formação Sambaíba	Sistemas aquíferos				Total dos aquíferos porosos
			Itapecuru-Codó-Corda	Pedra de Fogo-Piauí-	Mosquito - Sambaíba	Pimenteiras - Serra Grande	
Nível Estático (m)	14,19	35,67	15,80	15,81	31,89	15,69	18,71
Nível Dinâmico (m)	66,67	71,17	50,93	52,68	68,06	73,06	60,35
Rebaixamento (m)	52,48	35,5	36,59	36,86	36,17	57,38	41,88
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	13,08	10,47	17,38	15,35	24,18	6,43	15,64
Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	0,29	0,61	0,64	0,80	1,07	0,16	0,65
Condutividade elétrica (μS/cm)	60,67	48,40	218,66	219,48	310,00	244,92	230,86
pH	5,37	5,90	6,33	6,52	6,69	7,08	6,57
Número de poços	6	5	15	24	18	18	87

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Do Quadro 10, consta-se que:

- A profundidade média dos poços perfurados na Formação Rio das Barreiras e Sistemas aquíferos Itapecuru/Codó/Corda e Pedra de Fogo/Piauí/Poti, são aproximadamente iguais, em torno dos 130,00 m; aumenta em torno dos 160,00 m no sistema aquífero Mosquito/Sambaíba e mais ainda no sistema Pimenteiras/Serra Grande, quando fica em torno dos 180,00 m; esses aumentos para os dois sistemas aquíferos retro descritos justifica-se pelo aumento das espessuras das formações Mosquito (basalto) e Pimenteiras (areno-argilosas); em ambos os casos o aquífero principal, Sambaíba e Serra Grande, respectivamente, são captados em reduzidas espessuras (máximo de 30 m);
- A média dos níveis estáticos, com exceção do sistema aquífero Mosquito/Sambaíba que atinge aproximadamente 16,00 m, fica quase homogêneo, variando entre 14,00 e 16,00 m;
- A média dos níveis dinâmicos dos sistemas aquíferos Pedra de Fogo/Piauí/Poti são praticamente as mesmas, entre 51,00 e 53,00 m; a mesma semelhança ocorre entre o aquífero Rio das Barreiras e o sistema aquífero Mosquito/Sambaíba, com variações em torno dos 67,00 m; apenas o sistema aquífero Pimenteiras/Serra Grande apresenta níveis dinâmicos mais elevados, em torno dos 73,00 m;
- Quanto aos rebaixamentos médios, os sistemas aquíferos Itapecuru/Codó/Corda, Pedra de Fogo/Piauí/Poti e Mosquito/Sambaíba, apresentam certa similaridade em torno dos 36,0 mm, enquanto o aquífero Rio das Barreiras e o sistema aquífero Pimenteiras/Serra Grande, mostram rebaixamentos entre 52,00 e 57,00 m;
- A vazão média do aquífero Rio das Barreiras e dos sistemas aquíferos Itapecuru/Codó/Corda e Pedra de Fogo/Piauí/Poti, apresentam valores muito



próximos, entre 13,00 e 17,00 m<sup>3</sup>/h; enquanto isso o sistema aquífero Mosquito/Sambaíba oferece as melhores médias com 24,00 m<sup>3</sup>/h e o sistema aquífero Pimenteiras/Serra Grande, as piores médias, em torno dos 6,00 m<sup>3</sup>/h;

- As mais baixas médias de vazão específica foram as do aquífero Rio das Barreiras e do sistema aquífero Pimenteiras/Serra Grande, com valores entre 0,1 e 0,3 m<sup>3</sup>/h/m; os sistemas aquíferos Itapecuru/Codó/Corda e Pedra de Fogo/Piauí/Poti apresentaram médias regulares, entre 0,6 e 0,8 m<sup>3</sup>/h/m e o sistema aquífero Mosquito/Sambaíba apresentou a melhor média, com valor em torno de 1,0 m<sup>3</sup>/h/m;
- Quanto a condutividade elétrica, todos os sistemas aquíferos apresentaram valores médios aproximados, variando entre 220,00 e 310,00 µS/cm, valores esses que implicam em águas de boa potabilidade, com sólidos totais; em média, inferiores a 200 mg/L; apenas o aquífero Rio das Barreiras apresentou uma média muito baixa da condutividade elétrica das suas águas, com valores abaixo de 100 µS/cm, que correspondem a águas quase desmineralizadas;
- As médias dos valores de pH revelam águas, na maioria dos aquíferos, ligeiramente ácidas a ácidas, como nas águas do aquífero Rio das Barreiras, apenas o sistema aquífero Mosquito/Sambaíba apresentou águas neutras, em média.

**CONCLUSÃO:** Em termos de prioridade, quanto aos elementos analisados acima, considera-se que o sistema aquífero Mosquito/Sambaíba, principalmente quando o aquífero Sambaíba se encontra isolado, constitui a melhor opção para captação; em seguida viriam os sistemas aquíferos Itapecuru/Codó/Corda e Pedra de Fogo/Piauí/Poti e por último, o sistema aquífero Pimenteiras/Serra Grande e o aquífero Rio das Barreiras.

Quanto a bomba instalada, todas foram do tipo submersa. No que se refere à condição sanitária do poço, todos estavam adequadamente protegidos. Também não foi encontrada nenhuma fonte potencial de contaminação nas proximidades dos poços Quadro 10.



Quadro 11. Outros elementos analisados

<p><b>a. Situação do poço:</b></p> <table border="1"><tr><td>Operando: 83,72%</td></tr><tr><td>Desativado: 16,28%</td></tr></table> <p><b>b. Tipo de energia elétrica</b></p> <table border="1"><tr><td>Trifásica: 55,17%</td></tr><tr><td>Monofásica: 33,33%</td></tr><tr><td>Sem instalação: 11,49%</td></tr></table> <p><b>c. Atendimento</b></p> <table border="1"><tr><td>Público: 63,22%</td></tr><tr><td>Particular: 31,03%</td></tr><tr><td>Nenhum: 5,75%</td></tr></table> <p><b>d. Tipos de reservatório</b></p> <table border="1"><tr><td>Cx.tipo taça = 41,38%</td></tr><tr><td>Cx.concreto solo=14,94%</td></tr><tr><td>Cx.fibra = 9,20%</td></tr><tr><td>Cx.aço circ. no solo=4,60%</td></tr><tr><td>Cx.PVC = 6,90%</td></tr><tr><td>Cx.fibra suspensa = 3,45%</td></tr><tr><td>Cx.tipo torre = 2,30%</td></tr><tr><td>Taça+circular solo = 1,15%</td></tr><tr><td>Cx.alvenaria = 1,15%</td></tr><tr><td>Sem instalação = 14,94%</td></tr></table>	Operando: 83,72%	Desativado: 16,28%	Trifásica: 55,17%	Monofásica: 33,33%	Sem instalação: 11,49%	Público: 63,22%	Particular: 31,03%	Nenhum: 5,75%	Cx.tipo taça = 41,38%	Cx.concreto solo=14,94%	Cx.fibra = 9,20%	Cx.aço circ. no solo=4,60%	Cx.PVC = 6,90%	Cx.fibra suspensa = 3,45%	Cx.tipo torre = 2,30%	Taça+circular solo = 1,15%	Cx.alvenaria = 1,15%	Sem instalação = 14,94%	<p><b>e. Motivo de desativação</b></p> <table border="1"><tr><td>Assoreado</td></tr><tr><td>Defeito quadro elétrico</td></tr><tr><td>Motivo desconhecido (2)</td></tr><tr><td>Falta quadro elétrico</td></tr><tr><td>Fechamento colégio</td></tr><tr><td>Obstruído</td></tr><tr><td>Bomba queimada</td></tr><tr><td>Galpão fechou</td></tr><tr><td>Jamais foi usado</td></tr><tr><td>Desinteresse</td></tr><tr><td>Bomba presa</td></tr></table> <p><b>f. Uso (s) da água</b></p> <table border="1"><tr><td>Abastecimento público = 47,13%</td></tr><tr><td>Consumo humano+dessedentação de animais= 18,39%</td></tr><tr><td>Consumo humano = 10,34%</td></tr><tr><td>Indústria = 2,30%</td></tr><tr><td>Serviços domésticos (limpeza) = 2,30%</td></tr><tr><td>Dessedentação de animais = 1,15%</td></tr><tr><td>Consumo humano/ irrigação = 1,15%</td></tr><tr><td>Sem uso: 14,94%</td></tr></table> <p><b>g. Distribuição/atendimento</b></p> <table border="1"><tr><td>Rede doméstica: 54,03%</td></tr><tr><td>Caixa individual: 31,03%</td></tr><tr><td>Sem instalação: 14,94%</td></tr></table>	Assoreado	Defeito quadro elétrico	Motivo desconhecido (2)	Falta quadro elétrico	Fechamento colégio	Obstruído	Bomba queimada	Galpão fechou	Jamais foi usado	Desinteresse	Bomba presa	Abastecimento público = 47,13%	Consumo humano+dessedentação de animais= 18,39%	Consumo humano = 10,34%	Indústria = 2,30%	Serviços domésticos (limpeza) = 2,30%	Dessedentação de animais = 1,15%	Consumo humano/ irrigação = 1,15%	Sem uso: 14,94%	Rede doméstica: 54,03%	Caixa individual: 31,03%	Sem instalação: 14,94%
Operando: 83,72%																																									
Desativado: 16,28%																																									
Trifásica: 55,17%																																									
Monofásica: 33,33%																																									
Sem instalação: 11,49%																																									
Público: 63,22%																																									
Particular: 31,03%																																									
Nenhum: 5,75%																																									
Cx.tipo taça = 41,38%																																									
Cx.concreto solo=14,94%																																									
Cx.fibra = 9,20%																																									
Cx.aço circ. no solo=4,60%																																									
Cx.PVC = 6,90%																																									
Cx.fibra suspensa = 3,45%																																									
Cx.tipo torre = 2,30%																																									
Taça+circular solo = 1,15%																																									
Cx.alvenaria = 1,15%																																									
Sem instalação = 14,94%																																									
Assoreado																																									
Defeito quadro elétrico																																									
Motivo desconhecido (2)																																									
Falta quadro elétrico																																									
Fechamento colégio																																									
Obstruído																																									
Bomba queimada																																									
Galpão fechou																																									
Jamais foi usado																																									
Desinteresse																																									
Bomba presa																																									
Abastecimento público = 47,13%																																									
Consumo humano+dessedentação de animais= 18,39%																																									
Consumo humano = 10,34%																																									
Indústria = 2,30%																																									
Serviços domésticos (limpeza) = 2,30%																																									
Dessedentação de animais = 1,15%																																									
Consumo humano/ irrigação = 1,15%																																									
Sem uso: 14,94%																																									
Rede doméstica: 54,03%																																									
Caixa individual: 31,03%																																									
Sem instalação: 14,94%																																									

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

## 2.4. Interpretação de Ensaios de Bombeamento: Avaliação dos Parâmetros Hidrodinâmicos

Valores confiáveis dos parâmetros hidrodinâmicos são obtidos por meio de testes de bombeamento, os quais devem ser executados por pessoal qualificado e os resultados dos testes devem ser conduzidos por meio de métodos adequados de conformidade com as condições hidrogeológicas. A realização de um teste de bombeamento, embora sendo uma tarefa simples, é dispendiosa e, ocasionalmente, a sua interpretação se torna bastante difícil.



Os testes de bombeamento, numa classificação mais ampla, podem ser divididos em: testes de aquífero e testes de produção.

Os testes de aquífero consistem no bombeamento de um poço com uma vazão constante e no acompanhamento da evolução dos rebaixamentos produzidos em um ou mais poços de observação e têm como finalidade a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos sistemas aquíferos: transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S) e condutividade hidráulica (K). Quando inexistem poços de observação, não pode ser avaliado o coeficiente de armazenamento no teste de aquífero realizado.

Os testes de produção consistem na realização de um bombeamento de múltiplas etapas e no registro da evolução dos rebaixamentos no próprio poço bombeado, e têm por finalidade a determinação das perdas de carga totais que ocorrem num poço. O somatório de todas as perdas de cargas existentes corresponde ao rebaixamento total que ocorre no poço, as quais podem ser divididas em lineares e não lineares.

As perdas lineares (perdas no aquífero, na transição para o pré-filtro e devido à penetração parcial) ocorrem no aquífero e nas vizinhanças do poço em regime laminar e são diretamente proporcionais à vazão de bombeamento; as não lineares (perdas turbulentas nas vizinhanças do poço e no pré-filtro, por penetração parcial da água no poço e perdas axiais de ascensão da água até a bomba), ocorrem no próprio poço e em suas vizinhanças em regime de fluxo turbulento e são diretamente proporcionais à vazão de bombeamento elevada a um expoente  $n$ .

Os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos variam muito de um local para outro, como também de um poço para outro, em função da variação de espessura, heterogeneidade e anisotropia dos aquíferos e/ou sistemas aquíferos, sem contar ainda com o nível de qualidade dos testes de bombeamento.

A maioria das empresas não realiza testes de bombeamento dentro das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) e grande parte apresenta dados bastante inconsistentes. Normalmente as empresas de perfuração realizam testes de vazão, após o término da construção dos poços, com o objetivo de dimensionar o equipamento de bombeamento. Nestes testes é medido o nível estático, o rebaixamento total do nível no final do bombeamento, as vazões e raramente a recuperação do nível d'água é obtida depois de cessado o bombeamento.

Não foi possível interpretar utilizando o método Cooper-Jacob (Feitosa *et al*, 2008), os testes disponibilizados pelo cadastro dos poços existentes, em função dos dados de rebaixamento desses poços, onde praticamente a maioria estabilizava com poucos minutos de bombeamento, impossibilitando a caracterização da curva de rebaixamento (m) x tempo (min).

Em função do exposto, com os dados de rebaixamento medidos durante os testes de bombeamento dos poços cadastrados, utilizando o programa GWW - *Ground Water for Windows* desenvolvido pelas Nações Unidas em 1994, foram estimados os parâmetros



hidrodinâmicos Coeficiente de Transmissividade (T) e Condutividade Hidráulica (K) dos aquíferos e/ou sistemas aquíferos explorados na área de estudo, considerando uma espessura saturada obtida dos perfis litológicos dos poços cadastrados para cada aquífero e/ou sistema aquífero, cujos resultados estão na Tabela 1.

Este programa permite que seja especificado se o aquífero pode ser confinado ou não. Os poços devem ser totalmente penetrantes, mas correções para a penetração parcial são incluídas para o caso de aquíferos não drenantes. O programa permite que os poços bombeados sejam parcialmente penetrantes.

#### **2.4.1 Resultados Obtidos**

Dos 124 relatórios técnicos de poços analisados, fornecidos pela Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda., apenas 73 testes foi possível a aplicação do software GWW para cálculo da transmissividade (T), onde a maioria desses testes praticamente tinha o nível dinâmico estabilizado e/ou com quando com poucos minutos de teste estabilizavam o nível dinâmico impossibilitando o cálculo.

Para avaliação da condutividade hidráulica (K) foi dividido o valor da transmissividade (T) pela espessura do aquífero penetrado pelo poço, obtida pela análise do perfil litológico apresentado no relatório técnico do poço. Nesse cadastro de poços da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda., alguns não tinham o perfil litológico e construtivo do mesmo.

Poços captando o Aquífero Mosquito, por serem do tipo fissural não se calcula a transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K).

Os resultados sumarizados obtidos dos ensaios de bombeamento são mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultado dos testes de aquíferos analisados

Nº de ordem	Nº cadastro	Local	Município	Aquífero	B (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
1	T.001	Fazenda Santa Cruz	Santa Terezinha do TO	Sambaíba	17	4,137E-05	2,430E-06
2	2	Aldeia Brejo Comprido	Tocantínia	Pimenteiras_Serra Grande	147	2,520E-05	1,714E-07
3	3	Aldeia Cabeceira Verde	Tocantínia	Pimenteiras_Serra Grande	230	1,977E-05	8,594E-08
4	4	Aldeia Funil	Tocantínia	Pimenteiras_Serra Grande	210	2,593E-05	1,235E-07
5	T.079	Aldeia Pé de Coco	Itacajá	Poti	78	7,017E-05	9,000E-07
6	T.084	Povoado Alto Bonito	Lizarda	Longá-Cabeças	95	6,850E-05	7,211E-07
7	T.003	Chácara Buritizinho	Aguiarnópolis	Sambaíba	25	4,653E-05	1,860E-06
8	T.106	Granja Taúba	Palmeiras do TO	Sambaíba	30	8,923E-05	2,970E-06
9	T.004	Chácara Independência	Aguiarnópolis	Sambaíba	30	4,423E-05	1,470E-06
10	T.136	Posto Fiscal - TO 126 - km 3	São Miguel do TO	Itapecuru	72	1,393E-04	1,940E-06
11	11	Transportes Bertolini	Guaraí	Pedra de Fogo	143	8,180E-05	5,720E-07
12	T.141	Área de Transbordo de Guaraí	Tupirama	Piauí	79	8,577E-05	1,090E-06
13	100429	Calçados Tocantins Ltda.	Colinas do TO	Poti	44	7,530E-05	1,710E-06
14	T.085	Chácara Sucupira	Luzinópolis	Sambaíba	20	2,850E-05	1,430E-06
15	T.038	Fazenda São Luís	Augustinópolis	Itapecuru_Corda	27	9,427E-05	3,490E-06
16	T.115	Boa Esperança	Praia Norte	Corda	10	1,313E-05	1,310E-06
17	T.063	P.A. Formosa	Darcinópolis	Sambaíba	47	6,867E-05	1,460E-06
18	T.064	P.A. São Paulo	Darcinópolis	Sambaíba	48	1,007E-04	2,100E-06



N° de ordem	N° cadastro	Local	Município	Aqüífero	B (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
19	T.026	Colégio Santa Cruz	Araguaína	Sambaíba	3	4,163E-05	1,390E-05
20	T.121	Fazenda Minas Torres 2	Riachinho	Piauí	35	7,890E-05	2,250E-06
21	T.054	Curtidora Tocantins	Colinas do TO	Longá-Cabeças	188	1,124E-04	5,977E-07
22	T.009	Fazenda Oriente II	Angico	Mosquito_Sambaíba	10	5,743E-05	5,740E-06
23	T.010	Fazenda Oriente III	Angico	Mosquito_Sambaíba	10	4,460E-05	4,460E-06
24	160921	Fazenda Oriente IV	Angico	Mosquito_Sambaíba	4	6,667E-05	1,670E-05
25	T.145	Eco Brasil - Morro Grande	Barra do Ouro	Piauí	24	1,540E-04	6,420E-06
26	GA-263/03	Escola Santa Maria	Rio Sono	Longá	143	2,287E-05	1,599E-07
27	T.089	Fazenda Nova Olinda	Miracema	Pimenteiras-Serra Grande	172	3,303E-05	1,921E-07
28	T.090	Fazenda Sucupira	Miracema do TO	Pimenteiras-Serra Grande	205	3,650E-05	2,280E-06
29	T.062	FF Darcinópolis	Darcinópolis	Mosquito_Sambaíba	105	1,314E-04	1,780E-07
30	T.068	FF Esperantina	Esperantina	Itapecuru_Corda	40	5,297E-05	1,320E-06
31	T.050	P.A. Barra Bonita	Carmolândia	Longá-Cabeças	113	5,930E-05	5,248E-07
32	T.108	P.A. Filadélfia	Pau D´Arco	Motuca	54	9,617E-06	1,781E-07
33	T.113	P.A. Tucumirim	Piraquê	Sambaíba	18	2,587E-05	1,440E-06
34	T.027	Fazenda Confinamento	Araguaína	Pimenteiras-Serra Grande	116	1,666E-05	1,436E-07
35	Poço 1	Frigorífico Vale da Serra Axixá	Axixá	Mosquito_Sambaíba	6	1,864E-03	3,110E-04
36	T.028	Barra da Grota	Araguaína	Piauí	16	5,736E-05	3,590E-06
37	T.029	Barra da Grota	Araguaína	Piauí	12	1,851E-04	1,540E-05



N° de ordem	N° cadastro	Local	Município	Aquífero	B (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
38	T.091	Fazenda Cocalinho	Miracema do TO	Pimenteiras-Serra Grande	305	3,497E-05	1,146E-07
39	T.098	Galpão Abacaxi	Miranorte	Pimenteiras-Serra Grande	110	6,750E-03	6,136E-05
40	T.138	Fazenda Planalto	Sítio Novo	Sambaíba	15	4,917E-05	3,280E-06
41	T.012	St. Água Fria-Pov. Mato Redondo	Angico	Sambaíba	66	4,840E-05	7,330E-07
42	T.131	Fazenda Java	Santa Terezinha do TO	Sambaíba	17	5,663E-04	3,330E-05
43	T.099	Fazenda Canto do Barreiro	Miranorte	Pimenteiras-Serra Grande	106	1,347E-05	1,270E-07
44	T.132	Granja Canta Galo	Santa Terezinha do TO	Sambaíba	19	1,339E-04	7,050E-06
45	T.092	Fazenda Ferreira	Miracema do TO	Pimenteiras-Serra Grande	277	5,010E-05	1,809E-07
46	T.089	Fazenda Nova Olinda	Miracema do TO	Pimenteiras-Serra Grande	172	2,767E-05	1,609E-07
47	T.052	Fazenda D. Lucas	Colinas do Tocantins	Poti	50	1,713E-04	3,430E-06
48	T.031	Centro E. Fraterno E. Barsanulfo	Araguaína	Mosquito_Sambaíba	7	3,513E-05	5,020E-06
49	T.133	P.A. Mamão	Santa Terezinha do TO	Mosquito_Sambaíba	54	5,973E-05	1,110E-06
50	T.110	P.A. Mata Verde	Pedro Afonso	Pimenteiras_Serra Grande	63	7,927E-05	1,258E-06
51	T.094	Fazenda São Paulo	Miracema do TO	Pimenteiras_Serra Grande	181	1,450E-05	8,011E-08
52	T.007	Chácara Santa Maria	Aguiarnópolis	Mosquito_Sambaíba	25	5,517E-05	2,210E-06
53	T.072	Povoado Vão do Gado	Goiatins	Piauí	93	3,997E-04	4,300E-06
54	160902	Fazenda Serrinha	Maurilândia do TO	Mosquito_Sambaíba	4	4,380E-05	1,100E-05
55	T.033	Nova Araguaína	Araguaína	Mosquito_Sambaíba	60	3,559E-03	5,930E-05
56	GA 699_07	Centro dos Ferreiras	Buriti	Itapecuru_Corda	24	5,643E-04	2,350E-05



N° de ordem	N° cadastro	Local	Município	Aquífero	B (m)	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)
57	T.145	Morro Grande	Barra do Ouro	Pedra de Fogo-Piauí	24	3,499E-04	1,460E-05
58	T.117	Praia Norte	Praia Norte	Corda	58	8,137E-04	1,400E-05
59	T.055	Setor Santo Antônio	Colinas	Piauí	37	6,590E-04	1,780E-05
60	T.128	Saída p/Centenário	Santa Maria	Longá-Pimenteiras	13	2,010E-05	1,406E-07
61	68	Fazenda Dalgás	Bom Jesus do TO	Pimenteiras_Serra Grande	180	6,117E-04	3,398E-06
62	T.135	Fazenda São Martinho	São Bento do TO	Sambaíba	62	4,323E-05	6,970E-07
63	70	Viveiro Tocantins - Poço 1	Miracema do TO	Piauí	97	1,690E-03	1,740E-05
64	71	Viveiro Tocantins - Poço 2	Miracema do TO	Piauí	92	1,507E-03	1,640E-05
65	T.095	Fazenda Santa Maria	Miracema do TO	Poti	60	2,947E-05	4,910E-07
66	T.028	TO-222-KM 10 Barra do Garça	Araguaína	Piauí	16	1,026E-04	6,410E-06
67	Poço 1	Assentamento Palmeiras	Aguiarnópolis	Mosquito_Sambaíba	11	3,459E-05	3,140E-06
68	T.39	GA 502_05 - Poço 1	Augustinópolis	Itapecuru_Corda	51	2,580E-04	5,060E-06
69	T.49	Poço -01	Campos Lindos	Pedra de Fogo_Piauí	18	3,518E-04	1,950E-05
70	T.109	Projeto Prodecer (Usina)	Pedro Afonso	Pimenteiras_Serra Grande	165	5,769E-04	3,496E-06
71	T.119	GA 560_06 - Vila Barro Alto	Recursolândia	Piauí	120	1,064E-04	8,870E-07
72	T.120	GA 561_06 - Vila Riachinho	Recursolândia	Piauí	120	9,750E-05	8,130E-07
73	T.93	Matadouro Miracema Ltda.	Miracema do TO	Pimenteiras_Serra Grande	351	2,223E-05	6,334E-08

Onde: b - espessura saturada do aquífero no poço; T - Coeficiente de transmissividade; K Condutividade hidráulica.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



Da Tabela 1 podem-se observar os seguintes valores para os diversos aquíferos e/ou sistemas aquíferos (dois aquíferos):

**a) Aquífero Pimenteiras (um teste)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) de  $2,010 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Condutividade Hidráulica (K) de  $1,406 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ , para uma espessura (b) de 143,0 m.

**b) Aquífero Pimenteiras-Aquífero Serra Grande (16 testes)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) variou de  $1,347 \times 10^{-5}$  e  $6,750 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , com  $T_{\text{médio}}$  de igual a  $5,211 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Condutividade Hidráulica (K) variou de  $6,334 \times 10^{-8}$  e  $6,136 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , com  $K_{\text{médio}}$  igual a  $4,446 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , para uma espessura média (b) de 187,9 m.

**c) Aquífero Corda (seis testes)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) variou de  $1,313 \times 10^{-5}$  e  $8,137 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ , com  $T_{\text{médio}}$  de igual a  $2,994 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Condutividade Hidráulica (K) variou de  $1,313 \times 10^{-6}$  e  $2,351 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ , com  $K_{\text{médio}}$  igual a  $8,122 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , para uma espessura média (b) de 35,0 m.

**d) Aquífero Sambaíba (25 testes)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) variou de  $2,587 \times 10^{-5}$  e  $3,559 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , com  $T_{\text{médio}}$  de igual a  $2,912 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Condutividade Hidráulica (K) variou de  $6,973 \times 10^{-7}$  e  $3,107 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , com  $K_{\text{médio}}$  igual a  $1,951 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ , para uma espessura média (b) de 28,6 m.

**e) Aquífero Pedra de Fogo (um teste)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) de  $8,108 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Condutividade Hidráulica (K) de  $5,720 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ , para uma espessura (b) de 143,0 m.

**f) Aquífero Poti (quatro testes)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) variou de  $2,947 \times 10^{-5}$  e  $1,713 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ , com  $T_{\text{médio}}$  de igual a  $8,657 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Condutividade Hidráulica (K) variou de  $4,911 \times 10^{-7}$  e  $3,427 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , com  $K_{\text{médio}}$  igual a  $1,632 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , para uma espessura média (b) de 58,0 m.

**g) Aquífero Piauí (14 testes)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) variou de  $5,736 \times 10^{-5}$  e  $1,690 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , com  $T_{\text{médio}}$  de igual a  $4,160 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Condutividade Hidráulica (K) variou de  $8,125 \times 10^{-7}$  e  $1,955 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ , com  $K_{\text{médio}}$  igual a  $9,0652 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ , para uma espessura média (b) de 55,9 m.



#### **h) Aquífero Longá-Cabeças (quatro testes)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) variou de  $2,287 \times 10^{-5}$  e  $1,124 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s, com T<sub>médio</sub> de igual a  $6,576 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s.
- Condutividade Hidráulica (K) variou de  $1,599 \times 10^{-7}$  e  $7,211 \times 10^{-7}$  m/s, com K<sub>médio</sub> igual a  $5,009 \times 10^{-7}$  m/s, para uma espessura média (b) de 134,8 m.

#### **i) Aquífero Motuca (um teste)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) de  $9,617 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s.
- Condutividade Hidráulica (K) de  $1,781 \times 10^{-7}$  m/s, para uma espessura (b) de 54,0 m.

#### **j) Aquífero Itapecuru (um teste)**

- Coeficiente de Transmissividade (T) de  $1,393 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.
- Condutividade Hidráulica (K) de  $1,935 \times 10^{-6}$  m/s, para uma espessura (b) de 72,0 m.

### **2.4.2. Comparação com Dados Existentes**

Convém ressaltar que a região a título de estudos já foi alvo de inúmeros estudos testes de bombeamento no passado, desde o ano de 1978 e 1979, quando foram realizados os primeiros estudos hidrogeológicos visando o conhecimento do potencial hidrogeológico da Bacia do Parnaíba, conhecidos como Inventário Básico do Nordeste, elaborados pela SUDENE (PESSOA, 1979).

Uma comparação com os dados hidrodinâmicos dos aquíferos na Bacia do Parnaíba no estado do Piauí, onde existem dados de centenas de testes executados em diversas localidades ao longo de décadas de estudos será feita a seguir.

Devem ser levadas em consideração nessa comparação as seguintes condicionantes de execução:

- a) Na Bacia do Parnaíba os dados dos testes executados em cada aquífero ou aquitarde foram analisados de forma isolados, enquanto os testes dos poços localizados na área de estudo, disponibilizados pela Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. que foram analisados, grande parte dos poços captam simultaneamente dois aquíferos;
- b) Dos testes analisados, a quantidade de poços com dados disponíveis não permite uma maior segurança dos valores obtidos dos parâmetros em questão (T e K), que possa caracterizar esses parâmetros para uma avaliação mais precisa dos valores médios a serem utilizados na avaliação quantitativa das reservas hídricas;
- c) A análise dos perfis dos poços disponíveis e do nível de informações dos testes disponibilizados é muito falho, onde a maioria desses testes tem a vazão de bombeamento praticamente estabilizadas e as medidas de recuperação são



muito falhas, praticamente não atingiam o tempo necessário para recuperação total ou chegar próximo ao nível estático inicial, onde até mesmo a aplicação do software GWW poderia apresentar valores que não correspondem à realidade.

A partir dos dados obtidos utilizando o software GWW podemos fazer os seguintes comentários sobre os resultados obtidos de T e K com resultados de estudos na Bacia do Parnaíba, obtidos na bibliografia consultada.

Os dados dos testes selecionados (73) e analisados permitiram caracterizar valores de T e K do Aquitarde Pimenteiras (01), do Aquitarde Pimenteiras/Aquífero Serra Grande (16), do Aquífero Corda (06), do Aquífero Sambaíba (25), do Aquitarde Pedra de Fogo (01), do Aquífero Poti (04), do Aquífero Piauí (14), do Aquífero Longá/Cabeças (04), do Aquífero Motuca (01) e do Aquífero Itapecuru (01).

Os dados mais antigos obtidos da bibliografia consultada, apresentaram os resultados de valores médios para os parâmetros hidrodinâmicos nos aquíferos e sistema aquíferos da Bacia do Parnaíba mostrados na Tabela 2.

Embora os testes analisados tenham sido com a própria bomba instalada no poço, por ocasião da conclusão do poço e até mesmo esses testes geralmente não são analisados a rigor para dimensionamento da vazão real de exploração e posterior dimensionamento da bomba, podemos dizer que os valores obtidos estão dentro da margem dos valores indicados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos e sistemas aquíferos da Bacia do Parnaíba no estado do Piauí e Região Sudeste do estado do Tocantins.

Aquíferos e/ou Sistemas Aquíferos	Parâmetros Hidrogeológicos		
	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	S (Adm.)
Aquífero Cabeças	(2) 1,10 x 10 <sup>-2</sup>	(2) 5,30 x 10 <sup>-5</sup>	(2) 7,60 x 10 <sup>-4</sup>
	(3) 1,00 x 10 <sup>-2</sup>	(3) 4,00 x 10 <sup>-5</sup>	(3) 2,60 x 10 <sup>-4</sup>
Aquífero Corda	-	-	-
Aquífero Itapecuru	(1) 6,90 x 10 <sup>-3</sup>	(1) 3,50 x 10 <sup>-5</sup>	-
Sistema Aquífero Motuca/Sambaíba	-	-	-
Aquífero Pedra de fogo	(2) 1,00 x 10 <sup>-3</sup>	(2) 9,00 x 10 <sup>-6</sup>	(2) 5,00 x 10 <sup>-3</sup>
Aquífero Poti/Piauí	(2) 2,10 x 10 <sup>-3</sup>	(2) 8,40 x 10 <sup>-6</sup>	(2) 3,10 x 10 <sup>-4</sup>
	(3) 3,00 x 10 <sup>-4</sup>	(3) 3,92 x 10 <sup>-6</sup>	(3) 1,44 x 10 <sup>-3</sup>
Aquífero Sambaíba	(2) 1,40 x 10 <sup>-2</sup>	(2) 1,90 x 10 <sup>-4</sup>	(2) 1,40 x 10 <sup>-2</sup>
Aquitarde Longá	(2) 7,80 x 10 <sup>-5</sup>	(2) 7,40 x 10 <sup>-6</sup>	(2) 1,00 x 10 <sup>-4</sup>
	(3) 2,62 x 10 <sup>-4</sup>	(3) 7,87 x 10 <sup>-7</sup>	-
Aquitarde Pimenteiras	(2) 3,20 x 10 <sup>-4</sup>	(2) 6,30 x 10 <sup>-6</sup>	(2) 6,00 x 10 <sup>-4</sup>
	(3) 3,08 x 10 <sup>-5</sup>	(3) 3,07 x 10 <sup>-7</sup>	-
Aquífero Serra Grande	(2) 9,10 x 10 <sup>-3</sup>	(2) 5,30 x 10 <sup>-5</sup>	(2) 4,20 x 10 <sup>-4</sup>



Aquíferos e/ou Sistemas Aquíferos	Parâmetros Hidrogeológicos		
	T (m <sup>2</sup> /s)	K (m/s)	S (Adm.)
	(3) 3,02 x 10 <sup>-3</sup>	(3) 9,10 x 10 <sup>-6</sup>	(3) 4,29 x 10 <sup>-4</sup>

Onde: T - Coeficiente de Transmissividade; K - Condutividade Hidráulica; S - Coeficiente de Armazenamento.

Fonte: (1) Campos (2004<sup>[15]</sup>); (2) ANA (2017<sup>[16]</sup>), (3) Pessoa (1978<sup>[17]</sup>, 1979<sup>[17]</sup>).

Os resultados obtidos nos estudos elaborados nos aquíferos e aquíferos da Bacia do Parnaíba pela SUDENE, *in* Pessoa (1979<sup>[18]</sup>) estão compatíveis com aqueles executados no presente estudo. Vale ressaltar que os dados do coeficiente de armazenamento avaliados pela SUDENE não podem ser comparados com os da região estudada, tendo em vista que os poços testados pela empresa que nos forneceu os dados não incluíram um “poço de observação” que permitiria determinar esse coeficiente.

## 2.5. Potenciometria dos Aquíferos Porosos na Condição de Livres

A potenciometria dos aquíferos de uma dada região constitui um importante documento para a gestão desses aquíferos, pois permite:

- Avaliar o gradiente hidráulico da superfície potenciométrica o que permite a avaliação das reservas reguladoras;
- Definir os sentidos de fluxo dos aquíferos;
- Verificar a relação entre a drenagem superficial e os aquíferos, quando se trata da potenciometria dos aquíferos na condição de livre.

Há duas condições distintas dos aquíferos quando se efetua a potenciometria: a primeira é a condição de aquíferos livres e a segunda é quando se trata de aquíferos confinados ou semiconfinados.

No caso em questão, para a região Centro-Norte do Tocantins, somente a condição de aquíferos livres pode ser analisada, uma vez que não se dispõe de dados suficientes e confiáveis para uma análise mais precisa da potenciometria na condição de confinamento.

[15] CAMPOS, J. E. G. 2004. **Meio físico da UHE Santa Isabel (TO):** geologia e hidrogeologia. Estudo de Impacto Ambiental. ENGEVIX. 62p. + mapas, 2004.

[16] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2017. **Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Brasil.** Planilha de Outorgas. Emitidas pelas Unidades da Federação vigentes em julho de 2017 (Planilha). Disponível em <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/a13c9093-34bd-403f-88db-6ffbad2069e6>>. Acesso: ago. 2021.

[17] PESSOA, M. D. 1978. **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste - Folha n.º 13: Teresina - SE.** Recife: SUDENE / Divisão de Documentação, 1978. 251 p. il. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia 57).

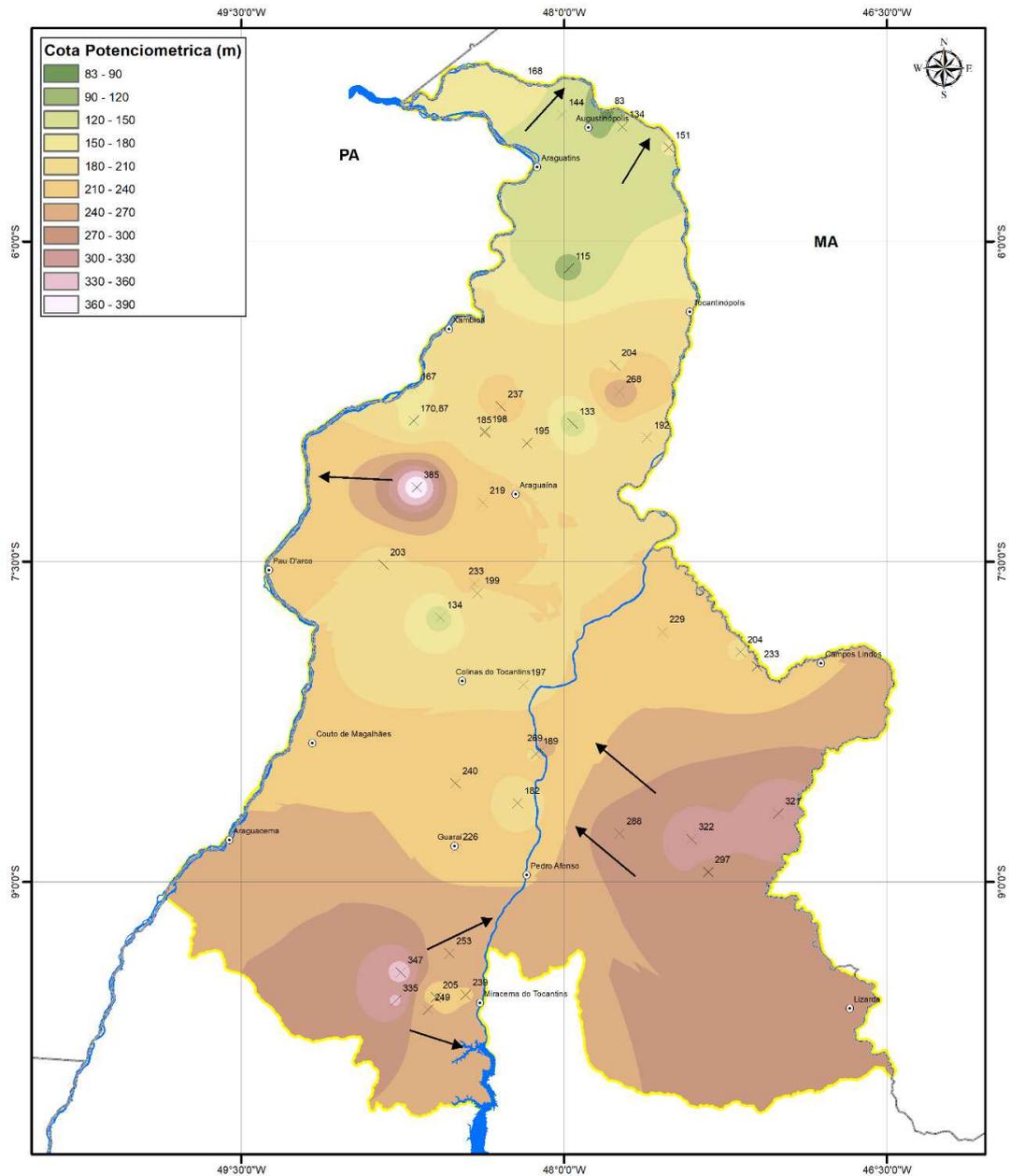
[18] PESSOA, M. D. 1979. **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste - Folha n.º 18: Teresina - NE.** Recife, SUDENE / Divisão de Documentação, 1979. 237 p. il. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia 59).



O mapa potenciométrico da superfície hidrostática livre dos aquíferos da região em estudo pode ser visto na Figura 10, em que os contatos das distintas cores constituem as curvas potenciométricas interpoladas a partir dos dados de cotas dos níveis estáticos medidos no campo, nos poços da rede de monitoramento levantada, utilizando o método “interpolador do inverso da distância (IDW)”

O posicionamento dessas “curvas potenciométricas” possui uma precisão compatível com a escala do mapa, da ordem de 1/1.750.000 e as cotas obtidas a partir do GPS portátil pode apresentar um erro de dois a três m, o que não interfere na precisão do mapa pelo motivo exposto.

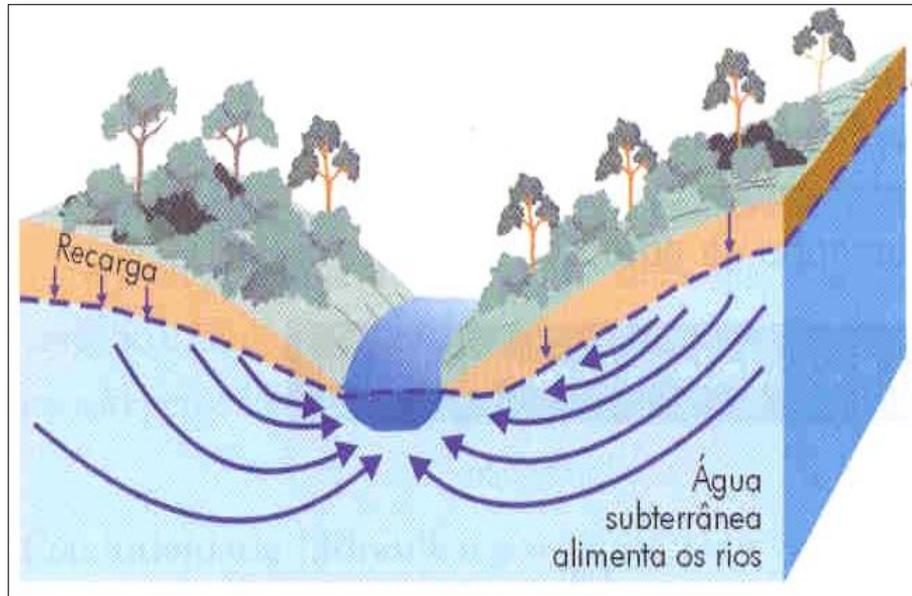
Pode-se observar no mapa em questão que o fluxo da superfície hidrostática livre é sempre direcionada para a rede hidrográfica - rios Tocantins e Araguaia - o que demonstra terem esses rios uma drenagem efluente, ou seja, são alimentados pelos exutórios dos aquíferos livres, como mostram a Figura 11 e *Apêndice I. Mapa Potenciométrico da Superfície Hidroestática Livre dos Aquíferos da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins* do DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO.



**Figura 10.** Mapa potenciométrico dos aquíferos livres da RCN-TO.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Assim é que os poços do sistema aquífero Poti/Piauí têm sentido de fluxo de leste para oeste, na direção do Rio Tocantins; os poços do sistema aquífero Pimenteiras/Serra Grande têm fluxo de oeste para leste, na direção do mesmo rio. Na parte oeste, onde se localiza o aquífero Rio das Barreiras, o fluxo das águas subterrâneas se dirige diretamente para o Rio Araguaia, o mesmo ocorrendo ao norte, onde o sistema aquífero Itapecuru/Corda é drenado pelo Rio Tocantins, pouco antes do mesmo ingressar no Rio Araguaia.



**Figura 11.** Esquema de uma drenagem efluente em relação ao aquífero

Fonte: Costa, 2019.<sup>[19]</sup>

## 2.6. Avaliação das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades dos Aquíferos - Balanço Hidrogeológico

Em princípio, somente se farão avaliações volumétricas e o respectivo balanço hidrogeológico, nas seguintes situações:

- a) Em aquíferos porosos;
- b) Em aquíferos nos quais existam poços perfurados a fim de se calcular as disponibilidades instaladas e efetivas.

Assim, ficam de fora dessas avaliações, o aquífero fissural por ter situação indefinida quanto a sua espessura (zona fraturada) e os aquíferos por se desconhecem as reais espessuras das camadas psamíticas, com permeabilidade favorável à liberação da água nos seus interstícios.

Dessa maneira, somente foram procedidas as avaliações quantitativas nos aquíferos Poti, Piauí, Sambaíba e Rio das Barreiras.

O aquífero Serra Grande possui apenas um poço na sua minúscula área de afloramentos, de apenas 39 km<sup>2</sup>, somente sendo captado na situação de confinado sob o aquífero Pimenteiras, na condição de penetração parcial, com apenas 20 m (em média) de espessura, ou seja, apenas 10% da sua espessura total, o que torna qualquer avaliação totalmente falsa.

<sup>[19]</sup> COSTA, W. D. 2019. **Obras hídricas para convivência com a seca**. [Palestra]. Garanhuns-PE, 22 mar. 2019. Palestra proferida no Conselho Regional de Engenharia de Pernambuco no Dia Mundial da Água.



O aquífero Cabeças que possui uma área de ocorrência superficial da ordem de 4 mil km<sup>2</sup>, possui apenas dois poços nele cadastrado.

O aquífero Corda aflora numa área de 4.170 km<sup>2</sup> na região norte e ainda confinado sob os aquíferos Itapecuru e Codó. Na sua área de afloramento, as espessuras são muito reduzidas, devido a intrusão das rochas vulcânicas (Formação Mosquito). Assim, os poços existentes na sua ocorrência superficial, atravessam esse aquífero e os basaltos, indo captar a Formação Sambaíba a profundidades superiores a 300 m. Dessa forma, não há possibilidades de avaliação dos parâmetros quantitativos nesse aquífero.

Quanto ao aquífero Urucuia no extremo sudeste da área, existe apenas um poço na sua área de cerca de 1.000 km<sup>2</sup>, daí não ser possível igualmente a avaliação dos seus parâmetros quantitativos e o balanço hidrogeológico.

Considerando a grande quantidade de poços clandestinos, não constantes dos cadastros consultados, com 330 poços, pode-se considerar ser esse total menos de um terço do provável número real.

Como resultado na RCN-TO, partindo de cadastros pré-existentes com um total de 330 poços, pode-se considerar ser esse total menos de um terço do provável número real.

Assinale-se ainda que nem todos os poços constantes dos cadastros existentes, sobretudo do cadastro SIAGAS/CPRM possuía indicação do aquífero em exploração.

Para efeito da avaliação dos parâmetros quantitativos, as informações mais importantes contidas no cadastro, são o número de poços de cada aquífero, a vazão média desses poços e o regime de bombeamento.

Quanto ao regime de bombeamento, o cadastramento dos 124 poços da rede de monitoramento revelou uma variação muito grande, desde o mínimo de uma hora por dia, até 18 (dezoito) horas/dia, mas a maior quantidade ficou no intervalo entre 4 e 8 h/dia, podendo ser considerada uma média geral de 6 h/dia.

No que se refere ao número de poços e respectivas vazões médias, devem ser considerados os dois cadastros separadamente em função dos distintos graus de informação, como será visto no Quadro 12 e Quadro 13.



**Quadro 12.** Número de poços com vazões médias por aquífero nos poços cadastrados pela Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda.

Aquífero	Número de poços	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)
Fissural	30	9,32
Serra Grande	1	20,00
Pimenteiras/Serra Grande	14	12,83
Cabeças	2	17,35
Longá	4	13,32
Poti	10	14,36
Piauí	13	19,11
Pedra de Fogo	8	7,70
Motuca	1	11,60
Sambaíba	37	26,29
Corda	7	23,63
Itapecuru	4	17,73
Rio das Barreiras	4	12,00
<b>Total</b>	<b>135</b>	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

**Quadro 13.** Número de poços com vazões médias por aquífero nos poços cadastrados pela SIAGAS/CPRM

Aquífero ou sistema aquífero	Número de poços	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)
Aquífero fissural	35	11,66
Sist. aquífero Pimenteiras/Serra Grande	10	9,70
Aquífero Cabeças	1	3,60
Aquitarde Longá	4	11,10
Aquífero Poti	10	9,30
Aquífero Piauí	8	12,37
Sistema aquífero Poti/Piauí	12	65,36
Aquífero Sambaíba (livre e confinado)	37	31,33
Sistema aquífero Itapecuru/Codó/Corda	27	18,14
Aquífero Urucuia	1	13,40
Aquífero Rio das Barreiras	7	10,21
<b>Total</b>	<b>143</b>	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

O Quadro 14 sintetiza os parâmetros quantitativos dos poços da área de estudo com base nos cadastros da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. (Quadro 12) e SIAGAS/CPRM (Quadro 13).

**Quadro 14.** Número de poços dos quatro aquíferos a partir dos dois cadastros considerados no estudo

Aquífero	Número de poços	Vazão média (m <sup>3</sup> /h)
Aquífero Poti	20	12,67
Aquífero Piauí	21	17,52
Aquífero Sambaíba	74	28,81
Aquífero Rio das Barreiras	11	10,86
<b>Total</b>	<b>126</b>	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Esse total de 126 poços nos quatro aquíferos está longe de refletir o real número de poços, principalmente para os aquíferos Poti e Piauí que, juntos, perfazem uma área de quase um terço do total da área sedimentar dessa região. Assim, para os aquíferos Poti, Piauí e Rio das Barreiras, será considerado o dobro dos poços existentes, para se tornar mais próximo da realidade.

Conforme disposto em nossa proposta técnica, a avaliação desses parâmetros obedecerá a metodologia de Costa *et al.* (1988<sup>[20]</sup>), adotada no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco e no Estudo Hidrogeológico da Região Sudeste do Estado de Tocantins (COSTA *et al.*, 2010<sup>[21]</sup>), entre outros estudos regionais.

Considerando que frequentemente serão feitas alusões a expressões matemáticas definidas por COSTA *op. cit.*, será inicialmente apresentada a conceituação e a metodologia empregadas nessas avaliações.

## I - Reservas

### I.1 - Reserva Permanente - R<sub>p</sub> [L]<sup>3</sup>

Conceito: *Volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade efetiva e do coeficiente de armazenamento, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica.*

#### a) Aquífero intersticial em bacias sedimentares

- 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<sub>p1</sub>** - reserva permanente no aquífero intersticial de bacia sedimentar (m<sup>3</sup>)

**A<sub>1</sub>** - área de ocorrência do aquífero (m<sup>2</sup>)

[20] COSTA, W. D. *et al.* 1998. **Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Cidade do Recife / PE -Brasil.** CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ALSHUD, 1998, Montevideo - Uruguai. *Anais...* Montevideo - Uruguai, 1998.

[21] COSTA, W; *et al.* **Estudo Hidrogeológico da Região Sudeste do Estado do Tocantins.** Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Palmas - TO, 2010.



**b** - espessura saturada do aquífero livre ou confinado (m)

$\mu$  - porosidade efetiva do aquífero (adimensional)

- para aquíferos confinados ou semiconfinados, com idêntico nível de conhecimentos:

$$R_{p2} = (A_1 \times h \times S) + (A_1 \times b \times \mu) \quad (m^3) \quad (2)$$

Sendo:

**R<sub>p1</sub>** - reserva permanente no aquífero intersticial de bacia sedimentar (m<sup>3</sup>)

**h** - carga potenciométrica do aquífero confinado (m)

**S** - coeficiente de armazenamento do aquífero confinado (adimensional)

#### b) Aquífero intersticial aluvial (inclui eventuais colúvios)

- conhecendo-se os parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos do aquífero (caso tenha realizado ensaio de bombeamento com piezômetro) recorre-se a mesma equação (1);
- conhecendo-se os parâmetros dimensionais do aquífero (**A<sub>1</sub>** e **b**), pode-se utilizar a equação (1), adotando-se para  $\mu$  o valor de 10% (média da porosidade efetiva nesses tipos de aquíferos). Assim:

$$R_{p2} = A_1 \times b \times 0,1 \quad (m^3) \quad (3)$$

- quando não se conhece o valor de **b**, pode-se admitir, como igual a 0,5m, tendo em vista que quase toda a água do depósito aluvial é percolada ou evaporada. Assim:

$$R_{p2} = A_1 \times 0,5 \times 0,1 = A_1 \times 0,05 \quad (m^3) \quad (4)$$

- para estudos de bacias hidrográficas, não se conhecendo os parâmetros dimensionais do aquífero, adota-se um percentual de 2% da área da bacia hidrográfica, com espessura saturada média (**b**) de 0,5m e porosidade efetiva de 10%:

$$R_{p2} = A_2 \times 0,02 \times 0,5 \times 0,1 = A_2 \times 0,001 \quad (m^3) \quad (5)$$

Sendo:

**A<sub>2</sub>** - área da bacia hidrográfica (m<sup>2</sup>)

#### c) Aquífero fissural

- em geral não é avaliada, tendo em vista a grande variação de profundidade da zona fraturada, da heterogeneidade na distribuição das fraturas e do nível de conhecimentos existente na atualidade; considerando-se, todavia, a faixa de variação sazonal média desse aquífero, admite-se que as reservas permanentes sejam de pelo menos 10 (dez) vezes as recargas anuais.



I.2. Reserva Reguladora ou Renovável -  $R_r$   $[L]^3[T]^{-1}$

Conceito: *Volume hídrico acumulado no meio aquífero, em função da porosidade efetiva ou do coeficiente de armazenamento e variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial, do escoamento subterrâneo e dos exutórios naturais ou artificiais.*

a) Aquífero intersticial em bacias sedimentares

- quando se dispõe de mapa potenciométrico e se conhece a condutividade hidráulica do aquífero, calcula-se a vazão de escoamento natural - VEN:

$$R_{r1} = VEN = k \times b \times l \times i \quad (m^3/ano) \quad (6)$$

Sendo:

$R_{r1}$  - reserva reguladora do aquífero ( $m^3/ano$ )

$k$  - 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)

- a partir da variação da superfície potenciométrica, quando se tem medidas inter-anuais da variação do nível estático da água nos poços da região:

$$R_{r1} = A_3 \times \Delta s \times \mu \quad (m^3/ano) \quad (7)$$

Sendo:

$A_3$  - área de recarga do aquífero ( $m^2$ )

$\Delta s$  - rebaixamento médio anual da água dentro do poço ( $m$ )

$\mu$  - 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:

$$R_{r1} = A_4 \times h' \quad (m^3/ano) \quad (8)$$

Sendo:

$A_4$  - área do infiltrômetro ( $m^2$ )

$h'$  - altura da coluna d'água medida no infiltrômetro ( $m$ )

- quando se conhece a taxa de infiltração, calcula-se por:

$$R_{r1} = A_1 \times P \times I \quad (m^3/ano) \quad (9)$$

Sendo:

$P$  - precipitação pluviométrica média anual na área ( $m/ano$ )

$I$  - taxa de infiltração

b) Aquífero intersticial aluvial



- conhecendo-se os valores do escoamento de base do rio na curva de recessão - hidrograma - a contribuição de água subterrânea corresponde à reserva reguladora;
- conhecendo-se a variação de níveis de poços rasos no depósito aluvial e da área aluvial, encontra-se a reserva reguladora pela equação (7), ou seja:

$$R_{r2} = R_{r1} \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (10)$$

- quando não se conhece o valor de **b** em (1), admite-se como igual a 1,0 m , com porosidade eficaz de 10%, para um aproveitamento de 60%, isto é:

$$R_{r2} = A_1 \times 1,0 \times 0,1 \times 0,6 = A_1 \times 0,06 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (11)$$

- para estudos de bacias hidrográficas, não se conhecendo os parâmetros dimensionais do aquífero, adota-se um percentual de 2% da área da bacia hidrográfica, com espessura saturada média (**b**) de 1 m e porosidade eficaz de 10%, com aproveitamento de 60%, isto é:

$$R_{r2} = A_2 \times 0,02 \times 0,1 \times 0,6 = A_2 \times 0,0012 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (12)$$

### c) Aquífero fissural

- admitindo-se uma taxa de infiltração mínima de 0,15% da precipitação, calcula-se a reserva reguladora pelo produto dessa lâmina d'água infiltrada pela área da bacia hidrográfica; essa taxa é compatível com as avaliações realizadas pelo método de "balanço de cloretos" em outras áreas (valor calculado de 0,12%).

Assim:

$$R_{r3} = P \times 0,0015 \times A_2 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (13)$$

Sendo:

**P** - precipitação pluviométrica média anual na área (m/ano)

## II - Potencialidade

Conceito: *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.*

### a) Aquífero intersticial em bacia sedimentar

- a potencialidade representa o somatório das reservas reguladoras com a parcela das reservas permanentes que pode vir a ser explorada;
- apesar de o limite de exploração convencionalmente adotado ser de 30% da reserva permanente em 50 anos, 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;

$$P_{o1} = (R_{p1} \times 0,002) + R_{r1} \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (14)$$



b) Aquífero intersticial aluvial

- no Projeto ARIDAS (IPEA, 2000<sup>[22]</sup>), foi adotada como potencialidade dos depósitos recentes eluvio-colúvio-aluvionar, área aluvial, com média de 2m de espessura, 8% de índice de vazios e aproveitamento de 60% do volume armazenado; no âmbito deste trabalho, os valores médios para a espessura e índice de vazios (porosidade efetiva) foram modificados para 1,5m e 10% respectivamente, para melhor se adaptarem aos parâmetros médios detectados em trabalhos regionais e locais. Assim:

$$P_{o2} = A_1 \times 0,02 \times 1,5 \times 0,1 \times 0,6 = A_1 \times 0,09 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (15)$$

- quando não se conhecer  $A_1$ , será admitido, como no Projeto ARIDAS/PE, o percentual de 2% da área da bacia hidrográfica, e a potencialidade será calculada por:

$$P_{o2} = A_2 \times 0,02 \times 1,5 \times 0,1 \times 0,6 = A_2 \times 0,0018 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (16)$$

c) Aquífero fissural

- na ausência de dados confiáveis sobre as reservas permanentes nesse tipo de aquífero a potencialidade será considerada como a reserva reguladora acrescida de 15%; esse percentual equivale aos 0,2% ao ano da reserva permanente descrito em 2a, considerando que  $R_p \geq 10.R_r$ .

$$P_{o3} = R_{r3} \times 1,15 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (17)$$

### III - Disponibilidades

#### III.1 - Disponibilidade Instalada - $D_i[L]^3[T]^{-1}$

Conceito: *Volume anual passível de exploração através das obras de captação existentes, com base na vazão máxima de exploração - ou vazão ótima - e num regime de bombeamento de 24 horas diárias, em todos os dias do ano.*

- na prática, admite-se, por inexistência de avaliação da vazão ótima de exploração, os valores de vazão obtidos no teste efetuado após a conclusão do poço e que constam das fichas de poços cadastrados;
- para todos os tipos de aquífero, nos poços ou demais obras de captação em que foram realizados testes de vazão, considera-se a *disponibilidade instalada* do aquífero ou sistema aquífero, o número total de captações multiplicadas pelas respectivas vazões horárias e pelo número de horas durante o ano (8.760); para facilidade de cálculos, considera-se a vazão média horária dos poços. Assim:

$$D_i = n \times Q_m \times 8.760 \quad (\text{m}^3/\text{ano}) \quad (18)$$

Sendo:

<sup>[22]</sup> INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA (IPEA). 2000. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **PROJETO ARIDAS - A água e o Desenvolvimento Sustentável do Nordeste**. Brasília: IPEA, 2000.



**n** - número de poços ou outras captações existentes no aquífero (adimensional)

**Q<sub>m</sub>** - vazão média horária (m<sup>3</sup>/h)

- no aquífero aluvial, na maioria dos poços amazonas, não é realizado teste de vazão e nem mesmo se instala sistema de bombeamento, impedindo a avaliação da disponibilidade.

### III.2 - Disponibilidade Efetiva - D<sub>e</sub>

[L]<sup>3</sup>[T]<sup>-1</sup>

Conceito: *Volume anual atualmente explotado nas obras existentes*

- a *disponibilidade efetiva* é geralmente inferior à disponibilidade instalada, pois, em geral, sobretudo em obras privadas, as vazões captadas são inferiores à vazão ótima e o regime de bombeamento, dificilmente ultrapassando 8h/24h, sendo até mesmo comum, o uso em dias descontínuos; além do mais, muitos dos poços existentes se acham desativados ou abandonados;
- na prática, esses valores somente podem ser obtidos a partir de levantamentos sobre a situação de uso, a vazão horária, horas bombeadas por dia e número de dias por semana;
- por outro lado, vários poços perfurados por empresas privadas ou prefeituras municipais não se acham cadastrados;
- na inexistência desses dados, pode-se adotar a mesma vazão do teste do poço e um regime de exploração de 8/24 horas para poços no aquífero intersticial em bacias sedimentares e de 4/24 horas para poços em aquífero intersticial aluvial ou em aquífero fissural; eventualmente o regime de bombeamento atinge a 20/24 horas, principalmente nos casos de poços para abastecimento público;
- o número de poços desativados não é considerado, quando não é procedido uma atualização de campo, podendo esse percentual ser compensado com aquele referente aos poços não cadastrados.

Assim, tem-se por tipo de aquífero:

#### a) Aquífero intersticial em bacias sedimentares

$$D_{e1} = n \times Q_m \times 2.920 \quad (m^3/ano) \quad (19)$$

#### b) Aquífero intersticial aluvial

$$D_{e2} = n \times Q_m \times 1.460 \quad (m^3/ano) \quad (20)$$

#### c) Aquífero fissural

$$D_{e3} = D_{e2} = n \times Q_m \times 1.460 \quad (m^3/ano) \quad (21)$$



#### IV- Recursos Explotáveis - $R_e$ $[L]^3[T]^{-1}$

Conceito: Parcela máxima que pode ser aproveitada anualmente da potencialidade, correspondendo à vazão anual que pode ser extraída do aquífero ou do sistema aquífero, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem.

Os efeitos indesejáveis podem ser classificados em:

1) De ordem econômica:

- Exaustão do aquífero (dano ao reservatório para qualquer uso);
- Rebaixamento que inviabiliza o uso econômico da água;

2) De caráter hidrogeológico:

- Inviabiliza o uso das captações existentes por limite das câmaras de bombeamento;
- Provoca o acesso ao aquífero de água de qualidade inaceitável;
- Provoca recalque do terreno, que prejudica estradas, prédios, tubulações, etc.;

3) Conflito de uso (social ou legal):

- Prejudica usuários de poços, as descargas de base dos rios, de fontes e de lagoas;
- Prejudica o equilíbrio do meio ambiente que depende das descargas de rios e de fontes, ou de lagoas, ou ao uso econômico da natureza.

a) Aquífero intersticial em bacias sedimentares

- para esse aquífero os recursos explotáveis correspondem ao volume da potencialidade descontada a reserva ecológica - 40% das reservas reguladoras - e mais o total da disponibilidade efetiva.

$$R_{e1} = P_{o1} - (R_{r1} \times 0,4 + D_e) \quad (m^3/ano) \quad (22)$$

b) Aquífero intersticial aluvial

- considerando as elevadas perdas por percolação e evaporação, desde que não ocorra intervenção no depósito aluvial, os recursos explotáveis deverão ser de no máximo 20% da potencialidade, ou seja:

$$R_{e2} = P_{o2} \times 0,2 \quad (m^3/ano) \quad (23)$$

c) Aquífero fissural

- Os recursos explotáveis, desde que não existam estudos específicos de ordem econômica, hidrogeológica ou de conflitos de uso, que venham limitar a utilização das águas subterrâneas armazenadas, será considerada igual a própria potencialidade, ou seja:

$$R_{e3} \leq P_{o3} = R_{r3} \times 1,15 \quad (m^3/ano) \quad (24)$$



Uma vez conhecidos todos os valores de entradas e saídas de água no sistema, sendo a primeira representada pela recarga e a segunda pelos exutórios naturais (escoamento natural para os rios) e artificiais (retirada de água pelo homem) foi elaborado um **balanço hidrogeológico** que permitiu definir o saldo existente. Se positivo, existem *recursos exploráveis* e, se negativo, somente um planejamento de uso poderá definir se pode haver a perfuração de novos poços e em que situação poderia se dar essa exploração.

### 2.6.1. Aquífero Poti

O aquífero Poti ocorre na condição de livre, aflorando numa superfície de 13.173,06 km<sup>2</sup> em 26 dos municípios. Ela ocorre em uma faixa de direção aproximadamente N-S, a partir da cidade de Miracema do Tocantins estendendo-se para norte e encontra-se encaixada em estruturas tipo grábens de direção N-S, também, na margem esquerda do Rio Tocantins desenvolvendo contatos tectônicos por meio de falhamentos normais com as unidades subjacentes formações Longá e Pimenteiras.

Ocorre ainda na condição de confinado, sob o aquífero Piauí, numa área de 11.772,55 km<sup>2</sup>, formando com esse aquífero, um sistema aquífero.

#### 2.6.1.1. Reservas Permanentes - R<sub>p</sub>

Para a área onde o aquífero ocorre na condição de livre, utiliza-se a equação (1), ou seja:  $R_{p1} = A_1 \times b \times \mu$ , onde:

$$A_1 = 13.173,05.10^6 \text{ m}^2$$

$$b = 200,00 \text{ m}$$

$$\mu = 0,20$$

Substituindo os valores em (1) e operando, vem:

$$R_{p1} = 13.173,05.10^6 \times 200,00 \times 0,20 = 526,92.10^9 \text{ m}^3$$

Para a área onde o aquífero ocorre na condição de confinado, utiliza-se a equação (2), ou seja:  $R_{p2} = (A_2 \times h \times S) + (A_1 \times b \times \mu)$ , onde:

$$A_2 = 11.772,55 \text{ km}^2$$

$$h = 30,00 \text{ m}$$

$$S = 3,10 \times 10^{-4}$$

Substituindo os valores em (2) e operando, vem:

$$R_{p2} = (11.772,55.10^6 \times 30,00 \times 3,10 \times 10^{-4}) + (13.173,05.10^6 \times 200,00 \times 0,20)$$

$$R_{p2} = 109,48. 10^9 + 526,92.10^9 = 636,40. 10^9 \text{ m}^3$$



### 2.6.1.2. Reservas Reguladoras - R<sub>r</sub>

Para a avaliação dessas reservas pode ser utilizada a equação (9), ou seja,  $R_{r1} = A_1 \times P \times I$ , onde:

$$A_1 = 13.173,05.10^6$$

$$P = 1,64 \text{ m/ano}$$

$$I = 28\%$$

Substituindo os valores em (9) e operando, vem:

$$R_r = 13.173,05.10^6 \times 1,64 \times 0,28 = 6,05.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.1.3. Potencialidade - P<sub>o</sub>

Para avaliação da potencialidade, utiliza-se a equação (14), ou seja,  $P_o = (R_p \times 0,002) + R_r$ , onde:

$$R_p = 636,40. 10^9 \text{ m}^3$$

$$R_r = 6,05.10^9 \text{ m}^3/\text{a}$$

Substituindo os valores em (14) e operando, vem:

$$P_o = (636,40. 10^9 \times 0,002) + 6,05.10^9 = 7,32.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.1.4. Disponibilidade Instalada - D<sub>i</sub>

Para avaliação da disponibilidade instalada, utiliza-se a equação (18), ou seja,  $D_i = n \times Q_m \times 8.760$ , onde:

$$n - \text{número de poços} = 40$$

$$Q_m - \text{vazão média} = 12,67 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$8.760 - \text{número de horas por ano}$$

Substituindo os valores em (18) e operando, vem:

$$D_i = 40 \times 12,67 \times 8760 = 4,44.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.1.5. Disponibilidade Efetiva - D<sub>e</sub>

Para avaliação da disponibilidade efetiva, utiliza-se a equação (19), ou seja,  $D_{e1} = n \times Q_m \times 2.920$  (m<sup>3</sup>/ano), sendo que o valor total de horas ao ano foi de 2.190 tendo em vista que o regime de bombeamento médio desses poços foi de 6h/dia.

$$D_e = 40 \times 12,67 \times 2.190 = 1,11.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.1.6. Recursos Explotáveis - R<sub>e</sub>

Para avaliação dos recursos explotáveis, utiliza-se a equação (22), ou seja,  $R_e = P_o - (R_r \times 0,3 + D_e)$ , sendo no caso em questão:



$$R_e = 7,32.10^9 - (6,05.10^9 \times 0,3 + 1,11.10^6) = 5,50.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

O Balanço Hidrogeológico representa a diferença entre os volumes de água que se infiltraram no aquífero e o volume de água dele retirado, através dos exutórios naturais (reserva reguladora) e artificial (poços) ou seja:

$$BH = 6,05.10^9 - (6,05.10^9 \times 0,3 + 1,11.10^6) = 4,23.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Constata-se que o balanço positivo reflete uma situação tranquila, de sub-exploração, para a captação de água desse aquífero por novos poços a perfurar.

## 2.6.2. Aquífero Piauí

O aquífero Piauí ocorre na condição de livre, em 11.772,55 km<sup>2</sup> da RCN-TO, estando representada em 24 municípios. A formação distribui-se em extensas faixas de direção NS localizadas, sobretudo, na margem esquerda do Rio Tocantins. Eventualmente ocorre na condição de confinado sob o aquífero de Pedra de Fogo, porém em áreas reduzidas e descontínuas, pelo que não será considerada essa situação na avaliação dos parâmetros volumétricos desse aquífero.

### 2.6.2.1. Reservas Permanentes - R<sub>p</sub>

Para a área onde o aquífero ocorre na condição de livre, utiliza-se a equação (1), ou seja:  $R_{p1} = A_1 \times b \times \mu$ , onde:

$$A_1 = 11.772,55.10^6 \text{ m}^2$$

$$b = 200,00 \text{ m}$$

$$\mu = 0,20$$

Substituindo os valores em (1) e operando, vem:

$$R_{p1} = 11.772,55.10^6 \times 200,00 \times 0,20 = 470,90.10^9 \text{ m}^3$$

### 2.6.2.2. Reservas Reguladoras - R<sub>r</sub>

Para a avaliação dessas reservas pode ser utilizada a equação (9), ou seja,  $R_{r1} = A_1 \times P \times I$ , onde:

$$A_1 = 11.772,55.10^6$$

$$P = 1,64 \text{ m/ano}$$

$$I = 28\%$$

Substituindo os valores em (9) e operando, vem:

$$R_r = 11.772,55.10^6 \times 1,64 \times 0,28 = 5,41.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.2.3. Potencialidade - P<sub>o</sub>

Para avaliação da potencialidade, utiliza-se a equação (14), ou seja,  $P_o = (R_p \times 0,002) + R_r$ , onde:



$$R_p = 470,90. 10^9 \text{ m}^3$$

$$R_r = 6,05.10^9 \text{ m}^3/\text{a}$$

Substituindo os valores em (14) e operando, vem:

$$P_o = (470,90. 10^9 \times 0,002) + 6,05.10^9 = 6,99.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

#### 2.6.2.4. Disponibilidade Instalada - Di

Para avaliação da disponibilidade instalada, utiliza-se a equação (18), ou seja,

#### 2.6.2.5. Disponibilidade Efetiva - De

Para avaliação da disponibilidade efetiva, utiliza-se a equação (19), ou seja,  $D_{e1} = n \times Q_m \times 2.920$  ( $\text{m}^3/\text{ano}$ ), sendo que o valor total de horas ao ano foi de 2.190 tendo em vista que o regime de bombeamento médio desses poços foi de 6h/dia.

$$D_e = 42 \times 17,52 \times 2.190 = 1,61.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

#### 2.6.2.6. Recursos Explotáveis - Re

Para avaliação dos recursos explotáveis, utiliza-se a equação (22), ou seja,  $R_e = P_o - (R_r \times 0,3 + D_e)$ , sendo no caso em questão:

$$R_e = 6,99.10^9 - (6,05.10^9 \times 0,3 + 1,61.10^6) = 5,17.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

O Balanço Hidrogeológico representa a diferença entre os volumes de água que se infiltraram no aquífero e o volume de água dele retirado, através dos exutórios naturais (reserva reguladora) e artificiais (poços) ou seja:

$$BH = 5,41.10^9 - (5,41.10^9 \times 0,3 + 1,61.10^9) = 3,79.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Constata-se que o balanço positivo reflete uma situação tranquila para a captação de água desse aquífero por novos poços a perfurar.

### 2.6.3. Aquífero Sambaíba

O aquífero Sambaíba (T12s) que consiste em arenito fino, caulínico, com granulometria bimodal, interpretado como eólico, ocorre em 5.943,23  $\text{km}^2$  da RCN-TO estando representada em 19 municípios. Dessa área total, 3.740,64  $\text{km}^2$  ocorre na condição de confinado sob os basaltos da Formação Mosquito e apenas 2.202,59 na condição de livre

#### 2.6.3.1. Reservas Permanentes - Rp

Para a área onde o aquífero ocorre na condição de livre, utiliza-se a equação (1), ou seja:  $R_{p1} = A_1 \times b \times \mu$ , onde:

$$A_1 = 2.202,59.10^6 \text{ m}^2$$

$$b = 200,00 \text{ m}$$



$$\mu = 0,20$$

Substituindo os valores em (1) e operando, vem:

$$R_{p1} = 2.202,59.10^6 \times 200,00 \times 0,20 = 88,10.10^9 \text{ m}^3$$

Para a área onde o aquífero ocorre na condição de confinado, utiliza-se a equação (2), ou seja:  $R_{p2} = (A_2 \times h \times S) + (A_1 \times b \times \mu)$ , onde:

$$A_2 = 3.740,64 \text{ km}^2$$

$$h = 80,00 \text{ m}$$

$$S = 1,40 \times 10^{-2}$$

Substituindo os valores em (2) e operando, vem:

$$R_{p2} = (3.740,64.10^6 \times 80,00 \times 1,4 \times 10^{-2}) + (3.740,64.10^6 \times 300,00 \times 0,20)$$

$$R_{p2} = 88,10.10^9 + 228,62.10^9 = 316,72.10^9 \text{ m}^3$$

### 2.6.3.2. Reservas Reguladoras - R<sub>r</sub>

Para a avaliação dessas reservas pode ser utilizada a equação (9), ou seja,  $R_{r1} = A_1 \times P \times I$ , onde:

$$A_1 = 2.202,59.10^6$$

$$P = 1,64 \text{ m/ano}$$

$$I = 28\%$$

Substituindo os valores em (9) e operando, vem:

$$R_r = 2.202,59.10^6 \times 1,64 \times 0,28 = 1,01.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.3.3. Potencialidade - P<sub>o</sub>

Para avaliação da potencialidade, utiliza-se a equação (14), ou seja,  $P_o = (R_p \times 0,002) + R_r$ , onde:

$$R_p = 316,72.10^9 \text{ m}^3$$

$$R_r = 1,01.10^9 \text{ m}^3/\text{a}$$

Substituindo os valores em (14) e operando, vem:

$$P_o = (316,72.10^9 \times 0,002) + 1,01.10^9 = 1,64.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.3.4. Disponibilidade Instalada - D<sub>i</sub>

Para avaliação da disponibilidade instalada, utiliza-se a equação (18), ou seja,  $D_i = n \times Q_m \times 8.760$ , onde:

$$n - \text{número de poços} = 74$$

$$Q_m - \text{vazão média} = 28,81 \text{ m}^3/\text{h}$$



8.760 - número de horas por ano

Substituindo os valores em (18) e operando, vem:

$$D_i = 74 \times 28,81 \times 8760 = 18,68.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.3.5. Disponibilidade efetiva - $D_e$

Para avaliação da disponibilidade efetiva, utiliza-se a equação (19), ou seja,  $D_{e1} = n \times Q_m \times 2.920$  ( $\text{m}^3/\text{ano}$ ), sendo que o valor total de horas ao ano foi de 2.190 tendo em vista que o regime de bombeamento médio desses poços foi de 6h/dia.

$$D_e = 42 \times 17,52 \times 2.190 = 4,67.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

### 2.6.3.6. Recursos Explotáveis - $R_e$

Para avaliação dos recursos explotáveis, utiliza-se a equação (22), ou seja,  $R_e = P_o - (R_r \times 0,3 + D_e)$ , sendo no caso em questão:

$$R_e = 1,64.10^9 - (1,01.10^9 \times 0,3 + 4,67.10^6) = 1,33.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

O Balanço Hidrogeológico representa a diferença entre os volumes de água que se infiltraram no aquífero e o volume de água dele retirado, através dos exutórios naturais (reserva reguladora) e artificiais (poços) ou seja:

$$BH = 1,01.10^9 - (1,01.10^9 \times 0,3 + 4,67.10^6) = 0,70.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Constata-se que o balanço positivo reflete uma situação tranquila para a captação de água desse aquífero por novos poços a perfurar.

## 2.6.4. Aquífero Rio das Barreiras

O aquífero Rio das Barreiras expõe-se em manchas isoladas e alinhadas sub-meridianamente no centro da faixa do Grupo Baixo Araguaia. Ela aflora na RCN-TO distribuindo-se por uma área total de 4.447,68  $\text{km}^2$  nos municípios de Aragominas (517,12  $\text{km}^2$ ), Araguaína (648,09  $\text{km}^2$ ), Arapoema (513,79  $\text{km}^2$ ), Bandeirantes do Tocantins (316,03  $\text{km}^2$ ), Bernardo Sayão (451,73  $\text{km}^2$ ), Couto Magalhães (232,67  $\text{km}^2$ ), Juarina (51,20  $\text{km}^2$ ), Muricilândia (596,16  $\text{km}^2$ ), Nova Olinda (10,68  $\text{km}^2$ ), Pau D'Arco (470,38  $\text{km}^2$ ), Pequizeiro (206,78  $\text{km}^2$ ) e Santa Fé do Araguaia (433,03  $\text{km}^2$ ).

A Unidade repousa sobre o Complexo Xingu e são recobertas por unidades sedimentares fanerozoicas. Na RCN-TO repousa por meio de falhamentos normais ou em discordância angular sobre a parte central da Formação Pequizeiro e se compõe de conglomerados polimíticos, com intercalações restritas de siltitos e arenitos finos.

### 2.6.4.1. Reservas Permanentes - $R_p$

Para a área onde o aquífero ocorre na condição de livre, utiliza-se a equação (1), ou seja:  $R_{p1} = A_1 \times b \times \mu$ , onde:

$$A_1 = 4.447,68 \text{ } 10^6 \text{ m}^2$$



$$b = 80,00 \text{ m}$$

$$\mu = 0,25$$

Substituindo os valores em (1) e operando, vem:

$$R_{p1} = 4.447,68.10^6 \times 80,00 \times 0,25 = 88,95.10^9 \text{ m}^3$$

#### 2.6.4.2. Reservas Reguladoras - R<sub>r</sub>

Para a avaliação dessas reservas pode ser utilizada a equação (9), ou seja,  $R_{r1} = A_1 \times P \times I$ , onde:

$$A_1 = 2.202,59.10^6$$

$$P = 1,80 \text{ m/ano}$$

$$I = 31\%$$

Substituindo os valores em (9) e operando, vem:

$$R_r = 4.447,68.10^6 \times 1,80 \times 0,31 = 2,48.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

#### 2.6.4.3. Potencialidade - P<sub>o</sub>

Para avaliação da potencialidade, utiliza-se a equação (14), ou seja,  $P_o = (R_p \times 0,002) + R_r$ , onde:

$$R_p = 88,95.10^9 \text{ m}^3$$

$$R_r = 2,48.10^9 \text{ m}^3/\text{a}$$

Substituindo os valores em (14) e operando, vem:

$$P_o = (88,95.10^9 \times 0,002) + 2,48.10^9 = 2,66.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

#### 2.6.4.4. Disponibilidade Instalada - D<sub>i</sub>

Para avaliação da disponibilidade instalada, utiliza-se a equação (18), ou seja,  $D_i = n \times Q_m \times 8.760$ , onde:

$$n - \text{número de poços} = 22$$

$$Q_m - \text{vazão média} = 10,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$8.760 - \text{número de horas por ano}$$

Substituindo os valores em (18) e operando, vem:

$$D_i = 22 \times 10,86 \times 8760 = 2,09.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

#### 2.6.4.5. Disponibilidade Efetiva - D<sub>e</sub>

Para avaliação da disponibilidade efetiva, utiliza-se a equação (19), ou seja,  $D_{e1} = n \times Q_m \times 2.920$  (m<sup>3</sup>/ano), sendo que o valor total de horas ao ano foi de 2.190 tendo em vista que o regime de bombeamento médio desses poços foi de 6h/dia.



$$D_e = 22 \times 10,86 \times 2.190 = 0,52.10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

#### 2.6.4.6. Recursos Explotáveis - Re

Para avaliação dos recursos explotáveis, utiliza-se a equação (22), ou seja,  $R_e = P_o - (R_r \times 0,3 + D_e)$ , sendo no caso em questão:

$$R_e = 2,66.10^9 - (2,48.10^9 \times 0,3 + 0,52.10^6) = 1,40.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

O Balanço Hidrogeológico representa a diferença entre os volumes de água que se infiltraram no aquífero e o volume de água dele retirado, através dos exutórios naturais (reserva reguladora) e artificiais (poços) ou seja:

$$BH = 2,48.10^9 - (2,48.10^9 \times 0,3 + 0,52.10^6) = 1,22.10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Constata-se que o balanço positivo reflete uma situação tranquila para a captação de água desse aquífero por novos poços a perfurar.

O Quadro 15 resume os valores volumétricos de cada aquífero considerado no estudo, na região Centro-Norte do Tocantins.

**Quadro 15.** Valores volumétricos dos aquífero estudados na RCN-TO

Parâmetros	Aquíferos			
	Poti	Piauí	Sambaíba	Rio das Barreiras
Reserva Permanente (m <sup>3</sup> )	636,40. 10 <sup>9</sup>	470,90.10 <sup>9</sup>	316,72. 10 <sup>9</sup>	88,95.10 <sup>9</sup>
Reserva Reguladora (m <sup>3</sup> /ano)	6,05.10 <sup>9</sup>	5,41.10 <sup>9</sup>	1,01.10 <sup>9</sup>	2,48.10 <sup>9</sup>
Potencialidade (m <sup>3</sup> /ano)	7,32.10 <sup>9</sup>	6,99.10 <sup>9</sup>	1,64.10 <sup>9</sup>	2,66.10 <sup>9</sup>
Disponibilidade Instalada (m <sup>3</sup> /ano)	4,44.10 <sup>6</sup>	6,45.10 <sup>6</sup>	18,68.10 <sup>6</sup>	2,09.10 <sup>6</sup>
Disponibilidade Efetiva (m <sup>3</sup> /ano)	1,11.10 <sup>6</sup>	1,61.10 <sup>6</sup>	4,67.10 <sup>6</sup>	0,52.10 <sup>6</sup>
Recursos Explotáveis (m <sup>3</sup> /ano)	5,50.10 <sup>9</sup>	5,17.10 <sup>9</sup>	1,33.10 <sup>9</sup>	1,40.10 <sup>9</sup>
Balanço Hidrogeológico (m <sup>3</sup> /ano)	4,23.10 <sup>9</sup>	3,79.10 <sup>9</sup>	0,70.10 <sup>9</sup>	1,22.10 <sup>9</sup>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Do Quadro 15, pode-se perceber que:

- O aquífero Poti vem utilizando apenas 0,018% da sua reserva reguladora;
- O aquífero Piauí utiliza apenas 0,30% da sua reserva reguladora;
- O aquífero Sambaíba utiliza apenas 0,46% da sua reserva reguladora;
- O aquífero Rio das Barreiras utiliza apenas 0,021% da sua reserva reguladora.

Mesmo que o número de poços existentes fosse cinco vezes maior do que os atualmente cadastrados, pois grande parte dos poços são clandestinos, no máximo se chegaria ao percentual de 3% do total das reservas reguladoras, isto é, das águas que se infiltram anualmente, o que revela uma grande potencialidade de uso desses aquíferos em futuras perfurações de poços.



## 2.7. A Qualidade da Água nos Aquíferos e Aquitardes Porosos

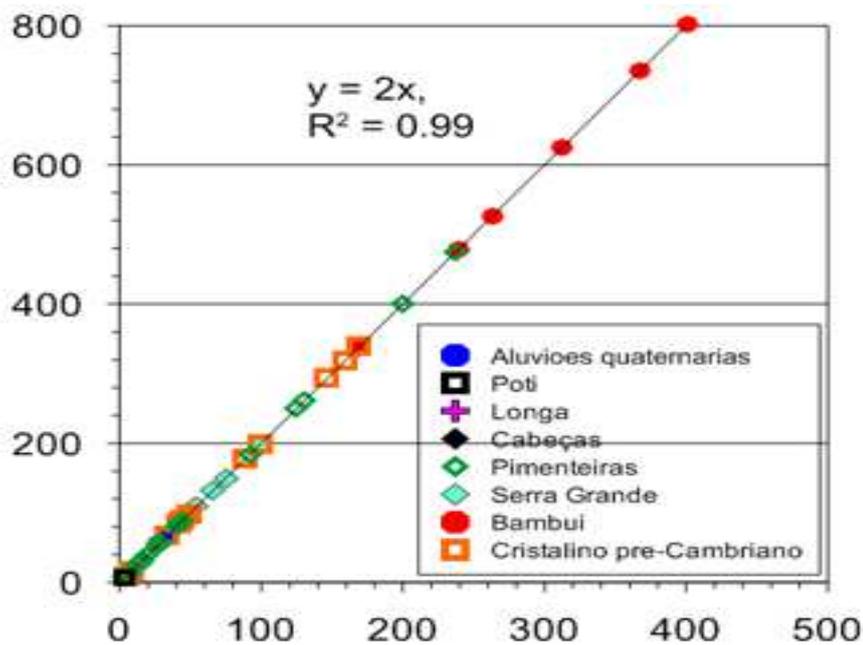
O fato de não terem sido executadas as análises físico-químicas não impediu a execução de um estudo hidroquímico aceitável, visto que o parâmetro mais importante para caracterizar a qualidade da água é o STD - sólidos totais dissolvidos, também designado de RS - resíduo seco.

No campo, as águas dos poços constantes da rede de monitoramento foram todas medidas com equipamento portátil, quanto à condutividade elétrica (C.E.), medida em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o pH, além da temperatura (ver capítulo da metodologia). Existe uma relação, que varia de uma região para outra, entre a C.E. e o STD da água. O STD varia entre 40% a 70% da C.E., sendo tanto maior quanto mais elevada a salinidade.

No estudo hidroquímico executado no âmbito do Estudo Hidrogeológico da Região Sudeste do Estado do Tocantins (COSTA *et al.*, 2010<sup>[23]</sup>), a relação entre esses dois parâmetros foi de 50%, o que revela a baixa salinidade dessas águas.

Na Figura 12, obtida com os resultados das análises físico-químicas dos poços da região sudeste essa relação está claramente observada.

C.E.( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )



STD(mg/L)

**Figura 12.** Relação entre os valores de C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e os STD (mg/L) nas águas dos diversos tipos de aquífero na Região Sudeste do Tocantins.

Fonte: Costa *et al.* (2010).

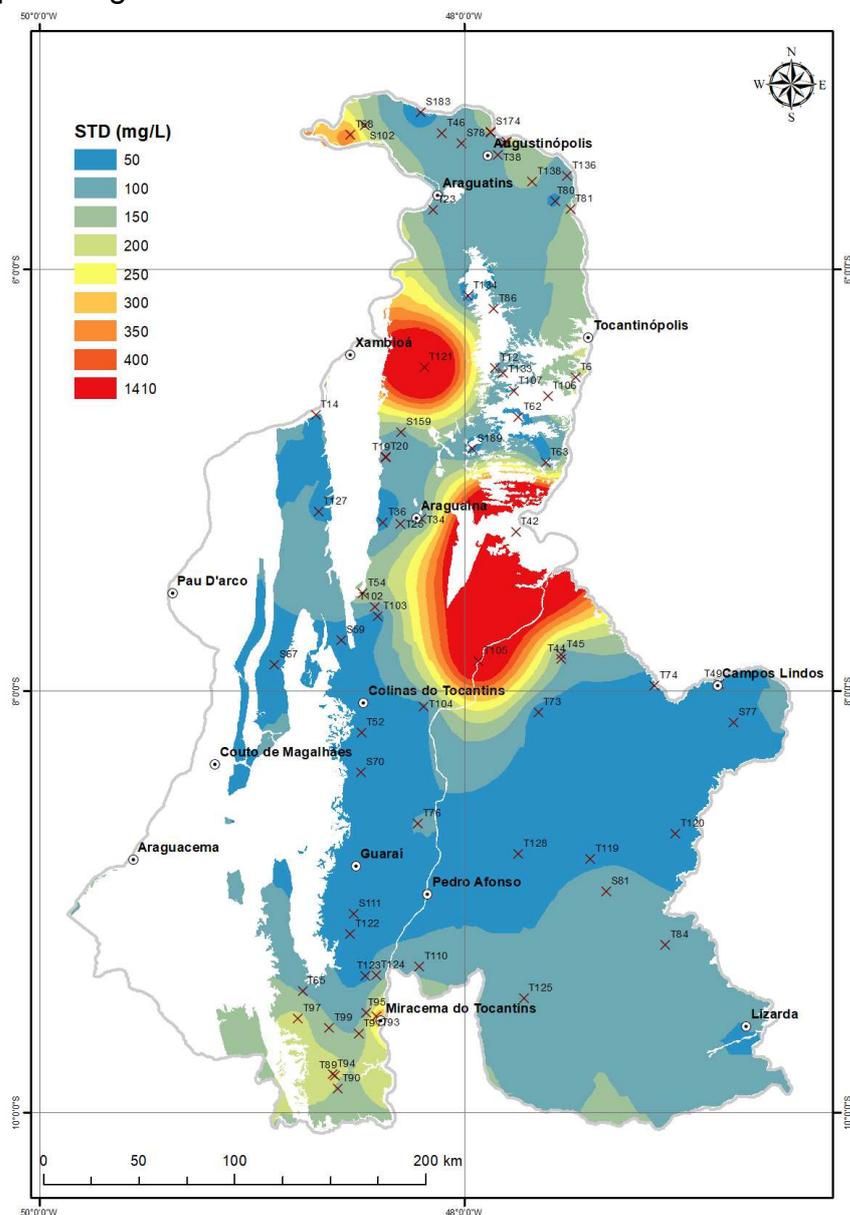
<sup>[23]</sup> COSTA, W. D. *et al.* Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Tocantins (SEMADES). **Estudo Hidrogeológico da Região Sudeste do Estado do Tocantins**. Palmas: SEMADES, 2010.



Verifica-se nessa figura que todos os aquíferos porosos, que também ocorrem na região Centro-Norte, tiveram STD máximo de 200 mg/L. Por outro lado, as águas mais salinizadas na região sudeste foram as do aquífero cárstico fissural (Bambuí), que não ocorre na região ora estudada.

Assim, dos resultados de C.E. medidos no campo com medidor portátil, puderam ser obtidos os valores de STD pela divisão por 2 (dois) dos valores de C.E.

A Figura 13 e Apêndice II. Mapa de Sólidos Totais dos Aquíferos Porosos da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins do DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO mostram o mapa de STD dos aquíferos porosos, enquanto a figura 4.10 mostra a distribuição do pH em mapa, para toda a área estudada. O Quadro 15 mostra os dados utilizados para elaboração do mapa da Figura 13.



**Figura 13.** Mapa de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) dos aquíferos porosos  
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

**Quadro 16.** Resultados de C.E. e pH medidos no campo em poços da RCN-TO

Numeração		Município	Coordenadas UTM		Form. Geológica em superfície	Aquífero explorado	Profund. (m)	Cond. Elétr. $\mu\text{S}/\text{cm}$	STD mg/L	pH	Temperat. $^{\circ}\text{C}$	Situação do aquífero
Trhimil	Slagas		E	N								
T6		Aguiarnópolis	9.279.263	23M 226.230	Mosquito	Sambaíba	110,00	278,00	139,00	7,00	28,50	Confinado
T12		Angico	9.284.020	23M 184.336	Mosquito	Sambaíba	144,00	142,00	71,00	7,20	28,00	Confinado
T14		Aragominas	9.259.787	22M 754.513	Rio das Barreiras	Rio das Barreiras	120,00	72,00	36,00	5,20	28,30	Livre
T19		Araguanã	9.237.032	22M 790.903	Pimenteiras	Pimenteiras	132,00	176,00	88,00	6,80	27,00	Semi-confinado
T20		Araguanã	9.237.616	22M 790.864	Pimenteiras	Pimenteiras	200,00	162,00	81,00	5,80	27,50	Semi-confinado
T23		Araguatins	9.367.052	22M 816.105	Mosquito	Sambaíba	128,00	158,00	79,00	6,50	29,00	Confinado
T25		Araguaína	9.202.011	22M 798.430	Pedra de Fogo	Pedra de Fogo	92,00	184,00	92,00	7,50	28,50	Livre
T34		Araguaína	9.204.777	22M 809.415	Mosquito	Sambaíba	171,00	112,00	56,00	7,20	28,50	Confinado
T36		Araguaína	9.202.816	22M 789.335	Longá	Longá	108,00	50,00	25,00	6,50	29,00	Semi-confinado
T38		Augustinópolis	9.395.860	23M 185.218	Itapecuru	Corda	132,00	168,00	84,00	7,30	28,20	Confinado
	S59	Bandeirantes do Tocantins	9.141.272	22M 767.294	Rio das Barreiras	Rio das Barreiras	125,00	30,00	15,00	5,30	27,90	Livre
T44		Barra do Ouro	9.131.318	23M 219.556	Pedra de Fogo	Piauí	127,00	210,00	105,00	8,00	30,00	Confinado
T45		Barra do Ouro	9.133.811	23M 219.634	Piauí	Piauí	68,00	138,00	69,00	7,70	27,50	Livre
	S67	Bernardo Sayao	9.128.640	22M 732.637	Rio das Barreiras	Rio das Barreiras	77,00	70,00	35,00	6,50	27,80	Livre
	S70	Brasilândia do Tocantins	9.071.845	22M 776.889	Pedra de Fogo	Piauí	102,00	56,00	28,00	6,20	59,00	Confinado
T46		Buriti do Tocantins	9.407.235	22M 821.113	Itapecuru	Corda	142,00	168,00	84,00	6,70	29,80	Confinado
T49		Campos Lindos	9.118.711	23M 301.776	Pedra de Fogo	Piauí	130,00	88,00	44,00	6,40	29,00	Confinado
	S77	Campos Lindos	9.098.523	23M 309.153	Pedra de Fogo	Piauí	80,00	92,00	46,00	6,40	29,00	Confinado
	S78	Carrasco bonito	9.401.692	23M 831.270	Itapecuru	Itapecuru	100,00	158,00	79,00	6,10	29,60	Semi-confinado
	S81	Centenario	9.009.369	23M 243.702	Poti-Piauí	Poti-Piauí	150,00	156,00	78,00	5,60	29,00	Livre



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Form. Geológica em superfície	Aquífero explorado	Profund. (m)	Cond. Elétr. $\mu\text{S}/\text{cm}$	STD mg/L	pH	Temperat. $^{\circ}\text{C}$	Situação do aquífero
Trímil	Siagas		E	N								
T52		Colinas do Tocantins	9.092.644	22L 777.401	Poti	Poti	50,00	76,00	38,00	7,50	28,00	Livre
T54		Colinas do Tocantins	9.616.026	22M 778.485	Pedra de Fogo	Piauí	208,00	296,00	148,00	7,60	32,00	Confinado
T62		Darcinópolis	9.258.113	23M 196.632	Sambaíba	Sambaíba	150,00	38,00	19,00	5,60	29,20	Livre
T63		Darcinópolis	9.234.444	22M 211.046	Sambaíba	Sambaíba	102,00	60,00	30,00	5,40	29,00	Livre
T65		Dois Irmãos do Tocantins	8.957.263	22L 746.098	Pimenteiras	Pimenteiras	120,00	186,00	93,00	7,80	24,00	Semi-confinado
T68		Esperantina	9.406.609	22M 773.286	Itapecuru	Corda	200,00	682,00	341,00	7,30	30,00	Confinado
	S102	Esperantina	9.411.489	22M 780.893	Itapecuru	Corda	120,00	274,00	137,00	7,10	28,40	Confinado
	S111	Taboão	8.997.664	22M 772.838	Pedra de Fogo	Pimenteiras	130,00	10,00	5,00	5,20	29,00	Confinado
T73		Goiatins	9.103.078	23L 207.975	Poti-Piauí	Poti-Piauí	62,00	14,00	7,00	5,20	28,60	Livre
T74		Goiatins	9.166.163	23M 267.404	Piauí	Piauí	70,00	30,00	15,00	5,90	29,00	Livre
T76		Guaraí	9.044.739	22L 806.385	Aluviões	Aq. aluvial	84,00	104,00	52,00	5,40	28,00	Livre
T80		Itaguatins	9.371.656	23M 215.534	Codó	Corda	45,00	54,00	27,00	4,80	29,00	Confinado
T81		Itaguatins	9.367.362	23M 223.204	Mosquito	Sambaíba	288,00	276,00	138,00	7,20	29,60	Confinado
T84		Lizarda	8.981.536	23L 274.656	Piauí	Piauí/Poti	150,00	160,00	80,00	7,50	32,00	Livre
T86		Luzinópolis	9.315.175	23M 183.501	Mosquito	Sambaíba	154,00	198,00	99,00	6,50	27,00	Confinado
T89		Miracema do Tocantins	8.912.693	22L 762.246	Pimenteiras	Pimenteiras / S. Grande	180,00	306,00	153,00	7,30	28,00	Confinado
T90		Miracema do Tocantins	8.906.188	22L 763.808	Pimenteiras	Pimenteiras / S. Grande	232,00	290,00	145,00	7,70	30,00	Confinado
T91		Miracema do Tocantins	8.934.606	22L 775.175	Pimenteiras	Pimenteiras / S. Grande	320,00	210,00	105,00	7,60	29,00	Confinado
T93		Miracema do	8.943.582	22L 784.143	Pimenteiras	Pimenteiras / S.	376,00	674,00	337,00	7,70	37,00	Confinado



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Form. Geológica em superfície	Aquífero explotado	Profund. (m)	Cond. Eléct. µS/cm	STD mg/L	pH	Temperat. °C	Situação do aquífero
Trhínil	Siagas		E	N								
		Tocantins				Grande						
T94		Miracema do Tocantins	8.913.439	22L 761.136	Pimenteiras	Pimenteiras/S. Grande	204,00	372,00	186,00	8,00	31,00	Confinado
T95		Miracema do Tocantins	8.945.538	22L 779.019	Poti	Poti	80,00	158,00	79,00	8,80	31,00	Livre
T97		Miranorte	8.942.760	22L 743.503	Pimenteiras	Pimenteiras	120,00	346,00	173,00	7,60	29,00	Semi-confinado
T99		Miranorte	8.937.929	22L 759.683	Pimenteiras	Pimenteiras / S. Grande	138,00	226,00	113,00	7,70	30,00	Confinado
T102		Nova Olinda	9.158.710	22M 784.926	Longá	Piauí	150,00	158,00	79,00	6,80	27,30	Confinado
T103		Nova Olinda	9.153.828	22M 786.401	Poti-Piauí	Poti-Piauí	116,00	38,00	19,00	6,70	28,00	Livre
T104		Palmeirante	9.106.132	22L 809.917	Piauí	Piauí	120,00	60,00	30,00	6,60	30,00	Livre
T105		Palmeirante	9.129.912	23M 176.690	Longá	Poti	360,00	1216,00	608,00	7,20	34,00	Confinado
T106		Palmeiras do Tocantins	9.269.431	23M 211.999	Mosquito	Sambaíba	126,00	320,00	160,00	6,80	27,70	Confinado
T107		Palmeiras do Tocantins	9.271.869	23M 194.093	Sambaíba	Sambaíba	140,00	86,00	43,00	6,10	28,00	Livre
T110		Pedro Afonso	8.969.747	22L 806.600	Pedra de Fogo	Piauí	130,00	142,00	71,00	5,30	29,50	Confinado
	S159	Piraquê	9.250.391	22L 799.090	Poti-Piauí	Poti-Piauí	176,00	150,00	75,00	7,30	27,00	Livre
T115		Praia Norte	9.402.482	23M 189.890	Itapecuru	Corda	144,00	322,00	161,00	6,90	27,50	Confinado
T117	11	Praia Norte	9.402.380	23M 188.487	Codó	Corda	190,00	128,00	64,00	6,50	29,70	Confinado
T118		Praia Norte	9.402.617	23M 189.927	Corda	Corda	143,00	322,00	161,00	6,90	27,00	Livre
T119		Recursolândia	9.026.376	23L 235.238	Poti-Piauí	Poti-Piauí	120,00	80,00	40,00	5,40	30,00	Livre
T120		Recursolândia	9.039.913	23L 279.432	Poti-Piauí	Poti-Piauí	120,00	10,00	5,00	5,40	30,00	Livre
T121		Riachinho	9.284.235	22M 811.124	Pedra de Fogo	Piauí	180,00	1572,00	786,00	7,30	28,20	Confinado
T122		Rio dos Bois	8.967.011	22L 770.903	Poti-Piauí	Poti-Piauí	84,00	96,00	48,00	4,50	29,00	Livre



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Form. Geológica em superfície	Aquífero explorado	Profund. (m)	Cond. Elétr. $\mu\text{S}/\text{cm}$	STD mg/L	pH	Temperat. $^{\circ}\text{C}$	Situação do aquífero
Trhimil	Siagas		E	N								
T123		Rio dos Bois	8.965.055	22L 778.786	Pedra de Fogo	Pimenteiras	120,00	66,00	33,00	6,80	27,50	Confinado
T124		Rio dos Bois	8.965.314	22L 784.133	Pedra de Fogo	Pimenteiras	120,00	160,00	80,00	6,10	28,00	Confinado
T125		Rio Sono	8.953.240	23L 201.590	Longá	Sambaíba	150,00	92,00	46,00	7,60	28,00	Confinado
	S173	Sampaio	9.407.486	23L 181.296	Codó	Corda	56,00	162,00	81,00	3,90	30,00	Confinado
	S174	Sampaio	9.407.762	22L 181.347	Itapecuru	Corda	162,00	246,00	123,00	7,00	30,00	Confinado
T127		Santa Fé do Araguaia	9.208.847	22M 755.744	Rio das Barreiras	Rio faz Barreiras	130,00	80,00	40,00	5,60	28,50	Livre
T128		Santa Maria do Tocantins	9.029.020	23L 198.220	Poti-Piauí	Poti-Piauí	150,00	52,00	26,00	4,90	28,00	Livre
T133		Santa Teresinha do Tocantins	9.281.179	23M 188.534	Mosquito	Sambaíba	150,00	96,00	48,00	7,00	26,00	Confinado
T134		São Bento do Tocantins	9.321.885	23M 170.187	Sambaíba	Sambaíba	120,00	16,00	8,00	5,80	28,00	Livre
T136		São Miguel do Tocantins	9.384.900	23M 221.353	Itapecuru	Itapecuru	72,00	138,00	69,00	6,70	28,40	Semi-confinado
	S183	São Sebastião do Tocantins	9.418.027	23L 810.010	Itapecuru	Itapecuru	117,00	18,00	9,00	5,10	29,00	Semi-confinado
T138		Sítio Novo do Tocantins	9.381.770	23M 203.229	Mosquito	Sambaíba	350,00	226,00	113,00	7,50	30,50	Confinado
	S189	Wanderlândia	9.241.341	23M 172.776	Sambaíba	Sambaíba	100,00	42,00	21,00	6,60	25,00	Livre

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



Verificando o Quadro 15 com atenção, constata-se que ocorre uma grande variação entre o STD máximo, no valor de 1.410 mg/L e o mínimo, de apenas 5,00 mg/L. Um fator importante para essa variação é a situação do aquífero. No Quadro 17, observa-se a análise estatística dos poços perfurados em aquíferos livres, enquanto no Quadro 18, aqueles perfurados em aquíferos confinados ou semiconfinados.

**Quadro 17.** Resultados hidroquímicos das águas em aquíferos livres

Parâmetros estatísticos	Cond. Elétr. µS/cm	STD mg/L	pH
Média	104,00	52,00	6,10
Mediana	80,00	40,00	5,80
Desvio Padrão	87,19	43,60	1,02
Coefficiente de Variação	83,83	41,92	16,78
Valor máximo	346,00	173,00	8,80
Valor mínimo	10,00	5,00	4,50
Número de dados	24	24	24

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

**Quadro 18.** Resultados hidroquímicos das águas em aquíferos confinados e semi-confinados

Parâmetros estatísticos	Cond. Elétr. µS/cm	STD mg/L	pH
Média	321,38	160,69	6,87
Mediana	176,00	88	7,00
Desvio Padrão	486,66	243,33	1,34
Coefficiente de Variação	151,43	75,715	19,48
Valor máximo	2.820,00	1410	8,00
Valor mínimo	10,00	5	3,90
Número de dados	42	42	42

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Observa-se que nos aquíferos livres a média dos STD é de apenas 104,00 mg/L, enquanto nos confinados e semiconfinados essa média passa para 321,88 mg/L, ou seja, três vezes maior.

Apesar do considerável aumento da salinidade das águas na condição de aquífero confinado ou semiconfinado, em relação aos aquíferos na condição de livre, essas águas podem ser consideradas, na sua grande maioria, como águas doces, visto que apenas uma análise apresentou valor de STD de 1.410,00 mg/L, superior ao limite de potabilidade para consumo humano, que é de 1.000 mg/L (Resolução CONAMA nº 396/2008)

De um modo geral, as águas subterrâneas apresentaram em 70% das análises, um valor de STD inferior a 100 mg/L, o que caracteriza uma água quase desmineralizada.



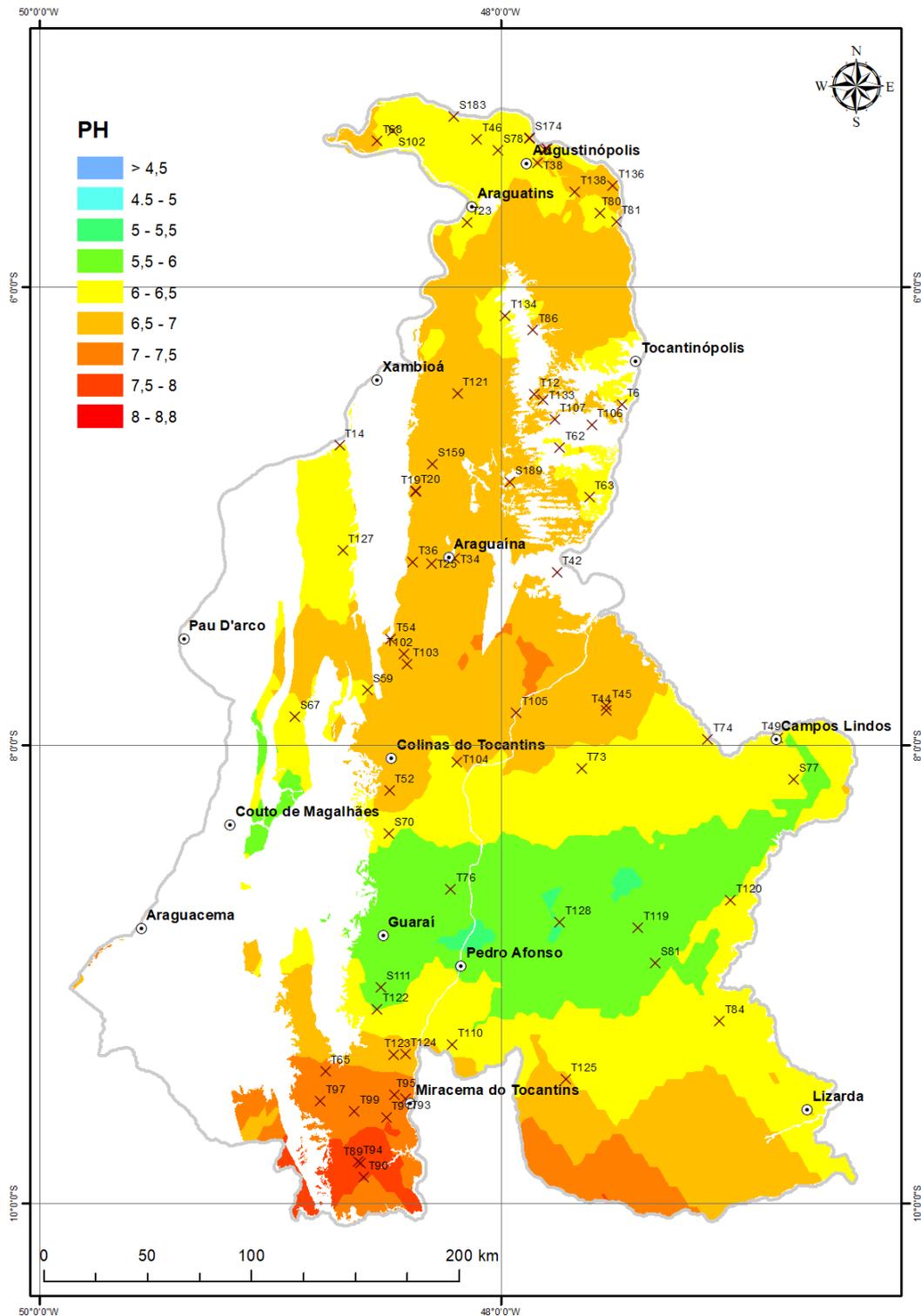
Essa situação foi a mesma ocorrida na região sudeste do Tocantins, como pode ser visto na Figura 12.

Quanto ao pH (potencial hidrogeniônico) que é uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água, varia entre 1 e 14, sendo 7 o valor de neutralidade e os valores inferiores a 7 indicando acidez da água e superiores a 7 indicando alcalinidade (ou basicidade) da água. Embora esses valores não estejam contemplados na resolução CONAMA nº 396/2008, recomenda-se que o intervalo mais saudável para o consumo humano seja entre 5 e 9.

A Figura 14 mostra a distribuição em mapa dos pH das águas subterrâneas da região estudada.

Nas águas subterrâneas da RCN-TO, 57% apresentaram valores abaixo de 7, inclusive três amostras apresentaram valores inferiores a 5, revelando serem essas águas, predominantemente ácidas.

No que se refere a qualidade da água para irrigação, a comparação com as águas dos aquíferos porosos da região sudeste do Tocantins, permite extrapolar os índices do Diagrama de Riverside do USSL para a região em estudo.



**Figura 14.** Mapa de pH dos aquíferos porosos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

O Diagrama de Riverside do USSL na região sudeste apresentou a configuração apresentada na Figura 15 a seguir.

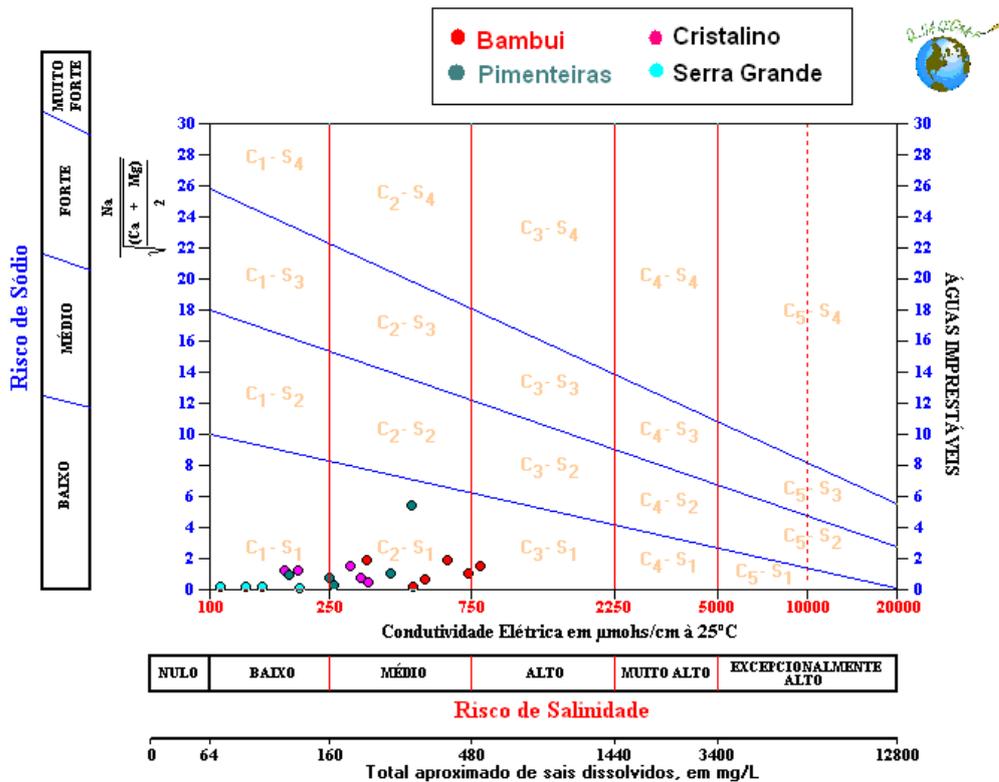


Figura 15. Diagrama de Riverside do USSL para a classificação de Águas para irrigação.

Fonte: Costa et al. (2010).

Os índices de condutividade (C) e salinidade (S), do Diagrama de Riverside têm os seguintes significados:

- C<sub>1</sub>** - águas de baixa salinidade, condutividade elétrica compreendida entre 100 e 250  $\mu\text{S/cm}$  (sólidos dissolvidos entre 64 e 160 mg/L). Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, em quase todos os solos, com baixo risco de incidentes quanto à salinização do solo, salvo se a sua permeabilidade for extremamente baixa.
- C<sub>2</sub>** - águas de salinidade média, condutividade compreendida entre 250 e 750  $\mu\text{S/cm}$  (sólidos dissolvidos entre 160 a 480 mg/L). Podem ser utilizadas com precaução, preferencialmente em solos silticoarenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, na maioria dos casos, sem perigo.
- C<sub>3</sub>** - águas de elevada salinidade, condutividade entre 750 e 2.250  $\mu\text{S/cm}$  (STD entre 480 e 1440 mg/L). Somente podem ser utilizadas em solos bem drenados e apenas com culturas de alta tolerância salina.
- C<sub>4</sub>** - águas de salinidade muito alta, com condutividade entre 2.250 e 5.000  $\mu\text{S/cm}$  (STD entre 1.440 e 3.200 mg/L). Geralmente não servem para irrigação, todavia podem ser excepcionalmente utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Apenas as culturas de altíssima tolerância salina podem



ser irrigadas.

- C<sub>5</sub>** - águas de salinidade extremamente alta, condutividade entre 5.000 e 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (STD entre 3.200 e 12.800 mg/L). São águas utilizáveis em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados, sobretudo aqueles com condutividade acima de 10.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- S<sub>1</sub>** - águas fracamente sódicas, podendo ser utilizadas para quase todos os solos com baixo risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Prestam-se ao cultivo de quase todas as culturas.
- S<sub>2</sub>** - águas medianamente sódicas, apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e elevada capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica e com boa permeabilidade.
- S<sub>3</sub>** - águas altamente sódicas. Há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo nos solos gípsíferos. Exigem tratamento especial do solo (boa drenagem, lixiviação e presença de matéria orgânica) e podem ser utilizados em culturas com alta tolerância ao sódio.
- S<sub>4</sub>** - águas extremamente sódicas, geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global for fraca ou pelo menos média. Podem ser aplicados em solos altamente drenáveis, ricos em carbonatos.

Assim, sugere-se que as águas dos aquíferos livres possuam índices de C1-S1 em sua grande maioria, podendo chegar, em algumas situações, ao índice C2-S1. Enquanto isso, as águas dos mesmos aquíferos na condição de confinado (aquíferos Poti, Piauí e Sambaíba) esses índices podem chegar até C3-S1 e C3-S2.

## 2.8. Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos Porosos

No Quadro 19 é apresentado um resumo das classes de vulnerabilidade encontrada na região estudada.

**Quadro 19.** Resumo das classes de vulnerabilidade encontradas na área

Classe	Número	% total
Negligível (ou Desprezível)	12	14,29
Baixo	28	33,33
Moderado	17	20,24
Alto	20	23,81
Extremo	7	8,33
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Observando o Quadro 19 entendem-se melhor os dados resumidos de classes de vulnerabilidade. Com efeito, essa classe correspondem a:

- Aquíferos confinados: classes baixa a negligível



- Aquíferos semi-confinados: classe moderada
- Aquíferos livres: classes alta a extrema

Essa correlação entre o modo de ocorrência com a classe de vulnerabilidade é plenamente justificável, uma vez que os aquíferos livres, sobretudo os que apresentam nível estático próximo à superfície, estão muito mais sujeitos à contaminação, ou seja, são muito mais vulneráveis, ao contrário daqueles que estão protegidos por camadas semipermeáveis (aquitardes) ou impermeáveis (aquicludes) que lhes estão sobrepostos.

A Figura 16 mostra em mapa a distribuição desses índices de vulnerabilidade, para uma melhor visão espacial. Essa espacialização também está contida no *Apêndice III. Mapa de Avaliação da Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação dos Aquíferos na Região Centro-Norte do Estado do Tocantins* do DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO.

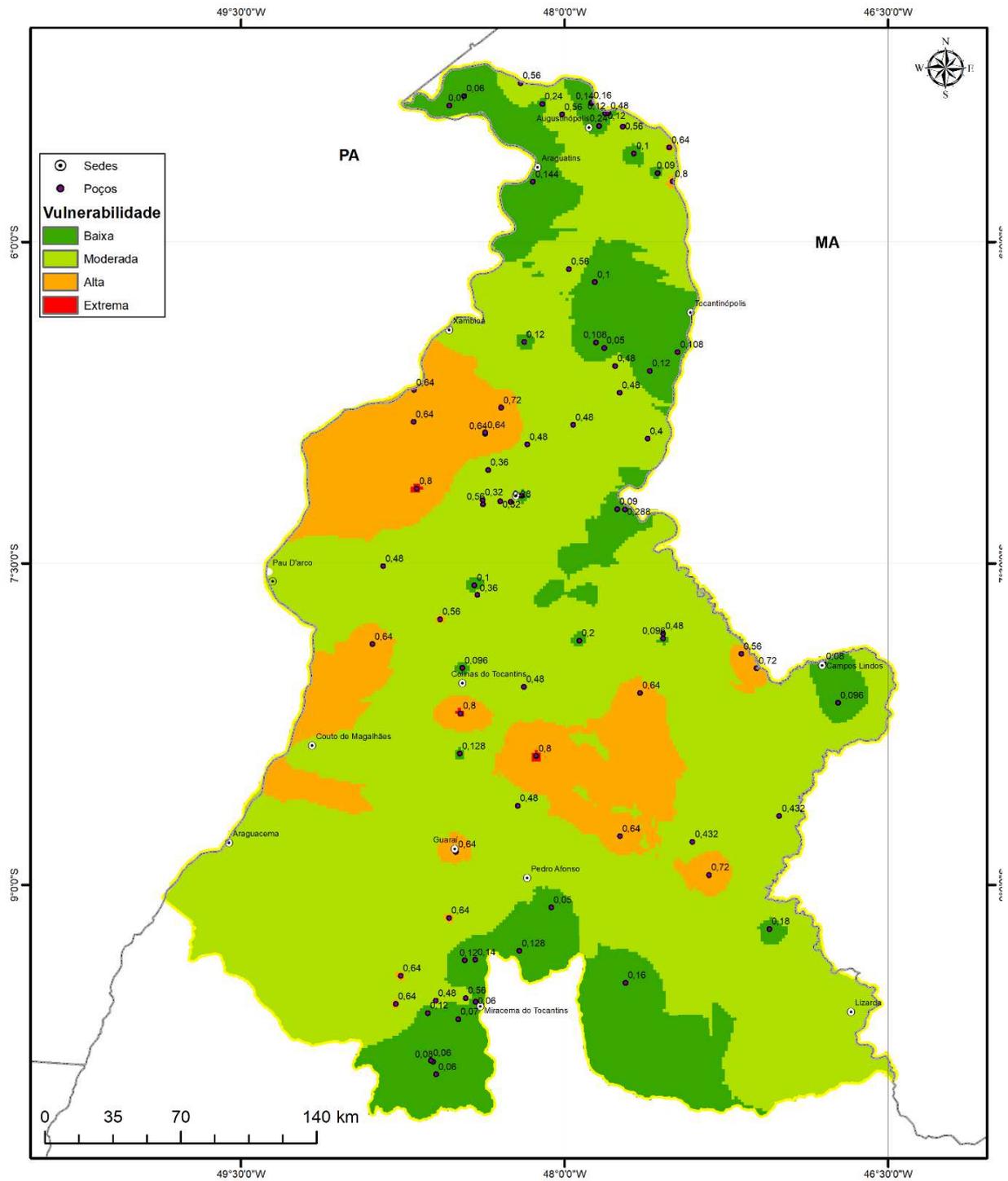


Figura 16. Distribuição em mapa das classes de vulnerabilidade

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

**Quadro 20.** Avaliação dos índices de vulnerabilidade e das respectivas classes de vulnerabilidade

Numeração		Município	Coordenadas UTM		Aquífero explorado	Situação do aquífero	Litologia de aquíferos e aquíclides	Profundid. do N.E. (m)	Parâmetros do GOD			Índice de vulnerabilidade	
Trímil	Siagas		E	N					G	O	D	Valor	Classe
T6		Aguiarnópolis	9.279.263	23M 226.230	Sambaíba	Confinado	rochas vulcânicas	35,00	0,2	0,9	0,6	0,11	Baixo
T12		Angico	9.284.020	23M 184.336	Sambaíba	Confinado	rochas vulcânicas	42,00	0,2	0,9	0,6	0,11	Baixo
T13		Aragominas	9.243.315	22M 754.194	Rio das Barreiras	Livre		5,13	0,8		0,8	0,64	Alto
T14		Aragominas	9.259.787	22M 754.513	Rio das Barreiras	Livre		8,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T19		Araguanã	9.237.032	22M 790.903	Pimenteiras	Livre		5,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T20		Araguanã	9.237.616	22M 790.864	Pimenteiras	Livre		8,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T23		Araguatins	9.367.052	22M 816.105	Sambaíba	Confinado	rochas vulcânicas	8,00	0,2	0,9	0,8	0,14	Baixo
T25		Araguaína	9.202.011	22M 798.430	Pedra de Fogo	Semi-confinado		5,00	0,4		0,8	0,32	Moderado
T30		Araguaína	9.200.568	22M 789.492	Rio das Barreiras	Livre		11,00	0,8		0,7	0,56	Alto
T32		Araguaína	9.201.780	22M 803.686	Pedra de Fogo	Semi-confinado		10,00	0,4		0,7	0,28	Baixo
T34		Araguaína	9.204.777	22M 809.415	Sambaíba	Confinado	rochas vulcânicas	21,00	0,2	0,9	0,6	0,11	Baixo
T36		Araguaína	9.202.816	22M 789.335	Longá	Semi-confinado		7,00	0,4		0,8	0,32	Moderado
T38		Augustinópolis	9.395.860	23M 185.218	Corda	Semi-Confinado		15,00	0,4		0,6	0,24	Baixo
T42		Babaçulândia	9.197.960	23M 195.676	Sambaíba	Confinado	rochas	0,00	0,1	0,9	1,0	0,09	Negligível



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Aquífero explorado	Situação do aquífero	Litologia de aquíferos e aquíferos	Profundid. do N.E. (m)	Parâmetros do GOD			Índice de vulnerabilidade	
Trímil	Siagas		E	N					G	O	D	Valor	Classe
							vulcânicas						
T43		Babaçulândia	9.197.739	23M 199.625	Sambaíba	Semi-confinado	rochas vulcânicas	8,00	0,4	0,9	0,8	0,29	Baixo
	S59	Bandeirantes do Tocantins	9.141.272	22M 767.294	Rio das Barreiras	Livre		16,00	0,8		0,7	0,56	Alto
T44		Barra do Ouro	9.131.318	23M 219.556	Piauí	Confinado	arenitos silicificados	37,00	0,2	0,8	0,6	0,10	Baixo
T45		Barra do Ouro	9.133.811	23M 219.634	Piauí	Livre		21,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
	S67	Bernardo Sayão	9.128.640	22M 732.637	Rio das Barreiras	Livre		6,00	0,8		0,8	0,64	Alto
	S70	Brasilândia do Tocantins	9.071.845	22M 776.889	Piauí	Confinado	arenitos silicificados	8,00	0,2	0,8	0,8	0,13	Baixo
T46		Buriti do Tocantins	9.407.235	22M 821.113	Corda	Semi-confinado		26,00	0,4		0,6	0,24	Baixo
T49		Campos Lindos	9.118.711	23M 301.776	Piauí	Confinado	arenitos silicificados	0,00	0,1	0,8	1,0	0,08	Negligível
	S77	Campos Lindos	9.098.523	23M 309.153	Piauí	Confinado	arenitos silicificados	35,00	0,2	0,8	0,6	0,10	Baixo
T50		Carmolândia	9.218.216	22M 792.262	Longá	Semi-confinado		5,00	0,4		0,9	0,36	Moderado
	S78	Carrasco bonito	9.401.692	22M 831.270	Itapecuru	Livre		10,00	0,8		0,7	0,56	Alto
	S81	Centenario	9.009.369	23M 243.702	Poti-Piauí	Livre		3,00	0,8		0,9	0,72	Extremo
T52		Colinas do Tocantins	9.092.644	22L 777.401	Poti	Livre		0,00	0,8		1,0	0,80	Extremo
T54		Colinas do	9.116.026	22M 778.485	Piauí	Confinado	arenitos	20,00	0,2	0,8	0,6	0,10	Baixo



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Aquífero explorado	Situação do aquífero	Litologia de aquíferos e aquíferos	Profundid. do N.E. (m)	Parâmetros do GOD			Índice de vulnerabilidade	
Trímil	Siagas		E	N					G	O	D	Valor	Classe
		Tocantins					silicificados						
T62		Darcinópolis	9.258.113	23M 196.632	Sambaíba	Livre		45,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
T63		Darcinópolis	9.234.444	22M 211.046	Sambaíba	Livre		55,00	0,8		0,5	0,40	Moderado
T65		Dois Irmãos do Tocantins	8.957.263	22L 746.098	Pimenteiras	Livre		7,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T68		Esperantina	9.406.609	22M 773.286	Corda	Confinado	argilitos e siltitos	15,00	0,2	0,5	0,7	0,07	Negligível
	S102	Esperantina	9.411.489	22M 780.893	Corda	Confinado	argilitos e siltitos	20,40	0,2	0,5	0,6	0,06	Negligível
T72		Goiatins	9.123.539	23M 259.636	Piauí	Livre		12,00	0,8		0,7	0,56	Alto
T73		Goiatins	9.103.078	23L 207.975	Poti-Piauí	Livre		5,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T74		Goiatins	9.116.163	23M 267.404	Piauí	Livre		2,00	0,8		0,9	0,72	Extremo
T76		Guaraí	9.044.739	22L 806.385	Aq.aluvial	Livre		28,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
T77		Guaraí	9.021.035	22L 774.580	Pimenteiras	Livre		7,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T80		Itaguatins	9.371.656	23M 215.534	Corda	Confinado	argilitos e siltitos	4,00	0,2	0,5	0,9	0,09	Negligível
T81		Itaguatins	9.367.362	23M 223.204	Sambaíba	Confinado		0,00	0,8		1,0	0,80	Extremo
T84		Lizarda	8.981.536	23L 274.656	Piauí/Poti	Semi-confinado	rochas vulcânicas	55,00	0,4	0,9	0,5	0,18	Baixo
T86		Luzinópolis	9.315.175	23M 183.501	Sambaíba	Confinado		58,00	0,2		0,5	0,10	Baixo
T89		Miracema do Tocantins	8.912.693	22L 762.246	Pimenteiras / S. Grande	Semi-confinado	argilitos e siltitos	8,00	0,2	0,5	0,8	0,08	Negligível



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Aquífero explorado	Situação do aquífero	Litologia de aquíferos e aquícludes	Profundid. do N.E. (m)	Parâmetros do GOD			Índice de vulnerabilidade	
Trhímil	Siagas		E	N					G	O	D	Valor	Classe
T90		Miracema do Tocantins	8.906.188	22L 763.808	Pimenteiras / S. Grande	Semi-confinado	argilitos e siltitos	27,00	0,2	0,5	0,6	0,06	Negligível
T91		Miracema do Tocantins	8.934.606	22L 775.175	Pimenteiras / S. Grande	Semi-confinado	argilitos e siltitos	15,00	0,2	0,5	0,7	0,07	Negligível
T93		Miracema do Tocantins	8.943.582	22L 784.143	Pimenteiras / S. Grande	Semi-confinado	argilitos e siltitos	25,00	0,2	0,5	0,6	0,06	Negligível
T94		Miracema do Tocantins	8.913.439	22L 761.136	Pimenteiras / S. Grande	Semi-confinado	argilitos e siltitos	23,00	0,2	0,5	0,6	0,06	Negligível
T95		Miracema do Tocantins	8.945.538	22L 779.019	Poti	Livre		15,00	0,8		0,7	0,56	Alto
T97		Miranorte	8.942.760	22L 743.503	Pimenteiras	Livre		8,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T98		Miranorte	8.944.258	22L 763.874	Pimenteiras	Livre		45,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
T99		Miranorte	8.937.929	22L 759.683	Pimenteiras / S. Grande	Semi-confinado	argilitos e siltitos	32,00	0,4	0,5	0,6	0,12	Baixo
T102		Nova Olinda	9.158.710	22M 784.926	Piauí	Confinado		1,00	0,1		1,0	0,10	Baixo
T103		Nova Olinda	9.153.828	22M 786.401	Poti-Piauí	Semi-confinado		4,00	0,4		0,9	0,36	Moderado
T104		Palmeirante	9.106.132	22L 809.917	Piauí	Livre		21,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
T105		Palmeirante	9.129.912	23M 176.690	Poti	Confinado		0,00	0,2		1,0	0,20	Baixo
T106		Palmeiras do Tocantins	9.269.431	23M 211.999	Sambaíba	Confinado		35,00	0,2		0,6	0,12	Baixo
T107		Palmeiras do Tocantins	9.271.869	23M 194.093	Sambaíba	Livre		35,00	0,8		0,6	0,48	Moderado



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Aquífero explorado	Situação do aquífero	Litologia de aquíferos e aquícluses	Profundid. do N.E. (m)	Parâmetros do GOD			Índice de vulnerabilidade	
Trímil	Siagas		E	N					G	O	D	Valor	Classe
T108		Pau D'Arco	9.168.874	22M 738.319	Rio das Barreiras	Livre		45,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
T110		Pedro Afonso	8.969.747	22L 806.600	Piauí	Confinado	arenitos compactos	5,50	0,2	0,8	0,8	0,13	Baixo
T111		Pedro Afonso	8.992.058	22L 823.021	Pimenteiras / S. Grande	Confinado	argilitos e siltitos	0,00	0,1	0,5	1,0	0,05	Negligível
T113		Piraquê	9.231.352	22M 812.404	Sambaíba	Livre		35,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
	S159	Piraquê	9.250.391	22M 799.090	Poti-Piauí	Livre		4,00	0,8		0,9	0,72	Extremo
T115		Praia Norte	9.402.482	23M 189.890	Corda	Confinado		25,00	0,2		0,6	0,12	Baixo
T116		Praia Norte	9.395.588	23M 197.432	Itapecuru	Livre		18,00	0,8		0,7	0,56	Alto
T117	11	Praia Norte	9.402.380	23M 188.487	Corda	Semi-confinado	argilitos e siltitos	27,00	0,4	0,5	0,6	0,12	Baixo
T118		Praia Norte	9.402.617	23M 189.927	Corda	Livre		25,00	0,8		0,6	0,48	Moderado
T119		Recursolândia	9.026.376	23L 235.238	Poti-Piauí	Livre	Calcários	30,00	0,8	0,9	0,6	0,43	Moderado
T120		Recursolândia	9.039.913	23L 279.432	Poti-Piauí	Livre	Calcários	42,00	0,8	0,9	0,6	0,43	Moderado
T121		Riachinho	9.284.235	22M 811.124	Piauí	Confinado		45,00	0,2		0,6	0,12	Baixo
T122		Rio dos Bois	8.987.011	22L 770.903	Poti-Piauí	Livre		7,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T123		Rio dos Bois	8.965.055	22L 778.786	Pimenteiras	Confinado		25,00	0,2		0,6	0,12	Baixo
T124		Rio dos Bois	8.965.314	22L 784.133	Pimenteiras	Confinado		15,00	0,2		0,7	0,14	Baixo
T125		Rio Sono	8.953.240	23L 201.590	Sambaíba	Confinado		7,00	0,2		0,8	0,16	Baixo
	S173	Sampaio	9.407.486	23L 181.296	Corda	Confinado		13,00	0,2		0,7	0,14	Baixo
	S174	Sampaio	9.407.762	23L 181.347	Corda	Confinado		5,80	0,2		0,8	0,16	Baixo



Numeração		Município	Coordenadas UTM		Aquífero explorado	Situação do aquífero	Litologia de aquíferos e aquíclúdes	Profundid. do N.E. (m)	Parâmetros do GOD			Índice de vulnerabilidade	
Trímil	Siagas		E	N					G	O	D	Valor	Classe
T127		Santa Fé do Araguaia	9.208.847	22M 755.744	Rio das Barreiras	Livre		0,00	0,8		1,0	0,80	Extremo
T128		Santa Maria do Tocantins	9.029.020	23L 198.220	Poti-Piauí	Livre		7,00	0,8		0,8	0,64	Alto
T133		Santa Teresinha do Tocantins	9.281.179	23M 188.534	Sambaíba	Confinado	argilitos e siltitos	91,00	0,2	0,5	0,5	0,05	Negligível
T134		São Bento do Tocantins	9.321.885	23M 170.187	Sambaíba	Livre		15,00	0,8		0,7	0,56	Alto
T136		São Miguel do Tocantins	9.384.900	23M 221.353	Itapecuru	Livre		5,00	0,8		0,8	0,64	Alto
	S183	São Sebastião do Tocantins	9.418.027	22M 810.010	Itapecuru	Livre		12,00	0,8		0,7	0,56	Alto
T138		Sítio Novo do Tocantins	9.381.770	23M 203.229	Sambaíba	Confinado		55,00	0,2		0,5	0,10	Baixo
	S188	Tupiratins	9.070.323	22M 815.916	Pimenteiras	Livre		1,00	0,8		1,0	0,80	Extremo
	S189	Wanderlândia	9.241.341	23M 172.776	Sambaíba	Livre		29,00	0,8		0,6	0,48	Moderado

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)



## 2.9. Zoneamento de Exploração dos Aquíferos

A seguir, serão apresentadas as características das zonas e subzonas identificadas na RCN-TO.

### 2.9.1. Zona “A”

Identificação da Zona: A

Localização na área: Abrange parte dos municípios de Aragominas, Muricilândia, Araguaína, Pau D’Árco, Arapoema, Bernardo Sayão, Juarina, Pequizeiro e Couto Magalhães.

Disposição regional: Ocupa uma faixa que se desenvolve na direção norte-sul, desde o município de Aragominas até o município de Couto Magalhães, com aproximadamente 200 km de extensão x 22 km de largura.

Aquífero: Rio das Barreiras.

Situação do aquífero: Livre.

Área total de ocorrência: 4.716,18 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 80 a 100 m

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 14,19 m; Vazão: 52,48 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 13,08 m

Qualidade da água: STD (médio) = 30,33 mg/L (muito boa)

Característica de poço recomendado: Poço tipo 1

Espaçamento para outro poço: 100,00 m

Vazão máxima diária a ser outorgada: 600,00 m<sup>3</sup>/dia

### 2.9.2. Zona “B1”- Aquífero Corda Confinado pelos Aquitardes Itapecuru e Codó

Identificação da Zona: B1

Localização na área: Localiza-se no extremo norte da região, nos municípios de São Sebastião do Tocantins, Esperantina, Buriti do Tocantins, Carrasco Bonito, Augustinópolis, Praia Norte, São Miguel do Tocantins, Axixá do Tocantins e Sítio Novo do Tocantins.

Disposição regional: Dispõe-se numa faixa de direção WNW-ESSE, desde o município de Esperantina até o município de Sítio Novo do Tocantins, com aproximadamente 150 km de extensão x 20 km de largura

Aquífero: O aquífero explorado é o Corda que ocorre sob o aquitarde Itapecuru e aquíclode Codó



Situação do aquífero: Confinado

Área total de ocorrência: 3.795,05 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 100,00 m

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 20,00 m; Vazão: 25,00 m<sup>3</sup>/h;  
Rebaixamento: 46,00 m

Qualidade da água: STD (médio) = 180,00 mg/L

Característica de poço recomendado: Poço tipo 3

Espaçamento para outro poço: 200,00 m

Vazão máxima diária a ser outorgada: 300 m<sup>3</sup>/dia

### **2.9.3. Zona “B2” - Aquífero Corda na Condição de Livre, sobre o Basalto (Formação Mosquito)**

Identificação da Zona: B2

Localização na área: situa-se ao norte da área, abrangendo total ou parcialmente os municípios de Itaguatins, Maurilândia do Tocantins, Tocantinópolis, Cachoeirinha, Luzinópolis, Nazaré, Angico, Santa Terezinha do Tocantins, e Aguiarnópolis.

Disposição regional: apresenta o formato retangular com comprimento em torno de 80 km x 52 km de largura, iniciando-se em Itaguatins e indo até Aguiarnópolis

Aquífero: Corda

Situação do aquífero: Livre

Área total de ocorrência: 4.931,37 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 60,00 a 80,00 m

Dados hidráulicos do poço (médias): Não existem captações de água nessas condições

Qualidade da água: STD (médio) = ignorado

Característica de poço recomendado: poço tipo 1

Espaçamento para outro poço: 100,00 m

Vazão máxima diária a ser outorgada: considerando as características do aquífero, seria de: 300,00 m<sup>3</sup>/dia

### **2.9.4. Zona “C1” - Aquífero Sambaíba Livre**

Identificação da Zona: C1

Localização na área: Apresenta-se numa faixa de direção norte-sul, abrangendo total ou parcialmente os seguintes municípios: Araguatins, São Bento do



Tocantins, Ananás, Santa Terezinha do Tocantins, Angico, Wanderlândia e Babaçulândia

Disposição regional: apresenta como uma estreita faixa que se desenvolve de norte a sul, com 225 km de comprimento x 24,00 km de largura

Aquífero: Sambaíba

Situação do aquífero: Livre

Área total de ocorrência: 5.362,16 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 200,00 m

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 35,00 m; Vazão: 10,00 m<sup>3</sup>/h;  
Rebaixamento: 35,00 m

Qualidade da água: STD (médio) = 160,00 mg/L

Característica de poço recomendado: poço tipo 3

Espaçamento para outro poço: 100,00

Vazão máxima diária a ser outorgada: 600,00

### **2.9.5. Zona “C2” - Aquífero Sambaíba Confinado pelo Basalto (Formação Mosquito)**

Identificação da Zona: C2

Localização na área: situa-se ao norte da área, abrangendo total ou parcialmente os municípios de Aguiarnópolis, Palmeiras do Tocantins, Darcinópolis, Wanderlândia e Babaçulândia.

Disposição regional: apresenta o formato irregular com comprimento em torno de 30 km de extensão x 17 km de largura, iniciando-se em Aguiarnópolis e terminando em Babaçulândia

Aquífero: Sambaíba

Situação do aquífero: Confinado sob o basalto Mosquito

Área total de ocorrência: 3.101,47 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 200,00 m

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 35,00 m; Vazão: 10,00 m<sup>3</sup>/h;  
Rebaixamento: 35,00 m

Qualidade da água: STD (médio) = 160,00 mg/L

Característica de poço recomendado: poço tipo 4

Espaçamento para outro poço: 200,00 m

Vazão máxima diária a ser outorgada: 480,00



### **2.9.6. Zona “C3” - Aquífero Sambaíba Confinado pelo Basalto, com cobertura do Aquífero Corda (B2)**

Identificação da Zona: C3

Localização na área: situa-se ao norte da área, abrangendo total ou parcialmente os municípios de Itaguatins, Maurilândia do Tocantins, Tocantinópolis, Cachoeirinha, Luzinópolis, Nazaré, Angico, Santa Terezinha do Tocantins, e Aguiarnópolis.

Disposição regional: apresenta o formato retangular com comprimento em torno de 80 km de extensão x 52 km de largura, iniciando-se em Itaguatins e indo até Aguiarnópolis

Aquífero: Sambaíba

Situação do aquífero: confinado sob os basaltos da Formação Mosquito, sendo ainda recobertos pelo aquífero Corda.

Área total de ocorrência: 4.931,37 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 200,00 m

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 35,00 m; Vazão: 10,00 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 35,00

Qualidade da água: STD (médio) = 160,00 mg/L

Característica de poço recomendado: poço tipo 5

Espaçamento para outro poço: 200,00 m

Vazão máxima diária a ser outorgada: 480,00

### **2.9.7. Zona “D1” - Sistema Aquífero Poti Piauí**

Identificação da Zona: D1

Localização: Situa-se na região oriental, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Barra do Ouro, Goiatins, Campos Lindos, Itacajá, Recursolândia, Centenário e Lizarda

Disposição regional: Ocupa uma faixa de direção norte-sul, com aproximadamente 255 km de extensão x 98 km de largura

Aquífero: Sistema aquífero Poti/Piauí

Situação do aquífero: Livre ou semiconfinado

Área total de ocorrência: 22.756,94 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 350 a 400 m.

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 10,00 m; Vazão: 15,00 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 30,00



Qualidade da água: STD (médio) = 110,00 mg/L

Característica de poço recomendado: 3 (na situação de aquífero livre a 4 (na condição de semiconfinado - Sistema aquífero Poti/Piauí)

Espaçamento para outro poço: 100,00 (para o poço 3 e 200 para o poço 4.

Vazão máxima diária a ser outorgada: 600,00 m<sup>3</sup>/dia

### **2.9.8. Zona “D2” - Poti ou Piauí Confinado pelo Aquitarde Pedra de Fogo**

Identificação da Zona: D2

Localização na área: situa-se na porção oriental próximo a latitude de 8°Sul, perfazendo parcialmente os municípios de Filadélfia, Barra do Ouro, Campos Lindos e Lizarda (no extremo sul da área)

Disposição regional: ocupa uma faixa de direção NW-SE (na parte norte e NW-SW (na parte sul), com aproximadamente 204 km de comprimento por 34 km de largura, na área norte e 93 km de comprimento x 12 km de largura

Aquífero: Sistema aquífero Poti/Piauí, confinado pelo aquitarde Pedra de Fogo

Situação do aquífero: semiconfinado

Área total de ocorrência: 6.777,06 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 400,00 m

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 10,00 m; Vazão: 15,00 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 30,00

Qualidade da água: STD (médio) = 120 mg/L

Característica de poço recomendado: poço 4

Espaçamento para outro poço: 200,00 m

Vazão máxima diária a ser outorgada: 600,00 m<sup>3</sup>/dia

### **2.9.9. Zona “E” - Aquífero Urucua**

Identificação da Zona: E

Localização na área: Extremo sudeste da área, no município de Lizarda

Disposição regional: polígono quadrilátero, com aproximadamente 34 km na direção E-W x 25 km na direção N-S

Aquífero: Urucua

Situação do aquífero: Livre

Área total de ocorrência: 959,57 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: +/- 100,00 (não há poço nesse aquífero na área de estudo)



Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 20,00 m; Vazão: 22,00 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 25,00 (dados dos poços da região sudeste)

Qualidade da água: STD (médio) = 50 mg/L

Característica de poço recomendado: poço tipo 1

Espaçamento para outro poço: 100,00

Vazão máxima diária a ser outorgada: 240,00 m<sup>3</sup>/dia

(Observação: como não existe poço cadastrado nessa área, foram utilizados os dados dos poços no mesmo aquífero, na região sudeste do Tocantins)

### **2.9.10. Zona “F1” - Conjunto Marginal de Aquitardes e Aquíferos**

Identificação da Zona: F1

Localização na área: Ocupa uma faixa estreita de direção N-S, que se alarga um pouco para o sul, estando incluídos total ou parcialmente os seguintes municípios: São Bento do Tocantins (ao norte), Ananás, Riachinho, Piraquê, Carmolândia, Nova Olinda, Palmeirante, Brasilândia do Tocantins, Presidente Kennedy, Tupiratins, Tupirama, Rio dos Bois e Miracema do Tocantins (ao sul)

Disposição regional: Faixa alongada e estreita com direção norte-sul, possuindo cerca de 459 km de extensão x 42 km de largura

Aquífero: Alternância de aquíferos Cabeças, Poti e Piauí) e aquitardes (Pimenteiras - na base- Longá e Motuca - no topo)

Situação do aquífero: semiconfinado a confinado

Área total de ocorrência: 20.271,05 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: 100,00 a 300,00 m (média de 200,00 m)

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 20,00 m; Vazão: 5,00 a 50,00 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 60,00 m

Qualidade da água: STD (médio) = 80,00 mg/L

Característica de poço recomendado: poço tipo 2 e 3

Espaçamento para outro poço: 200,00

Vazão máxima diária a ser outorgada: 120,00 (em aquitardes) a 240,00 m<sup>3</sup>/dia (em aquíferos Cabeças ou Poti/Piauí)

### **2.9.11. Zona “F2” - Conjunto de Pimenteiras/Serra Grande**

Identificação da Zona: F2

Localização na área: localiza-se na região centro-sul da área estudada, envolvendo total ou parcialmente os seguintes municípios: Guarai, Goianorte, Dois



Irmãos do Tocantins, Miranorte, Barrolândia, Miracema do Tocantins, Pedro Afonso, Bom Jesus do Tocantins, Santa Maria do Tocantins e Tupiratins

Disposição regional: A área é um tanto irregular, constando de duas faixas de direção N-S, com bifurcação da faixa ocidental. A faixa ocidental possui cerca de 136km de extensão por 34 de largura, enquanto a faixa oriental, possui aproximadamente 170 km de extensão x 51 km de largura.

Aquífero: Serra Grande, sob o aquífero Pimenteiras

Situação do aquífero: confinado

Área total de ocorrência: 8.617,05 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: em torno de 100,00 m (sob 300,00 do aquífero Pimenteiras)

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.=15,00 m; Vazão: 6,50 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 55,00 m

Qualidade da água: STD (médio) = 120,00 mg/L

Característica de poço recomendado: poço nº 5

Espaçamento para outro poço: 200,00 m

Vazão máxima diária a ser outorgada: 480,00 m<sup>3</sup>/dia

### **2.9.12. Zona “G” - Rochas Cristalinas**

Identificação da Zona: G

Localização na área: Xambioá, Araguaia, Araguaia, Arapoema, Pequizeiros, Goianorte, Itaporã do Tocantins, Goianorte, Colmeia, Araguacema, Dois Irmãos do Tocantins, Abreulândia, Fortaleza do Tabocão.

Disposição regional: Faixa de direção norte-sul que se alarga mais para o sul, onde chega a alcançar a largura de 136 km;

Aquífero: Fissural

Situação do aquífero: livre

Área total de ocorrência: 24.287,73 km<sup>2</sup>

Espessura da camada aquífera: não mensurável

Dados hidráulicos do poço (médias): N.E.= 8,50 m; Vazão: 10,0 m<sup>3</sup>/h; Rebaixamento: 55,00 m.

Qualidade da água: STD (médio) = 80,00 mg/L

Característica de poço recomendado: Tipo 1

Espaçamento para outro poço: 100,00 m



Vazão máxima diária a ser outorgada: 120,00 m<sup>3</sup>/dia

Deixou de ser incluída na zona G os vulcanitos da Formação Mosquito ao norte, uma vez que os poços perfurados nesse aquífero fraturado tiveram o objetivo de apenas captar o aquífero Sambaíba abaixo desse derrame basáltico.

O Quadro 21 apresenta o resumo das características explotáveis e condições de uso de cada zona mapeadas na RCN-TO.

A Figura 17 mostra o Zoneamento Explotável da RCN-TO, bem como o *Apêndice IV. Mapa de Zoneamento Explotável da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins* do DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO.

Informa-se que houve a cartografia das zonas B2 e C3 de forma híbrida, pelo fato de coexistirem naquela área simultaneamente os aquíferos Corda (B2) na condição de livre e o aquífero Sambaíba (C3) na condição de confinado, separados por basaltos da Formação Mosquito.

.

**Quadro 21.** Resumo das características explotáveis e condições de uso de cada zona

Zona	Municípios	Aquífero	Características do aquífero explotado				Condições de uso	
			Condição de pressão	Espessura da camada (m)	Profund. média do N.E. (m)	Resíduo Seco médio (mg/L)	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /dia)	Distância entre os poços (m)
<b>A</b>	Aragominas, Araguaína, Araguaianã, Arapoema, Bandeirantes do Tocantins, Bernardo Sayão, Couto de Magalhães, Juarina, Muricilândia, Nova Olinda, Pau d'Arco, Pequizeiro, Santa Fé do Araguaia	Rio das Barreiras	Livre	80,00 a 100,00	14,39	30,00	600,00	100,00
<b>B1</b>	Araguatins, Augustinópolis, Axixá do Tocantins, Buriti do Tocantins, Carrasco Bonito, Esperantina, Itaguatins, Praia Norte, Sampaio, São Bento do Tocantins, São Miguel do Tocantins, São Sebastião do Tocantins, Sítio Novo do Tocantins	Corda	Confinado	100,00	20,00	180,00	300,00	200,00
<b>B2</b>	Aguiarnópolis, Angico, Araguatins, Augustinópolis, Cachoeirinha, Darcinópolis, Esperantina, Itaguatins, Luzinópolis, Maurilândia do Tocantins, Nazaré, Palmeiras do Tocantins, Santa Terezinha do Tocantins, São Bento do Tocantins, São Miguel do Tocantins, Sítio Novo do Tocantins, Tocantinópolis	Corda	Livre	60,00 a 80,00	Sem dados	Sem dados	300,00	100,00



Zona	Municípios	Aquífero	Características do aquífero explorado				Condições de uso	
			Condição de pressão	Espessura da camada (m)	Profund. média do N.E. (m)	Resíduo Seco médio (mg/L)	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /dia)	Distância entre os poços (m)
C1	Ananás, Angico, Araguaína, Araguatins, Babaçulândia, Cachoeirinha, Darcinópolis, Filadélfia, Lizarda, Luzinópolis, Nazaré, Nova Olinda, Palmeirante, Piraquê, Riachinho, São Bento do Tocantins, Wanderlândia	Sambaíba	Livre	200,00	35,00	160,00	600,00	100,00
C2	Aguiarnópolis, Ananás, Angico, Araguaína, Araguatins, Babaçulândia, Cachoeirinha, Darcinópolis, Filadélfia, Luzinópolis, Nazaré, Palmeiras do Tocantins, Riachinho, Santa Terezinha do Tocantins, São Bento do Tocantins, Tocantinópolis, Wanderlândia	Sambaíba	Confinado	200,00	35,00	160,00	480,00	100,00
C3	Aguiarnópolis, Angico, Araguatins, Augustinópolis, Cachoeirinha, Darcinópolis, Esperantina, Itaguatins, Luzinópolis, Maurilândia do Tocantins, Nazaré, Palmeiras do Tocantins, Santa Terezinha do Tocantins, São Bento do Tocantins, São Miguel do Tocantins, Sítio Novo do Tocantins, Tocantinópolis	Sambaíba	Confinado	200,00	35,00	160,00	480,00	100,00

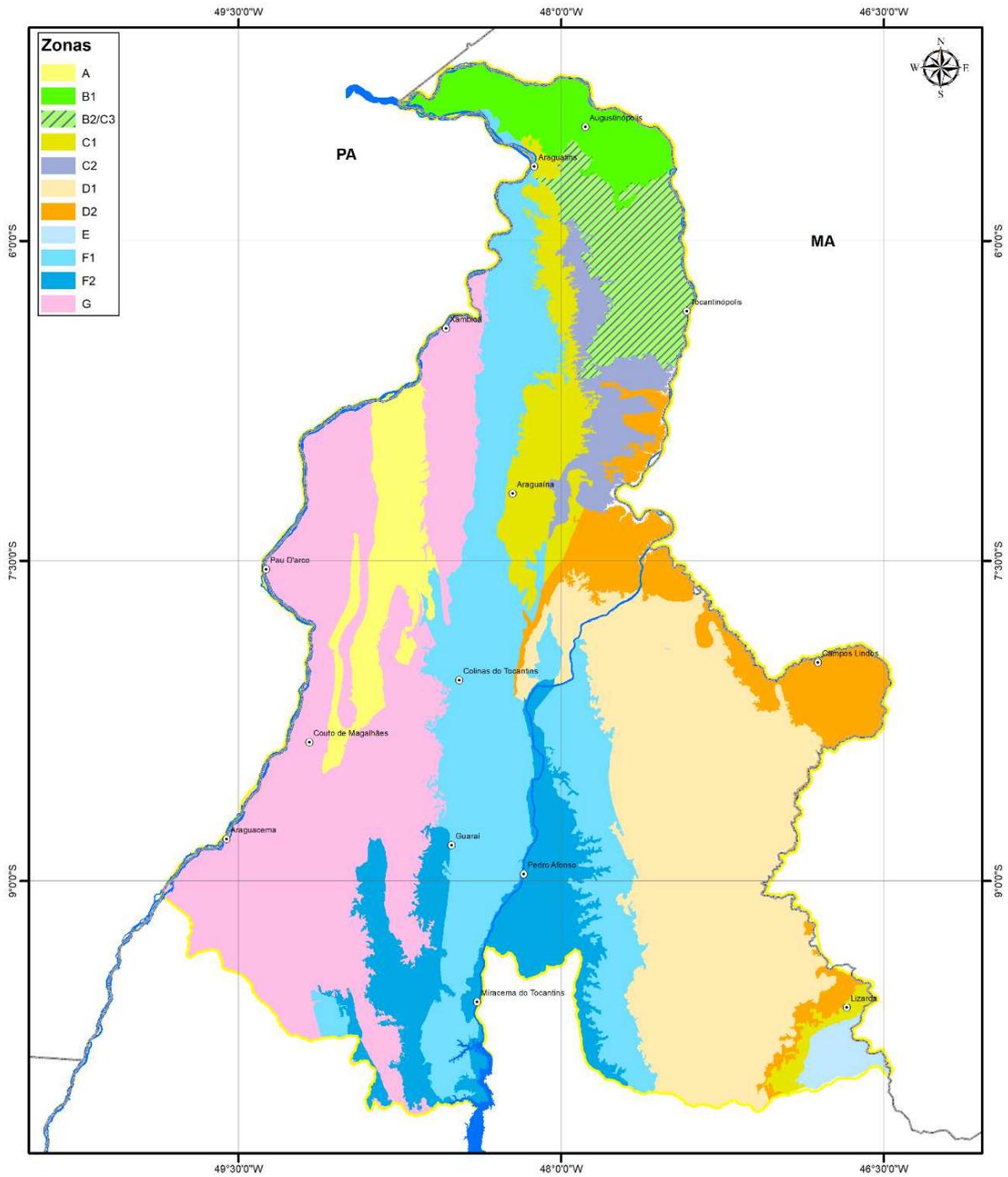


Zona	Municípios	Aqüífero	Características do aquífero explorado				Condições de uso	
			Condição de pressão	Espessura da camada (m)	Profund. média do N.E. (m)	Resíduo Seco médio (mg/L)	Vazão máxima (m³/dia)	Distância entre os poços (m)
D1	Barra do Ouro, Bom Jesus do Tocantins, Campos Lindos, Centenário, Filadélfia, Goiatins, Itacajá, Lizarda, Palmeirante, Pedro Afonso, Recursolândia, Rio Sono, Santa Maria do Tocantins	Sistema Poti/Piauí	Livre	350,00 a 400,00	10,00	110,00	600,00	100,00
D2	Babaçulândia, Barra do Ouro, Campos Lindos, Darcinópolis, Filadélfia, Goiatins, Lizarda, Nova Olinda, Palmeirante, Palmeiras do Tocantins, Recursolândia	Sistema Poti/Piauí	Confinado	400,00	10,00	120,00	600,00	200,00
E	Lizarda	Urucuia	Livre	100,00	20,00	50,00	240,00	100,00
F1	Abreulândia, Ananás, Angico, Araguaína, Araguaianã, Araguatins, Bandeirantes do Tocantins, Barra do Ouro, Barrolândia, Bom Jesus do Tocantins, Brasilândia do Tocantins, Campos Lindos, Carmolândia, Centenário, Colinas do Tocantins, Darcinópolis, Dois Irmãos do Tocantins, Filadélfia, Fortaleza do Tabocão, Goiatins, Guarai, Itacajá, Itapiratins, Miracema do Tocantins, Miranorte, Nova Olinda, Palmeirante, Pau d'Arco, Pedro Afonso, Piraquê, Presidente Kennedy, Recursolândia, Riachinho, Rio dos Bois, Rio Sono, Santa Maria do Tocantins, São Bento do Tocantins, Tupirama, Tupiratins, Wanderlândia, Xambioá	Corda, Poti e Piauí	Semi - confinado	100,00 a 300,00	20,00	80,00	120,00 a 240,00	200,00



Zona	Municípios	Aqüífero	Características do aquífero explorado				Condições de uso	
			Condição de pressão	Espessura da camada (m)	Profund. média do N.E. (m)	Resíduo Seco médio (mg/L)	Vazão máxima (m³/dia)	Distância entre os poços (m)
F2	Abreulândia, Barrolândia, Bom Jesus do Tocantins, Colmeia, Dois Irmãos do Tocantins, Fortaleza do Tabocão, Goianorte, Guaraí, Itacajá, Itapiratins, Miracema do Tocantins, Miranorte, Palmeirante, Pedro Afonso, Rio dos Bois, Rio Sono, Santa Maria do Tocantins, Tupirama, Tupiratins	Serra Grande	Confinado	100,00	15,00	120,00	480,00	200,00
G1	Abreulândia, Ananás, Aragominas, Araguacema, Araguaína, Araguañã, Arapoema, Bandeirantes do Tocantins, Barrolândia, Bernardo Sayão, Brasilândia do Tocantins, Carmolândia, Colinas do Tocantins, Colmeia, Couto de Magalhães, Dois Irmãos do Tocantins, Fortaleza do Tabocão, Goianorte, Guaraí, Itaporã do Tocantins, Juarina, Miracema do Tocantins, Miranorte, Muricilândia, Nova Olinda, Pau d'Arco, Pequizeiro, Piraquê, Presidente Kennedy, Riachinho, Rio dos Bois, Santa Fé do Araguaia, Xambioá	Fissural	Livre	indefinida	8,50	80,00	120,00	100,00

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



**Figura 17.** Mapa de Zoneamento Explotável da região Centro-Norte do Tocantins.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



### 3 HIDROGEOLOGIA DOS AQUÍFEROS FISSURAIS

#### 3.1. Identificação e Cadastramento da Rede de Monitoramento

No relatório técnico ESCOLHA DA REDE DE MONITORAMENTO / CADASTRAMENTO DOS POÇOS DA REDE / INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE AQUÍFEROS / POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS LIVRES foi feita uma descrição do cadastramento dos poços da rede de monitoramento, que constou de 124 poços, dos quais apenas 102 possuíam condições de coleta de água para análises químicas. Desses 102 poços 70% correspondiam aos aquíferos porosos e 30% aos aquíferos fissurais, conforme especificação do Termo de Referência que norteou a elaboração do estudo.

No *Apêndice I. Cadastro dos Poços da Rede de Monitoramento* do relatório técnico ESCOLHA DA REDE DE MONITORAMENTO / CADASTRAMENTO DOS POÇOS DA REDE / INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE AQUÍFEROS / POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS LIVRES está disponível o cadastro da rede de monitoramento, que representou a base para os estudos hidrogeológicos efetuados.

#### 3.2. Caracterização dos Aquíferos Fissurais

Os aquíferos fissurais são representados pelas rochas cristalinas e cristalofílicas descritas no capítulo 3 e sintetizados no Quadro 22.

**Quadro 22.** Unidades litológicas do embasamento cristalino

Nome da formação	Área (km <sup>2</sup> )	Litologia
Suíte Granítica Matança	2,38	Granitos
Suíte Santa Luzia	254,85	Granitos e granodioritos
Granitos Presidente Kennedy	109,79	Granodiorito e monzogranito
Suíte Monte Santo	26,41	Sienito
Granito Ramal do Lontra	5,21	Monzogranito
Formação Couto Magalhães	8.322,27	Filitos, ardósias, xistos e quartzitos
Formação Pequizeiro	3.481,34	Xistos
Complexo Santo Agostinho		Harzburgito e basalto
Suíte Guaripuru	432,18	Serpentinitos
Suíte Gabróica Xambioá	6.895,26	Xistos
Associação Serra do Tapa	13,89	Serpentinitos, metabasaltos, xistos e quartzitos
Formação Morro do Campo	913,63	Quartzo e xisto
Gnaiss Cantão	220,95	Gnaisses
Complexo Rio dos Mangues	42,77	Gnaisses e micaxistos
Complexo Colmeia	583,14	Ortognaisse

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

O total dessas unidades litológicas do embasamento cristalino perfaz uma área de 21.306 km<sup>2</sup>. Além dessas unidades de idade Arqueana e Proterozóica, existe ainda a



Formação Mosquito de idade Jurássico que ocorre no norte da área numa área de 3.740,64 km<sup>2</sup> representada por derrames basálticos que ocorrem sobre a Formação Sambaíba e recobertos pela Formação Corda, ambos pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba.

Como visto acima essas unidades litológicas são representadas por rochas magmáticas graníticas e granodioríticas, além de basaltos e rochas metamórficas onde se destacam os gnaisses, xistos e quartzitos.

Apenas três unidades pré-cambrianas se destacam pela sua extensão, que são a Formação Couto Magalhães (8.322,27 km<sup>2</sup>), Formação Xambioá (6.895,26 km<sup>2</sup>) e Formação Pequizeiro (3.481,34 km<sup>2</sup>) totalizando 18.698,87 km<sup>2</sup>, isto é 88% da área do embasamento cristalino.

Sob o ponto de vista hidrogeológico as rochas cristalinas (magmaicas) e cristalofilianas (metamórficas) apresentam características e condições de armazenamento distintos, em função da reação que essas rochas apresentam a esforços tectônicos, como sejam:

- As rochas não orientadas (granitos, granodioritos e similares) apresentam condições menos favoráveis de abertura de fraturas, do que as rochas orientadas (quartzitos, gnaisses, xistos, dentre outras);
- Entre as rochas orientadas, as mais competentes (gnaisse, quartzitos, metacalcários, dentre outras, apresentam fraturas mais abertas, porém em menor quantidade, do que as rochas menos competentes, de médio a baixo grau de metamorfismo (micaxistos, filitos e ardósias) que possuem um maior número de fraturas, porém são as mesmas mais fechadas;
- Os metacalcários (mármore) além de possuírem fraturas, essas são alargadas por dissolução, formando sumidouros e cavernas que aumentam bastante a acumulação de águas subterrâneas;

Entretanto, o nível do trabalho, com um curto tempo de execução dos serviços e de observações geológicas mais apuradas, não permitiu chegar ao nível de detalhe no estudo do aquífero fissural.

De qualquer forma, esses detalhes não iriam fornecer um resultado prático, sendo objeto apenas para estudos acadêmicos, tais como teses de doutoramento.

De um modo geral, o aquífero fissural no Estado do Tocantins (tanto na região sudeste, estudada em 2011, como na região Centro-Norte, ora estudada) apresenta valores de vazão muito superior ao da região nordeste do Brasil. Com efeito, a vazão média dos poços nesse Estado ficou em 11,40 m<sup>3</sup>/h, tendo alcançado até 52,00 m<sup>3</sup>/h, enquanto na região nordeste, a vazão média não passa de 1,5 m<sup>3</sup>/h e é grande o número de poços secos. É possível que essa diferença esteja ligada aos valões de precipitação pluviométrica, da ordem de 1.500 a 2.000 mm/ano na região de Tocantins, contra 300 a 800 mm/ano na região nordeste.



### 3.3. Análise dos Poços Existentes por Aquífero e Aquitardes

A planilha dos 124 poços cadastrados no campo apresentada no *Apêndice II. Ficha dos Poços Cadastrados* do relatório técnico ESCOLHA DA REDE DE MONITORAMENTO / CADASTRAMENTO DOS POÇOS DA REDE / INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE AQUÍFEROS / POTENCIOMETRIA DOS AQUÍFEROS LIVRES, foi subdividida em duas outras planilhas para efeito de análise estatística dos dados: uma planilha contendo os dados dos aquíferos porosos, com 87 (oitenta e sete) poços e uma planilha os dados do aquífero fissural, com 37 (trinta e sete) poços.

#### 3.3.1. Análises Estatística dos Poços nos Aquíferos Fissurais

A análise estatística foi também elaborada com dados construtivos (profundidade, altura da boca, cota da boca, diâmetro do tubo na boca) e dados hídricos (nível estático, nível dinâmico, rebaixamento, vazão e vazão específica), que constam do Quadro 23, além dos dados físico-químicos medidos no campo (condutividade elétrica, pH e temperatura) bem como do regime de operação, constantes do Quadro 24.

**Quadro 23.** Parâmetros dos dados construtivos e hídricos dos poços nos aquíferos fissurais

Parâmetros estatísticos	Profund id.	Alt. boca	Cota boca	Diâm. Boca (pol.)	Nível Estát.	Nível Dinâm.	Rebai x.	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão Espec. (m <sup>3</sup> /h/m)
	(m)				(m)				
<b>Média</b>	123,00	0,60	213,81	5,95	8,32	59,10	48,88	11,41	0,37
<b>Mediana</b>	120,00	0,60	194,00	6,00	8,50	65,00	56,00	8,61	0,22
<b>Desvio Padrão</b>	28,29	0,18	64,69	0,32	3,82	23,51	23,63	10,87	0,37
<b>Coefficiente de Variação</b>	23,00	30,27	30,25	5,45	45,87	39,78	48,35	95,28	97,76
<b>Valor máximo</b>	192,00	1,00	415,00	6,00	15,00	97,00	84,00	52,00	1,40
<b>Valor mínimo</b>	60,00	0,20	117,00	4,00	1,00	12,50	2,50	0,02	0,02
<b>Número de dados</b>	35	37	37	37	34	34	34	33	32

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

No Quadro 23, verifica-se que os coeficientes de variação dos dados de perfuração, altura, cota e diâmetro da boca do tubo, assim como dos níveis (estático e dinâmico) e ainda do rebaixamento, possuem valores inferiores a 50%, mostrando uma baixa dispersão de valores em torno das respectivas médias; os coeficientes de variação da vazão e vazão específica situam-se entre 50% e 100%, revelando uma regular dispersão de valores em torno das respectivas médias.

Ainda nesse quadro, constatam-se pequenas variações entre as médias e as medianas, o que revela a inexistência de valores anômalos tanto inferiores, como superiores, à



exceção dos dados de vazão e vazão específica em que a média corresponde a quase o dobro da mediana.

Analisando a variação de cada um desses dados do Quadro 23, nota-se que:

- O limite da profundidade do poço no aquífero fissural varia muito de uma região para outra: assim é que na região nordeste, os poços nesse tipo de aquífero raramente ultrapassam os 100,00 m e, em geral, são limitados entre 60,00 m e 80,00 m; na região de Caldas Novas em Goiás, os poços vão até a profundidade de 700,00 m com elevadas vazões, de até 100 m<sup>3</sup>/h, onde são exploradas as águas termais para uso balneário; na região de Tocantins, a média de profundidade fica em torno dos 120,00 m, e quando se aumenta a profundidade até quase os 200,00 m as vazões não apresentam significativo aumento, como pode ser visto no poço T37, onde a profundidade alcançou o máximo de 192,00 m para uma vazão de apenas 2,5 m<sup>3</sup>/h e um rebaixamento de nível da ordem de 70,00 m;
- O diâmetro do poço é praticamente uniforme com 6"; apenas um poço (S.86), teve diâmetro menor, com 4"; a restrição para poço com diâmetro menor que 6" é o tipo de bomba submersa (adotada em todos os poços) que deve ter o diâmetro de apenas 3", restringindo a vazão que pode ser captada no poço;
- Os níveis estáticos desses poços podem ser considerados pouco profundos, tendo a maior profundidade sido de 15,00 m, no poço T87; por outro lado os níveis dinâmicos alcançaram profundidades relativamente elevadas, com média em torno de 60,00 m e valor mais profundo, de quase 100,00 m, no poço T18; em consequência desses níveis dinâmicos profundos, os rebaixamentos dos níveis também são elevados, com média em torno dos 50,00 m e valor máximo de 84,00 m;
- As vazões, para esse tipo de aquífero podem ser consideradas como regulares, com média de 11,4 m<sup>3</sup>/h; o poço de maior vazão (S32), alcançou o valor de 52,00 m<sup>3</sup>/h, embora só possuísse 69,00 m de profundidade (é possível que tenha alcançado uma recarga induzida de águas superficiais perenes);
- As vazões específicas são muito baixas, chegando o valor mínimo a somente 0,02 m<sup>3</sup>/h/m, mas esse comportamento pode ser considerado normal para esse tipo de aquífero.

**Quadro 24.** Parâmetros dos dados físico-químicos e regime de exploração dos poços nos aquíferos fissurais

Parâmetros estatísticos	Cond. Elétr. $\mu\text{S}/\text{cm}$	pH	Temperat. $^{\circ}\text{C}$	Regime de operação		
				hs/dia	dias/sem.	meses/ano
<b>Média</b>	158,00	6,93	29,51	12,44	6,50	12,00
<b>Mediana</b>	142,00	7,00	29,50	16,00	7,00	12,00
<b>Desvio Padrão</b>	74,92	0,73	1,68	7,51	1,45	0,00
<b>Coefficiente de Variação</b>	47,42	10,52	5,68	60,37	22,27	0,00
<b>Valor máximo</b>	330,00	8,00	35,00	20,00	7,00	12,00
<b>Valor mínimo</b>	36,00	5,10	25,00	1,00	1,00	12,00
<b>Número de dados</b>	27	27	27	25	26	26

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

O coeficiente de variação dos dados apresentados pode ser considerado como baixo de vez que variou de 0 a 60%. O valor de 0 refere-se ao regime anual, em que em todos os 26 dados foi constatado o mesmo valor de 12 meses, mostrando que não houve nenhuma dispersão de valores em torno da média.

Com relação às variações entre as médias e medianas, verifica-se serem reduzidas a nulas as diferenças para o pH, temperatura, regime de operação semanal e anual, todavia nos casos de condutividade elétrica e regime de operação diária, essas diferenças foram maiores, devido aos valores extremos máximo e mínimo

Analisando a variação de cada um desses dados do Quadro 24, nota-se que:

- A forte variação dos dados de condutividade elétrica decorreu das condições de salinidade excessivamente baixas, inferiores a  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ , que caracteriza uma água quase desmineralizada, como ocorreu principalmente nos municípios de Xambioá e Pequizeiro. Aliás esse fenômeno também ocorreu para os aquíferos porosos, sobretudo no aquífero Rio das Barreiras;
- O potencial hidrogeniônico (pH) que caracteriza a acidez ou basicidade de uma água, tem o valor 7,0 como neutro, sendo os valores abaixo de 7 para águas ácidas e acima de 7 para as águas alcalinas (básicas); a maior parte das águas analisadas foram neutras, apenas duas amostras tiveram o pH de 8 e três amostras com valões em torno de 5;
- A temperatura da água para aquíferos livres, com superfície hidrostática próxima à superfície, reflete quase exatamente a temperatura da superfície do terreno; o denominado “grau geotérmico” que no nordeste do Brasil proporciona o aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  para cada 30 m de profundidade, não iria proporcionar praticamente nenhum aumento da temperatura com essa reduzida profundidade dos níveis do aquífero fissural;
- Do mesmo modo que nos poços perfurados em aquíferos porosos, o regime de operação colocado no referido quadro considerou indistintamente os poços



públicos e privados (particulares); uma análise efetuada separadamente para os dois tipos apresentou a seguinte distinção no regime horário:

- a) Poço público: Média de 16 h por dia de bombeamento;
- b) Poço particular: Média de 8 h por dia de bombeamento.

Para uma melhor compreensão da variação de cada dado, segue-se uma análise estatística levando em conta as classes de variação:

### 3.3.1.1. Profundidade (P)

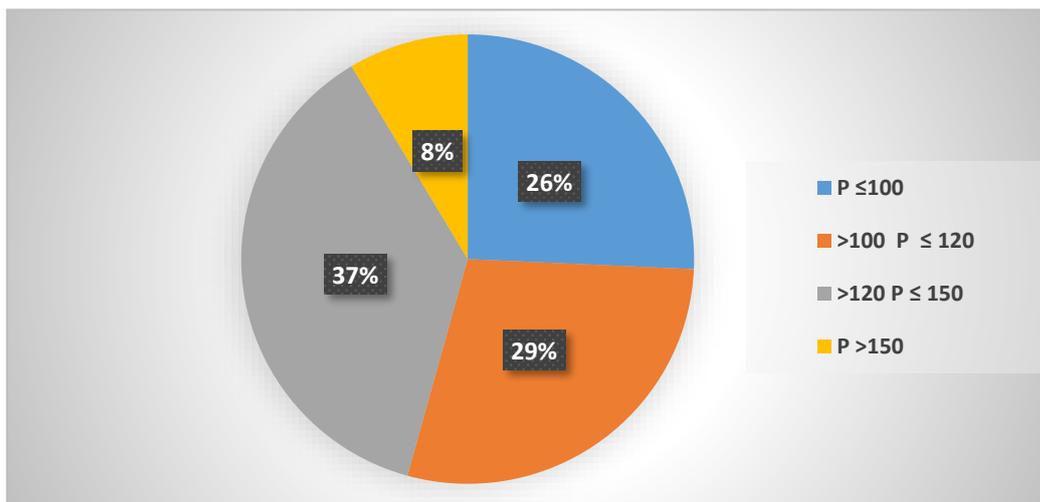
Com relação a esse quesito, foram consideradas quatro classes de profundidade: menor que 100,00 m, entre 100,00 e 120,00 m, entre 120,00 e 150,00 m e superior a 150,00 m, como pode ser visto no Quadro 25 e Figura 18.

**Quadro 25.** Variação da profundidade dos poços no aquífero fissural, por classes

Classes de variação da profundidade (m)	Número de poços quanto a profundidade	% do total
$P \leq 100$	9	25,71
$>100 P \leq 120$	10	28,57
$>120 P \leq 150$	13	37,14
$P > 150$	3	8,57
<b>Total</b>	<b>35</b>	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Verifica-se que a faixa dominante de profundidade dos poços no aquífero fissural situa-se entre 100,00 e 120,00 m e que, apenas três poços ultrapassaram a profundidade de 150,00 m, chegando próximo a 200,00 m.



**Figura 18.** Representação gráfica da variação da profundidade dos poços nos aquíferos fissurais.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



### 3.3.1.2. Nível Estático (N.E.)

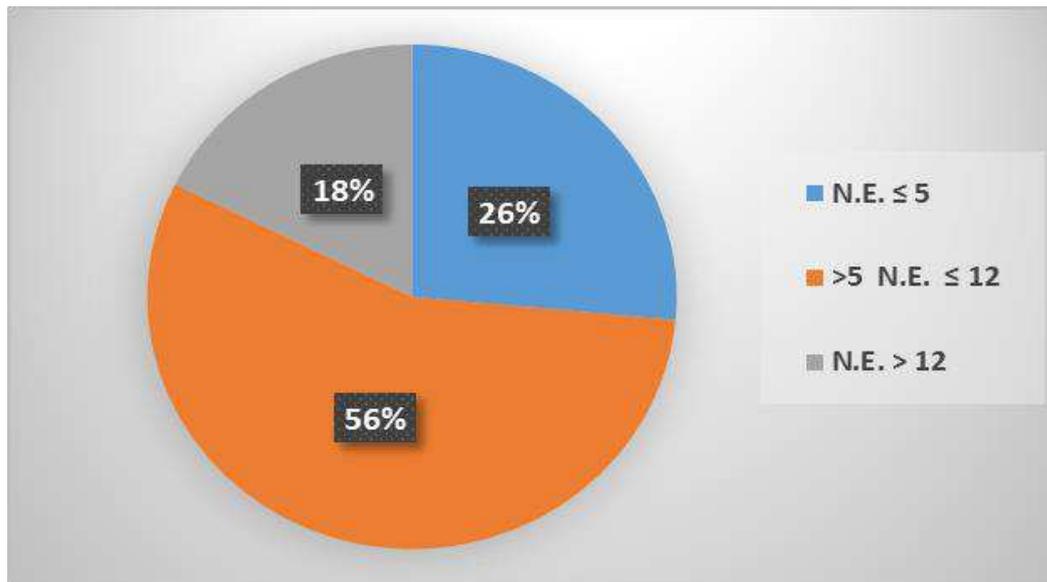
Para o nível estático, foram consideradas três classes de variação: inferior ou igual a 5,00 m, superior a 5,00 m e inferior ou igual a 12,00 m, e finalmente, com N.E. superior a 12,00 m, como mostrado no Quadro 26 e Figura 19.

**Quadro 26.** Variação do nível estático dos poços no aquífero fissural, por classes

Classes de variação do Nível Estático (m)	Número de poços quanto ao Nível Estático	% do total
N.E. ≤ 5	9	26,47
>5 N.E. ≤ 12	19	55,88
N.E. > 12	6	17,65
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Constata-se que a classe predominante de profundidade do nível estático, situa-se entre os 5,00 m e 12,00 m; apenas 18% dos poços ultrapassaram os 12,00 m de profundidade do N.E., atingindo o máximo de 15,00 m.



**Figura 19.** Representação gráfica da variação do nível estático dos poços nos aquíferos fissurais.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 3.3.1.3. Nível Dinâmico (N.D.)

Foram consideradas quatro classes de variação: menor ou igual a 30,00 m, maior que 30,00 m e inferior ou igual a 60,00 m, superior a 60,00 m e inferior ou igual a 80,00 m e, por fim, aqueles com N.D, superior a 80,00 m (Quadro 27).

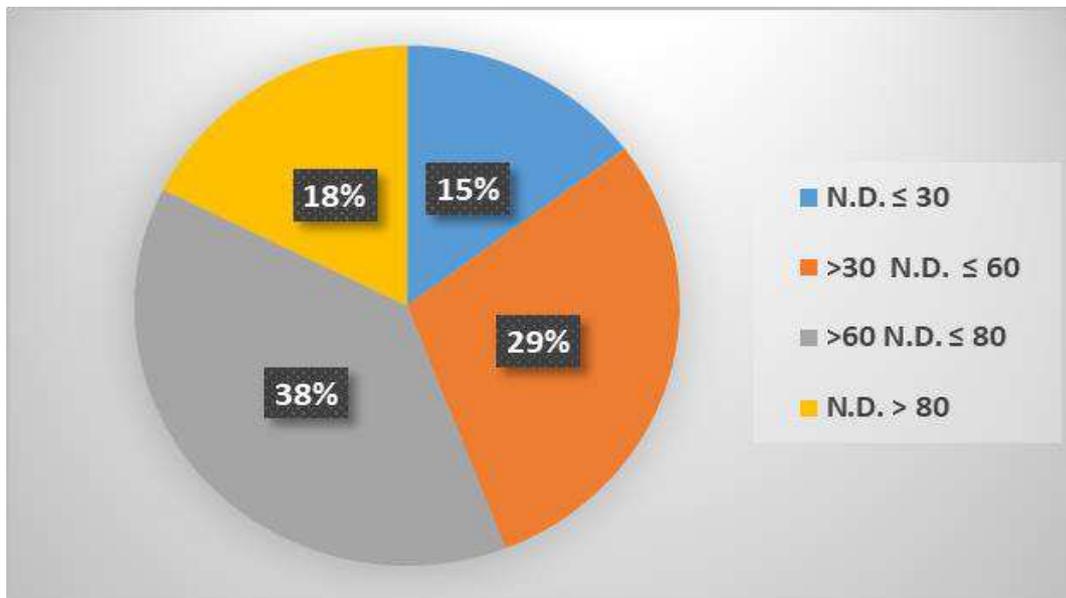


**Quadro 27.** Variação do nível dinâmico dos poços no aquífero fissural, por classes

Classes de variação do N.D. (m)	Número de poços quanto ao N.D.	% do total
N.D. $\leq$ 30	5	14,71
$>30$ N.D. $\leq$ 60	10	29,41
$>60$ N.D. $\leq$ 80	13	38,24
N.D. $>$ 80	6	17,65
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A faixa de variação das classes ficou entre as profundidades do intervalo de 30,00 a 80,00 m, totalizando cerca de 68%, os demais 32% ficaram divididos entre as classes de profundidade inferior a 30,00 m e superior a 80,00 m (Figura 20).



**Figura 20.** Representação gráfica da variação do nível dinâmico dos poços nos aquíferos fissurais.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 3.3.1.4. Rebaixamento (s)

Os rebaixamentos foram enquadrados nas seguintes classes: menor ou igual a 20,00 m, maior que 20,00 m e menor ou igual a 50,00 m, superior a 50,00 m e inferior ou igual a 80,00 m e finalmente, maior que 80,00 m (Quadro 28).

**Quadro 28.** Variação do rebaixamento dos poços no aquífero fissural, por classes

Classes de variação do rebaixamento (m)	Número de poços quanto ao Rebaixamento	% do total
$s \leq 20$	8	24,24

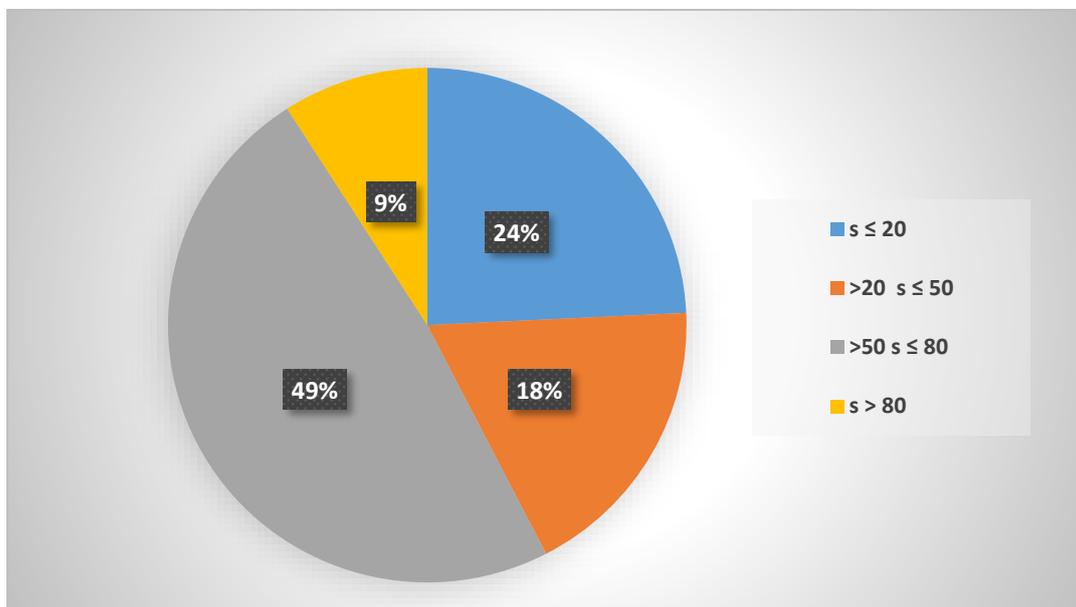


Classes de variação do rebaixamento (m)	Número de poços quanto ao Rebaixamento	% do total
$>20 \leq 50$	6	18,18
$>50 \leq 80$	16	48,48
$s > 80$	3	9,09
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A classe de variação predominante em quase 50% dos poços é com rebaixamentos entre 50,00 e 80,00 m; apenas 9% dos poços tiveram um rebaixamento superior aos 80,00 m.

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 21.



**Figura 21.** Representação gráfica da variação do rebaixamento dos poços nos aquíferos fissurais.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 3.3.1.5. Vazão (Q)

As vazões foram enquadradas nas seguintes classes: menor ou igual a 10,00 m, maior que 10,00 m e menor ou igual a 30,00 m, superior a 30,00 m e inferior ou igual a 80,00 m e finalmente, maior que 80,00 m (Quadro 29).



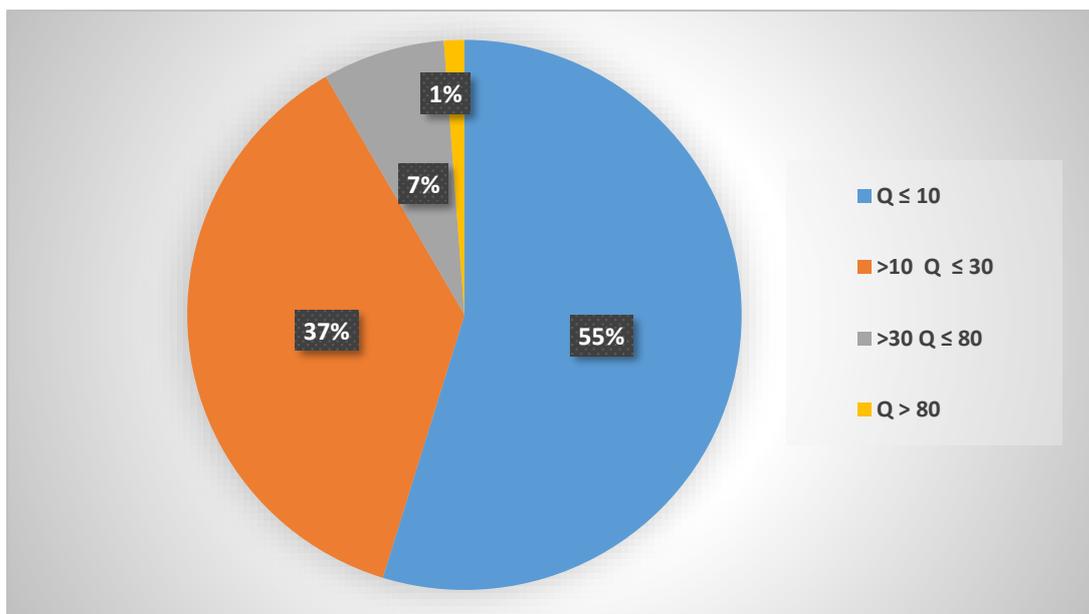
**Quadro 29.** Variação da vazão dos poços no aquífero fissural, por classes

Classes de variação da Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Número de poços quanto a Vazão	% do total
Q ≤ 10	46	54,76
>10 Q ≤ 30	31	36,90
>30 Q ≤ 80	6	7,14
Q > 80	1	1,19
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 22.

Constata-se que a maioria dos poços - 55% - apresentam baixas vazões, inferiores a 10,00 m<sup>3</sup>/h; apenas 8% dos poços apresentaram vazão superior a 30,00 m<sup>3</sup>/h.



**Figura 22.** Representação gráfica da variação da vazão dos poços nos aquíferos fissurais.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 3.3.1.6. Vazão Específica (Qe)

As vazões específicas foram enquadradas nas seguintes classes: menor ou igual a 0,1m, maior que 0,1m e menor ou igual a 0,5m, superior a 0,5m e inferior ou igual a 1,0 m e finalmente, maior que 1,0 m (Quadro 30).



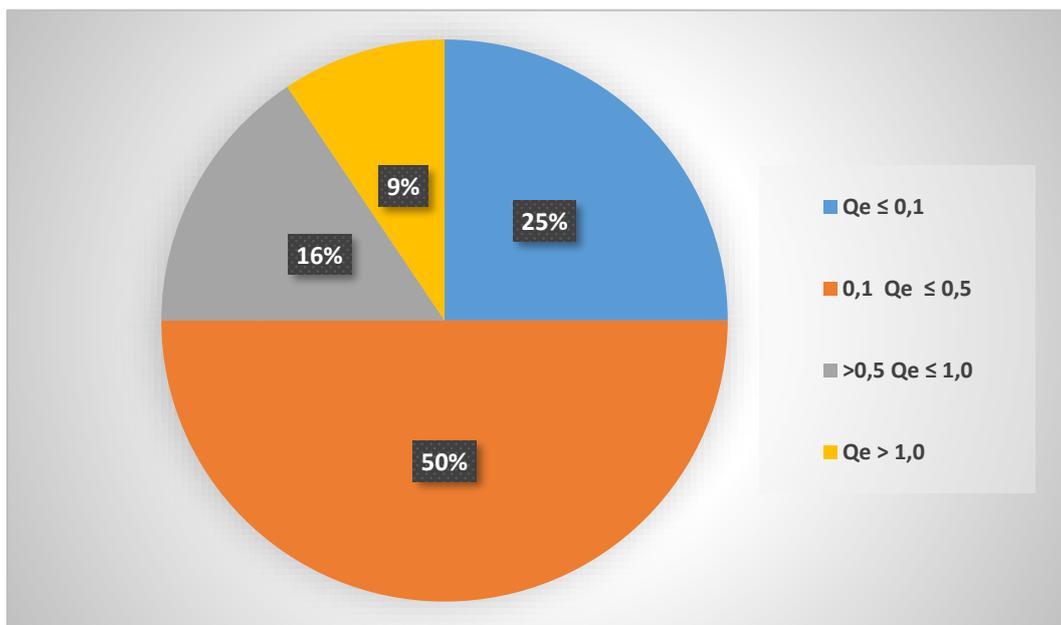
**Quadro 30.** Variação da vazão específica dos poços no aquífero fissural, por classes

Classes de variação da Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	Número de poços quanto a Vazão Específica	% do total
$Q_e \leq 0,1$	8	25,00
$0,1 Q_e \leq 0,5$	16	50,00
$>0,5 Q_e \leq 1,0$	5	15,63
$Q_e > 1,0$	3	9,38
<b>Total</b>	<b>32</b>	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

As vazões específicas, do mesmo modo que as vazões, são baixas para esse tipo de aquífero, o que já era esperado; a classe de variação predominante é a de 0,1 a 0,5 m<sup>3</sup>/h/m, com 50% e apenas 9% tiveram vazão específica superior a 1,0 m<sup>3</sup>/h/m.

A representação gráfica dessa variação pode ser vista na Figura 23.



**Figura 23.** Representação gráfica da variação da vazão específica dos poços nos aquíferos fissurais.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Quanto a bomba instalada, todas foram do tipo submersa. No que se refere à condição sanitária do poço, todos estavam adequadamente protegidos. Também não foi encontrada nenhuma fonte potencial de contaminação nas proximidades dos poços (Quadro 31).

**Quadro 31.** Outros elementos analisados no aquífero fissural

<p><b>a. Situação do poço:</b></p> <table border="1"><tr><td>Operando: 75,68%</td></tr><tr><td>Desativado: 24,32%</td></tr></table> <p><b>b. Tipo de energia elétrica</b></p> <table border="1"><tr><td>Trifásica: 64,86%</td></tr><tr><td>Monofásica: 18,92%</td></tr><tr><td>Sem instalação: 16,22%</td></tr></table> <p><b>c. Atendimento</b></p> <table border="1"><tr><td>Público: 62,16%</td></tr><tr><td>Particular: 29,73%</td></tr><tr><td>Nenhum: 8,11%</td></tr></table> <p><b>d. Tipos de reservatório</b></p> <table border="1"><tr><td>Cx.tipo taça = 41,38%</td></tr><tr><td>Cx.concreto solo=14,94%</td></tr><tr><td>Cx.fibra = 9,20%</td></tr><tr><td>Cx.aço circ. no solo=4,60%</td></tr><tr><td>Cx.PVC = 6,90%</td></tr><tr><td>Cx.fibra suspensa = 3,45%</td></tr><tr><td>Cx.tipo torre = 2,30%</td></tr><tr><td>Taça+circular solo = 1,15%</td></tr><tr><td>Cx.alvenaria = 1,15%</td></tr><tr><td>Sem instalação = 14,94%</td></tr></table>	Operando: 75,68%	Desativado: 24,32%	Trifásica: 64,86%	Monofásica: 18,92%	Sem instalação: 16,22%	Público: 62,16%	Particular: 29,73%	Nenhum: 8,11%	Cx.tipo taça = 41,38%	Cx.concreto solo=14,94%	Cx.fibra = 9,20%	Cx.aço circ. no solo=4,60%	Cx.PVC = 6,90%	Cx.fibra suspensa = 3,45%	Cx.tipo torre = 2,30%	Taça+circular solo = 1,15%	Cx.alvenaria = 1,15%	Sem instalação = 14,94%	<p><b>e. Motivo de desativação</b></p> <table border="1"><tr><td>Motivo desconhecido(4)</td></tr><tr><td>Bomba queimada</td></tr><tr><td>Só funciona nas férias</td></tr><tr><td>Encerrada ativ. Tabocas</td></tr><tr><td>Poço secou</td></tr><tr><td>Mudança do alojamento</td></tr></table> <p><b>f. Uso (s) da água</b></p> <table border="1"><tr><td>Abastecimento público = 45,95%</td></tr><tr><td>Cons. hum.+dessed.animal= 16,22%</td></tr><tr><td>Consumo humano = 8,11%</td></tr><tr><td>Indústria = 5,41%</td></tr><tr><td>Irrigação gramado = 2,70%</td></tr><tr><td>Parque de diversões = 2,70%</td></tr><tr><td>Sem uso: 18,92%</td></tr></table> <p><b>g. Distribuição/atendimento</b></p> <table border="1"><tr><td>Cx.tipo taça = 29,73%</td></tr><tr><td>Cx.concr.susp.=21,62%</td></tr><tr><td>Cx.PVC = 13,51%</td></tr><tr><td>Cx.concr. solo=10,81%</td></tr><tr><td>Cx.aço circ.solo=2,70%</td></tr><tr><td>Sem instalação: 21,62%</td></tr></table>	Motivo desconhecido(4)	Bomba queimada	Só funciona nas férias	Encerrada ativ. Tabocas	Poço secou	Mudança do alojamento	Abastecimento público = 45,95%	Cons. hum.+dessed.animal= 16,22%	Consumo humano = 8,11%	Indústria = 5,41%	Irrigação gramado = 2,70%	Parque de diversões = 2,70%	Sem uso: 18,92%	Cx.tipo taça = 29,73%	Cx.concr.susp.=21,62%	Cx.PVC = 13,51%	Cx.concr. solo=10,81%	Cx.aço circ.solo=2,70%	Sem instalação: 21,62%
Operando: 75,68%																																						
Desativado: 24,32%																																						
Trifásica: 64,86%																																						
Monofásica: 18,92%																																						
Sem instalação: 16,22%																																						
Público: 62,16%																																						
Particular: 29,73%																																						
Nenhum: 8,11%																																						
Cx.tipo taça = 41,38%																																						
Cx.concreto solo=14,94%																																						
Cx.fibra = 9,20%																																						
Cx.aço circ. no solo=4,60%																																						
Cx.PVC = 6,90%																																						
Cx.fibra suspensa = 3,45%																																						
Cx.tipo torre = 2,30%																																						
Taça+circular solo = 1,15%																																						
Cx.alvenaria = 1,15%																																						
Sem instalação = 14,94%																																						
Motivo desconhecido(4)																																						
Bomba queimada																																						
Só funciona nas férias																																						
Encerrada ativ. Tabocas																																						
Poço secou																																						
Mudança do alojamento																																						
Abastecimento público = 45,95%																																						
Cons. hum.+dessed.animal= 16,22%																																						
Consumo humano = 8,11%																																						
Indústria = 5,41%																																						
Irrigação gramado = 2,70%																																						
Parque de diversões = 2,70%																																						
Sem uso: 18,92%																																						
Cx.tipo taça = 29,73%																																						
Cx.concr.susp.=21,62%																																						
Cx.PVC = 13,51%																																						
Cx.concr. solo=10,81%																																						
Cx.aço circ.solo=2,70%																																						
Sem instalação: 21,62%																																						

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Os poços do cadastro da SIAGAS/CPRM foram perfurados no período de 1976 a 2008, enquanto os poços da Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. foram todos perfurados no período entre os anos de 1995 a 2019.

### 3.3.2. Comparação entre os Dados dos Poços nos Aquíferos Poroso e Fissural

Em alguns aspectos, como altura, cota e diâmetro da boca, não há como fazer comparações entre os aquíferos porosos e os fissurais, por serem essas diferenças insignificantes, todavia, a comparação entre os demais dados, a partir dos quadros Quadro 2 e Quadro 22, assim como a salinidade (mostrada nos Quadro 3 e Quadro 23),



revelam significativas diferenças entre os dois tipos de aquífero, como mostrado a seguir:

- ✓ A profundidade máxima alcançada em poços dos aquíferos porosos chega a 376,00 m, enquanto nos aquíferos fissurais, não passa dos 193,00 m;
- ✓ A profundidade média dos níveis estáticos dos aquíferos porosos é de 18,70 m, contra apenas 8,30 (menos da metade), nos aquíferos fissurais;
- ✓ Embora a média dos níveis dinâmicos nos dois tipos de aquífero seja praticamente a mesma, nos aquíferos porosos esse nível chega até 140,00 m, contra 97,00 m nos aquíferos fissurais;
- ✓ O mesmo acontece com relação aos rebaixamentos, que nos aquíferos porosos chega a atingir 136,00 m contra o máximo de 84,00 m nos aquíferos fissurais;
- ✓ Maior ainda é a diferença na vazão: enquanto nos aquíferos porosos o valor chegou a 250,00 m<sup>3</sup>/h, nos fissurais o máximo atingido foi de 52,00 m<sup>3</sup>/h;
- ✓ A mesma diferença verifica-se entre a vazão específica, pois, nos aquíferos porosos, o valor máximo de 7,35 m<sup>3</sup>/h/m é mais que cinco vezes o máximo alcançado pelos aquíferos fissurais, de apenas 1,4 m<sup>3</sup>/h/m;
- ✓ Embora a salinidade da água nos aquíferos porosos e fissurais não revele em termos de mediana, uma grande diferença, desde que, nos porosos esse parâmetro tenha o valor de 153,00 µS/cm e nos fissurais seja de 142 µS/cm, o valor o máximo da condutividade elétrica nos aquíferos porosos chega 2.820,00 µS/cm, contra apenas 330,00 µS/cm, nos aquíferos fissurais.

#### **3.4. Interpretação de Ensaio de Bombeamento: Avaliação dos Parâmetros Hidrodinâmicos**

O aquífero fissural é anisotrópico, heterogêneo e descontínuo, daí não ser possível a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos como coeficiente de transmissividade (T), condutividade hidráulica (K) e coeficiente de armazenamento (S), calculados para os aquíferos porosos.

São casos de exceção, os meta-arenitos fraturados, que possuem dupla porosidade e as ardósias intensamente fraturadas que podem ser considerados como um meio quase isotrópico e homogêneo, todavia esses tipos rochosos não ocorrem na região estudada, daí a inexistência de ensaios de bombeamento nos poços dos aquíferos fissurais.

#### **3.5. Avaliação das Reservas, Potencialidades e Disponibilidades dos Aquíferos - Balanço Hidrogeológico**

Igualmente à avaliação de parâmetros hidrodinâmicos, não se executa a avaliação das reservas, potencialidades e disponibilidades do aquífero fissural.



Essa avaliação, como foi visto no capítulo 2.6 pelas seguintes razões:

- a) exige o conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos, que não são calculados para esse tipo de aquífero;
- b) necessita do conhecimento da espessura do aquífero, que no caso das rochas cristalinas e cristalofilianas, não pode, em geral, ser avaliado.

### **3.6. A Qualidade da Água nos Aquíferos Fissurais**

A qualidade da água subterrânea nos aquíferos fissurais da região estudada foi objeto de uma determinação de campo, da condutividade elétrica (C.E.) e pH, podendo esse primeiro parâmetro ser correlacionado com os sólidos totais dissolvidos (STD) mediante a correlação:  $STD = C.E. \times 0,5$ . Inclusive, as águas do embasamento cristalino (aquífero fissural) possuem no máximo STD de 180 mg/L. O Quadro 32 mostra os dados utilizados para elaboração do mapa da localização dos pontos do *Apêndice V. Mapa de Localização dos Poços Profundos Cadastrados para Rede de Monitoramento do Diagnóstico Hidrogeológico*.

**Quadro 32.** Dados hidroquímicos medidos no campo no aquífero fissural

Numeração		Município	Coordenadas UTM		Form. Geológica em superfície	Aquífero explotado	Cond. Elétr. $\mu\text{S}/\text{cm}$	STD. mg/L	pH
Trímil	Siagas		E	N					
T1		Abreulândia	8.960.265	22L 660.847	Cristalina	Fraturado Centro sul	96,00	48,00	7,50
T16		Araguacema	9.002.392	22M 666.129	Cristalina	Fraturado Centro sul	186,00	93,00	8,00
T18		Araguacema	8.985.407	22L 650.055	Cristalina	Fraturado Centro sul	126,00	63,00	7,80
T22		Araguanã	9.234.251	22M 787.750	Cristalina	Fraturado Centro sul	68,00	34,00	6,30
	S63	Barrolândia	8.889.378	738.669	Cristalina	Fraturado Centro sul	236,00	118,00	8,00
T56		Colmeia	8.992.183	22L 750.435	Fraturado sul	Fraturado Centro sul	168,00	84,00	7,40
	S86	Colmeia	9.034.393	745.898	Fraturado sul	Fraturado Centro sul	174,00	87,00	5,60
T58		Couto Magalhães	9.055.340	22L 699.314	Fraturado sul	Fraturado Centro sul	190,00	95,00	7,60
T59		Couto Magalhães	9.075.816	22L 700.147	Fraturado sul	Fraturado Centro sul	126,00	63,00	6,90
	S91	Couto Magalhaes	9.075.758	701.077	Cristalina	Fraturado Centro sul	142,00	71,00	6,80
	S92	Couto Magalhaes	9.075.860	701.183	Cristalina	Fraturado Centro sul	138,00	69,00	6,50
	S93	Couto Magalhães	9.074.386	690.969	Cristalina	Fraturado Centro sul	104,00	52,00	7,10
	S94	Couto Magalhães	9.083.788	693.449	Cristalina	Fraturado Centro sul	116,00	58,00	7,40
T66		Dois Irmãos do Tocantins	8.976.630	22L 712.935	Pequizeiro (crist.)	Fraturado centro sul	234,00	117,00	7,00
T67		Dois Irmãos do Tocantins	8.976.367	22L 711.489	Pequizeiro (crist.)	Fraturado centro sul	194,00	97,00	7,50
T70		Goianorte	9.030.842	22L 728.404	Cristalina	Fraturado centro sul	230,00	115,00	7,00
T75		Guaraí	9.033.458	22L 766.376	Cristalina	Fraturado centro sul	276,00	138,00	7,30
T82		Itaporã do Tocantins	9.050.997	22L 754.255	Cristalina	Fraturado centro sul	90,00	45,00	7,10
	S132	Juarina	9.102.112	709.383	Cristalina	Fraturado centro sul	176,00	88,00	7,00
T87		Maurilândia do Tocantins	9.350.104	23M 226.027	Mosquito	Mosquito	326,00	163,00	7,00

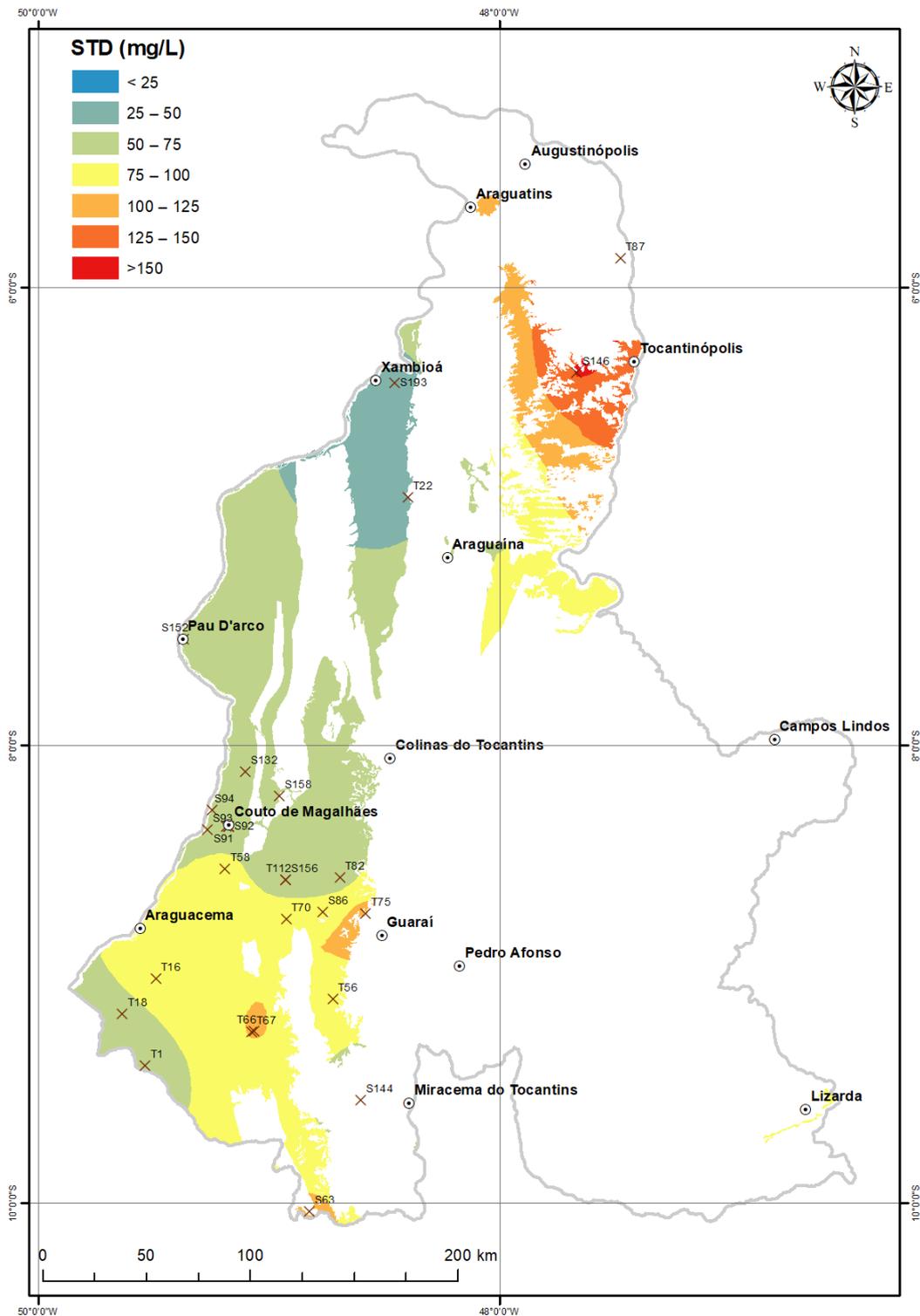


Numeração		Município	Coordenadas UTM		Fom. Geológica em superfície	Aqüífero explorado	Cond. Elétr. $\mu\text{S}/\text{cm}$	STD. mg/L	pH
Trhimil	Siagas		E	N					
	S144	Miranorte	8.943.298	763.517	Cristalina	Faturado centro sul	80,00	40,00	6,30
	S146	Nazaré	9.294.672	205.280	Cristalina	Faturado centro sul	330,00	165,00	7,00
	S152	Pau D'Arco	9.166.404	680.085	Cristalina	Faturado centro norte	148,00	74,00	7,10
T112		Pequizeiro	9.049.952	22L 728.138	Faturado sul	Faturado centro sul	68,00	34,00	5,10
	S156	Pequizeiro	9.049.800	728279	Cristalina	Faturado centro sul	108,00	54,00	6,40
	S158	Pequizeiro	9.090.476	725.347	Cristalina	Faturado centro sul	100,00	50,00	7,30
	S193	Xambioá	9.289.794	781.715	Cristalina	Faturado centro sul	36,00	18,00	5,20

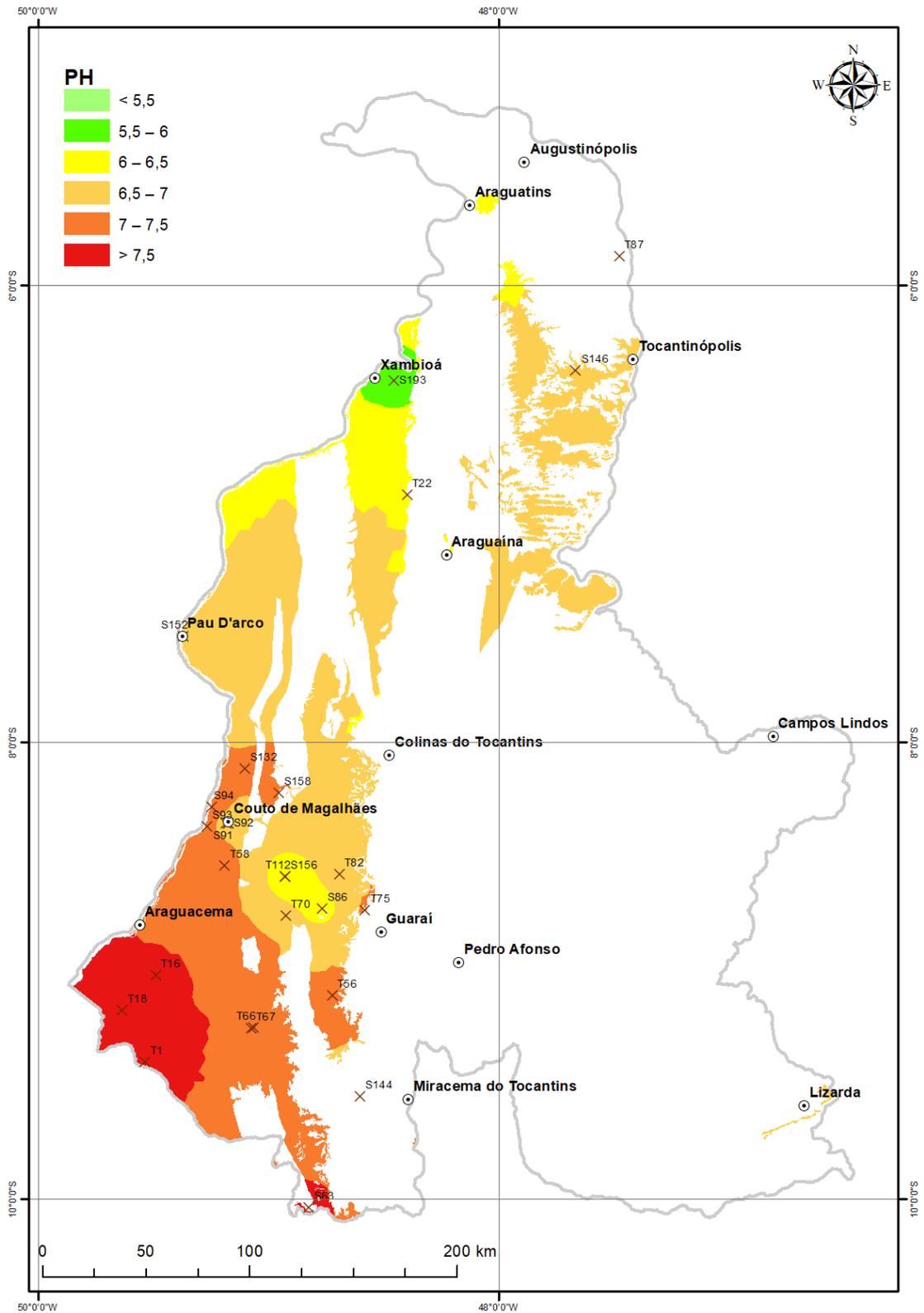
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



A Figura 24 mostra o mapa de STD do aquífero fissural. Essa informação também está contida no Apêndice VI. Mapa de Sólidos Totais dos Aquíferos Fissurais da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins do DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO. A Figura 25 revela a distribuição do pH para toda a área estudada.



**Figura 24.** Mapa de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) dos aquíferos fissurais  
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



**Figura 25.** Mapa de pH dos aquíferos fissurais.  
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).



A análise estatística dos aquíferos fissurais está contida no Quadro 33.

**Quadro 33.** Análise estatística dos dados de C.E., STD e pH das águas de poços no aquífero fissural

Parâmetros estatísticos	Cond. Elétr. $\mu\text{S/cm}$	STD mg/L	pH
Média	158,00	79,00	6,93
Mediana	142,00	71,00	7,00
Desvio Padrão	74,92	37,46	0,73
Coefficiente de Variação	47,42	47,42	10,52
Valor máximo	330,00	165,00	8,00
Valor mínimo	36,00	18,00	5,10
Número de dados	27	27	27

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Considerando serem os sólidos totais dissolvidos (STD) o mais significativo parâmetro para demonstração da salinidade das águas do aquífero fissural, verifica-se que a reduzida média de apenas 79,00 mg/L, com valor máximo de 165,00 mg/L e mínimo de 18,00 mg/L, caracteriza águas praticamente desmineralizadas, quase uma água destilada.

Essa característica, como foi verificado para a vazão, distingue totalmente as águas do aquífero fissural desse Estado, das águas desse aquífero na região nordeste, onde a média do STD fica em torno dos 2.000 mg/L, com maioria acima do limite de potabilidade para consumo humano.

Quanto ao pH o Quadro 33 revela um intervalo entre o mínimo e o máximo, como sendo de 5,1 (águas ácidas) 8 (ligeiramente alcalinas), ou seja, todas as águas desse aquífero se prestam a qualquer uso.

Assim, sugere-se que as águas dos aquíferos fissurais possuam índices, em sua maioria na classe C1-S1, até, em alguns casos o C2-S1, os quais permitem a irrigação em todos os tipos de cultura.



## 4 PLANO DE GESTÃO

### 4.1. A Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos

A gestão dos recursos hídricos (RH) em geral e particularmente dos subterrâneos, envolve uma série de atividades e ações, tais como: normatização, planejamento, pesquisa/estudos, coordenação, fiscalização, monitoramento e até mesmo a execução ou acompanhamento de serviços e obras.

É uma atividade que, sendo exercida por uma entidade pública, no caso de governo, por uma secretaria específica, interage com outras entidades governamentais, municipais, concessionárias governamentais de serviços de abastecimento d'água, entidades privadas representantes da sociedade civil organizada, tais como comitês de bacias hidrográficas e com a população em geral.

A gestão de RH subterrâneos está fundamentada no seguinte tripé:

1. Existência de legislação específica
2. Existência de uma infraestrutura institucional adequada
3. Conhecimento da situação, características, condições e problemas dos aquíferos

Acerca da legislação específica, será o tema tratado num capítulo mais adiante neste relatório.

No Estado do Tocantins, os recursos hídricos constituem uma secretaria específica ao lado do meio ambiente, que é a SEMARH.

Louve-se o interesse do governo do Estado do Tocantins, em continuar os estudos dos aquíferos do Estado, iniciado em 2010 com o estudo da Região Sudeste.

Esse estudo constitui o terceiro tripé em que se baseia a gestão dos RH, pois, não se pode gerir nada sem que se conheça o problema.

A partir do conhecimento, poderá se planejar as ações a desenvolver, acompanhar a execução das obras (poços), fiscalizar o desenvolvimento das ações construtivas e, por fim monitorar a evolução da exploração dos aquíferos, evitando problemas de contaminação, superexploração e exaustão.

#### 4.1.1. Condicionantes e restrições na captação e uso dos aquíferos

Os principais condicionantes e restrições na captação e uso dos aquíferos são os seguintes:

- a) Tipos de obras de captação
- b) Distanciamento entre poços
- c) Regime de bombeamento



#### 4.1.1.1. Tipos de Obras de Captação

Embora existam vários tipos de obras de captação de águas subterrâneas, como galerias e drenos, captação de exutórios naturais (fontes), cacimbas, poços amazonas e poços tubulares profundos, apenas esses últimos merecem uma análise a respeito do tipo mais adequado para uso em diversas situações dos aquíferos a explorar.

Esses poços tubulares profundos, erradamente designados genericamente de poços artesianos (somente são artesianos aqueles em que o nível da água sobe no poço devido à pressão confinante, podendo vir a jorrar ou ficar próximo à superfície do terreno), podem variar suas características em função da profundidade, diâmetro, posição dos filtros e da vazão que se pretende obter.

Deve-se levar em consideração três situações características de disposição de aquíferos nesta região:

- 1ª) o derrame basáltico (Formação Mosquito) que ocorre na região norte, localizado estratigraficamente entre a Formação Sambaíba (sob o basalto) e a Formação Corda (sobre o basalto); nessa área os poços têm atravessado o aquífero Corda, totalmente revestido e sem filtros, atravessado todo o basalto e captado o aquífero Sambaíba, não havendo nem revestimento na formação Mosquito nem filtros no aquífero Sambaíba;
- 2ª) os poços na região central, tem atravessado todo o aquífero Pimenteiras para explorar o aquífero Serra Grande, em poços com mais até 300 m de profundidade, sem revestimento nem filtros;
- 3ª) os poços localizados na faixa que se estende na porção central de norte a sul, atravessam vários aquíferos e aquíferos, desde o Pimenteiras até o Motuca em poços com profundidades de até 200 m, o que demonstra a reduzida espessura das formações que se localizam na porção marginal da bacia sedimentar o Parnaíba

Em função das características dos aquíferos porosos, quanto a espessura e disposição regional, adotou-se nesse trabalho os seguintes tipos de poços, para os quais serão efetuados os cálculos do m<sup>3</sup> de água bombeada, em capítulo posterior.

##### **Poço 1**

Profundidade de 80 a 100 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 30% do total revestido; a posição dos filtros deverá situar-se na seção mais profunda do poço.

##### **Poço 2**

Profundidade de 130 a 150 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento, de forma a alcançar distintos níveis mais permeáveis ou mais de um aquífero.



### **Poço 3**

Profundidade de 180 a 200 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC reforçado, com filtros PVC reforçado em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento, de forma a alcançar distintos níveis mais permeáveis ou mais de um aquífero.

### **Poço 4**

Profundidade entre 250 e 400 m, diâmetro de 6" revestido em tubos de aço galvanizado até a profundidade de 200 m e tubos de PVC reforçado de 200 a 400 m; no caso de ocorrer aquífero na porção revestida em tubos de aço galvanizado, deverão ser colocados filtros metálicos, tipo Nold nos espaços referentes ao aquífero, no espaço entre 200 e 400 m, os filtros a serem colocados serão em PVC reforçado.

### **Poço 5**

Profundidade entre 200 e 400 m, no caso em que se atravessasse a camada vulcânica (Formação Mosquito) para captar o aquífero Sambaíba sem que se pretenda captar o aquífero Corda sobre o basalto; o poço deverá ser revestido em tubos de aço galvanizado até cravação no basalto (pelo menos com 10 m dentro do basalto). A perfuração do poço, mesmo sem revestimento da porção do basalto e do aquífero Sambaíba, deverá se estender até alcançar pelo menos 50 m dentro desse aquífero.

### **Poço 6**

Profundidade entre 300 e 400 m, sendo utilizado para captar o aquífero Serra Grande, sob o aquífero Pimenteiras, sendo que o revestimento em tubos de aço galvanizado deverá ser implantado em todo o poço, contendo filtros nos horizontes arenosos do aquífero Pimenteiras e em toda extensão do aquífero Serra Grande

A maioria dos poços perfurados nos diversos tipos de aquífero possui profundidade de até 150 m e, além de serem parcialmente penetrantes no aquífero captado, são, na maioria, desprovidos de revestimento ao longo do poço, inclusive nos poços em que o aquífero Pimenteiras é totalmente atravessado com mais de 200 m, até alcançar o aquífero Serra Grande (com apenas 10 a 20 m captados); essa prática se constitui um risco para obstrução do poço por desmoronamento dos sedimentos eventualmente pouco consolidados.

#### **4.1.1.2. Distanciamento entre Poços**

Embora não tenha sido efetuado estudos de interferência em conjunto de poços existentes ou em baterias de poços programadas, a prática tem revelado que, entre poços em aquífero livre deva ser guardada uma distância equivalente a espessura saturada do aquífero no poço, o que resulta, em média, na distância de 100 m de um poço para outro; enquanto isso, nos aquíferos confinados, onde o raio de influência se propaga à maior distância, foi considerada a distância de 200 m.



#### 4.1.1.3. Regime de Bombeamento

Deverá sempre ser utilizado os seguintes regimes, em função do uso a que se destina:

- Consumo residencial em área urbana: 1 a 3 h/dia
- Consumo residencial em área rural (sítio, fazenda etc.): 5 a 8 h/dia
- Consumo industrial: 8 a 12 h/dia
- Abastecimento público: 18 h/dia
- Irrigação: 10 h/dia (6 às 11h e 12 às 19h)

#### 4.1.2. Licenciamento e Outorga do Direito de Uso da Água Subterrânea

Todo poço a ser construído deverá ser submetido à seguinte tramitação processual:

- a) O interessado apresenta ao órgão outorgante um requerimento em que constará:
  - Documento (escritura) do local onde seria perfurado o poço;
  - Planta do local do poço a perfurar;
  - Uso a que se destina;
  - Demanda de água esperada do poço;
  - Projeto do poço devidamente assinado por técnico responsável (geólogo ou engenheiro de minas);
  - ART do Crea assinado pelo técnico responsável.
- b) Após análise o órgão outorgante emitirá a “Licença de Construção” para que a obra (poço) seja construída em todas as suas fases (perfuração, revestimento, encascalhamento, desenvolvimento e teste de vazão)
- c) Concluída a obra, o interessado encaminhará ao órgão outorgante um “Relatório conclusivo”, assinado pelo técnico responsável pela obra, do qual deverão constar:
  - Dados locacionais da obra;
  - Perfil construtivo do poço: tipo de revestimento e filtros, diâmetro, extensão e posicionamento do revestimento e dos filtros; material utilizado no pré-filtro (encascalhamento) e seu posicionamento; extensão da cimentação no espaço anelar a partir da superfície;
  - Dados hidráulicos do poço: profundidade, níveis estático e dinâmico, vazão, vazão específica;
  - Dados do teste de bombeamento (24h) e recuperação dos níveis;
  - Perfil litoestratigráfico do poço (observação: para construção do perfil litoestratigráfico o perfurador deverá coletar e descrever amostras a cada 3 m perfurados);



- Resultado das análises físico-química e bacteriológica da água retirada após a segunda hora de bombeamento;
- Fotografias da máquina em perfuração em que apareça parte da construção do local (casa, edifício, etc.), da caixa de amostras coletadas, da instalação do hidrômetro e do dispositivo na saída do poço para coleta de água (as duas últimas observações poderão constar de uma só foto);
- Outros perfis que porventura tenham sido executados, tais como: perfilagem elétrica, perfilagem ótica, etc.

Convêm que o órgão outorgante forneça ao interessado, junto à Licença de Construção, um modelo de relatório a ser seguido pelo interessado.

d) Após análise do “relatório conclusivo” o órgão outorgante emitirá uma “Outorga de uso da água”, onde constará no mínimo:

- Local onde a obra foi construída;
- Proprietário do terreno;
- Uso a que se destina a água (não pode ser utilizada para outro fim daquele para o qual foi solicitada a perfuração do poço);
- Vazão máxima diária que poderá ser extraída;
- Prazo de validade da outorga quando então deverá ser efetuada a sua renovação.

Na legislação específica sobre águas subterrâneas (na lei ou no seu decreto regulamentador), deverão constar os condicionantes para a construção da obra (poço) assim como da instalação de um hidrômetro e de uma torneira na saída do poço, onde poderá ser efetuada a coleta de água antes que ela penetre no reservatório.

Também deverá constar nos dispositivos legais, os prazos para que o órgão outorgante emita a Licença de Construção e a Outorga.

Alguns outros elementos que constarão no Relatório conclusivo, poderão ser normatizados pelo órgão outorgante e fornecidos ao interessado, os quais são em geral, aprovados como Resolução pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, tais como:

- Realização de testes de bombeamento: como fazer e relatar
- Análises físico-químicas e bacteriológicas e parecer técnico

No caso de o órgão outorgante do Estado do Tocantins não dispor desses elementos, poderá fazer uma solicitação ao órgão gestor do Estado de Pernambuco, a Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos, que já dispõe de todos esses elementos, aprovados por Resolução do CRH/PE

O principal documento a ser utilizado pelo órgão outorgante para definir as condições da emissão da outorga, é o “Mapa de Zoneamento de Exploração dos Aquíferos”, a ser apresentado no capítulo que se segue.



## 4.2. Síntese do Zoneamento de Exploração dos Aquíferos

Conforme analisado na Seção 2.9, a Região Centro-Norte do Tocantins compreendeu as seguintes zonas e subzonas de exploração de aquíferos:

Zona	Sub-zona	Aquífero ou Sistema aquífero	Feições litológicas
A		Rio das Barreiras	Arenitos pouco consolidados
B	B1	Corda confinado	Arenitos com intercalações de argilas
	B2	Carda livre	Arenitos com intercalações de argilas
C	C1	Sambaíba livre	Arenitos bem consolidados
	C2	Sambaíba confinado	Arenitos bem consolidados
	C3	Sambaíba confinado	Arenitos bem consolidados
D	D1	Poti/Piauí livre	Arenitos com intercalações de argilas
	D2	Poti/Piauí confinado	Arenitos com intercalações de argilas
E		Urucua	Arenitos grosseiros bem consolidados
F	F1	Corda, Poti e Piauí	Arenitos com intercalações de argilas
	F2	Serra Grande confinado	Arenitos grosseiros bem consolidados
G		Aquífero fissural	Granitos, gnaisses, xistos e vulcanitos

Considerando a importância que esse zoneamento representa para a gestão dos aquíferos da região, será em seguida, efetuada uma análise das características e condições de exploração de cada zona.

### Zona “A”

Essa zona é representada pelo aquífero Rio das Barreiras, que ocorre na condição de aquífero livre, com espessura total da ordem de 100 m e área total de 4.716,18 km<sup>2</sup>, situando-se numa faixa de direção norte-sul, na porção ocidental da área, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Aragominas, Muricilândia, Araguaína, Pau D’Árco, Arapoema, Bernardo Sayão, Juarina, Pequizeiro e Couto Magalhães.

Por ser um aquífero que ocorre em toda sua extensão, aflorante na superfície, e ainda por possuir uma boa porosidade e permeabilidade, ele é vulnerável à poluição por agentes antrópicos, necessitando, portanto, de uma proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n.º. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002<sup>[24]</sup>).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 600 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão de 50 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 100,00 m de outro poço já existente.

<sup>[24]</sup> TOCANTINS. Lei n.º 1.307, de 22 de março de 2002. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**: Palmas - TO, n. 1.156, 2002.



Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 1, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média de 100 m, diâmetro de 6”, totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 30% do total revestido.

### **Zona “B1”**

Essa zona é representada pelo aquífero Corda, que ocorre na condição de aquífero confinado, encoberto pelos aquíferos Itapecuru e aquífero Codó, com espessura total da ordem de 100 m e área total de 3.795,05 km<sup>2</sup>, situando-se na região norte da área estudada, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: São Sebastião do Tocantins, Esperantina, Buriti do Tocantins, Carrasco Bonito, Augustinópolis, Praia Norte, São Miguel do Tocantins, Axixá do Tocantins e Sítio Novo do Tocantins.

Por ser um aquífero confinado ele possui reduzida vulnerabilidade à poluição, não estando, por isso, sujeita a proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 300 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão de 25 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 200,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 3, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média de 180 a 200 m, diâmetro de 6”, totalmente revestido em tubos PVC reforçado, com filtros PVC reforçado em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento.

### **Zona “B2”**

Essa zona é representada pelo aquífero Corda, que ocorre na condição de aquífero livre, recoberto os basaltos da Formação Mosquito; sua espessura é da ordem de 70,00 m e área total de 4.931,37 km<sup>2</sup>, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Itaguatins, Maurilândia do Tocantins, Tocantinópolis, Cachoeirinha, Luzinópolis, Nazaré, Angico, Santa Terezinha do Tocantins, e Aguiarnópolis.

Por ser um aquífero que ocorre em toda sua extensão, aflorante na superfície, e ainda por possuir uma boa porosidade e permeabilidade, ele é vulnerável à poluição por agentes antrópicos, necessitando, portanto, de uma proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 300 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão de 25 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 100,00 m de outro poço já existente.



Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 1, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média de 100 m, diâmetro de 6”, totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 30% do total revestido.

### **Zona “C1”**

Essa zona é representada pelo aquífero Sambaíba, que ocorre na condição de aquífero livre, com espessura total da ordem de 200 m e área total de 5.362,16 km<sup>2</sup>, situando-se numa faixa de direção norte-sul, na porção norte da área, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Araguatins, São Bento do Tocantins, Ananás, Santa Terezinha do Tocantins, Angico, Wanderlândia e Babaçulândia.

Por ser um aquífero que ocorre em toda sua extensão, aflorante na superfície, e ainda por possuir uma boa porosidade e permeabilidade, ele é vulnerável à poluição por agentes antrópicos, necessitando, portanto, de uma proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 600 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão máxima de 50 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 100,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 3, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média de 180 a 200 m, diâmetro de 6”, totalmente revestido em tubos PVC reforçado, com filtros PVC reforçado em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento.

### **Zona “C2”**

Essa zona é representada pelo aquífero Sambaíba, que ocorre na condição de aquífero confinado pelo aquífero fissural vulcânico (Formação Mosquito), com espessura total da ordem de 200 m e área total de 3.101,47 km<sup>2</sup>, situando-se numa faixa de direção norte-sul, na porção norte da área, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Aguiarnópolis, Palmeiras do Tocantins, Darcinópolis, Wanderlândia e Babaçulândia.

Por ser um aquífero confinado ele possui reduzida vulnerabilidade à poluição, não estando por isso, sujeita a proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 480 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão de 40 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 200,00 m de outro poço já existente.



Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 4, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média entre 250 e 400 m, diâmetro de 6” revestido em tubos de aço galvanizado até a profundidade de 200 m e tubos de PVC reforçado de 200 a 400 m; no caso de ocorrer aquífero na porção revestida em tubos de aço galvanizado, deverão ser colocados filtros metálicos, tipo Nold nos espaços referentes ao aquífero, no espaço entre 200 e 400 m, os filtros a serem colocados serão em PVC reforçado.

### **Zona “C3”**

Essa zona é representada pelo aquífero Sambaíba, que ocorre na condição de aquífero confinado pelo aquífero fissural vulcânico (Formação Mosquito), sendo o aquífero fissural recoberto pelo aquífero Corda, com espessura total da ordem de 200 m e área total de 4.931,37 km<sup>2</sup>, situando-se numa faixa de direção norte-sul, na porção norte da área, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Itaguatins, Maurilândia do Tocantins, Tocantinópolis, Cachoeirinha, Luzinópolis, Nazaré, Angico, Santa Terezinha do Tocantins, e Aguiarnópolis.

Por ser um aquífero confinado ele possui reduzida vulnerabilidade à poluição, não estando por isso, sujeita a proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 480 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão de 40 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 200,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 5, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média entre 200 e 400 m, no caso em que se atravesse a camada vulcânica (Formação Mosquito) para captar o aquífero Sambaíba sem que se pretenda captar o aquífero Corda sobre o basalto; o poço deverá ser revestido em tubos de aço galvanizado até cravação no basalto (pelo menos com 10 m dentro do basalto). A perfuração do poço, mesmo sem revestimento da porção do basalto e do aquífero Sambaíba, deverá se estender até alcançar pelo menos 50 m dentro desse aquífero.

### **Zona “D1”**

Essa zona é representada pelo sistema aquífero Poti/Piauí, que ocorre na condição de aquífero livre, com espessura total da ordem de 200 a 400 m e área total de 22.756,94 km<sup>2</sup>, situando-se numa faixa de direção norte-sul, na porção centro-sul da área, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Barra do Ouro, Goiatins, Campos Lindos, Itacajá, Recursolândia, Centenário e Lizarda.

Por ser um aquífero que ocorre em toda sua extensão, aflorante na superfície, e ainda por possuir uma boa porosidade e permeabilidade, ele é vulnerável à poluição por



agentes antrópicos, necessitando, portanto, de uma proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 600 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão máxima de 50 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 100,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 3 (na situação de aquífero livre) a Tipo 4 (na condição de semiconfinado - Sistema aquífero Poti/Piauí).

### **Zona “D2”**

Essa zona é representada pelo sistema aquífero Poti/Piauí, que ocorre na condição de aquífero confinado sob o aquífero de Pedra de Fogo, ocupando uma faixa de direção NW-SE (na parte norte e NW-SW (na parte sul), com aproximadamente 204 km de comprimento por 34 km de largura, na área norte e 93 km de comprimento x 12 km de largura na parte sul, com espessura total da ordem de 400 m e área total de 6.777,06 km<sup>2</sup>, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Filadélfia, Barra do Ouro, Campos Lindos e Lizarda (no extremo sul da área)

Por ser um aquífero confinado ele possui reduzida vulnerabilidade à poluição, não estando por isso, sujeita a proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 600 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão de 50 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 200,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 4, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média entre 250 e 400 m, diâmetro de 6” revestido em tubos de aço galvanizado até a profundidade de 200 m e tubos de PVC reforçado de 200 a 400 m; no caso de ocorrer aquífero na porção revestida em tubos de aço galvanizado, deverão ser colocados filtros metálicos, tipo Nold nos espaços referentes ao aquífero, no espaço entre 200 e 400 m, os filtros a serem colocados serão em PVC reforçado.

### **Zona “E”**

Essa zona é representada pelo aquífero Urucuia, que ocorre na condição de aquífero livre, com espessura total da ordem de 100 m e área total de 959,57 km<sup>2</sup>, situando-se numa área de na porção sudeste da região estudada, incluindo parcialmente o município de Lizarda.

Por ser um aquífero que ocorre em toda sua extensão, aflorante na superfície, e ainda por possuir uma boa porosidade e permeabilidade, ele é vulnerável à poluição por



agentes antrópicos, necessitando, portanto, de uma proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 240 m<sup>3</sup>/dia, para um regime de bombeamento de 12/24h, para uma vazão máxima de 20 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 100,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 1, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média de 100 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 30% do total revestido.

### **Zona "F1"**

Essa zona é representada por uma alternância de aquíferos Cabeças, Poti e Piauí e aquíferos (Pimenteiras - na base- Longá e Motuca - no topo), com espessura total da ordem de 200 m e área total de 20.271,31 km<sup>2</sup>, situando-se numa faixa de direção norte-sul, na porção central da região estudada, incluindo parcialmente total ou parcialmente os municípios de São Bento do Tocantins (ao norte), Ananás, Riachinho, Piraquê, Carmolândia, Nova Olinda, Palmeirante, Brasilândia do Tocantins, Presidente Kennedy, Tupiratins, Tupirama, Rio dos Bois e Miracema do Tocantins (ao sul).

Por ser um aquífero confinado a semiconfinado, ele possui reduzida vulnerabilidade à poluição, não estando por isso, sujeita a proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 120,00 (em aquíferos) a 240,00 m<sup>3</sup>/dia (em aquíferos Cabeças ou Poti/Piauí) para uma vazão de 10 m<sup>3</sup>/h e 20 m<sup>3</sup>/h, respectivamente.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 200,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 2, com profundidade de 130 a 150 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento, de forma a alcançar distintos níveis mais permeáveis ou mais de um aquífero, ou ainda do Tipo 3, totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média de 180 a 200 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC reforçado, com filtros PVC reforçado em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento, a depender da profundidade das camadas atravessadas.

### **Zona "F2"**

Essa zona é representada pelo aquífero Serra Grande, que ocorre na condição de aquífero confinado pelo aquífero Pimenteiras com espessura total da ordem de 100 m e área total de 8.617,05 km<sup>2</sup>, situando-se numa faixa de direção norte-sul, na porção



centro-sul da área, incluindo total ou parcialmente os municípios de Guaraí, Goianorte, Dois Irmãos do Tocantins, Miranorte, Barrolândia, Miracema do Tocantins, Pedro Afonso, Bom Jesus do Tocantins, Santa Maria do Tocantins e Tupiratins.

Por ser um aquífero confinado a semiconfinado, ele possui reduzida vulnerabilidade à poluição, não estando por isso, sujeita a proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 480,00 m<sup>3</sup>/dia no aquífero Serra Grande, para uma vazão de 40 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 200,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 5, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média entre 200 e 400 m, após atravessar o aquífero de Pimenteiras, com espessura em torno de 300 m.

### **Zona “G”**

Essa zona é representada pelo aquífero fissural com distintas formações e litologias, como granitos, migmatitos, gnaisses, quartzitos, e xistos, que ocupam a porção ocidental da área entre os rios Tocantins e Araguaia, numa área total de 24.287,73 km<sup>2</sup>, incluindo total ou parcialmente os seguintes municípios: Xambioá, Araguaia, Colinas do Tocantins, Santa Fé do Araguaia, Arapoema, Pequizeiros, Goianorte, Itaporã do Tocantins, Goianorte, Colmeia, Araguacema, Dois Irmãos do Tocantins, Abreulândia, Fortaleza do Tabocão.

Por ser um aquífero que ocorre em toda sua extensão, aflorante na superfície, ele é vulnerável à poluição por agentes antrópicos, necessitando, portanto, de uma proteção máxima conforme estabelecido no art.24 da Lei n°. 1.307/2002 (TOCANTINS, 2002).

A vazão máxima a ser outorgada deverá ser de 120,00 m<sup>3</sup>/dia no aquífero Serra Grande, para uma vazão de 10 m<sup>3</sup>/h.

Os novos poços a serem perfurados deverão guardar uma distância de pelo menos 100,00 m de outro poço já existente.

Os poços perfurados nessa zona deverão ser do Tipo 1, da classificação apresentada em 4.1.1.1., totalmente penetrantes no aquífero, com profundidade média de 100 m, diâmetro de 6”.



### 4.3. Diretrizes Para Enquadramento das Águas Subterrâneas com Base na Resolução CONAMA 396/2008

O capítulo II da Lei 396/2008 (BRASIL, 2008<sup>[25]</sup>) 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 apresentados no Anexo I.

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,

<sup>[25]</sup> BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília - DF, n. 66, p. 64-68, 7 abr. 2008.



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.

#### 4.3.1. Padrões para Cada Uso das Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas no momento do uso deverão atender os seguintes Padrões:

- Consumo humano: os padrões de potabilidade da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde ou sua sucessora (Quadro 34).
- Recreação: os padrões da resolução CONAMA 274/2000 ou sua sucessora.
- Irrigação e dessedentação de animais: os padrões deverão atender a legislação específica brasileira ou na sua falta, os valores recomendados pela “*Food and Agricultural Organization*”.

Respeitada a legislação vigente, outros usos das águas subterrâneas poderão ter seus padrões ou valores estabelecidos pelos órgãos estaduais e/ou municipais.

**Quadro 34.** Padrões de Potabilidade

Parâmetro	Unid.	VMP	Parâmetro	Unid.	VMP	
<b>Padrão de Aceitação para Consumo Humano</b>						
I	Cor Aparente	uH	15	Turbidez	UT	5
	pH	-	6 - 5 *1			
II	Cloreto	mg/L	250	Sódio	mg/L	200
	Dureza Total	mg/L	500	STD	mg/L	1000
	Ferro Total	mg/L	0,3	Sulfato	mg/L SO <sub>4</sub>	250
III	Xileno	mg/L	0,3	Tolueno	mg/L	0,17
	Etilbenzeno	mg/L	0,2			
<b>Padrão de Potabilidade para Substâncias Químicas que Representam Risco à Saúde</b>						
II	Nitrato	mg/L N	10	Nitrito	mg/L N	1
III	Benzeno	µg/L	5			
<b>Padrão Microbiológico de Potabilidade da Água para Consumo Humano</b>						
VII	Coliformes Totais	n°/100 mL	Ausência			



Parâmetro	Unid.	VMP	Parâmetro	Unid.	VMP
<b>Notas :</b>					
I - Parâmetros físicos e organolépticos.			*1 - Recomendado		
II - Parâmetros químicos inorgânicos.			UT - Unidade de turbidez		
III - Parâmetros químicos orgânicos.			µg/L - Micrograma por litro		
VII - Parâmetros microbiológicos			mg/L - Miligrama por litro		
VMP - Valor Máximo Permitido					
uH - Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)					

Fonte: Portaria 518/2004, do Ministério da Saúde.

#### 4.3.2. Valor Máximo Permitido - VMP

Limite máximo permitido de um dado parâmetro especifica para cada uso da água subterrânea (Quadro 35).

**Quadro 35.** Valores Máximos Permitidos (VMP) e os Limites de Quantificação Praticáveis (LQP) dos parâmetros químicos, Agrotóxicos e Micro-organismos das águas subterrâneas de acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008, 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	
<b>Parâmetros Inorgânicos das Águas Subterrâneas (µg.L<sup>-1</sup>)</b>						
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 NO3	14797-55-8	10.000	90.000	-	10.000	300
Nitrito NO2	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)	1.000.000	-	400.000	5.000
<b>Parâmetros orgânicos das Águas Subterrâneas (µg.L<sup>-1</sup>)</b>						
Benzeno	71-43-2	5	-	-	10	2
Fenóis	-	3	2	-	2	10
Etilbenzeno	100-41-4	200 (1)	-	-	-	5



Parâmetros	Nº CAS	Usos Preponderantes da Água				Limite de Quantificação Praticável - (LQP)
		Consumo Humano	Dessedentar Animais	Irrigação	Recreação	
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- 0	300	-	-	-	5 para cada
<b>Micro-organismos das Águas Subterrâneas (nº/100 mL)</b>						
<i>E. coli</i>	-	Ausentes	200	-	800	-
Enterococos	-	-	-	-	100	-
Coliformes termotolerantes	-	Ausentes	200	-	1.000	-

**Notas:** 1. Efeito organoléptico

VMP+ valor máximo permitido mais restritivo entre todos os usos preponderantes.

VMP- valor máximo permitido menos restritivo entre todos os usos preponderantes.

Classe 1: o VRQ <ou = VMP+ Classe 2: o VRQ > VMP+ .

Fonte: Resolução CONAMA nº 396/2008

#### 4.3.3. O Enquadramento das Águas Subterrâneas da Região Centro-Norte do Tocantins

Para a região em estudo não foi possível realizar o enquadramento das águas subterrâneas pelo fato de não terem sido realizadas as análises físico-químicas pelos motivos já expostos.

Entretanto, considerando os valores de sólidos totais dissolvidos - STD, variando entre o mínimo de 5 mg/L ao máximo de 1.410,00 mg/L e com apenas um valor acima do limite de potabilidade (de 1.000 mg/L), os Valores Máximos Permitidos (VMP) e os Limites de Quantificação Praticáveis (LQP) dos parâmetros químicos do quadro 4.3 serão insignificantes e meramente pontuais, o que significa que a grande maioria (>98%) da área se enquadra na 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;



## 4.4. Aspectos Legais

### 4.4.1. Adequação e/ou Reformulação da Legislação Vigente com Vistas a Controlar o Uso e a Preservação das Águas Subterrâneas

O Estado do Tocantins não dispõe ainda de uma lei específica sobre as águas subterrâneas. De acordo com Fernandes; Oliveira (2018), apenas 9 (nove) unidades federativas do Brasil dispõem desse dispositivo legal que são os seguintes (com respectiva lei), na ordem cronológica da legalização:

São Paulo (Lei nº 6134/1988<sup>[26]</sup>), Distrito Federal (Lei nº 55/1989<sup>[27]</sup>), Pernambuco (Lei nº 11.427/1997<sup>[28]</sup>), Pará (Lei nº 6.105/1998<sup>[29]</sup>), Goiás (Lei nº 13.583/2.000<sup>[30]</sup>), Minas Gerais (Lei nº 13.771/2.000<sup>[31]</sup>), Espírito Santo (Lei nº 6.295/2000<sup>[32]</sup>), Mato Grosso do Sul (Lei nº 3.183/2006<sup>[33]</sup>) e Alagoas (Lei nº 7.094/2009<sup>[34]</sup>).

O Estado do Tocantins possui uma lei estadual sobre recursos hídricos que é a **Lei nº. 1.307, de 22 de março de 2002**, que “*Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências*” (TOCANTINS, 2022<sup>[35]</sup>).

Esta Lei possui um capítulo especial sobre as águas subterrâneas, com um nível adequado de disposições legais, como visto a seguir:

#### CAPÍTULO IV -DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS OU AQUÍFERO

##### SEÇÃO I - Disposições Preliminares

<sup>[26]</sup> SÃO PAULO. Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988. Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**: São Paulo - SP, v. 98, n. 101, 3 jun. 1998.

<sup>[27]</sup> DISTRITO FEDERAL. Lei nº 55, de 24 de novembro de 1989. Dispõe sobre a utilização das águas subterrâneas situadas no Distrito Federal. **Diário Oficial do Distrito Federal**: Brasília - DF, p. 3, col. 1, n. 224, 27 nov. 1989.

<sup>[28]</sup> PERNAMBUCO. Lei nº 11.427, de 17 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**: Recife, PE, p. 7, col. 2, 18 jan. 1997.

<sup>[29]</sup> PARÁ. Lei nº 6.105, de 14 de janeiro de 1998. Dispõe sobre a conservação e proteção dos depósitos de águas subterrâneas no Estado do Pará e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Pará**: Belém - PA, p. 2, cad. 1, 16 jan. 1998.

<sup>[30]</sup> GOIÁS. Lei nº 13.583, de 11 de janeiro de 2000. Dispõe sobre a conservação e proteção ambiental dos depósitos de água subterrânea no Estado de Goiás e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Goiás**: Goiânia - GO, 14 jan. 2000.

<sup>[31]</sup> MINAS GERAIS. Lei nº 13.771, de 11 de dezembro de 2000. Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**: Belo Horizonte - MG, p. 1, col. 1, 12 dez. 2000.

<sup>[32]</sup> ESPÍRITO SANTO. Lei nº 6.295, de 26 de julho de 2000. Dispõe sobre a administração, proteção e conservação das águas subterrâneas do domínio do Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**: Vitória - ES, 27 jul. 2000.

<sup>[33]</sup> MATO GROSSO DO SUL. Lei nº 3.183, de 21 de fevereiro de 2006. Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Mato Grosso do Sul**: Campo Grande - MS, n. 6.676, 22 fev. 2006.

<sup>[34]</sup> ALAGOAS. Lei nº 7.094, de 2 de setembro de 2009. Dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas de domínio no estado de Alagoas e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Alagoas**: Maceió - AL, 3 set. 2009.

<sup>[35]</sup> TOCANTINS. Decreto Estadual nº 2.432 de 6 de junho de 2005. Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõem os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22 de março de 2002. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**: Palmas - TO, 2005.



Art. 19. São consideradas águas subterrâneas as que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo, de forma a ser suscetível de extração e utilização.

Art. 20. A utilização das águas subterrâneas classificadas como "água mineral" é regida por esta Lei, subsidiariamente à legislação própria.

Art. 21. As captações de águas subterrâneas já existentes devem ser regularizadas com o pedido de outorga, no prazo máximo de cento e oitenta dias da vigência desta Lei.

Art. 22. A recarga artificial de aquífero:

I - Depende de autorização do órgão gestor dos recursos hídricos;

II - Está condicionada a comprovação de:

a) conveniência técnica, econômica e sanitária;

b) preservação da qualidade das águas subterrâneas.

#### SEÇÃO II - Da Restrição ao Uso das Águas Subterrâneas

Art. 23. O Poder Público pode restringir a captação e o uso das águas subterrâneas, no interesse:

I - Da conservação, proteção ou manutenção do equilíbrio natural;

II - Dos serviços de abastecimento coletivo de água;

III - De questões geológicas, geotécnicas ou ecológicas.

Art. 24. A restrição de que trata o artigo anterior instrumentaliza-se através da instituição de áreas de proteção e controle do uso de águas subterrâneas, classificadas em:

I - Área de Proteção Máxima, compreendendo, no todo ou em parte, de zonas de recarga de aquífero altamente vulneráveis à poluição e que se constituem em depósitos de águas essenciais para o abastecimento público;

II - Área de Restrição e Controle, caracterizada pela necessidade de disciplina das extrações, controle máximo das fontes poluidoras implantadas e restrição a novas atividades potencialmente poluidoras;

III - Área de Proteção de Poços e outras Captações, incluindo a distância mínima entre poços e outras captações e o respectivo perímetro de proteção.

#### SUBSEÇÃO I - Da Área de Proteção Máxima

Art. 25. Na Área de Proteção Máxima é proibido:

I - O estabelecimento de indústria de alto risco ambiental, polos petroquímicos, carboquímicas e cloro químicos, usinas nucleares e quaisquer outras fontes de grande impacto ambiental ou extrema periculosidade;



II - O trabalho agrícola que, utilizando-se de produtos tóxicos de grande mobilidade, possa colocar em risco as águas subterrâneas, na conformidade da relação divulgada pelo órgão gestor dos recursos hídricos do Estado;

III - O parcelamento do solo para fins de adensamento populacional sem o adequado sistema de tratamento de efluentes ou de disposição de resíduos sólidos.

§ 1º. Nos casos de escassez de água subterrânea ou de prejuízo sensível aos aproveitamentos existentes na Área de Proteção Máxima, o órgão gestor dos recursos hídricos do Estado pode:

I - Proibir novas captações até que o aquífero se recupere ou seja superado o fato que determinou a carência de água;

II - Restringir e regular a captação de água subterrânea estabelecendo o volume máximo a ser extraído e o regime de operação;

III - Controlar as fontes de poluição existentes mediante procedimento específico de monitoramento;

IV - Restringir novas atividades potencialmente poluidoras.

§ 2º. Considera-se poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas que possam:

I - Ocasionar prejuízo à saúde, a segurança e ao bem-estar das populações;

II - Comprometer o seu uso para fins agropecuários, industriais, comerciais e recreativos;

III - Causar danos a fauna e a flora.

#### SUBSEÇÃO II - Da Área de Restrição e Controle

Art. 26. As medidas estabelecidas no artigo anterior podem ser adotadas na Área de Restrição e Controle quando houver escassez de água subterrânea ou prejuízo sensível aos aproveitamentos existentes.

#### SUBSEÇÃO III - Da Área de Proteção de Poços e outras Captações

Art. 27. É instituído na Área de Proteção de Poços e outras Captações um perímetro imediato de proteção sanitária cujo raio é de cinquenta m a partir do ponto de captação, cercado, protegido e com o interior resguardado da entrada ou infiltração de poluentes.

§ 1º. São tamponados os poços:

I - Abandonados ou em funcionamento que acarretem ou possam acarretar poluição ou, ainda, que representem riscos aos aquífero;

II - Cujas perfurações foram realizadas para fins diversos da extração de água.

§ 2º. A desativação temporária ou definitiva dos poços deve ser comunicada pelo responsável ao órgão gestor dos recursos hídricos.



Art. 28. Os poços jorrantes devem ser dotados de dispositivos que impeçam o desperdício da água ou eventuais desequilíbrios ambientais.

Art. 29. As escavações, sondagens ou obras que atingirem águas subterrâneas, cuja finalidade é a pesquisa relativa a lavra mineral ou outros fins, devem ter tratamento idêntico ao do poço abandonado.

Esta lei foi regulamentada no capítulo de outorga, através de um decreto específico de 6 de junho de 2005 (TOCANTINS, 2005).

DECRETO n. 2432, de 06 de junho de 2005

“Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõe os artigos 8º, 9º e 10º da Lei 1.307, de 22 de março de 2002”.

Nesse decreto que regulamenta a outorga, são incluídos alguns dispositivos sobre as águas subterrâneas, a saber:

Art. 5 Estão sujeitos a outorga:

II - A extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

SEÇÃO IV - Da Outorga e Restrições de Usos de Águas Subterrâneas

Art. 9º A outorga do direito de uso de águas subterrâneas será emitida com base:

I - Nos estudos hidrogeológicos;

II - Nas informações sobre os poços, das quais deverão constar, dentre outras:

a) perfis litológicos;

b) análises de qualidade da água;

c) teste de bombeamento.

§ 1º Quando houver definições sobre a capacidade de produção de água do aquífero subterrâneo aprovados nos Planos de Bacias e submetidos ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos os critérios básicos para emissão da outorga deverão ser revistos.

§ 2º Em se tratando de poços construídos anteriormente a este regulamento, serão exigidos o teste de bombeamento e o laudo de análise microbiológica e físico-química da água extraída.

Art. 10. A execução de obras para perfuração de poços destinados à extração de águas subterrâneas, somente poderá ser iniciada com a anuência previa do NATURATINS, cujo prazo de validade não poderá ultrapassar 180 dias, podendo ser renovado, a critério deste órgão, por igual período.

Parágrafo único. A anuência citada no caput deste artigo não gera o direito de uso da água extraída.



Art. 11. Após a execução da obra mencionada de que trata o artigo anterior e requerida a respectiva outorga de direito de uso de recursos hídricos de acordo com os procedimentos definidos pela legislação.

Constata-se que a regulamentação da lei de recursos hídricos foi regulamentada apenas no capítulo de outorga, deixando imprecisa a sua aplicação nos demais dispositivos legais.

Nessa situação, duas medidas poderiam ser adotadas:

- 1ª) elaborar uma lei específica sobre as águas subterrâneas, como já existente nas 9 (nove) unidades federativas do País;
- 2ª) emitir resoluções pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins - CERH/TO em determinados itens específicos da citada lei, como por exemplo, sobre a “execução de obras para perfuração de poços destinados à extração de águas subterrâneas”, de que trata o art.10 do Decreto nº 2.432/2005 (TOCANTINS, 2005), acima citado, incluindo também a outorga.

Consideramos desnecessária a apresentação de uma proposta de lei específica de águas subterrâneas, uma vez que a mesma já foi elaborada no ano de 2010 no escopo dos “Estudos Hidrogeológicos da Região Sudeste do Estado do Tocantins” (COSTA *et al.*, 2010) - páginas 253 a 266 - e até o momento não implementada.

Quanto a resolução, poderia incluir também a aprovação do “mapa de zoneamento de exploração” (Seção 4.2 deste relatório), acrescido das “áreas de proteção das zonas de recarga” a serem descritas no Seção 4.2. 2.

Como proposta, é apresentada a seguir um modelo de resolução que poderia ser aprovado pelo CERH/TO - *Apêndice VII* do DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO.

#### **4.4.2. Análise Econômica dos Poços - Custo do m<sup>3</sup> da Água para Distintas Profundidades**

Conforme foi descrito em 4.1.1, ocorrem na região estudada várias situações diferenciadas de aquíferos livres ou confinados, que implicam em 5 (cinco) distintos tipos de poços.

Esses distintos tipos de poços são aplicáveis a diferentes tipos de aquíferos, daí a necessidade de distingui-los em função do aquífero em que irá ser aplicado, ou seja, das características de vazão, pressão, tipo de revestimento e filtro, etc.

##### **Poço 1**

Profundidade de 80 a 100 m, diâmetro de 6”, totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 30% do total revestido; a posição dos filtros deverá situar-se na seção mais profunda do poço.

**Profundidade:** 100 m

**Diâmetro de perfuração:** 12 1/4”



**Revestimento: Tipo:** PVC      **Diâmetro:** 6"

**Filtro: Tipo:** PVC      **Abertura:** 0,75 mm **Diâmetro:** 6"

**Pré-filtro: Tipo:** cascalho selecionado quartzo **Diâmetro partículas:** 1 a 3 mm

**Cimentação (intervalo):** 0 - 20 m      **Encascalhamento (intervalo):** 20-100 m

**Desenvolvimento/limpeza: Método:** pistoneamento      **Duração:** mínimo de 48 h

**Teste de vazão: Equipamentos:** bomba submersa e tubo de Pitot **Duração:** 24h

**Custo aproximado (jan/2022):** R\$ 60.000,00

Observação: o método de desenvolvimento/limpeza pode ser substituído por outro desde que apresente a eficiência desejável.

## **Poço 2**

Profundidade de 130 a 150 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento, de forma a alcançar distintos níveis mais permeáveis ou mais de um aquífero.

**Profundidade:** 150 m

**Diâmetro de perfuração:** 12 1/4"

**Revestimento: Tipo:** PVCRef      **Diâmetro:** 6"

**Filtro: Tipo:** PVCRef      **Abertura:** 0,75 mm **Diâmetro:** 6"

**Pré-filtro: Tipo:** cascalho selecionado quartzo **Diâmetro partículas:** 1 a 3 mm

**Cimentação (intervalo):** 0 - 30 m      **Encascalhamento (intervalo):** 30-150 m

**Desenvolvimento/limpeza: Método:** pistoneamento      **Duração:** mínimo de 48 h

**Teste de vazão: Equipamentos:** bomba submersa e tubo de Pitot **Duração:** 24h

**Custo aproximado (jan/2022):** R\$ 100.000,00

Observação: o método de desenvolvimento/limpeza pode ser substituído por outro desde que apresente a eficiência desejável.

## **Poço 3**

Profundidade de 180 a 200 m, diâmetro de 6", totalmente revestido em tubos PVC, com filtros PVC em 40% do total revestido; a posição dos filtros poderá ficar distribuída ao longo do revestimento, de forma a alcançar distintos níveis mais permeáveis ou mais de um aquífero.

**Profundidade:** 150 m

**Diâmetro de perfuração:** 12 1/4"

**Revestimento: Tipo:** PVCRef      **Diâmetro:** 6"

**Filtro: Tipo:** PVCRef      **Abertura:** 0,75 mm **Diâmetro:** 6"



**Pré-filtro: Tipo:** cascalho selecionado quartzo **Diâmetro partículas:** 1 a 3 mm

**Cimentação (intervalo):** 0 - 30 m **Encascalhamento (intervalo):** 30-150 m

**Desenvolvimento/limpeza: Método:** pistoneamento **Duração:** mínimo de 48 h

**Teste de vazão: Equipamentos:** bomba submersa e tubo de Pitot **Duração:** 24h

**Custo aproximado (jan/2022):** R\$ 200.000,00

#### **Poço 4**

Profundidade entre 250 e 400 m, diâmetro de 6" revestido em tubos de aço galvanizado até a profundidade de 200 m e tubos de PVC ref de 200 a 400 m; no caso de ocorrer aquífero na porção revestida em tubos de aço galvanizado, deverão ser colocados filtros metálicos, tipo Nold nos espaços referentes ao aquífero, no espaço entre 200 e 400 m, os filtros a serem colocados serão em PVC ref.

**Profundidade:** 400 m

**Diâmetro de perfuração:** 14 ¼"

**Revestimento: Tipo:** Aço galvaniz. **Diâmetro:** 8" **Intervalo:** 0 - 200; PVCref de 200 a 400 m

**Filtro: Tipo:** Aço galvaniz. **Abertura:** 0,75 mm **Diâmetro:** 8" **Intervalo:** 0-200; PVCref de 200 a 400 m

**Pré-filtro: Tipo:** cascalho selecionado quartzoso **Diâmetro partículas:** 1 a 2 mm

**Cimentação (intervalo):** 0 - 60 m (processar em 2 etapas de 30 m cada)

**Desenvolvimento/limpeza: Método:** pistoneamento (perfuração com percussora) ou jateamento combinado com injeção de ar comprimido (perfuração com rotativa); podendo também utilizar o método de "air-surge-plunge" **Duração:** 48 h

**Teste de vazão: Equipamentos:** bomba submersa e tubo de Pitot **Duração:** 24h

**Custo aproximado (jan/2022):** R\$ 500.000,00

#### **Poço 5**

Profundidade entre 200 e 400 m, no caso em que se atravessasse a camada vulcânica (Formação Mosquito) para captar o aquífero Sambaíba sem que se pretenda captar o aquífero Corda sobre o basalto; o poço deverá ser revestido em tubos de aço galvanizado até cravação no basalto (pelo menos com 10 m dentro do basalto). A perfuração do poço, mesmo sem revestimento da porção do basalto e do aquífero Sambaíba, deverá se estender até alcançar pelo menos 50 m dentro desse aquífero.

**Profundidade:** 400 m

**Diâmetro de perfuração:** 14 ¼"

**Revestimento: Tipo:** Aço galvaniz. **Diâmetro:** 8" **Intervalo:** 0 - até base da camada de basalto; PVCref em toda a camada do aquífero Sambaíba

**Filtro: Tipo:** PVCref **Abertura:** 0,75 mm **Diâmetro:** 8" **Intervalo:** em todo o aquífero Sambaíba

**Pré-filtro: Tipo:** cascalho selecionado quartzoso **Diâmetro partículas:** 1 a 3 mm



**Cimentação (intervalo):** 0 - 60 m (processar em 2 etapas de 30 m cada)

**Desenvolvimento/limpeza: Método:** pistoneamento (perfuração com percussora) ou jateamento combinado com injeção de ar comprimido (perfuração com rotativa); podendo também utilizar o método de “air-surge-plunge” **Duração:** 48 h

**Teste de vazão: Equipamentos:** bomba submersa e tubo de Pitot **Duração:** 24h

**Custo aproximado (jan/2022):** R\$ 600.000,00

### **Poço 6**

Profundidade entre 300 e 400 m, sendo utilizado para captar o aquífero Serra Grande, sob o aquífero Pimenteiras, sendo que o revestimento em tubos de aço galvanizado deverá ser implantado em todo o poço, contendo filtros nos horizontes arenosos do aquífero Pimenteiras e em toda extensão do aquífero Serra Grande

**Profundidade:** 400 m

**Diâmetro de perfuração:** 14 ¼”

**Revestimento: Tipo:** Aço galvaniz. **Diâmetro:** 8” **Intervalo:** ao longo de todo o poço, com filtros nos intervalos de camadas arenosas do aquífero Pimenteiras

**Filtro: Tipo:** Aço galvanizado **Abertura:** 0,75 mm **Diâmetro:** 8” **Intervalo:** nas camadas arenosas do aquífero Pimenteiras e ao longo dos 50 m do aquífero Serra Grande

**Pré-filtro: Tipo:** cascalho selecionado quartzoso **Diâmetro partículas:** 1 a 3 mm

**Cimentação (intervalo):** 0 - 60 m (processar em 2 etapas de 30 m cada)

**Desenvolvimento/limpeza: Método:** pistoneamento (perfuração com percussora) ou jateamento combinado com injeção de ar comprimido (perfuração com rotativa); podendo também utilizar o método de “air-surge-plunge” **Duração:** 48 h

**Teste de vazão: Equipamentos:** bomba submersa e tubo de Pitot **Duração:** 24h

**Custo aproximado (jan/2022):** R\$ 800.000,00

A partir das especificações técnicas acima apresentadas podem ser calculados os valores respectivos de m<sup>3</sup> de água bombeada em cada um dos quatro tipos de poços, como será visto em seguida:

Para o cálculo do m<sup>3</sup> de água na boca do poço será utilizada a equação apresentada no início deste capítulo.

Deve-se levar em conta que as posições dos filtros apresentadas nesses perfis, poderão sofrer mudanças em função da descrição do perfil litológico atravessado pela perfuração.

O custo da água para cada “poço tipo” será avaliado a seguir:

### **Poço Tipo 1**

Características do poço:



Profundidade: 100 m;

NE = 20 m;

Diâmetro de perfuração: 12 ¼”;

Revestimento + filtro: 100 m, sendo 70 m tubo cego e 30 m de filtro, de 6” diâmetro;

Vazão estimada para 10 m de rebaixamento:  $V_a = 6 \text{ m}^3/\text{h} = 52.560 \text{ m}^3/\text{ano}$ ;

Altura manométrica total:  $AMt = 20 \text{ m}$  (considera-se a água na boca do poço);

Parâmetros intervenientes no custo:

$I_p$  = investimento na construção do poço = R\$ 60.000,00;

$I_b$  = investimento na aquisição da bomba e energização do poço = R\$ 10.000,00;

$i$  = taxa de remuneração do capital investido = 8% = 0,08;

$V_p$  = vida útil do poço = 10 anos;

$V_b$  = vida útil da bomba = 4 anos;

$u$  = rendimento do grupo motor-bomba = 70% = 0,7;

$ce$  = custo de energia = R\$ 0,50044/Kwh;

Substituindo os valores das variáveis acima nas equações (6.2), (6.3) e (6.4), e por último, na equação (6.1), resulta, após as operações sucessivas, em:

**$C = \text{R\$ } 0,180 \text{ /m}^3$ .**

## **Poço Tipo 2**

Características do poço:

Profundidade: 150 m;

NE = 30 m;

Diâmetro de perfuração: 12 ¼”;

Revestimento + filtro: 100 m, sendo 110 m tubo cego e 40 m de filtro, de 6” diâmetro;

Vazão estimada para 10 m de rebaixamento:  $V_a = 10 \text{ m}^3/\text{h} = 87.600 \text{ m}^3/\text{ano}$ ;

Altura manométrica total:  $AMt = 30 \text{ m}$  (considera-se a água na boca do poço);

Parâmetros intervenientes no custo:

$I_p$  = investimento na construção do poço = R\$ 100.000,00;

$I_b$  = investimento na aquisição da bomba e energização do poço = R\$ 10.000,00;

$i$  = taxa de remuneração do capital investido = 8% = 0,08;

$V_p$  = vida útil do poço = 10 anos;

$V_b$  = vida útil da bomba = 4 anos;



$u$  = rendimento do grupo motor-bomba = 70% = 0,7;

$ce$  = custo de energia = R\$ 0,50044/Kwh;

Substituindo os valores das variáveis acima nas equações (6.2), (6.3) e (6.4), e por último, na equação (6.1), resulta, após as operações sucessivas, em:

**C = R\$ 0,195 /m<sup>3</sup>.**

### **Poço Tipo 3**

Características do poço:

Profundidade: 200 m;

NE = 30 m;

Diâmetro de perfuração: 12 ¼”;

Revestimento + filtro: 150 m, sendo 110 m tubo cego e 50 m de filtro, de 6” diâmetro;

Vazão estimada para 10 m de rebaixamento:  $Va = 15 \text{ m}^3/\text{h} = 131.400 \text{ m}^3/\text{ano}$ ;

Altura manométrica total:  $AMt = 30 \text{ m}$  (considera-se a água na boca do poço);

Parâmetros intervenientes no custo:

$lp$  = investimento na construção do poço = R\$ 200.000,00;

$lb$  = investimento na aquisição da bomba e energização do poço = R\$ 15.000,00;

$i$  = taxa de remuneração do capital investido = 8% = 0,08;

$Vp$  = vida útil do poço = 10 anos;

$Vb$  = vida útil da bomba = 4 anos;

$u$  = rendimento do grupo motor-bomba = 70% = 0,7;

$ce$  = custo de energia = R\$ 0,50044/Kwh;

Substituindo os valores das variáveis acima nas equações (6.2), (6.3) e (6.4), e por último, na equação (6.1), resulta, após as operações sucessivas, em:

**C = R\$ 0,244 /m<sup>3</sup>.**

### **Poço Tipo 4**

Características do poço:

Profundidade: 400 m;

NE = 40 m;

Diâmetro de perfuração: 12 ¼”;

Revestimento + filtro: 400 m, sendo 300 m tubo cego e 100 m de filtro, de 6” diâmetro intercalados;

Vazão estimada para 10 m de rebaixamento:  $Va = 20 \text{ m}^3/\text{h} = 175.200 \text{ m}^3/\text{ano}$ ;



Altura manométrica total:  $AMt = 40$  m (considera-se a água na boca do poço);

Parâmetros intervenientes no custo:

$lp$  = investimento na construção do poço = R\$ 500.000,00;

$lb$  = investimento na aquisição da bomba e energização do poço = R\$ 25.000,00;

$i$  = taxa de remuneração do capital investido = 8% = 0,08;

$Vp$  = vida útil do poço = 10 anos;

$Vb$  = vida útil da bomba = 4 anos;

$u$  = rendimento do grupo motor-bomba = 70% = 0,7;

$ce$  = custo de energia = R\$ 0,50044/Kwh;

Substituindo os valores das variáveis acima nas equações (6.2), (6.3) e (6.4), e por último, na equação (6.1), resulta, após as operações sucessivas, em:

**$C = R\$ 0,443 /m^3$ .**

### **Poço Tipo 5**

Características do poço:

Profundidade: 400 m;

NE = 40 m;

Diâmetro de perfuração: 12 ¼" ;

Revestimento + filtro: 400 m, sendo 350 m tubo cego e 50 m de filtro, de 6" diâmetro;

Vazão estimada para 10 m de rebaixamento:  $Va = 30$  m<sup>3</sup>/h = 262.800 m<sup>3</sup>/ano;

Altura manométrica total:  $AMt = 40$  m (considera-se a água na boca do poço);

Parâmetros intervenientes no custo:

$lp$  = investimento na construção do poço = R\$ 600.000,00;

$lb$  = investimento na aquisição da bomba e energização do poço = R\$ 25.000,00;

$i$  = taxa de remuneração do capital investido = 8% = 0,08;

$Vp$  = vida útil do poço = 10 anos;

$Vb$  = vida útil da bomba = 4 anos;

$u$  = rendimento do grupo motor-bomba = 70% = 0,7;

$ce$  = custo de energia = R\$ 0,50044/Kwh;

Substituindo os valores das variáveis acima nas equações (6.2), (6.3) e (6.4), e por último, na equação (6.1), resulta, após as operações sucessivas, em:

**$C = R\$ 0,440 /m^3$ .**



## Poço Tipo 6

O mesmo valor do poço 5: R\$ **0,440 /m<sup>3</sup>**. No Quadro 36 são resumidos os valores de cada tipo de poço.

**Quadro 36.** Custo da água bombeada nos diversos tipos de poços

Tipo de poço	Profundidade (m)	Tipo de revestimento e filtros	Valor do m <sup>3</sup> de água (R\$)
1	100,00	Tubos de PVC simples	<b>0,180 /m<sup>3</sup></b>
2	150,00	Tubos de PVC reforçado	<b>0,195 /m<sup>3</sup></b>
3	200,00	Tubos de PVC reforçado	<b>0,244 /m</b>
4	400,00	Tubos de aço e de PVC reforçado	<b>0,443 /m<sup>3</sup></b>
5	400,00	Tubos de aço e de PVC reforçado	<b>0,440 /m<sup>3</sup></b>
6	400,00	Tubos de aço e de PVC reforçado	<b>0,440 /m<sup>3</sup></b>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

### 4.4.3 Aspectos Administrativos

#### 4.4.3.1. Atividades de Monitoramento e Acompanhamento

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 superexploração.

O monitoramento quali-quantitativo deve ter como finalidade o acompanhamento da evolução da qualidade da água e da quantidade, ou seja, dos volumes disponibilizados. Dessa maneira dois parâmetros são essenciais ao monitoramento para esse acompanhamento quali-quantitativo: o teor de sólidos totais que pode ser avaliado pela condutividade elétrica da água e a profundidade do nível da água que possibilita estabelecer correlação com o volume disponível para exploração.

Foram baseados nesses princípios que foram estabelecidos dois tipos principais de sensores a instalar nos poços, um para a condutividade elétrica e outro para a profundidade do nível da água. Outros tipos de sensores podem eventualmente vir a ser instalados para medir vazões, medir teor de cloretos, nitratos, ferro ou outros elementos químicos, entretanto não podem ser considerados mais importantes como os que foram definidos, no sentido de viabilizar um monitoramento adequado e com menores custos.

O estudo hidrogeológico ora realizado se constituiu num primeiro diagnóstico da hidrogeologia da Região Centro-Norte do Tocantins, devendo esse trabalho ser



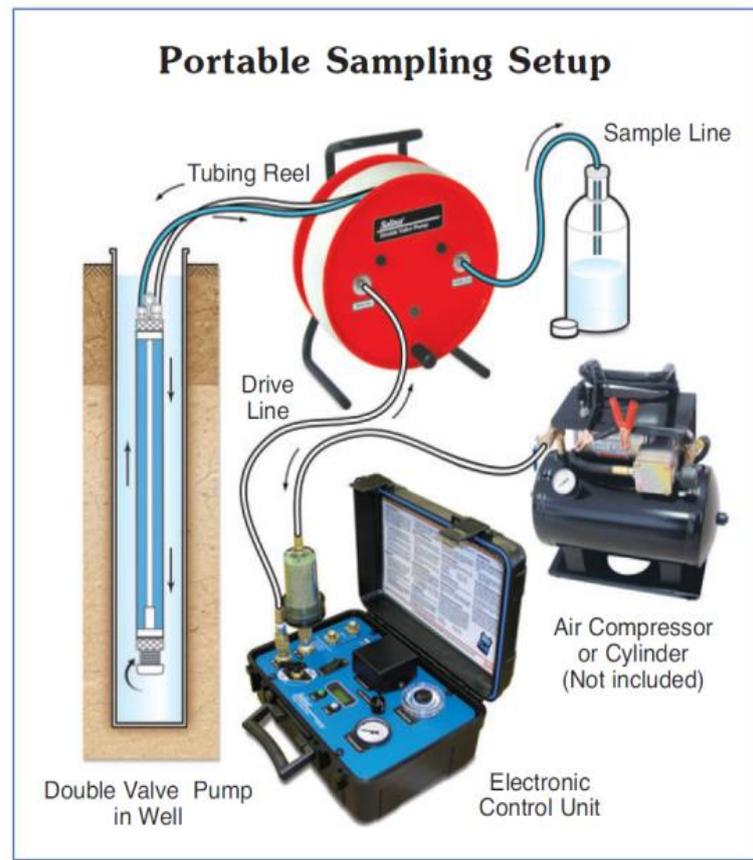
continuado com observações sistemáticas que irão, no futuro, oferecer subsídios para a atualização do presente diagnóstico.

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 trimestre, possivelmente 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.

Um plano de monitoramento por amostragem, com coleta sistemática de água para análises de determinados elementos em intervalos de tempo programados, também deverá ser aplicado na região a fim de se poderem acompanhar possíveis variações dos parâmetros que determinam a potabilidade da água.

A coleta da água poderá ser efetuada nos poços que serão selecionados para telemetria dos parâmetros de nível d'água e condutividade elétrica e, quando esses poços não estão em operação, poderá ser instalado nos mesmos uma bomba a vácuo como mostrada na Figura 26.



**Figura 26.** Bomba a vácuo

Fonte: Costa, 2019

Poderão ser coletadas amostras de água a cada três meses e efetuadas as análises dos seguintes parâmetros:

- STD - sólidos totais dissolvidos
- Cloretos
- Ferro
- Nitrato
- Bacteriológico - coliformes fecais e totais.

Também poderão ser selecionados alguns postos de combustíveis (cerca de 10 postos) onde seriam perfurados poços rasos (até 20 m de profundidade) e se faria uma coleta anual para realização de análise de BTEX.

Esses parâmetros (STD, cloretos, nitratos, etc.) também podem ser medidos automaticamente por sensores telemétricos e a opção por um método ou outro deverá ser uma atribuição do órgão gestor.

Quanto ao monitoramento por sensores telemétricos instalados dentro dos poços pode 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 localizada 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;

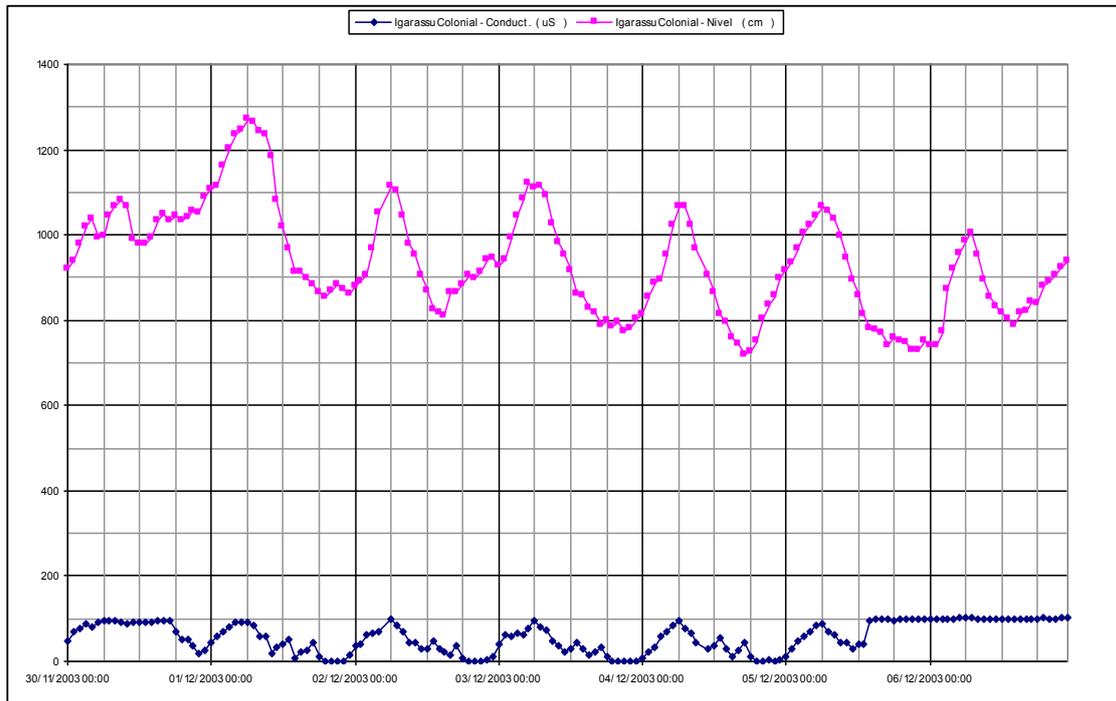
- Por telefone
- Por rádio
- Por satélite

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 município do Recife, que chegou a alcançar há mais de 20 anos o regime de superexploração na captação das águas subterrâneas, com rebaixamentos de 8 m/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. 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 27 mostra o registro da variação do nível da água (na parte superior do gráfico) e da qualidade da água em condutividade (na base do gráfico).



**Figura 27.** Gráfico da variação dos níveis d'água e da condutividade elétrica em poço de monitoramento localizado no Recife - PE.

Fonte: Costa *et al*, 2007<sup>[36]</sup>

Observa-se a linha vermelha que registra a variação da profundidade do poço, podendo-se notar que para cada conjunto de quatro colunas que representa a duração de um dia, nas primeiras seis horas, correspondentes ao horário das 0 h às 6 h da manhã o nível está sempre mais elevado mostrando uma recuperação dos níveis no período da noite onde a água é menos utilizada. Das 6 h da manhã às 18 h o nível fica mais ou menos estabilizado e das 18 h às 24 h o nível começa a recuperar por haver diminuído a exploração.

#### 4.4.3.2. Manutenção de Obras Hídricas

A manutenção das obras hídricas existentes vem sendo efetuada pelo próprio proprietário do poço, todavia, nos poços públicos deve ser efetuada pela prefeitura do município ou pela concessionária estadual de abastecimento d'água do Estado, a fim de que os poços não sejam paralisados com prejuízo da população. Constatou-se na região a existência de vários poços abandonados por ausência de uma assistência técnica por parte do interessado ou pelos órgãos públicos.

<sup>[36]</sup> COSTA, W. D.; SANTOS, M. A. V. dos. 2007. **Estudo de identificação de causas de salinização e indicação de processo de obstrução de poços salinizados.** CPRH: Recife-PE, 2007. 191 p.



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

A) O número de poços constante nos cadastros utilizados - CPRM (empresa pública) e Trhimil - Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. - está bem aquém do real número existente, o que demonstra o alto índice de clandestinidade dos poços, por ausência de uma fiscalização mais eficiente das entidades gestoras das águas subterrâneas do Estado do Tocantins;

B) A qualidade das águas subterrâneas dos diversos aquíferos da região, inclusive do aquífero fissural, pode ser considerada como “muito boa” para usos gerais, de vez que os sólidos totais dissolvidos - STD (cujo limite para potabilidade, estabelecido pelo CONAMA, é de 1.000 mg/L) é superado em apenas uma amostra coletada e as águas coletadas nos poços possuem valores médios da ordem de 120 mg/L;

C) Quanto a vulnerabilidade, predominam os índices de Baixo a Negligível, conforme os percentuais abaixo:

- Negligível: 13,79%
- Baixo: 33,33%
- Moderado: 20,69%
- Alto: 23,00%
- Extremo: 9,20%

D) O mapa de zoneamento explorável acusou as seguintes zonas (e subzonas):

A (aquífero poroso Rio das Barreiras);

B (subzona B1 do aquífero Corda confinado e B2 do aquífero Corda livre);

C (subzona C1 do aquífero Sambaíba livre, C2 do aquífero Sambaíba confinado pelo basalto da F. Mosquito, e C3 do aquífero Sambaíba confinado pelo basalto e com cobertura do aquífero Corda);

D (subzona D1 do sistema aquífero Poti/Piauí e D2 do sistema aquífero Poti/Piauí, confinado pelo aquítarde Pedra de Fogo);

E (aquífero Urucuia);

F (subzona F1 por uma faixa de aquíferos -Cabeças e Poti/Piauí - e F2 do aquífero Serra Grande confinado pelo aquítarde Pimenteiras);

G (aquífero fissural).

E) Apesar da grande diversidade de formações aquíferas porosas, sobretudo pertencentes à Bacia do Parnaíba), ocorrem apenas quatro aquíferos na condição de livre: Rio das Barreiras, Corda, Sambaíba e o sistema aquífero Poti/Piauí.

F) O principal aquífero da área é o Sistema aquífero Poti/Piauí que ocupa uma área de 24.945 km<sup>2</sup>, coeficiente de transmissividade médio de  $2,1 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s, condutividade



hidráulica média de  $8,4 \cdot 10^{-6}$  m/s e um coeficiente de armazenamento médio de  $3,10 \cdot 10^{-4}$ , possuindo uma reserva reguladora de água subterrânea da ordem de  $11,46 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/ano e uma potencialidade de  $14,31 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/ano;

G) De um modo geral, todos os aquíferos estão sendo sub-explotados, como mostra o balanço hidrogeológico, onde se destacam:

- O aquífero Poti vem utilizando apenas 0,018% da sua reserva reguladora;
- O aquífero Piauí utiliza apenas 0,30% da sua reserva reguladora;
- O aquífero Sambaíba utiliza apenas 0,46% da sua reserva reguladora;
- O aquífero Rio das Barreiras utiliza apenas 0,021% da sua reserva reguladora;

H) O custo das águas subterrâneas é relativamente baixo, variando desde o mínimo de R\$ 0,18/m<sup>3</sup> para poços de profundidade até 100,00 m até o máximo de R\$ 0,44/m<sup>3</sup> para poços com até 440,00 m de profundidade.

I) Sob o ponto de vista legal, o Estado embora não possuindo uma legislação específica sobre as águas subterrâneas, já dispõe de dispositivos legais na legislação de recursos hídricos que atendem quase inteiramente às necessidades para a gestão dos aquíferos. Nesse sentido, propõe-se uma pequena adequação quanto aos dispositivos de licenciamento para a construção das obras hídricas assim como a outorga, como pode ser visto na Seção 4.4.1 deste relatório.

## 5.2. Recomendações

A) Que seja contratada uma empresa especializada para efetuar um cadastramento de todos os poços, com atividade de campo, preenchendo uma ficha específica como aquela utilizada no presente estudo.

B) Que seja efetuada uma campanha para que os proprietários de poços irregulares procedam o cadastramento desses poços no órgão outorgante;

C) Que venha a ocorrer uma fiscalização mais intensa sobre as futuras obras de construção de poços para impedir a clandestinidade dessas obras;

D) Que ocorra uma manutenção mais eficaz dos poços desativados por problemas técnicos.

E) Que se processe no CERH/TO resoluções específicas sobre especificidades dos aquíferos

F) Que seja fortalecida a Câmara Técnica de Águas Subterrâneas do CERH/TO para agilizar e facilitar o assessoramento ao Conselho nas questões técnicas e legais sobre os aquíferos da região.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2017. **Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Brasil**. Planilha de Outorgas. Emitidas pelas Unidades da Federação vigentes em julho de 2017 (Planilha). Disponível em <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/a13c9093-34bd-403f-88db-6ffb2069e6>>. Acesso: ago. 2021.
- ALAGOAS. Lei nº 7.094, de 2 de setembro de 2009. Dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas de domínio no estado de Alagoas e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Alagoas**: Maceió - AL, 3 set. 2009.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília - DF, n. 66, p. 64-68, 7 abr. 2008.
- CAMPOS, J. E. G. 2004. **Meio físico da UHE Santa Isabel (TO)**: geologia e hidrogeologia. Estudo de Impacto Ambiental. ENGEVIX. 62p. + mapas, 2004.
- COSTA, W. D. *et al.* 1998. **Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Cidade do Recife / PE - Brasil**. CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ALSHUD, 1998, Montevideo - Uruguai. *Anais...* Montevideo - Uruguai, 1998.
- COSTA, W. D. 2019. **Obras hídricas para convivência com a seca**. [Palestra]. Garanhuns-PE, 22 mar. 2019. Palestra proferida no Conselho Regional de Engenharia de Pernambuco no Dia Mundial da Água.
- COSTA, W. D. *et al.* Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Tocantins (SEMADES). **Estudo Hidrogeológico da Região Sudeste do Estado do Tocantins**. Palmas: SEMADES, 2010.
- COSTA, W. D.; SANTOS, M. A. V. dos. 2007. **Estudo de identificação de causas de salinização e indicação de processo de obstrução de poços salinizados**. CPRH: Recife-PE, 2007. 191 p.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. 2004. **Imagens fotográficas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia**. São José dos Campos: Inpe, 2004. (INPE-11238-RPQ/761).
- DIAS, R. R. 2008. **Zoneamento Ecológico-econômico no Tocantins**: contribuição metodológica e processual para sua execução. 2008. 181 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008.
- DISTRITO FEDERAL. Lei nº 55, de 24 de novembro de 1989. Dispõe sobre a utilização das águas subterrâneas situadas no Distrito Federal. **Diário Oficial do Distrito Federal**: Brasília - DF, p. 3, col. 1, n. 224, 27 nov. 1989.
- ESPÍRITO SANTO. Lei nº 6.295, de 26 de julho de 2000. Dispõe sobre a administração, proteção e conservação das águas subterrâneas do domínio do Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**: Vitória - ES, 27 jul. 2000.
- FOSTER, S; HIRATA, R. 1988. **Groundwater pollution risk assessment**: a methodology based on available date. Lima-Peru: WHO-PAHO; CEPIS, 1988.



GOIÁS. Lei nº 13.583, de 11 de janeiro de 2000. Dispõe sobre a conservação e proteção ambiental dos depósitos de água subterrânea no Estado de Goiás e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Goiás**: Goiânia, GO, 14 jan. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 1992. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p. (Manuais Técnicos de Geociências, n.1).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2007. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Mapa de Geologia. Estado do Tocantins**. Escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em <[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geologia/levantamento\\_geologico/mapas/unidades\\_da\\_federacao/to\\_geologia.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/mapas/unidades_da_federacao/to_geologia.pdf)>. Acesso: 19 jun. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2007. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Mapa de Geomorfologia do Estado do Tocantins**. Escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em <[https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/to\\_geomorfologia.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/to_geomorfologia.pdf)>. Acesso: 19 jun. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2007. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Pedologia**: Mapa Exploratório de Solos. Estado do Tocantins. Escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/tematico\\_estadual/TO\\_solos.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/tematico_estadual/TO_solos.pdf)>. Acesso: 19 jun. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2007. **Mapa do Estado do Tocantins**: Vegetação. Escala 1:100.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Contrato IBGE/CISCEA (Projeto SIVAM)). Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#663>>. Acesso: 23 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2009. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2012. Diretoria de Geociências. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, e procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 171p. (Manuais técnicos em geociências, n. 1).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2013. Diretoria de Geociências. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 7).

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA (IPEA). 2000. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **PROJETO ARIDAS - A água e o Desenvolvimento Sustentável do Nordeste**. Brasília: IPEA, 2000.

PARÁ. Lei nº 6.105, de 14 de janeiro de 1998. Dispõe sobre a conservação e proteção dos depósitos de águas subterrâneas no Estado do Pará e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Pará**: Belém - PA, p. 2, cad. 1, 16 jan. 1998.



PERNAMBUCO. Lei nº 11.427, de 17 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**: Recife, PE, p. 7, col. 2, 18 jan. 1997.

PESSOA, M. D. 1978. **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste - Folha n.º 13: Teresina - SE**. Recife: SUDENE / Divisão de Documentação, 1978. 251 p. il. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia 57).

PESSOA, M. D. 1979. **Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste - Folha n.º 18: Teresina - NE**. Recife, SUDENE / Divisão de Documentação, 1979. 237 p. il. (Brasil. SUDENE. Hidrogeologia 59).

SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO (SEFAZ). 2021. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. **Cobertura e Uso da Terra do Ano de 2015**. Escala 1:100.000. Palmas: SEFAZ/GZT, 2021.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE (SEPLAN). 2004. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. **Plano de Zoneamento Ecológico-Econômico do Norte do Estado do Tocantins**. Org. por Vítor Bellia e Ricardo Ribeiro Dias. Palmas, Seplan/DZE, 2004.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). 2012. Diretoria Geral de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. **Estudo da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra do Estado do Tocantins**. Dinâmica do Tocantins. Escala 1:100.000. Palmas: Seplan/DZE, 2012. (Organizado por Rodrigo Sabino Teixeira Borges).

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). 2013. Departamento de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. **Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins**. Inventário Florestal do Tocantins. Escala 1:100.000. 156 p. (Série TOCANTINS - Recursos Naturais / Vegetação - v. 7/9), Palmas: Seplan/DZE, 2013.

SÃO PAULO. Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988. Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**: São Paulo - SP, v. 98, n. 101, 3 jun. 1988.

TOCANTINS. Lei nº 1.307, de 22 de março de 2002. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**: Palmas - TO, n. 1.156, 2002.

TOCANTINS. Decreto Estadual nº 2.432 de 6 de junho de 2005. Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõem os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22 de março de 2002. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**: Palmas - TO, 2005.

VENEZIANI, P.; ANJOS, CC. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos, INPE (INPE-227-MD/014), 1982.



## OUTRAS FONTES CONSULTADAS

- ABDALA, G. C. *et al.* 1998. Above and belowground organic matter and root: shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. **Journal of Ecology**, Brazilian, n. 2, p. 11-23, 1998.
- ABREU, F. AM. 1978. **O Supergrupo Baixo Araguaia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. *Anais...* Recife: SBG, 1978. v. 2. p. 539-545.
- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). 2021. **Portal Hidroweb**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso: 20 ago. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2003. **Mapa dos Principais Sistemas Aquíferos do País em Arcview**. Nota Técnica 025/SPR/2003. Brasília: ANA, 2003. 15 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2010. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - SPR. **Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água**. Panorama Nacional. v. 1. Brasília – DF: ANA, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Resultados.aspx>>. Acesso: ago. 2021. (ANA, 2010).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2017. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>>. Acesso: ago. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2019. **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso: ago. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). 2019. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>>. Acesso: 13 mar. 2020.
- AGUIAR, G. A. de. 1971. **Revisão geológica da bacia paleozóica do Maranhão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo, *Anais...* São Paulo: SBG, 1971. v. 3. p. 113-122.
- ALBUQUERQUE, O.R.; DEQUECH, V. 1946. **Contribuição para a Geologia do meio-Norte, Especialmente Piauí e Maranhão**. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEOLOGIA, 1946, Petrópolis. *Anais...* Petrópolis, 1946. v.3. p. 69-109.
- ALMEIDA, H. G. *et al.* 1995. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. **Marabá, Folha SB.22-X-D**. Brasília: MME/DNPM/CPRM, 1995. 79p. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Projeto-Maraba-568.html>> Acesso: 10 jul. 2021.
- ALVARENGA, C. J. S. *et al.* 2000. Paraguay and Araguaia belts. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D.A. (eds.). **Tectonic Evolution of South América**, p. 183-193, 2000.
- ALVES, C. L. 2006. **Petrologia, geoquímica e geocronologia do Granito Ramal do Lontra e sua relação com a tectônica e metamorfismo do Cinturão Araguaia, Xambioá (TO)**. 2006. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, 2006.
- ARAÚJO, V. A. *et al.* (org.). 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. **Araguaína - Folha SB.22-Z-D**. Estados do Tocantins e do Pará. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Projeto-Araguaina-379.html>>. Acesso: 10 jul. 2021.



- ARNOLD, J. G. *et al.* Automated base flow separation and recession techniques. **Groundwater**, vol. 33, n. 6. nov. 1995.
- ARNOLD, J.G *et al.* 2012. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 491-1508. 2012. Disponível em: <<https://swat.tamu.edu/media/90102/azdezas.pdf>>. Acesso: 01 ago. 2021.
- ARCANJO, S. H. S.; ABREU F. A. M.; MOURA, C. A. V. 2013. Evolução geológica das sequências do embasamento do Cinturão Araguaia na região de Paraíso do Tocantins (TO). **Journal Geology**, São Paulo, v. 43 , n. 3, p. 501-514, 2013.
- ARCANJO, S. H. S.; MOURA C. A. V. 2000. Geocronologia Pb-Pb em Zircão (Método de Evaporação de Pb) das rochas do embasamento do setor meridional do Cinturão Araguaia - região de Paraíso do Tocantins (TO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 665-670, 2000. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10983/10437>>. Acesso: 10 jul. 2021.
- BARBOSA, G. V.; BOAVENTURA, R. A. S.; PINTO, M. N. 1973. Geomorfologia. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **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. (Levantamento de Recursos Naturais, 51).
- BERTRAND, G. 1971. **Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico**. Universidade de São Paulo. Instituto de Geografia. São Paulo: USP, 1971.
- BIZZI, L. A. *et al.* 2003. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. v. II, n. 1. 674 p.
- BRASIL. 2005. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Monitoramento por Satélite (CNPMS). **Brasil em relevo: 2005**. Download do SRTM // Tocantins. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/to/to.htm>>. Acesso: 01 ago. 2021.
- BRASIL, F. L. M.; NASCIMENTO, R. S. 2020. Arenito do Parque Nacional de Sete Cidades (PI): um estudo mineralógico e petrográfico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n.12, p. 94096-94102, 2020.
- BULHÕES, E. M.; DALL'AGNOL, R. 1985. **Mapeamento geológico e petrografia do Granodiorito Presidente Kennedy - Faixa de Dobramentos Araguaia (GO)**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., 1985, Belém. *Anais...* Belém: SBG-NO, 1985. p. 59-76.
- CAPUTO, M. V.; LIMA, E.C. 1984. **Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG - Núcleo RJ/ES, 1984. v. 2, p. 740-753.
- CAMPBELL, D. F. 1949. Estados do Maranhão e Piauí. In: Brasil. **Conselho Nacional de Petróleo**. Rio de Janeiro: Cons. Nac. Pet., 1949. p. 68-74. (Relatório 1948).
- CAMPOS, J. E.; DARDENNE, M. A. 1997. Origem e evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 27, n. 3, p.283-294, 1997.
- COMPANHIA DE MINERAÇÃO DO ESTADO DO TOCANTINS - Mineratins / SECRETARIA DO PLANEJAMENTO DO ESTADO DO TOCANTINS - SEPLAN. 2007. **Avaliação e Diretrizes para o Setor Mineral do Estado do Tocantins**. Organizado por: Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues, Palmas: Mineratins / SEPLAN, 94 p. il, 2007.



- COSTA, J. B. S. 1980. **Evolução Geológica da Região de Colmeia**. 1980. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, Belém, 1980.
- COSTA, J.B.S *et al.* 1983. **Projeto Paraíso do Norte**. Relatório final. Belém,;CVRD/UFPA, 1983. 125 p.
- CREPANI, E.; DIAS, R. R. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. **Tocantinópolis. Geologia da Folha SB.23-Y-A**. Estado do Tocantins. Seplan/DZE, 46p. 2004.
- CUNHA, J. A. O; SOUZA, D. C; CÓRDOBA, D. C. Evolução estratigráfica dos depósitos cretáceos da porção norte da Bacia de São Luís-Grajaú (NE do Brasil). **Revista do Instituto de Geociências - USP**, v. 19, n. 2, p. 115-170, 2019.
- DALL'AGNOL R. *et al.* 1981. Geologia. 196 p. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SC.22 - Tocantins**. Rio de Janeiro: DNPM, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 22).
- DEL'ARCO, D. M. *et al.* 1995. **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.
- FEITOSA F.A.C. *et al.* **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3 ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 812 p.
- FELFILI, J.M. 2003. Fragmentos de Florestas Estacionais do Brasil Central: diagnóstico e propostas de corredores ecológicos. In: R.B. COSTA (org.) **Fragmentação Florestal e Alternativas de Desenvolvimento Rural na Região Centro-Oeste**. Campo Grande: UCDB, 2003. p. 139-160.
- FELFILI, J. M. *et al.* 1994. **Projeto Biogeografia do Bioma Cerrado: Vegetação e solos**. Cadernos de Geociências, Rio de Janeiro, v. 12, p. 75-167, 1994.
- FELFILI, J.M. *et al.* 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation. In: **Central Brazil. Plant Ecology**, n. 175, p. 37-46, 2004.
- FERRAZ, N. C. 2015. **Análise estratigráfica da sequência mesodevoniana - eocarbonífera da Bacia do Parnaíba no nordeste do Brasil**. 2015. 55 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
- FRASCA, A. A. S; ARAÚJO, V. A. de. 2001. Programa Levantamentos hidrológicos Básicos do Brasil – PLGB. Projeto Hidrogeologia no Tocantins. **Palmas, Folha SD.22-Z-B**. Estado do Tocantins. Brasília: CPRM, 2001. 52 p.
- GÓES, A.M., FEIJÓ, F.J.1994. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 57-67, 1994.
- GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F. 2001. Gênese da Bacia de São Luís-Grajaú, Meio-Norte do Brasil. In: D. F. ROSSETTI, A. M. GÓES; W. TRUCKENBRODT (eds.). **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**, p. 15-30. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. (Coleção Friedrich Katzer).
- GORAYEB, P. S. S.; MOURA C. A. V.; CALADO, W. M. 2004. **Suíte Intrusiva Xambica: um magmatismo toleítico Neoproterozoico pré-tectônico no Cinturão Araguaia**. In: CONGRESSO



BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá. *Anais...* Araxá: SBG, 2004. v. 1, p. 35-35. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui>> Acesso: 10 jul. 2021.

GORAYEB, P. S. S. *et al.* 2019. Petrologia, geoquímica e geocronologia dos granitos Presidente Kennedy e Barrolândia: contextualização na evolução do Cinturão Araguaia. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v. 19, n. 2, p. 89-116, 2019.

GUERREIRO, M.G.S.; SILVA, J.M.R. 1976. **Projeto Guará-Conceição**. Relatório Final. Belém: DNPM/UFPA, 1976.

HASUI, Y.; ABREU, F. A. M.; SILVA, J. M. R. **Estratigrafia da Faixa da Faixa de Dobramento Paraguai-Araguaia no Centro-Norte do Brasil**. São Paulo, Boletim do Instituto de Geociências 8:107-118, 1977.

HAIDAR, R.F.; DIAS, R.R.; PINTO, J.R.R. 2012. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública (SEPLAN), Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE), **Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins**. Regiões Fitoecológicas do Tocantins. Escala 1:100.000. Palmas: SEPLAN/DZE, 2012.

HAIDAR, R. F. *et al.* 2013. Florestas estacionais e áreas de ecótono no estado do Tocantins, Brasil: parâmetros estruturais, classificação das fitofisionomias florestais e subsídios para conservação. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 3, p. 261-290. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2010. **Censo Demográfico (1991/2010)**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso: ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2018. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Estado do Tocantins. Referência 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>>. Acesso: ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2019. **Censo agropecuário: resultados definitivos 2017**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=resultados>>. Acesso: ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2019. **Pesquisa Pecuária Municipal - PPM: efetivo de rebanhos. 2019**. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/>>. Série Histórica. Acesso: ago. 2021. (IBGE, 2019b).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2019. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Produção Agrícola Municipal. 2019**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839>>. Acesso: 15 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2019. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Produção Pecuária Municipal. 2019**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/PP/A/40/T/Q>>. Acesso: 15 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2019. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. 2019**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/VS/A/74/T/Q>>. Acesso: 15 ago. 2021.



- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). 2021. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária** (SISDAGRO). Disponível em: <<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index>>. Acesso: 20 ago. 2021.
- IVANAUSKAS, N.M.; MONTEIRO, R.; RODRIGUES, R.R. 2008. Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Rio Xingu. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 387-402, 2008.
- JIRKA, S. *et al.* 2007. Relationships between soil hydrology and forest structure and composition. **Journal of Vegetation Science**, v. 18, p. 183-194, 2007.
- LACERDA FILHO, J. V. *et al.* 1999. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Escala 1:500.000. Goiânia: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Metais de Goiás S.A., Brasília: Universidade de Brasília, 1999. 176 p. Disponível em <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/2418?show=full>>. Acesso: 10 jul. 2021.
- LAMARÃO, C. N.; KOTSCHOUBEY B. 1996. Granitoides Santa Luzia: Registro do Magmatismo Granítico Brasileiro do Cinturão Araguaia na região de Paraíso do Tocantins (TO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, n. 4, p. 277-288, dez. 1996.
- LIMA FILHO de A. M.; LEITE, J. F. 1978. Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais. **Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: integração geológico-metalogenética: relatório final da etapa iii**. Recife: CPRM, 1978. 212 p. Disponível em <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/9667?show=full>>. Acesso: 10 jul. 2021.
- LISBOA, M. A. R. 1914. The permian geology at northern Brazil. **American Journal of Science**, New Haven, v. 37, n. 221, p. 425-443, 1914.
- LUIZÃO, F.J.; LUIZÃO, R.C.C.; PROCTOR, J. 2007. Soil acidity and nutrient deficiency in central Amazonian heath forest soils. **Plant Ecology**, v. 192: p. 209-224, 2007.
- MACAMBIRA J.B. 1983. **Geologia e Ocorrências Minerais do Braquianticlinal do Lontra (GO)**. 1983. 108 f. Dissertação (Mestrado), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1983.
- MACAMBIRA, M. J. B. 1983. **Ambiente Geológico e Mineralizações Associadas ao granito Serra Dourada (Extremidade Meridional) Goiás**. 1983. 132 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém, 1983.
- MAMEDE, L.; NASCIMENTO, M. A. L. S. do; FRANCO, M. S. M. 1981. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SD.22 - Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação**. Rio de Janeiro: DNPM, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 25).
- MAMEDE, L.; ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. dos. 1981. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SC.22 - Tocantins**. Rio de Janeiro: DNPM, 1981. (Levantamento de Recursos Naturais, 22).
- MARQUES, G. T. 2014. **Opalas gemológicas do Piauí: Gênese revelada por microtermometria e minerais associados**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.



MATO GROSSO DO SUL. Lei n° 3.183, de 21 de fevereiro de 2006. Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Mato Grosso do Sul**: Campo Grande - MS, n. 6.676, 22 fev. 2006.

MENDES, M. S.; BORGHI, L. 2005. **Análise faciológica da Formação Codó (Cretáceo, Bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, SALVADOR. *Anais...* Salvador, 2005. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/5123>>. Acesso: 10 jul. 2021.

MINAS GERAIS. Lei n° 13.771, de 11 de dezembro de 2000. Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**: Belo Horizonte - MG, p. 1, col. 1, 12 dez. 2000.

MINERADORA MINERAX. 2021. Disponível em: <<https://www.mineradoraminerax.com.br/>>. Acesso: 23 ago. 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). 2021. **Série Histórica Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS**. Série de dados de 2015 a 2019. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso: ago. 2021. (SNIS - o ano é identificado na variável utilizada).

MORAES REGO, L. F. de. 1933. Contribuição ao estudo das formações pré-devonianas de São Paulo. **Boletim do Instituto Astronômico e Geographico**. São Paulo - SP, 1933: 55 p.

MOURA, C. A.; DANTAS, M.; ROSO, F. A. 1982. Geomorfologia.. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha SD.23 - Brasília**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação. Rio de Janeiro: DNPM, 1982. (Levantamento de Recursos Naturais, 29).

MOURA, C. A. V.; GAUDETTE, H. E. 1999. Zircon ages of the basement orthogneisses from the northern segment of the Araguaia Belt, Brazil. In: SINHA, A.K. (ed.), **Basement Tectonics** 13. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 155-178, 1999. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-4800-9\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-4800-9_10)>. Acesso: 10 jul. 2021.

MONTALVÃO, R.M.G. *et al.* 1984. **Geocronologia dos granitóides e gnaisses das regiões de Rio Maria, Fazenda Mata Geral e Rio Itacaidnas, sul do Pará (Distrito Carajás - Cumaru)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 6, p. 2757-2766.

NORTHFLEET, A. A.; MELO, M. T. 1967. **Geologia da Região Norte de Balsas - Maranhão**. Belém: PETROBRÁS, 1967. 55p. (Relatório Técnico, 268).

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta amazônica**, v. 34, n. 1, p. 21-34, 2004.

OLMOS, F. *et al.* 2004. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (Seplan). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. **Estudo de Flora e Fauna do Norte do Estado do Tocantins**. Org. por Ricardo Ribeiro Dias. Palmas, Seplan/DZE, 2004. 154 p., ilustr. Séries ZEE – TOCANTINS / Bico do Papagaio / Estudo de Flora e Fauna.



- PAIXÃO, M. A. P.; NÍLSON, O. A. A.; DANTAS, E. L. 2008. The Neoproterozoic Quatipuru ophiolite and the Araguaia fold belt, central-northern Brazil, compared with correlatives in NW Africa. **Geological Society of London**, Special Publication 294, p. 297–318, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1144/SP294.16>>. Acesso: 10 jul. 2021.
- PAZ, J. D. S.; ROSSETTI, D. F. 2001. Reconstrução Paleoambiental da Formação Codó (Aptiano), borda leste da Bacia do Grajaú, MA. *In*: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (coord.). **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. 264 p. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/288911797\\_Reconstrucao\\_paleoambiental\\_da\\_Formacao\\_Codo\\_Aptiano\\_borda\\_leste\\_da\\_Bacia\\_do\\_Graju\\_MA](https://www.researchgate.net/publication/288911797_Reconstrucao_paleoambiental_da_Formacao_Codo_Aptiano_borda_leste_da_Bacia_do_Graju_MA)>. Acesso 10 jul. 2021.
- PEDREIRA DA SILVA, A. J. *et al.* 2003. Bacias Sedimentares Paleozoicas e Mesocenoicas Interiores. *In*: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. Brasília: CPRM 2003. p. 55-85.
- PEREIRA, B.A.S.; VENTUROLI, F.; CARVAHO, F.A. 2011. Florestas estacionais no Cerrado: uma visão geral. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 446-455, 2011.
- PETRI S.; FULFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Editora T.A. Queiroz - Editora da Universidade de São Paulo, 1983.
- PIMENTEL, R. 2020. **Correlação Rocha-Perfil-Sísmica e avaliação de reservatórios na área do Parque dos Gaviões - Bacia do Parnaíba**. 2020. 183 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, 2020.
- PINHEIRO, B. L. S. 2016. **Petrologia e Geotermobarometria das rochas metamórficas do Cinturão Araguaia: região de Xambioá-Araguanã (TO)**. 2016. 258 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2016.
- PINHEIRO, B. L. S.; MOURA, C. A. V.; GORAYEB, P. S. S. 2011. Proveniência das rochas metassedimentares do Cinturão Araguaia com base em datações Pb-Pb em zircão e idades-modelo Sm-Nd. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 304-318, 2011. Disponível em <https://www.scielo.br/bjgeo/a/jFdCYFncwYLQPXK43B9q67c/?lang=pt>. Acesso: 10 jul. 2021.
- PLUMMER, F. B; PRINCE, L. I.; GOMES, F. A. 1946. Estados do Maranhão e Piauí. *In*: **Relatório do Conselho Nacional do Petróleo**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional do Petróleo, 1946. p.87-134.
- PNUD; IPEA; FJP. 2013. **Atlas de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. Base de dados virtual. Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013. Disponível em <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/home>>. Acesso: 20 jul. 2015.
- PRADO, D.E.; GIBBS, P.E. 1993. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. *Annals ... Missouri Botanic Gardens*, v. 80, p. 902-927, 1993.
- RATTER, J. A.; BRIDGWATER, S.; RIBEIRO, J. F. 2003. Analysis of the floristic composition of the brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 60, n. 1, p. 57-109, 2003.
- REATTO, A. *et al.* 2008. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. *In*: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 107-149.



RIBEIRO, J.F. WALTER, B.M.T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: Cerrado: ecologia e flora (Sano, S. M.; Almeida, S. P. de; Ribeiro, J. F.; eds.). Embrapa Cerrados, Brasília, p. 151-212, 2008.

RIBEIRO, J.F. WALTER, B.M.T. 2008. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. (eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151-212.

ROCHA, M. G. 2019. **Geodiversidade do Estado do Tocantins** [Livro eletrônico]. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Goiânia: CPRM, 2019. 170 p.; 1 livro digital.

RIBEIRO, P. S. E.; ALVES, C. L. 2017. Programa Geologia do Brasil. **Geologia e recursos minerais da região de Palmas** - folhas Miracema do Norte SC.22-X-D, Porto Nacional SC.22-Z-B e Santa Teresinha SC.22-Z-A: estado do Tocantins. Goiânia: CPRM, 2017. 483 p. il., color.

ROSSETTI, D. F. 2006. The role of tectonics on the preservation of estuarine valleys in areas with low accommodation rates: examples from Upper Cretaceous and Miocene Successions in Northern Brazil. In: DALRYMPLE, R.W.; LECKIE, D.A.; TILLMAN, RW. (eds.), Incised Valley in Time and Space. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists**, Special Publication, p. 199-218, 2006.

SANTOS, M. D.; MACAMBIRA, M. L. B.; KOTSCHOUBEY, B. 1984. **Uma proposta para a origem das braquianticlinais de Xambioá e Lontra (GO), possíveis domos gnáissicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 7, p. 3400-3414. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui>>. Acesso: 10 jul. 2021.

SAWYER, E. W. 2008. Atlas of migmatites. **The Canadian Mineralogist**, Special Publication 9. Ottawa, Ontario, Canada: NRC Research Press. 2008. 387 p.

SCHOBENHAUS, C. *et al.* 2004. Programa Geologia do Brasil. **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**. Sistema de informações geográficas. CPRM: Brasília, 2004. CD-ROM.

SCARIOT, A.; SEVILHA, A.C. 2005. Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado. p. 121-139. In: SCARIOT, A., SOUZA-SILVA, J.C.; FELFILI, J.M. (orgs.). **Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2005.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E PECUÁRIA (SEAGRO). 2016. **Área de Florestas Plantadas no Estado do Tocantins**. Palmas: Seagro/Adapec/Aprob-GO/TO, 2016.

SECRETARIA DA FAZENDA E PLANEJAMENTO (SEFAZ). 2020. Subsecretaria do Planejamento e Orçamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial (GZT). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. **Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins**. Palmas: SEFAZ/GZT, 2020. 464 p., Ilust. Série TOCANTINS / Recursos Naturais / Cartas Climáticas - v. 1: Disponível em: <<https://central.to.gov.br/download/213396>>.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E DA MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA (SEPLAN). 2012. Superintendência de Pesquisa e Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 6 ed. ver. atu. Palmas: Seplan/DZE, 2012. 80 p. il.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO DO TOCANTINS (SEPLAN). 2016. Superintendência de Planejamento e Orçamento. Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas.



Gerência de Indicadores Econômicos e Sociais. Zoneamento Ecológico-Econômico. **Diagnóstico da Dinâmica Social e Econômica do Estado do Tocantins**. Rede de Cidades. Palmas: Seplan 76 p. (Séries ZEE Tocantins / Socioeconomia / Dinâmica Social e Econômica - v.1/3), 2016.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). 2021. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar\\_mapa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php)>. Acesso: 20 ago. 2021.

SILVA, C. H. *et al.* 2004. **Geologia do Grupo Canastra em sua localidade-tipo e implicações na tectonoestratigrafia do segmento setentrional da Faixa Brasília**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 12., 2004. Araxá. *Anais ... Araxá*: SBG, 2004. p. 255.

SIMON, M. F.; PENNINGTON, R. T. 2012. The evolution of adaptations of woody plants in the savannas of the Brazilian Cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, p. 711- 723, 2012.

SOUZA, A. C. C.; DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N. P. 1985. Petrologia do Gnaiss Cantão: implicações na evolução da faixa de dobramentos Araguaia, Serra do Estrondo (GO). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, p. 300-310, 1985.

SOUZA, J. O.; MORETON, L. C. 1995. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. **Xambioá - Folha SB.22-Z-B**. Escala 1:100 000. Goiânia: CPRM, 57 p, 1995. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Programa-Levantamentos-Geologicos-Basicos-do-Brasil - PLGB-173.html>> Acesso: 10 jul. 2021.

SOUZA, J. O. , MORETON, L. C. 2001. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. **Xambioá - Folha SB.22-Z-B**. Escala 1:250.000. Estados do Pará e Tocantins. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001.

SOUZA, A. S; VERÍSSIMO, L. S.; ARAÚJO, C. C. O. 1990. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. **Folha SB.23-V-C - Imperatriz**. Brasília: MME/DNPM/CPRM, 1990. 70p.

THEMAG Engenharia. 1996. Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins (CELTINS). **Estudo do Impacto Ambiental da UHE Lajeado**. 1996.

THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. 1955. **The water balance Centerton**. New Jersey: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v. VIII, n.1).

TRHIMIL TOCANTINS RECURSOS HÍDRICOS MINERAIS LTDA. **Base de dados poços profundos perfurados no Estado do Tocantins** (no prelo). Paraíso do Tocantins -TO, 2021.

VAZ, P. T. *et al.* 2007. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

VICENTINI, A. 2004. A vegetação ao longo de um gradiente edáfico no Parque Nacional do Jaú, In: BORGES, S.H., IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C.; PINHEIRO, M. R. (eds). **Janelas para a biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. p. 105-131. Manaus: Fundação Vitória Amazônica/ WWF-Brasil, 275 p. 2004.

ZALÁN, P. V.; ROMEIRO-SILVA, P. C. 2007. Bacia do São Francisco. **Boletim de Geociências da Petrobras**. v. 15, n.2, p. 561-571, 2007.

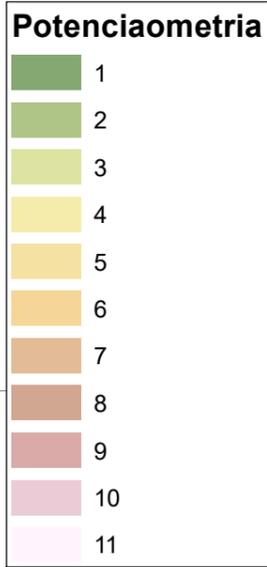
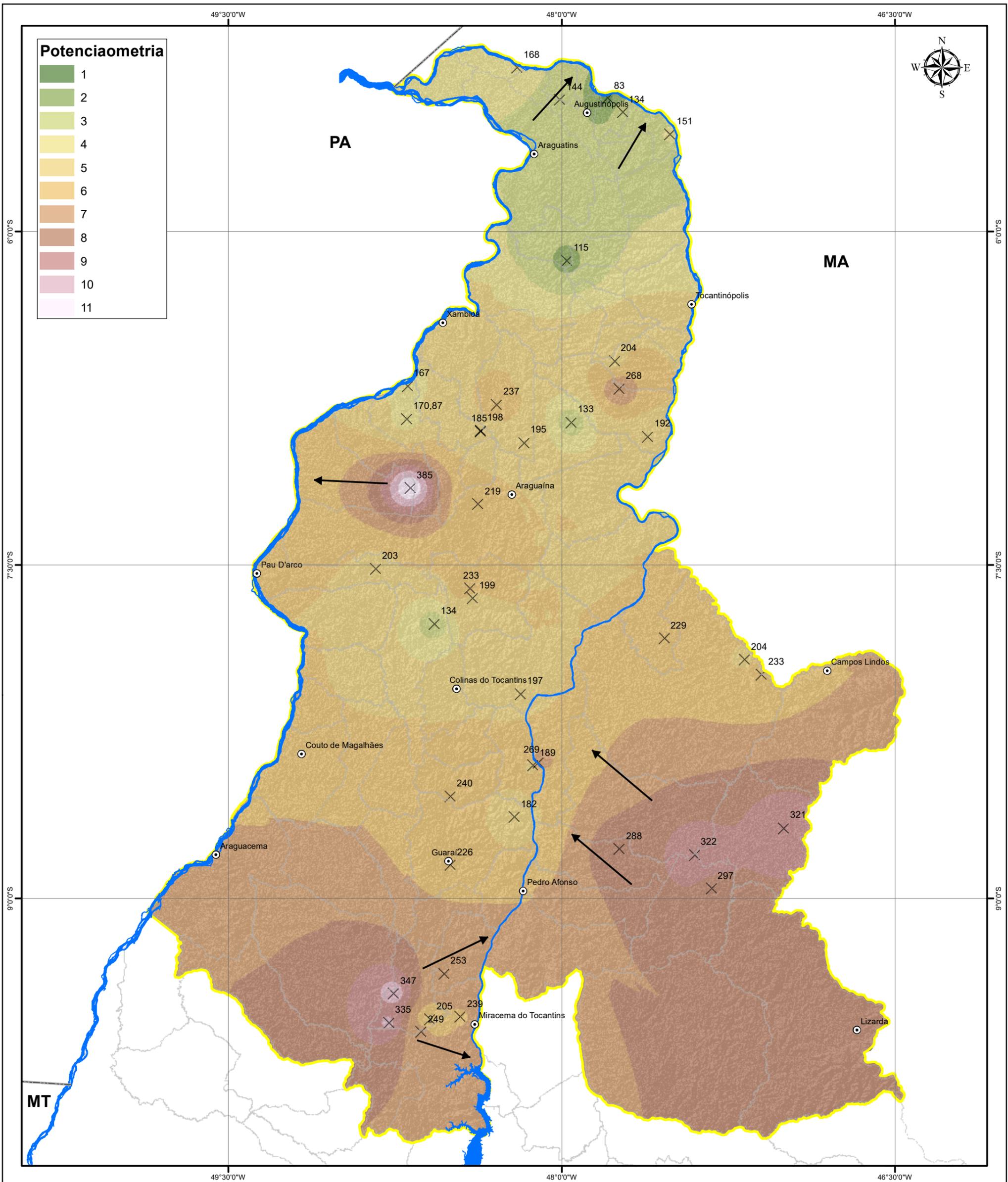


## APÊNDICES



## APÊNDICE I

### MAPA POTENCIOMÉTRICO DA SUPERFÍCIE HIDROESTÁTICA LIVRE DOS AQUÍFEROS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS



- Convenções Cartográficas**
- Sedes Municipais
  - Limite Municipal
  - Limite Estadual
  - Área de Estudo
  - Rios Principais
  - Poços Amostrais
  - Direção do fluxo

Escala 1:1.750.000

35 0 35 70 105 km

PROJEÇÃO GEOCÊNTRICA  
SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000

1a Edição  
2021

Direitos de reprodução reservados ao Governo do Estado do Tocantins

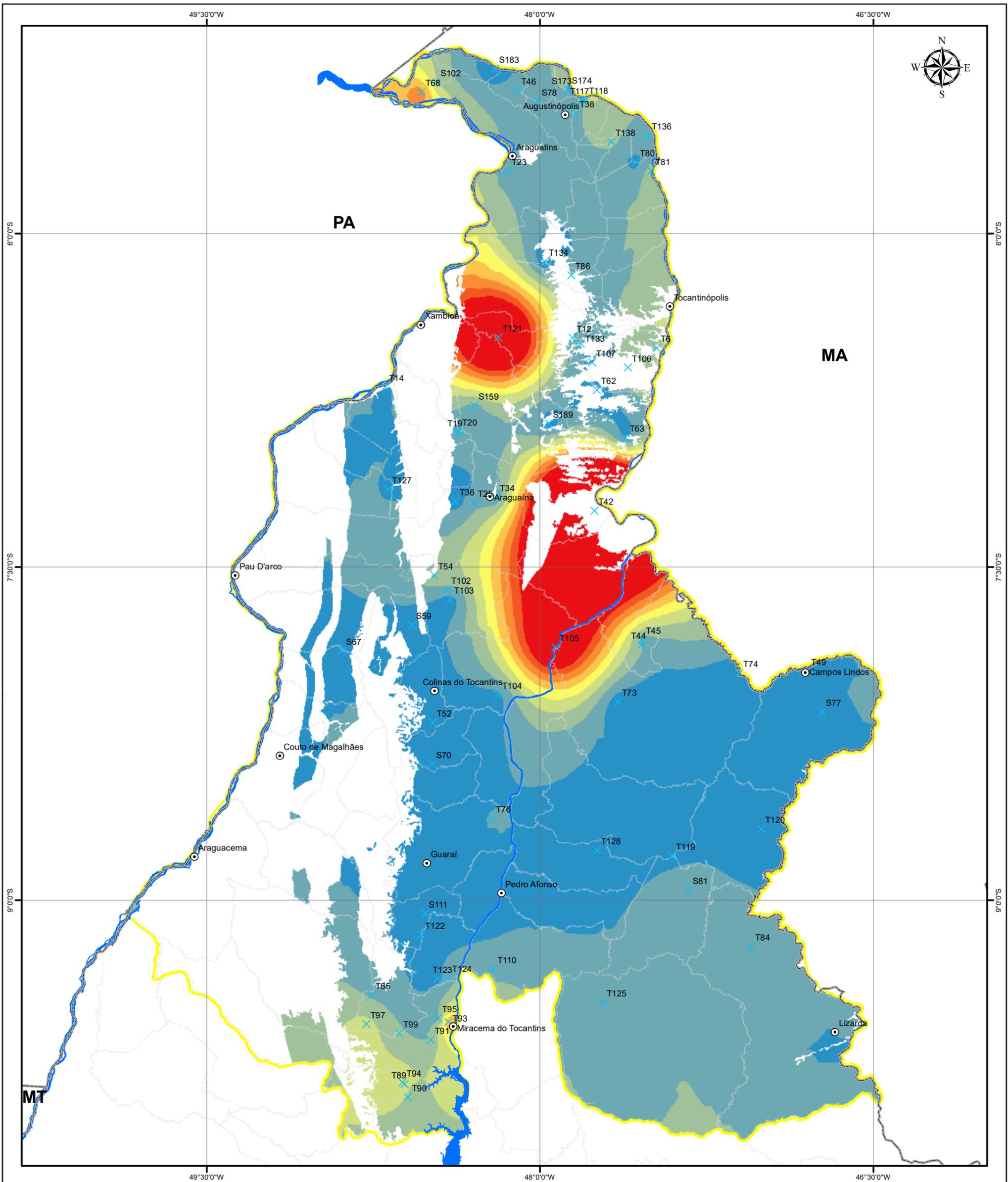
Fonte:  
Base de dados GeoTocantins, Geologia elaborada através da reinterpretação da Cartas do Brasil ao Milionésimo do Serviço Geológico do Brasil (SCHOBENHAUS, et al., 2004), Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2021); e TRHIMIL Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. (2021)

**POTENCIOMETRIA DA SUPERFÍCIE  
HIDROESTÁTICA LIVRE DOS AQUIFEROS DA  
REGIÃO CENTRO-NORTE DO  
ESTADO DO TOCANTINS**



## APÊNDICE II

### MAPA DE SÓLIDOS TOTAIS DOS AQUÍFEROS POROSOS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS



**Convenções Cartográficas**

- Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Limite Estadual
- Área de Estudo
- Rios Principais

**Poços Cadastrados**

- Fissural
- Poroso



PROJEÇÃO GEOCÊNTRICA  
SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000

1a Edição  
2021

Direitos de reprodução reservados ao Governo do Estado do Tocantins

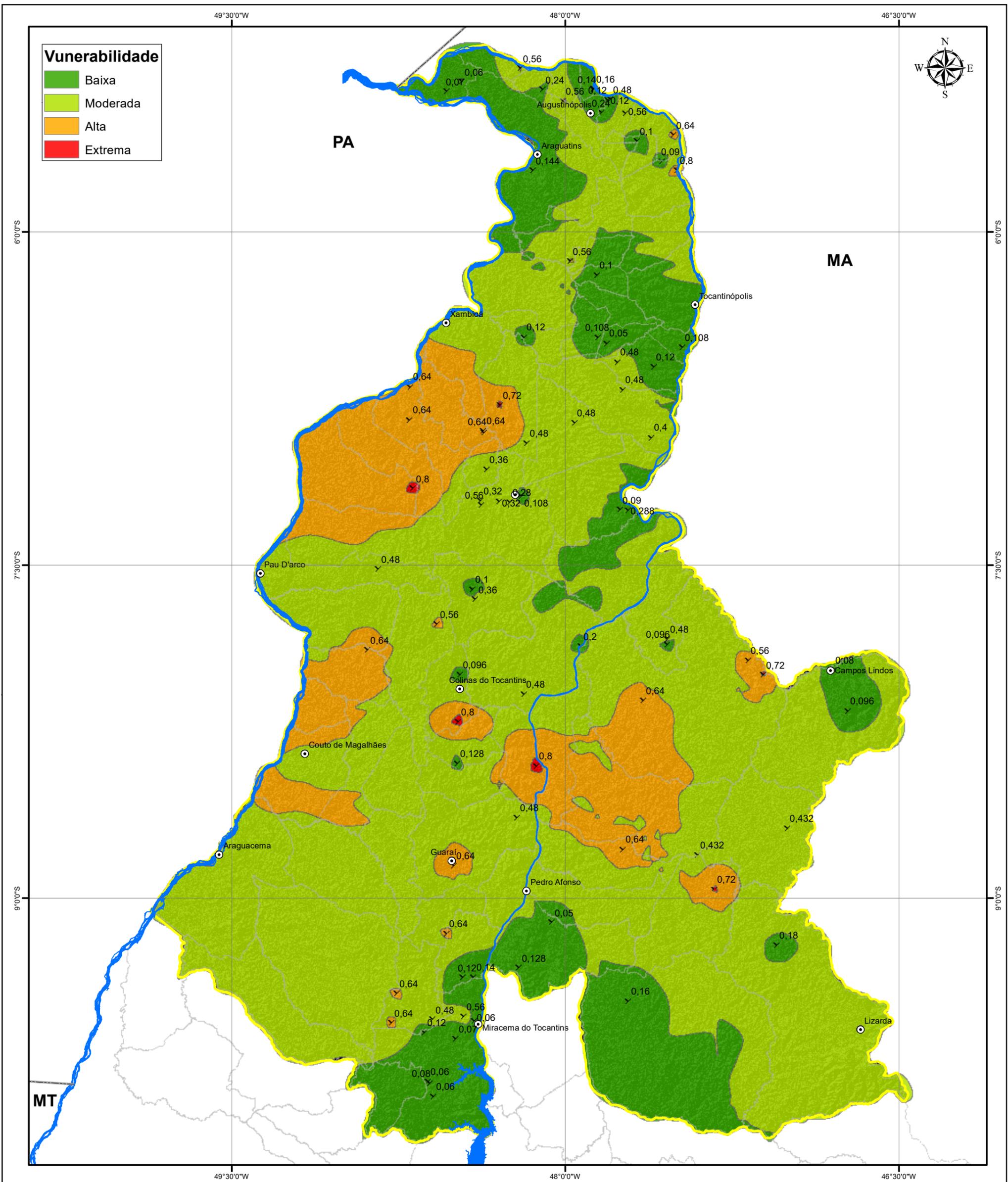
Fonte:  
Base de dados GeoTocantins, Consórcio Sambaíba, Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2021); e TRHIMIL Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. (2021)

**SÓLIDOS TOTAIS DOS AQUIFEROS POROSOS  
DA REGIÃO CENTRO-NORTE  
DO ESTADO DO TOCANTINS**



## APÊNDICE III

### MAPA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS



Escala 1:1.750.000

35 0 35 70 105 km

PROJEÇÃO GEOCÊNTRICA  
 SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000

1a Edição  
 2021

Direitos de reprodução reservados ao Governo do Estado do Tocantins

Fonte:  
 Base de dados GeoTocantins, Consórcio Sambaíba, Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2021); e TRHIMIL Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. (2021)

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E RISCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS**

Consórcio SAMBAÍBA  
 OIKOS

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

TOCANTINS

BANCO MUNDIAL  
 BIRD. AID | GRUPO BANCO MUNDIAL



## APÊNDICE IV

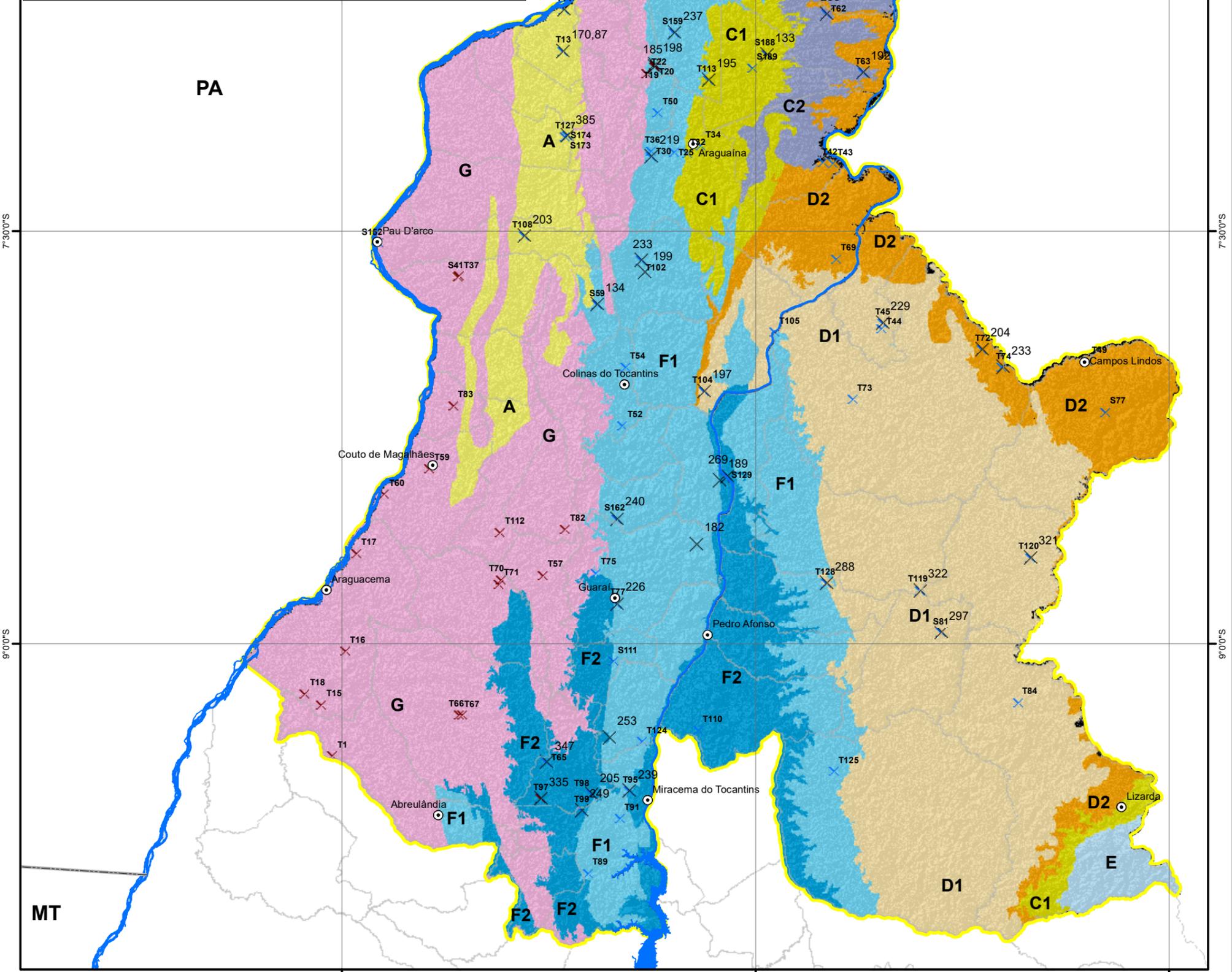
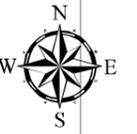
### MAPA DE ZONEAMENTO EXPLOTÁVEL DA REGIÃO CENTRO NORTE DO ESTADO DO ESTADO DO TOCANTINS

49°30'0"W

48°0'0"W

46°30'0"W

Zona	Sub-zona	Aquífero	Feições litológicas	Características do aquífero explorado			Condições de uso		
				Condição de pressão	Espessura da camada (m)	Profund. média do N.E. (m)	Resíduo Saco médio (mg/L)	Vazão máxima (m³/dia)	Distância entre os poços (m)
A		Rio das Barréiras	Arenitos pouco consolidados	Livre	80,00 a 100,00	14,39	30	600	100
B	B1	Corda	Arenitos com intercalações de argilas	Confinado	100	20	180	300	200
	B2	Corda	Arenitos com intercalações de argilas	Livre	60,00 a 80,00	Sem dados	Sem dados	300	100
C	C3	Sambaíba	Arenitos bem consolidados	Confinado	200	35	160	480	100,00
	C1	Sambaíba	Arenitos bem consolidados	Livre	200	35	160	600	100,00
D	D2	Sambaíba	Arenitos bem consolidados	Confinado	200	35	160	480	100,00
	D1	Sistema Poti/Flauí	Arenitos com intercalações de argilas	Livre	350,00 a 400,00	10	110	600	100
E		Urucuia	Arenitos grossos bem consolidados	Livre	100	20	50	240	100
F	F1	Corda, Poti e Flauí	Arenitos com intercalações de argilas	Semi-confinado	100,00 a 300,00	20	80	120,00 a 240,00	200
	F2	Serra Grande	Arenitos grossos bem consolidados	Confinado	100	15	120	480	200
G		Fissural	Granitos, gnaisses, xistos e vulcanitos	Livre	indefinida	8,5	80	120	100



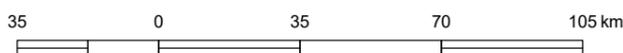
**Convenções Cartográficas**

- Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Limite Estadual
- Área de Estudo
- Rios Principais

**Poços Cadastrados**

- Fissural
- Poroso

Escala 1:1.750.000



PROJEÇÃO GEOCÊNTRICA  
SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000

1ª Edição  
2021

Direitos de reprodução reservados ao Governo do Estado do Tocantins

Fonte:  
Base de dados GeoTocantins, Consórcio Sambaíba, Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2021); e TRHIMIL Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. (2021)

**ZONEAMENTO EXPLOTÁVEL DA REGIÃO  
CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS**



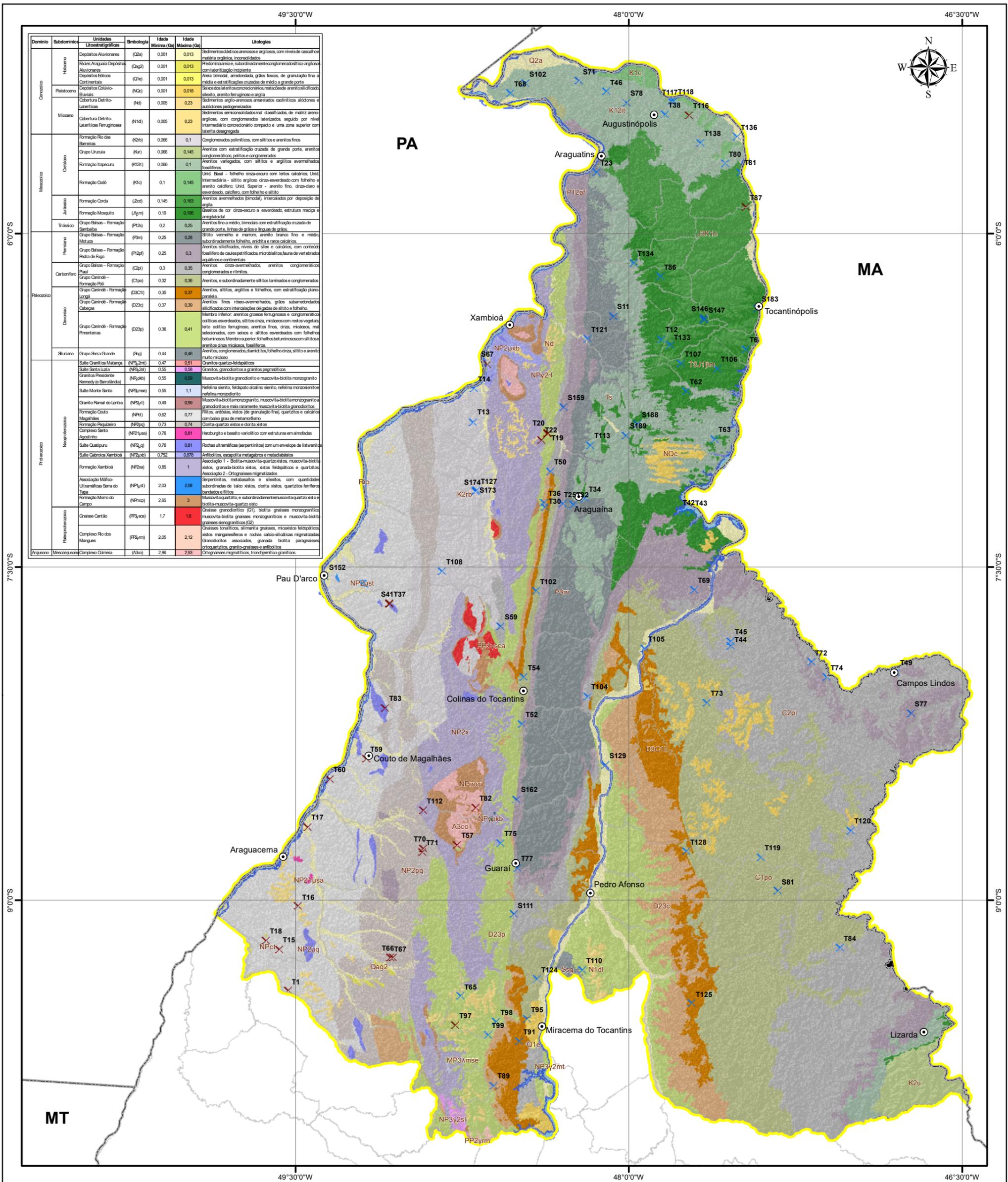
SECRETARIA DO  
PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO





## APÊNDICE V

### LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS PROFUNDOS CADASTRADOS PARA REDE DE MONITORAMENTO DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS



Domínio	Subdomínio	Unidades Litostratigráficas	Simbologia	Idade		Litológicas
				Mínima (Ga)	Máxima (Ga)	
Cenozoico	Holoceno	Depósitos Aluvionares (Q2a)	0,001	0,013	Sedimentos de solos arenosos e argilosos, com níveis de cascalho metálico orgânica, inconsolidados	
		Flechas Araguaia Depósitos Aluvionares (Q2b)	0,001	0,013	Prodinaresais, subordinadamente conglomerados silto-argilosos com latossilização incipiente	
	Pleistoceno	Depósitos Eólicos Continentais (C1e)	0,001	0,013	Área limosa, arenosa, grãos finos, de granulação fina a média e estratificação cruzada de médio a grande porte	
		Depósitos Colúvico-Eluviais (C2c)	0,001	0,018	Seções laterais de arenitos, metacosses arenossilicificadas, silte, arenito ferruginoso e argila	
Mesozoico	Cretáceo	Obertura Detrito-Lateríticas (N4)	0,005	0,23	Sedimentos argilo-arenosos arenizados caditínicos alóctons e autóctones pedregulizados	
		Obertura Detrito-Lateríticas Ferruginosas (N1d)	0,005	0,23	Sedimentos arenossilicificados, de matriz arenosa-argilosa, com conglomerados laterizados, seguido por nível intermediário concorrencia compacto e uma zona superior com laterita desagregada	
		Formação Rio das Barreras (R2b)	0,066	0,1	Conglomerados polimíticos, com silte e arenitos finos	
		Grupo Urucua (R4)	0,066	0,145	Arenitos com estratificação cruzada de grande porte, arenitos conglomeráticos pelíticos e conglomerados	
Paleozoico	Devoniano	Formação Itapocuru (K21)	0,066	0,1	Arenitos variegados, com silte e argilas avermelhadas fossilíferas	
		Formação Coxá (K1c)	0,1	0,145	Unid. Basal - folhelho cinza-escuro com leitos calcários; Unid. Intermediária - silte argiloso cinza-escuro com folhelho e arenito calcífero; Unid. Superior - arenito fino, cinza-claro e esverdeado, calcífero, com folhelho e silte	
		Formação Corda (J2t)	0,145	0,163	Arenitos avermelhados (modul), intercalados por deposição de argila	
		Formação Moaquito (J1m)	0,19	0,196	Biotitos de cor cinza-escuro a esverdeado, estrutura macia e amigdaloidal	
Proterozoico	Permiano	Grupo Balaís - Formação Sambalá (P1a)	0,2	0,25	Arenitos fino a médio, bimodais com estratificação cruzada de grande porte, linhas de grãos e linhas de grãos	
		Grupo Balaís - Formação Motaça (P3m)	0,25	0,28	Silte vermelho e marrom, arenito branco fino e médio, subordinadamente folhelho, ardilha e arenito calcífero	
	Carbonífero	Grupo Balaís - Formação Peda de Fogo (P12f)	0,25	0,3	Arenitos silificados, níveis de silte e calcários, com conteúdo fossilífero de caules petrificados, microfósseis, fauna de vertebrados aquáticos e continentais	
		Grupo Balaís - Formação Pauí (C2p)	0,3	0,35	Arenitos cinza-avermelhados, arenitos conglomeráticos conglomerados e ritmicos	
	Devoniano	Grupo Canindé - Formação Pá (C1p)	0,32	0,36	Arenitos, e subordinadamente siltes laminados e conglomerados	
		Grupo Canindé - Formação Longá (D3C1)	0,35	0,37	Arenitos, siltes, argilitos e folhelhos, com estratificação plano-paralela	
		Grupo Canindé - Formação Cabeças (C23c)	0,37	0,39	Arenitos fino roseo-avermelhados, grãos subarredondados silificados com intercalações delgadas de silte e folhelho	
		Grupo Canindé - Formação Pimenteira (C23p)	0,38	0,41	Membro inferior: arenitos grossos ferruginosos e conglomeráticos pelíticos esverdeados, siltes cinza, micosses com restos vegetais; leito colúvico ferruginoso, arenitos finos, cinza, micosses, mal selecionados, com siltes e siltes esverdeados com folhelhos betuminosos. Membro superior: folhelhos betuminosos com silte e arenitos cinza micosses, fossilíferos	
	Neoproterozoico	Sturiano	Grupo Serra Grande (Sg)	0,44	0,46	Arenitos, conglomerados, diamictitos, folhelho cinza, silte e arenito muito micoso
			Suite Granítica Matança (NP3,2nt)	0,47	0,51	Granitos quartzo-feldspáticos
			Suite Santa Luzia (NP3,2s)	0,55	0,58	Granitos, granodioritos e granitos pegmatíticos
			Granitos Presidente Kennedy (e Barrolândia) (NP3,6)	0,55	0,58	Muscovita-biotita granodiorito e muscovita-biotita monogranito
Suite Monte Santo (NP3,msa)			0,55	1,1	Nefelina arenita, feldspato alcalino sialito, nefelina monozonitosa nefelina monozonitosa	
Granito Ramal do Lontra (NP3,rl)			0,49	0,59	Muscovita-biotita monogranito, muscovita-biotita monogranito ou granodioritos e mais raramente muscovita-biotita granodioritos	
Formação Couto Magalhães (NP4)			0,62	0,77	Ritros, ardósias, xistos (de granulação fina), quartzitos e calcários com baixo grau de metamorfismo	
Formação Pajucara (NP2p)			0,73	0,74	Ortito-quartzo xistos e donita xistos	
Complexo Santo Agatino (NP2,isa)			0,76	0,81	Herzbergito e basalto variolítico com estruturas em almofadas	
Suite Quilipuru (NP2,ql)			0,76	0,81	Rochas ultramáficas (serpentiníticas) com um envelope de listwanites	
Neoproterozoico	Xambioá	Suite Gabroica Xambioá (NP2,gs)	0,752	0,878	Anfibólitos, escopolita metagabros e metadiabásios	
		Formação Xambioá (NP2e)	0,85	1	Associação 1 - Biotita-muscovita-quartzitos, muscovita-biotita xistos, granada-biotita xistos, xistos feldspáticos e quartzitos	
		Associação Máfico-Ultramáfica Serra do Tapa (NP1,sl)	2,03	2,08	Serpentinóis, metabasitos e silteitos, com quantidades subordinadas de talco xistos, donita xistos, quartzitos ferríferos bandados e filitos	
		Formação Morro do Campo (NP3p)	2,65	3	Muscovita-quartzito, e subordinadamente muscovita-quartzito xisto e biotita-muscovita-quartzito xisto	
Neoproterozoico	Grasse	Grasse Cantão (FP3,ca)	1,7	1,8	Grasse granodiorito (G1) biotita grasse monogranito; muscovita-biotita grasse monogranito e muscovita-biotita grasse anogranito (G2)	
		Complexo Rio das Mangues (FP3,mm)	2,05	2,12	Grasse tonalítico, almirante grasse, micosses feldspáticos, silte mangueira e rochas calcio-silicáticas migmatizadas	
Arqueano	Mesoproterozoico	Complexo Colmeia (A3c)	2,86	2,93	Granodioritos associados, granada biotita paragneisses, ortogranitos, granito-grasse e anfibólitos	
Arqueano	Complexo Colmeia	(A3c)	2,86	2,93	Ortogranites migmatíticos, trondhjemítico-granitos	

**Convenções Cartográficas**

- Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Limite Estadual
- Área de Estudo

**Poços Cadastrados**

- × Fissural
- × Poroso

Escala 1:1.750.000

35 0 35 70 105 km

PROJEÇÃO GEOCÊNTRICA  
SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000

1a Edição  
2021

Direitos de reprodução reservados ao Governo do Estado do Tocantins

Fonte: Base de dados GeoTocantins, Geologia elaborada através da reinterpretação da Cartas do Brasil ao Milionésimo do Serviço Geológico do Brasil (SCHOBENHAUS, et al., 2004).

**LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS PROFUNDOS CADASTRADOS PARA A REDE DE MONITORAMENTO DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS**

Consórcio SAMBAIBA  
OIKOS

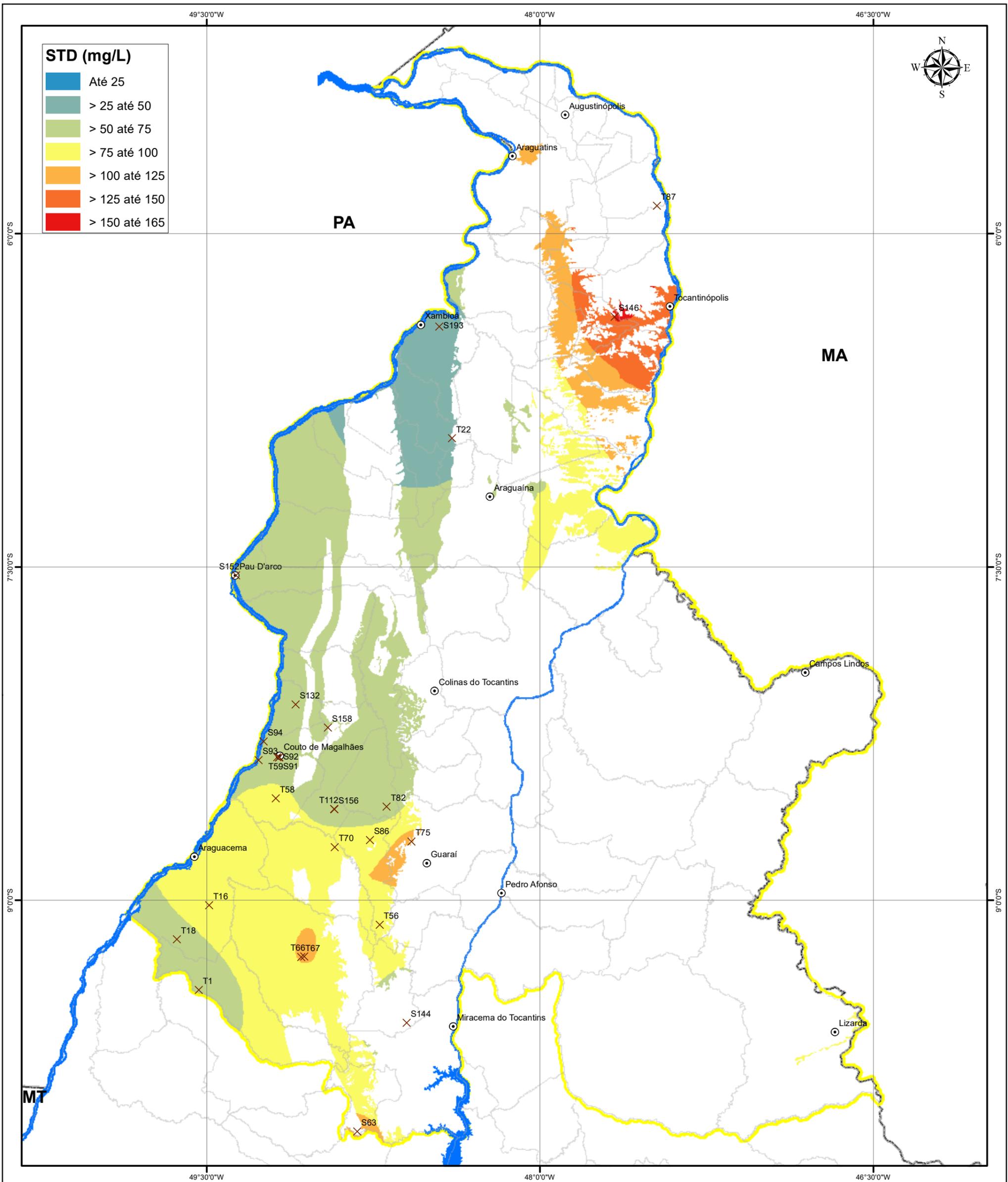
SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO  
TOCANTINS

BANCO MUNDIAL  
BIRD, AID | GRUPO BANCO MUNDIAL



## APÊNDICE VI

### MAPA DE SÓLIDOS TOTAIS DOS AQUÍFEROS FISSURAIS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS



**STD (mg/L)**

Até 25
> 25 até 50
> 50 até 75
> 75 até 100
> 100 até 125
> 125 até 150
> 150 até 165

**Convenções Cartográficas**

- ⊙ Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Limite Estadual
- ▭ Área de Estudo
- Rios Principais
- Poços Cadastrados**
- × Fissural
- × Poroso



PROJEÇÃO GEOCÊNTRICA  
 SISTEMA DE REFERÊNCIA: SIRGAS 2000  
 1a Edição  
 2021  
 Direitos de reprodução reservados ao Governo do Estado do Tocantins

Fonte:  
 Base de dados GeoTocantins, Consórcio Sambaíba, Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (2021); e TRHIMIL Tocantins Recursos Hídricos Minerais Ltda. (2021)

**SÓLIDOS TOTAIS DOS AQUIFEROS FISSURAIS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS**



## APÊNDICE VII

### PROPOSTA DE RESOLUÇÃO CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS



RESOLUÇÃO Nº \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

*Dispõe sobre o Zoneamento de Exploração de Águas Subterrâneas, Licenciamento da construção de obras hídricas (poços), e Outorga de uso da água subterrânea no Estado do Tocantins, e dá outras providências.*

O Governo do Estado do Tocantins, no uso das suas atribuições, e tendo em vista o que dispõem a Lei Estadual nº 1.307, de 22 de março de 2002 e seu Decreto nº 2432, de 06 de junho de 2005, e ainda:

CONSIDERANDO o Mapa de Zoneamento Explotável apresentado por estudo hidrogeológico da região Centro-Norte do Tocantins, aprovado no corrente ano pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins - SEMARH;

CONSIDERANDO a necessidade de preservar os aquíferos existentes naquela região;

CONSIDERANDO o atual nível de exploração por poços, dos diversos aquíferos da citada região;

RESOLVE:

Art.1º. Fica legalmente aprovado o Mapa de Zoneamento Explotável dos aquíferos da Região Centro-Norte do Tocantins” como instrumento de gestão a ser adotado pelo órgão gestor de recursos hídricos do Estado do Tocantins.

Parágrafo único: as “áreas de proteção da zona de recarga”, serão aquelas indicadas no mencionado estudo hidrogeológico da região Centro-Norte do Tocantins.

Art.2º. A construção de novas obras hídricas - poços - deverá ser antecedida da “Licença de Construção - LC” a ser emitida pelo órgão gestor do Estado do Tocantins.

Art.3º. O interessado na construção de uma obra hídrica, deverá apresentar ao órgão gestor, um requerimento nesse sentido, acompanhado de:

- Nome do proprietário;
- Endereço onde será implantada a obra hídrica;
- Demanda diária solicitada pelo interessado;
- Projeto de construção da obra hídrica, envolvendo perfuração, revestimento, encascalhamento, cimentação, desenvolvimento e teste de vazão;
- Medidas de proteção do aquífero;
- Croqui de localização em planta, com indicação das caixas de armazenamento inferior e superior e, se existir, da fossa séptica;
- Sistema de bombeamento a ser implantado, com regime diário de exploração;
- Existência na localidade, de rede de abastecimento público da concessionária de abastecimento d'água;
- ART do CREA assinado pelo técnico responsável (geólogo ou engenheiro de minas);



- Outras exigências que o órgão gestor julgue necessária.

Parágrafo único: no caso de existência no local pretendido de rede de abastecimento d'água, a licença de construção somente será emitida após ligação do estabelecimento à citada rede, conforme dispõe a legislação federal vigente.

Art. 4º. Após análise do requerimento de que consta o artigo anterior, o órgão gestor, emitirá a Licença de Construção - LC.

§ 1º. O órgão gestor deverá emitir a LC no prazo de 30 (trinta) dias, contados a partir da entrega dos documentos mencionados no artigo anterior;

§ 2º. A LC terá validade de 180 (cento e oitenta) dias, podendo ser renovada, por solicitação do interessado, caso não inicie a obra durante esse período.

Art. 5º. Uma vez construída a obra hídrica de captação da água subterrânea, o interessado ou a empresa que a construiu, deverá encaminhar ao órgão gestor, o Relatório do Poço, assinado por técnico responsável (geólogo ou engenheiro de minas) que conterá, no mínimo, as seguintes informações:

- Ficha construtiva do poço, mediante modelo a ser fornecido pelo órgão gestor;
- Perfil lito-estratigráfico elaborado a partir de amostras coletadas, no mínimo a cada 3,00 m de perfuração;
- Resultado do teste de bombeamento de 24h, com interpretação dos parâmetros hidrodinâmicos;
- Definição da vazão de exploração
- Boletim de Análise fornecido por laboratório credenciado
- Fotografias: da perfuratriz em operação da obra hídrica e da fachada do edifício onde a obra hídrica foi construída, além do hidrômetro colocado na saída do poço;
- Outros documentos que venham a ser exigidos pelo órgão gestor.

Art. 6º. Após análise desse relatório, o órgão gestor emitira a devida OUTORGA, onde constarão:

- Vazão horária e máximo valor a ser bombeado durante o dia;
- Finalidade de uso da água
- Responsável pela exploração da obra hídrica de captação

Parágrafo único: a Outorga a que se refere o caput deste artigo, deverá ser emitida no prazo de 60 (sessenta) dias, contados da entrega dos documentos relacionados no artigo anterior, bom como satisfazer as exigências feitas pelo órgão gestor, por deficiência de informações na documentação apresentada.

Art.7º. Para efeito da presente Resolução, considera-se "órgão outorgante", a NATURATINS ou o que venha a sucedê-lo.

Art. 8º. Revogam-se s disposições em contrário.



Art. 9º. A presente resolução entrará em vigor a partir da sua publicação no Diário Oficial do Estado.

Tocantins, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ .

---

Presidente do CERH

---

Secretário Executivo do CERH



# **Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável**

SÉRIE TOCANTINS - CENTRO-NORTE - RECURSOS NATURAIS

**Volume I - Diagnóstico Ambiental e Socioambiental**

**Volume II - Escolha da Rede de Monitoramento / Cadastramento dos Poços de Rede / Interpretação dos Testes de Aquíferos / Potenciometria dos Aquíferos Livres**

**Volume III - Diagnóstico Hidrogeológico**

# ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO TOCANTINS

## EQUIPE EXECUTORA

Coordenação	Formação
<b>Coordenador Geral</b> Waldir Duarte Costa	Geólogo - Doutor em Hidrogeologia
<b>Especialista em Geoprocessamento / Coordenado Adjunto</b> Ricardo Ribeiro Dias	Geólogo - Doutor em Geociências e Meio Ambiente
<b>Especialista em Hidrogeologia</b> Wilton José Silva da Rocha	Geólogo - Doutor em Hidrogeologia e Meio Ambiente
<b>Especialista em Hidroquímica</b> José Viana de Carvalho	Químico Industrial - Especialista em Química Analítica
<b>Especialista em Hidrologia</b> Cláudio Marchand Krugger	Engenheiro Civil - Doutor em Métodos Numéricos
<b>Equipe Técnica</b>	
Eduardo Antônio Audibert	Cientista Social - Doutor em Sociologia
Erton Inácio de Moraes	Engenheiro Ambiental
Ghislaine Medeiros de Almeida	Geóloga - Mestre em Hidrogeologia e Geologia Ambiental
Isac Tavares de Santana	Geógrafo
Jailton Soares dos Reis	Geógrafo
Rescivaldo Barros Amorim	Geólogo
Virlei Álvaro de Oliveira	Engenheiro Agrônomo - Doutor em Geociências e Meio Ambiente
Vinicius de Melo Lima	Engenheiro Ambiental
<b>Equipe de Apoio</b>	
Claudia Regina Bucar Miranda	Administradora

## Nota Técnica

Os *Estudos Hidrogeológicos da Região Centro-Norte do Estado do Tocantins* foram executados mediante a prestação de serviços especializados firmada entre a **Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins** e o **Consórcio Sambaíba** - formado pelas empresas **COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais** e **Oikos Pesquisa Aplicada Ltda**, por meio do Contrato nº 04/2021. O trabalho foi executado no âmbito do Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável (PDRIS), componente Melhoramento da Eficiência dos Serviços Públicos numa Seleção de Serviços Públicos, com recursos do Tesouro Estadual e do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) - contrato de empréstimo nº 8185-0 BR.

SECRETARIA DO  
**PLANEJAMENTO  
E ORÇAMENTO**

**TOCANTINS**  
GOVERNO DO ESTADO



Banco Mundial