



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

CARLOS EDUARDO SOBREIRA LEITE

**VOCAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO AQUÍFERO SERRA GRANDE, NOS
ESTADOS DO CEARÁ E PIAUÍ, E DO AQUÍFERO CABEÇAS, NO ESTADO DO
PIAUÍ, ATRAVÉS DE MODELAGEM EM SIG.**

FORTALEZA

2018

CARLOS EDUARDO SOBREIRA LEITE

VOCAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO AQUÍFERO SERRA GRANDE, NOS
ESTADOS DO CEARÁ E PIAUÍ, E DO AQUÍFERO CABEÇAS, NO ESTADO DO
PIAUÍ, ATRAVÉS DE MODELAGEM EM SIG.

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Hidrogeologia.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante
Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L551v Leite, Carlos Eduardo Sobreira.
Vocação Hidrogeológica do Aquífero Serra Grande, nos estados do Ceará e Piauí, e do Aquífero Cabeças, no estado do Piauí, através de modelagem em SIG / Carlos Eduardo Sobreira Leite. – 2018.
220 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.
Coorientação: Prof. Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco.
1. Hidrogeologia. 2. Bacia Sedimentar do Parnaíba. 3. Vocação Hidrogeológica. 4. MoMaRAQ. 5. SIG. I. Título.

CARLOS EDUARDO SOBREIRA LEITE

VOCAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO AQUÍFERO SERRA GRANDE, NOS ESTADOS DO CEARÁ E PIAUÍ, E DO AQUÍFERO CABEÇAS, NO ESTADO DO PIAUÍ, ATRAVÉS DE MODELAGEM EM SIG.

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geologia. Área de concentração: Hidrogeologia.

Aprovada em: 26 / 01 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cristhiano Magini (membro interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. George Satander Sá Freire (membro interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Robério Bôto de Aguiar (membro externo)
Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM)

Prof. Dr. Sérgio Bezerra Lima Junior (membro externo)
Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR)

A todos os Espíritos de Luz que me
acompanham, me orientam e me educam.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais *Maria José Sobreira Leite (in memorian)* e *Eduardo Sobreira Leite*, responsáveis pela minha educação que permitiu ter alçado mais este estágio.

A minha irmã *Cristiane Sobreira Leite* pelas infinitas ajudas durante todo o decorrer desta labuta.

A minha esposa *Celly Feitosa Freitas de Carvalho Leite* pela paciência e encorajamento durante todo este árduo processo.

Aos colegas do *Serviço Geológico do Brasil (CPRM) - Residência de Teresina (RETE)*, pelos ensinamentos sobre a hidrogeologia da Bacia do Parnaíba.

Aos meus orientadores *Prof. Dr. Itabaraci Nazereno Cavalcante* (Orientador) por ter acreditado e me orientado neste projeto e ao *Prof. Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco* (Coorientador) pelo encorajamento de assumir e incluir mais esta titulação no meu currículo.

$$Q \approx A \times I$$

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação da *Vocação Hidrogeológica*, através de cenários, do Aquífero Serra Grande, nos Estados do Piauí e Ceará, e do Aquífero Cabeças, no Estado do Piauí, com base nos seus volumes de sedimentos e nas capacidades específicas de poços tubulares. A pesquisa foi iniciada com o levantamento e integração a um banco de dados em SIG das principais informações de geologia, estrutural e hidrogeologia, disponíveis em toda a Bacia do Parnaíba. Ao todo foram levantados e organizados 6.342 pontos com informações de geologia de subsuperfície que foram posteriormente criticados e eleitos os utilizados neste trabalho, sendo 190 pontos para o Aquífero Serra Grande e 232 pontos para o Aquífero Cabeças. Uma vez organizados os dados, foram construídas as curvas de *isópacas estratigráficas* e *hidroisópacas estratigráficas* para ambos os aquíferos, através de uma nova proposta metodológica de *Modelagem Matemática com Refinamento e posterior Ajuste Qualitativo - MoMaRAQ* em SIG. As espessuras máximas, após o ajuste, alcançaram os valores para o Aquífero Serra Grande de 754,6m (*hidroisópacas*) e de 819m (*isópacas*), enquanto para o Aquífero Cabeças os valores foram de 406,7m (*hidroisópacas*) e de 563,6m (*isópacas*). Uma vez geradas as curvas, foram calculados os volumes de sedimentos de cada aquífero, resultando para o Aquífero Serra Grande um total de 80.949km³ (para as *isópacas*) e de 75.634,16km³ (para as *hidroisópacas*), enquanto para o Aquífero Cabeças os volumes foram de 39.423,98km³ (para as *isópacas*) e de 34.355,42km³ (para as *hidroisópacas*). As capacidades específicas foram determinadas a partir de resultados de testes de bombeamento em poços tubulares que captam, distintamente, o Aquífero Serra Grande (479 poços) e o Aquífero Cabeças (464 poços). Foram construídos quatro cenários de *Vocação Hidrogeológica* para cada um dos aquíferos, considerando suas *isópacas* e *hidroisópacas* em conjunto com as curvas de capacidades específicas para todos os poços e para apenas os poços totalmente penetrantes. Ao final foram geradas as curvas de profundidade do topo de cada aquífero, sendo a máxima profundidade resultante para o Aquífero Serra Grande de 1.827m e para o Aquífero Cabeças de 877m.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrogeologia. Bacia Sedimentar do Parnaíba. Vocação Hidrogeológica. MoMaRAQ. SIG.

ABSTRACT

This work presents an assessment of the Hydrogeological Vocation, through scenarios, of the Serra Grande Aquifer, in the States of Piauí and Ceará, and of the Cabeças Aquifer, in the State of Piauí, based on their sediment volumes and the specific capacities of tubular wells. The research began with the survey and integration of the main information on geology, structure and hydrogeology to a GIS database, available throughout the Parnaíba Basin. In total, 6,342 points were collected and organized with information on subsurface geology that were subsequently criticized and elected the ones used in this work, being 190 points for the Serra Grande Aquifer and 232 points for the Cabeças Aquifer. Once the data were organized the stratigraphic isopic and stratigraphic hydroisopic curves were constructed for both aquifers, through a new methodological proposal of Mathematical Modeling with Refinement and subsequent Qualitative Adjustment - MoMaRAQ in GIS. The maximum thicknesses after the adjustment reached values for the Serra Grande Aquifer of 754.6m (hydroisopic) and 819m (isopic) while for the Cabeças Aquifer the values were 406,7m (hydroisopic) and 563,6m (isopic) . Once the curves were generated, the sediment volumes of each aquifer were calculated, resulting in a total of 80,949km³ (isopic) and 75,634.16km³ (hydroisopic) aquifers for the Serra Grande Aquifer, while for the Aquifer Heads the volumes were 39,423 , 98km³ (isopic) and 34,355.42km³ (hydroisopic). Specific capacities were determined from results of pumping tests on tubular wells that distinctly capture Serra Grande Aquifer (479 wells) and Cabeças Aquifer (464 wells). Four scenarios of hydrogeological vocation were constructed for each of the aquifers considering their isopic and hydroisopic along with specific capacity curves for all wells and for only fully penetrating wells. At the end, the top depth curves of each aquifer were generated, with the maximum depth being obtained for the Serra Grande Aquifer of 1,827m and for the Cabeças Aquifer of 877m.

KEYWORDS: Hydrogeology. Parnaíba Sedimentary Basin. Hydrogeological Vocation. MoMaRAQ. GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização e acessos à área de pesquisa.....	25
Figura 2	– Isópaca Estratigráfica em aquífero livre.....	34
Figura 3	– Isópaca Estratigráfica em aquífero confinado.....	34
Figura 4	– Hidroisópaca Estratigráfica em aquífero livre.....	35
Figura 5	– Hidroisópaca Estratigráfica em aquífero confinado.....	35
Figura 6	– Casos e aplicações dos tipos de isópacas definidas nesta pesquisa e informações possíveis de determinação em função da penetração do furo de sondagem / pesquisa ou poço.....	36
Figura 7	– Método da Modelagem Matemática com Refinamento e Posterior Ajuste Qualitativo – MoMaRAQ.....	40
Figura 8	– Fases da Metodologia de Trabalho aplicada na pesquisa.....	44
Figura 9	– Classes para as Vocações Hidrogeológicas.....	50
Figura 10	– Coluna estratigráfica adaptada de Kegel (1955) com espessuras e unidades aquíferas.....	53
Figura 11	– Geologia e estruturas na margem oriental da Bacia do Parnaíba. Adaptado de Kegel, 1956.....	54
Figura 12	– Geologia e estruturas na região limítrofe Piauí – Bahia. Adaptado de Kegel, 1956.....	55
Figura 13	– Situação dos poços cadastrados pela CPRM (2004).....	60
Figura 14	– Geologia da área de pesquisa.....	64
Figura 15	– Coluna cronoestratigráfica para a área de pesquisa.....	65
Figura 16	– Área de Pesquisa e Região Hidrográfica do Parnaíba.....	70
Figura 17	– Isópacas do Aquífero Serra Grande, poços utilizados, limite da Bacia do Parnaíba e Arco Ferrer–Urbano Santos.....	80
Figura 18	– Isópacas do Aquífero Cabeças, poços utilizados, limite da Bacia do Parnaíba e Arco Ferrer–Urbano Santos.....	81
Figura 19	– Isópacas do Aquífero Serra Grande, poços utilizados e limite da Bacia do Parnaíba.....	82
Figura 20	– Isópacas do Aquífero Cabeças, poços utilizados e limite da Bacia do Parnaíba.....	83

Figura 21	– Relacionamento entre o eixo deposicional do Aquífero Serra Grande e os lineamentos Transbrasiliano e Picos – Santa Inês e estruturas na Bacia do Parnaíba.....	84
Figura 22	– Relacionamento entre o eixo deposicional do Grupo Canindé e os lineamentos Transbrasiliano e Picos – Santa Inês e estruturas na Bacia do Parnaíba.....	85
Figura 23	– Isópacas totais dos sedimentos na Bacia do Parnaíba e limite da Bacia.....	86
Figura 24	– Esboço tectônico do fundo da Bacia do Parnaíba, compilado a partir de informações geofísicas e geológicas – Modificado e simplificado de Castro, et al., 2014.....	87
Figura 25	– Poços, furos de pesquisa e auxiliares (6.342 pontos com informação de geologia).....	88
Figura 26	– Poço 4DE–01–PI visualizado no STRATER – “Tubo ND”– tipo de tubo Não Definido. “Filtro ND”– Tipo de filtro Não Definido. “SI”– Tipo de cimentação Sem Informação.....	90
Figura 27	– Ambiente de trabalho do software STRATER.....	91
Figura 28	– Isópacas Estratigráficas sem Refinamento do Aquífero Serra Grande – Modelagem sem Refinamento.....	94
Figura 29	– Isópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. – Modelagem sem Refinamento.....	95
Figura 30	– Isópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Serra Grande – Modelagem com Refinamento.....	96
Figura 31	– Isópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas – Modelagem com Refinamento.....	97
Figura 32	– Efeito da inserção do poço CPRM MI–02–13–PI na modelagem com refinamento. (A) Resultado da modelagem sem refinamento e localização do poço – não considerado nesta fase da modelagem. (B) Resultado da modelagem com refinamento e localização do poço – considerado nesta fase da modelagem.....	98

Figura 33	– Isópacas Estratigráficas com ajuste do Aquífero Serra Grande – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	99
Figura 34	– Isópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	100
Figura 35	– Efeito do Ajuste Qualitativo nas curvas de Isópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande. (A) Modelagem sem Ajuste. (B) Modelagem com Ajuste.....	101
Figura 36	– Visualização 2D e 3D das isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande e perfis em corte.....	103
Figura 37	– Valor anômalo no Perfil SG Iso 1–1’ – Efeito do poço estratigráfico 4SR–07–PI.....	104
Figura 38	– Perfil litológico – construtivo do poço 4SR–07–PI.....	106
Figura 39	– (A) Localização do Perfil SG Iso 1–1’ e poço 4SR–07–PI. (B) parte do perfil geológico interpretado por Góes, Travassos e Nunes (1993) mostrando a estrutura grabenforme associada à anomalia do perfil e ao poço 4SR–07–PI.....	107
Figura 40	– Isópacas Estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande classificadas e pontos utilizados (190 pontos).....	108
Figura 41	– Hidroisópacas Estratigráficas sem Refinamento do Aquífero Serra Grande – Modelagem sem Refinamento.....	109
Figura 42	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das Hidroisópacas – Modelagem sem Refinamento.....	110
Figura 43	– Hidroisópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Serra Grande – Modelagem com Refinamento.....	111
Figura 44	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das Hidroisópacas – Modelagem com Refinamento.....	112
Figura 45	– Hidroisópacas Estratigráficas com Ajuste Qualitativo do Aquífero Serra Grande – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	114

Figura 46	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das Hidroisópacas – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	115
Figura 47	– Visualização 2D e 3D das hidroisópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande e perfis em corte.....	116
Figura 48	– Valor anômalo no Perfil SG Hiso 1–1’ justificado pelo poço estratigráfico 4SR–07–PI.....	117
Figura 49	– Análise conjunta do (A) Perfil SG Iso 1–1’ de isópacas e do (B) Perfil SG Hiso 1–1’ de hidroisópacas do Aquífero Serra Grande. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.....	118
Figura 50	– Influência de rochas vulcânicas no início dos perfis (A) Perfil SG Iso 2–2’ e (B) Perfil SG Hiso 2–2’. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.....	119
Figura 51	– Perfil litológico do poço de pesquisa 1–MA–1–PI.....	120
Figura 52	– Registro de rochas vulcânicas no Aquífero Serra Grande na região da capital Teresina. (A) Localização do Perfil SG Iso 2–2’ (do autor) e (B) Perfil Geológico interpretado por Góes, Travassos e Nunes (1993, p. 43k) adaptado.....	121
Figura 53	– Influência de rochas vulcânicas no início dos perfis (A) Perfil SG Iso 3–3’ e (B) Perfil SG Hiso 3–3’. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.....	122
Figura 54	– Perfil litológico do poço de pesquisa 1–FL–1–PI.....	123
Figura 55	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande classificadas e pontos utilizados (190 pontos).....	124
Figura 56	– Isópacas Estratigráficas sem Refinamento do Aquífero Cabeças – Modelagem sem Refinamento.....	126
Figura 57	– Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. – Modelagem sem Refinamento.....	127
Figura 58	– Isópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Cabeças – Modelagem com Refinamento.....	128

Figura 59	– Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. – Modelagem com Refinamento.....	129
Figura 60	– Isópacas Estratigráficas com Ajuste Qualitativo do Aquífero Cabeças – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	130
Figura 61	– Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	131
Figura 62	– Visualização 2D e 3D das isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Cabeças e perfis em corte.....	133
Figura 63	– Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças classificadas e pontos utilizados (231 pontos).....	134
Figura 64	– Hidroisópacas Estratigráficas sem Refinamento do Aquífero Cabeças – Modelagem sem Refinamento.....	135
Figura 65	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. – Modelagem sem Refinamento.....	136
Figura 66	– Hidroisópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Cabeças – Modelagem com Refinamento.....	137
Figura 67	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. – Modelagem com Refinamento.....	138
Figura 68	– Hidroisópacas Estratigráficas com Ajuste Qualitativo do Aquífero Cabeças – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	139
Figura 69	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. – Modelagem com Ajuste Qualitativo.....	141
Figura 70	– Visualização 2D e 3D das hidroisópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Cabeças e perfis em corte.....	142
Figura 71	– Análise conjunta do (A) Perfil CAB Iso 1–1’ de isópacas e do (B) Perfil CAB Hiso 1–1’ de hidroisópacas do Aquífero Cabeças. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.....	143

Figura 72	– Análise conjunta do (A) Perfil CAB Iso 2–2’ de isópacas e do (B) Perfil CAB Hiso 2–2’ de hidroisópacas do Aquífero Cabeças. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.....	144
Figura 73	– (A) Localização do Perfil CAB Iso 2–2’ e do perfil geológico A–A’ de Góes, Travassos e Nunes (1993, p. 23k). (B) perfil geológico A–A’ adaptado dos mesmos autores.....	145
Figura 74	– Análise conjunta do (A) Perfil CAB Iso 3–3’ de isópacas e do (B) Perfil CAB Hiso 3–3’ de hidroisópacas do Aquífero Cabeças. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.....	146
Figura 75	– Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças classificadas e pontos utilizados (232 pontos).....	147
Figura 76	– Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande – Apenas poços com penetração total (21 poços).....	149
Figura 77	– Perfil litológico – construtivo do poço BPp–6 (SIAGAS 2200017017).....	150
Figura 78	– Capacidades específicas classificadas com poços apenas de penetração total para o Aquífero Serra Grande e região de maior índice de classificação (Classe A3 – 10 a 11,8 [(m ³ /h)/m]) e localização do poço BPp–6.....	151
Figura 79	– Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande – Poços com penetração total (21 poços) e parcial (458 poços).....	153
Figura 80	– Capacidades específicas classificadas com poços de penetração total e parcial para o Aquífero Serra Grande e região de maior índice de classificação (Classe A3 – 20 a 31,6 [(m ³ /h)/m]).....	154
Figura 81	– Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças – Poços com penetração total (45 poços).....	156
Figura 82	– Perfil litológico – construtivo do poço CPp–6.....	157

Figura 83	– Capacidades específicas classificadas com poços de penetração total no Aquífero Cabeças e região de maior índice de classificação (Classe A3 – 20 a 27,5 [(m ³ /h)/m]) e localização do poço CPp–6.....	158
Figura 84	– Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças – Poços com penetração total (45 poços) e penetração parcial (419 poços).....	159
Figura 85	– Capacidades específicas classificadas com poços de penetração total e parcial no Aquífero Cabeças e região de maior índice de classificação (Classe A3 – 20 a 40,8 [(m ³ /h)/m]).....	160
Figura 86	– Cenário 01 – Aquífero Serra Grande – Isópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).....	163
Figura 87	– Cenário 02 – Aquífero Serra Grande – Isópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).....	165
Figura 88	– Cenário 03 – Aquífero Serra Grande – Hidroisópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).....	167
Figura 89	– Cenário 04 – Aquífero Serra Grande – Hidroisópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).....	169
Figura 90	– Cenário 01 – Aquífero Cabeças – Isópacas Estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).....	170
Figura 91	– Cenário 02 – Aquífero Cabeças – Isópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).....	172

Figura 92	– Cenário 03 – Aquífero Cabeças – Hidroisópacas Estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).....	174
Figura 93	– Cenário 04 – Aquífero Cabeças – Hidroisópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).....	176
Figura 94	– Profundidades do topo do Aquífero Serra Grande confinado e pontos utilizados (150 pontos).....	178
Figura 95	– Profundidades do topo do Aquífero Serra Grande – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das profundidades.....	179
Figura 96	– Profundidades do topo do Aquífero Serra Grande – Classificação.....	180
Figura 97	– Visualização 2D e 3D das profundidades do topo do Aquífero Serra Grande confinado.....	181
Figura 98	– Profundidades do Aquífero Cabeças confinado e pontos utilizados (145 pontos).....	183
Figura 99	– Profundidades do topo do Aquífero Cabeças – Direções e sentidos dos incrementos nos valores das profundidades.....	184
Figura 100	– Profundidades do topo do Aquífero Cabeças – Classificação.....	185
Figura 101	– Visualização 2D e 3D das profundidades do topo do Aquífero Cabeças confinado.....	186
Figura 102	– Volumes de Isópacas do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado.....	188
Figura 103	– Volumes de Hidroisópacas do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado.....	188
Figura 104	– Isópacas, Hidroisópacas e Redução para o Aquífero Serra Grande Confinado e Livre e Total.....	189
Figura 105	– Volumes de Isópacas do Aquífero Cabeças Livre e Confinado.....	191
Figura 106	– Volumes de Hidroisópacas do Aquífero Cabeças Livre e Confinado.....	191
Figura 107	– Isópacas, Hidroisópacas e Redução para o Aquífero Cabeças Confinado e Livre e Total.....	191

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Municípios do Estado do Piauí não totalmente inseridos em área sedimentar na Bacia do Parnaíba.....	27
Quadro 2	– Municípios do Estado do Ceará totalmente inseridos nos sedimentos na Bacia do Parnaíba.....	28
Quadro 3	– Sedes municipais do Piauí com necessidade de investimentos.....	29
Quadro 4	– Dez maiores participações municipais no PIB do Estado do Piauí.....	30
Quadro 5	– Classes para as Vocações Hidrogeológicas.....	50
Quadro 6	– Espessuras máximas para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças e para a Formação Pimenteiras.....	60
Quadro 7	– Valores de isópacas do poço 4DE–01–PI (Figura 26).....	89
Quadro 8	– Resultados do teste de bombeamento do poço 4SR–07–PI....	102
Quadro 9	– Classes aplicadas nas isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.....	106
Quadro 10	– Classes aplicadas nas hidroisópacas estratigráficas do Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.....	124
Quadro 11	– Classes aplicadas nas isópacas estratigráficas do Aquífero Cabeças e respectivos intervalos.....	132
Quadro 12	– Classes aplicadas nas isópacas estratigráficas do Aquífero Cabeças e respectivos intervalos.....	147
Quadro 13	– Classes aplicadas para as capacidades específicas de poços com penetração total no Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.....	148
Quadro 14	– Resultados do teste de bombeamento do poço BPP–6.....	151
Quadro 15	– Classes aplicadas para as capacidades específicas de poços com penetração total e parcial no Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.....	152
Quadro 16	– Classes aplicadas para as capacidades específicas de poços com penetração total no Aquífero Cabeças e respectivos intervalos.....	155

Quadro 17	– Resultados do teste de bombeamento do poço Cpp–6.....	155
Quadro 18	– Classes aplicadas para as capacidades específicas de poços com penetração total e parcial no Aquífero Cabeças e respectivos intervalos.....	158
Quadro 19	– Classes aplicadas para as profundidades do Aquífero Serra Grande confinado e respectivos intervalos.....	177
Quadro 20	– Classes aplicadas para as profundidades do topo do Aquífero Cabeças confinado e respectivos intervalos.....	182
Quadro 21	– Volumes calculados para as isópacas e hidroisópacas do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado.....	187
Quadro 22	– Volumes calculados para as isópacas e hidroisópacas do Aquífero Cabeças Livre e Confinado.....	189

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Localização da Área de Pesquisa	24
1.2	Justificativa e relevância	26
2	OBJETIVOS	32
2.1	Geral	32
2.2	Específicos	32
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS E DEFINIÇÕES	33
3.1	Isópacas	33
3.1.1	<i>Isópaca Estratigráfica (IsoEst)</i>	33
3.1.2	<i>Hidroisópaca Estratigráfica (HIsoEst)</i>	34
3.2	Capacidade específica	37
3.3	Método da Modelagem Matemática com Refinamento e Ajuste Qualitativo: “MoMaRAQ”	37
3.3.1	<i>Modelagem matemática sem refinamento</i>	38
3.3.2	<i>Modelagem matemática com refinamento</i>	38
3.3.3	<i>Ajuste qualitativo</i>	39
4	METODOLOGIA	41
4.1	Principais fontes de pesquisa	41
4.2	Dados relevantes	42
4.2.1	<i>Perfis litológicos de furos de pesquisa e de poços tubulares</i>	42
4.2.2	<i>Perfis construtivos de poços tubulares</i>	43
4.2.3	<i>Resultados de testes de bombeamento em poços e de aquíferos</i> ...	43
4.2.4	<i>Eixos de deposição, isópacas na bacia e aspectos estruturais</i>	45
4.3	Informações extraídas e organizadas em SIG e STRATER	45
4.3.1	<i>Espessuras atravessadas em um ponto do aquífero</i>	46
4.3.2	<i>Posicionamento dos filtros</i>	46
4.3.3	<i>Capacidades específicas em um ponto do aquífero</i>	46
4.3.4	<i>Eixos de deposição, isópacas e estruturas na bacia</i>	46
4.3.5	<i>Aquífero e tipo captado em um ponto</i>	46
4.4	Processamentos em SIG	47
4.4.1	<i>Geração de isópacas e hidroisópacas estratigráficas</i>	47

4.4.2	<i>Geração de curvas de isovalores de capacidades específicas</i>	48
4.4.3	<i>Profundidade do topo do aquífero</i>	49
4.4.4	<i>Cálculo de volumes de sedimentos</i>	49
4.4.5	<i>Cenários de vocação hidrogeológica</i>	49
4.4.6	<i>Apoio à decisão</i>	50
5	SINOPSE BIBLIOGRÁFICA	51
6	COMPONENTES GEOAMBIENTAIS	63
6.1	Geologia	63
6.2	Hidrografia	69
6.3	Clima	75
6.4	Vegetação	76
6.5	Geomorfologia	76
7	INTEGRAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	79
7.1	Dados relevantes da bibliografia	79
7.1.1	<i>Isópacas Serra Grande e Cabeças</i>	79
7.1.2	<i>Eixos deposicionais</i>	80
7.1.3	<i>Isópacas totais de sedimentos na bacia do Parnaíba</i>	86
7.1.4	<i>Aspectos estruturais da bacia do Parnaíba</i>	87
7.2	Dados relevantes do projeto	88
7.3	Banco de dados STRATER	89
8	PROCESSAMENTO EM SIG	92
8.1	Modelagem matemática (método MoMaRAQ)	92
8.1.1	<i>Aquífero Serra Grande</i>	92
8.1.1.1	<i>Isópacas estratigráficas</i>	92
8.1.1.1.1	Sem refinamento.....	93
8.1.1.1.2	Com refinamento.....	93
8.1.1.1.3	Com ajuste.....	98
8.1.1.1.4	Classificação.....	105
8.1.1.2	<i>Hidroisópacas Estratigráficas</i>	108
8.1.1.2.1	Sem refinamento.....	108
8.1.1.2.2	Com refinamento.....	111
8.1.1.2.3	Com ajuste.....	113
8.1.1.2.4	Classificação.....	123

8.1.2	Aquífero Cabeças	125
8.1.2.1	<i>Isópacas estratigráfica</i>	125
8.1.2.1.1	Sem refinamento.....	125
8.1.2.1.2	Com refinamento.....	127
8.1.2.1.3	Com ajuste.....	129
8.1.2.1.4	Classificação.....	132
8.1.2.2	<i>Hidroisópacas Estratigráficas</i>	134
8.1.2.2.1	Sem refinamento.....	134
8.1.2.2.2	Com refinamento.....	137
8.1.2.2.3	Com ajuste.....	139
8.1.2.2.4	Classificação.....	146
8.2	Capacidade específica	148
8.2.1	Aquífero Serra Grande	148
8.2.1.1	<i>Poços totalmente penetrantes</i>	148
8.2.1.2	<i>Poços totalmente e parcialmente penetrantes</i>	152
8.2.2	Aquífero Cabeças	154
8.2.2.1	<i>Poços totalmente penetrantes</i>	154
8.2.2.2	<i>Poços totalmente e parcialmente penetrantes</i>	158
9	CENÁRIOS DE VOCAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	161
9.1	Aquífero Serra Grande	161
9.1.1	<i>Cenário 01</i>	161
9.1.2	<i>Cenário 02</i>	163
9.1.3	<i>Cenário 03</i>	166
9.1.4	<i>Cenário 04</i>	167
9.2	Aquífero Cabeças	169
9.2.1	<i>Cenário 01</i>	169
9.2.2	<i>Cenário 02</i>	171
9.2.3	<i>Cenário 03</i>	173
9.2.4	<i>Cenário 04</i>	174
10	PROFUNDIDADE DO TOPO DOS AQUÍFEROS SERRA GRANDE E CABEÇAS	177
10.1	Aquífero Serra Grande	177
10.2	Aquífero Cabeças	181

11	VOLUME DOS AQUÍFEROS SERRA GRANDE E CABEÇAS.....	187
11.1	Aquífero Serra Grande.....	187
11.2	Aquífero Cabeças.....	189
12	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	192
	REFERÊNCIAS.....	195
	APÊNDICE A – MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PIAUÍ E DO CEARÁ (ESTES EM AZUL) NA ÁREA DE PESQUISA.....	198
	APÊNDICE B – PONTOS NA MODELAGEM COM REFINAMENTO (¹⁵) PARA AS ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS DO AQUÍFERO SERRA GRANDE E CÓDIGOS ID.....	199
	APÊNDICE C – PONTOS NA MODELAGEM COM REFINAMENTO (¹⁶) PARA AS ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS DO AQUÍFERO CABEÇAS E CÓDIGOS ID.....	200
	APÊNDICE D – DETALHAMENTO DA REGIÃO DO APÊNDICE C.....	201
	APÊNDICE E – CÓDIGOS ID DOS PONTOS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA – MOMARAQ – PARA O AQUÍFERO SERRA GRANDE E RESPECTIVOS VALORES DE ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS.....	202
	APÊNDICE F – CÓDIGOS ID DOS PONTOS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA – MOMARAQ – PARA O AQUÍFERO CABEÇAS E RESPECTIVOS VALORES DE ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS.....	210
	ANEXO A – CÓDIGOS ID E MUNICÍPIOS DO PIAUÍ NA ÁREA DE PESQUISA.....	217
	ANEXO B – CÓDIGOS ID E MUNICÍPIOS DO CEARÁ NA ÁREA DE PESQUISA.....	220

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são os responsáveis pela sustentação dos processos de redução da pobreza, do crescimento econômico e da sustentabilidade ambiental. A água contribui para melhorias no bem-estar social e no crescimento inclusivo de toda a população global.

Apesar de constituírem-se em reservas renováveis, a sua disponibilidade, em um dado tempo, reflete os limites do seu ciclo natural. Neste caso, quando são gerenciados, respeitando-se estes limites, eles propiciam uma base sustentável para o desenvolvimento.

Conhecer, para gerenciar, é o primeiro passo essencial para a adoção de medidas de controle e monitoramento destes recursos.

Apesar de já consagrada em termos de reservas de água subterrânea, na Bacia do Parnaíba os maiores esforços em termos de pesquisas - salvo algumas exceções como na Região do Vale do Gurguéia/PI - foram dirigidos à pesquisa para óleo e gás.

Nessa bacia, principalmente os Aquíferos Serra Grande e Cabeças, objetos desta pesquisa, representam, em termos de áreas de ocorrência e de volumes de água, reservatórios importantes para abastecimento e desenvolvimento regional. Entretanto, apesar de ações de órgãos federais como o Serviço Geológico do Brasil - CPRM e o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, de trabalhos pioneiros como os de Kegel (1955) e ainda da elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (SEMAR, 2010), carecem de pesquisas mais específicas visando um melhor entendimento das suas dinâmicas regionais.

Dessa forma, esta pesquisa procura contribuir para um melhor conhecimento desses recursos, na forma de um zoneamento da *Vocação Hidrogeológica* do Aquífero Serra Grande (área de ocorrência livre e confinada com cerca de 220.300km² nos Estados do Piauí e Ceará) e Cabeças (área de ocorrência livre e confinada com cerca de 174.000km² no Estado do Piauí), através das informações de espessuras de aquíferos, volumes de sedimentos e suas potencialidades.

1.1 Localização da Área de Pesquisa

A área de pesquisa tem extensão aproximada de 220.300 Km² e está localizada na Região Nordeste do Brasil, totalmente inserida na margem leste da Bacia do Parnaíba. Compreende toda a área sedimentar do Estado do Piauí, e a parte do Estado do Ceará representada pelos afloramentos do Aquífero Serra Grande.

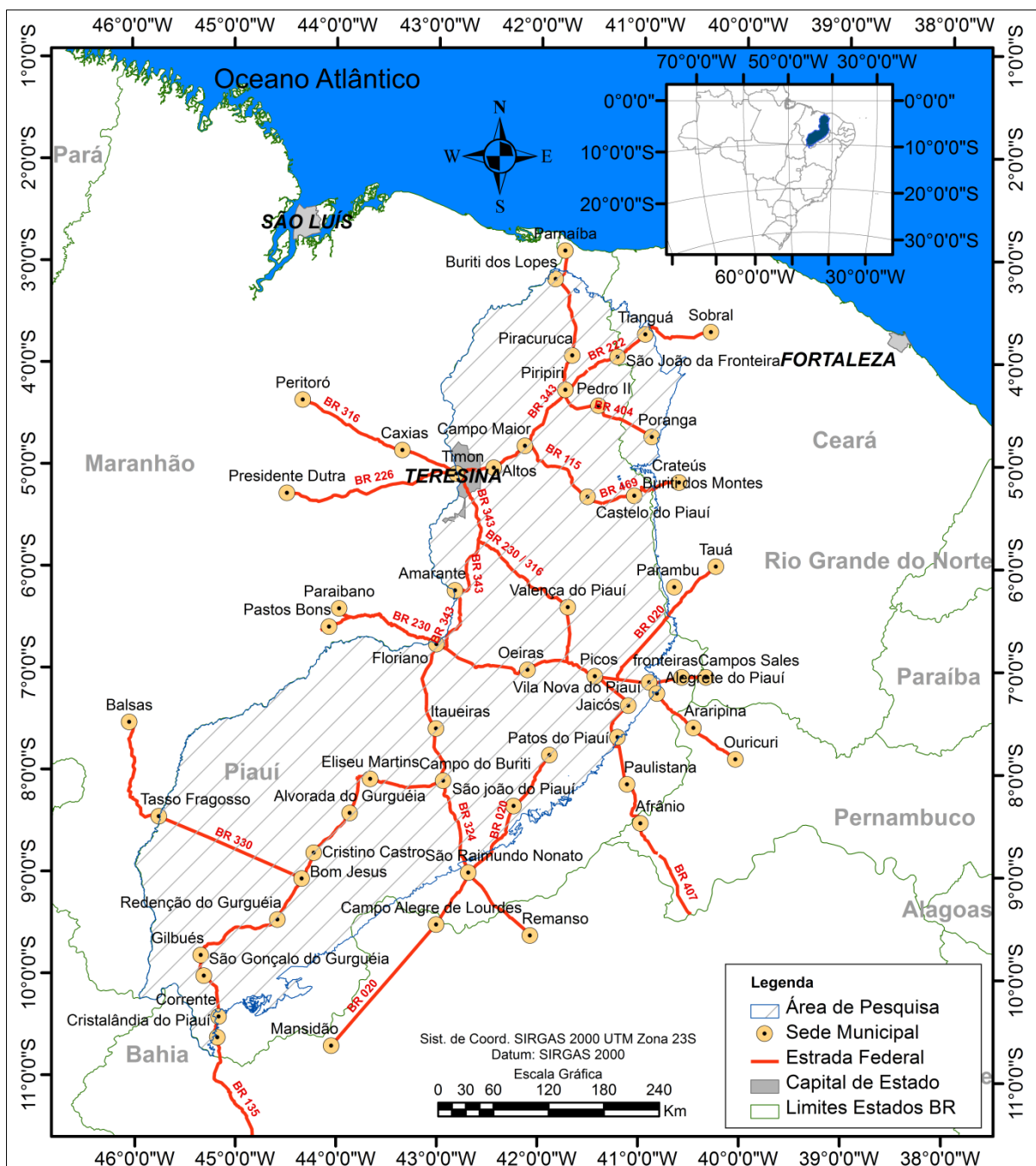
Seus limites são os seguintes:

- Oeste: com o Estado do Maranhão.
- Norte: com as rochas do embasamento do Estado do Piauí, na Região de Parnaíba.
- Nordeste: com as rochas do embasamento do Estado do Ceará. Compreende o contato do Aquífero Serra Grande com as rochas do embasamento daquele estado.
- Sudeste: com exceção de uma pequena parte que limita com as rochas do embasamento do Estado da Bahia, o limite é representado pelo contato do Aquífero Serra Grande com as rochas do embasamento do Estado do Piauí.
- Sul: com o Estado da Bahia.
- Sul-Sudoeste: Com o Estado do Tocantins.

Os acessos à área de pesquisa podem ser feitos, principalmente, utilizando-se de estradas pavimentadas federais das seguintes formas (Figura 1).

- Pelo Norte: através da BR 343 a partir da sede do município de Parnaíba - PI.
- Pelo Nordeste: (a) através da BR 222 a partir de Fortaleza - CE, passando pela sede do município de Sobral - CE, e o acesso à área é feito pela sede do município de Tianguá - CE, (b) através da BR 404, sendo o acesso à área realizado pela sede do município de Pedro II - PI a partir da sede do município de Poranga - CE (c) através da BR 469, com o acesso à área feito através da sede do município de Buriti dos Montes - PI a partir do município de Crateús - CE.

Figura 1 - Localização e acessos à área de pesquisa.



Fonte: Rodovias - DNIT (2013); Sedes municipais - IBGE.

- Pelo Leste: (a) através da BR 020 a partir da capital Fortaleza - CE e com o acesso à área feito pelo município de Parambu - CE, a partir da sede do município de Tauá - CE, (b) pela BR 230, sendo o acesso à área feito pela sede do município de Vila Nova do Piauí - PI a partir do município de Campos Sales - CE, (c) pela BR 407, onde o acesso à área é feito pela sede do município de Patos do Piauí - PI a partir da sede do município de Petrolina - PE e (d) pela BR 316 com acesso à área feito pela sede do município de

Alegrete do Piauí - PI, a partir da sede do município de Ouricuri - PE.

- Pelo Sudeste - através da BR 324 a partir da sede do município de Remanso - BA. O acesso à área de pesquisa é feito pela sede do município de São Raimundo Nonato - PI.
- Pelo Sul - (a) através da BR 135 a partir do vizinho município de Formosa do Rio Preto - BA sendo o acesso à área feito pela sede do município de Cristalândia do Piauí - PI e (b) pela BR 020, com acesso à área pelo município de Fatura do Piauí a partir da sede do município de Mansidão - BA.
- Pelo Sudoeste - através da BR 330 a partir do município de Balsas - MA, sendo o acesso à área feito pela sede do município de Tasso Fragosso - MA.

1.2 Justificativa e relevância

O Estado do Piauí, com 224 municípios (APÊNDICE A e ANEXO A), totalizando uma área de 251.611,934 Km² (IBGE, 2017a) e com população de 3.118.360 habitantes, e ainda uma população estimada, para 2030, de 3.232.330 habitantes (IBGE, 2017b), está quase totalmente assentado sobre os sedimentos da Bacia do Parnaíba, principalmente os do Aquífero Serra Grande e os do Aquífero Cabeças, objetos deste estudo.

Deste total, 50 municípios, com 568.117 habitantes, não se encontram totalmente inseridos nestes sedimentos, representando apenas 18,21% da população do Piauí (Quadro 1), ou seja, 2.550.243 pessoas estão assentadas totalmente nas áreas sedimentares (81,79%).

O estado do Ceará, onde a área de pesquisa é representada pelo contato do Aquífero Serra Grande aflorante com o embasamento cristalino, possui 24 municípios na área de pesquisa (APÊNDICE A

e ANEXO B). Considerando apenas os municípios totalmente inseridos na bacia, neste estado, o total de habitantes chega a 127.769 (município de Carnaubal, Croatá, Guaraciaba do Norte, Poranga e São Benedito – Quadro 2).

Considerando, portanto, as parcelas dos estados do Piauí e Ceará na área de pesquisa, 2.678.012 pessoas residem diretamente sobre os sedimentos da Bacia do Parnaíba, sendo que para o estado do Piauí, elas representam 81,79% do total da população daquele estado.

Quadro 1 - Municípios do Estado do Piauí não totalmente inseridos em área sedimentar na Bacia do Parnaíba.

Município	Nº de habitantes	Geologia	Município	Nº de habitantes	Geologia
Acauã	6749	Totalmente Cristalino	Ilha Grande	8914	Coberturas fora da Bacia
Alagoinha do Piauí	7341	Parcialmente Cristalino	Jacobina do Piauí	5722	Parcialmente em sedimento
Alegrete do Piauí	5153	Quase totalmente cristalino	Jurema	4517	Parcialmente em sedimento
Anísio de Abreu	9098	Quase totalmente cristalino	Lagoa do Barro do Piauí	4523	Totalmente Cristalino
Avelino Lopes	11067	Totalmente Cristalino	Luís Correia	28406	Coberturas fora da Bacia
Belém do Piauí	3284	Parcialmente em sedimento	Marcolândia	7812	Totalmente Cristalino
Betânia do Piauí	6015	Totalmente Cristalino	Massapê do Piauí	6220	Parcialmente em sedimento
Bom Princípio do Piauí	5304	Parcialmente em sedimento	Morro Cabeça no Tempo	4068	Parcialmente em sedimento
Bonfim do Piauí	5393	Totalmente Cristalino	Padre Marcos	6657	Quase totalmente cristalino
Cajueiro da Praia	7163	Coberturas fora da Bacia	Parnaguá	10276	Parcialmente em sedimento
Caldeirão Grande do Piauí	5671	Totalmente Cristalino	Parnaíba	145705	Coberturas fora da Bacia
Campo Alegre do Fidalgo	4693	Parcialmente Cristalino	Patos do Piauí	6105	Parcialmente em sedimento
Capitão Gervásio Oliveira	3878	Quase totalmente cristalino	Paulistana	19785	Totalmente Cristalino
Caracol	10212	Quase totalmente sedimento	Pio IX	17671	Parcialmente em sedimento
Caridade do Piauí	4826	Totalmente Cristalino	Queimada Nova	8553	Totalmente Cristalino
Coronel José Dias	4541	Quase totalmente cristalino	São Braz do Piauí	4313	Quase totalmente sedimento
Corrente	25407	Parcialmente em sedimento	São Francisco de Assis do Piauí	5567	Parcialmente em sedimento
Cristalândia do Piauí	7831	Quase totalmente cristalino	São João do Piauí	19548	Quase totalmente sedimento
Curimatá	10761	Parcialmente em sedimento	São Julião	5675	Parcialmente em sedimento
Curral Novo do Piauí	4869	Totalmente Cristalino	São Lourenço do Piauí	4427	Totalmente Cristalino

Continua.

Continuação...

Município	Nº de habitantes	Geologia	Município	Nº de habitantes	Geologia*
Dirceu Arcoverde	6675	Totalmente Cristalino	São Lourenço do Piauí	4427	Totalmente Cristalino
Dom Inocêncio	9245	Totalmente cristalino	São Raimundo Nonato	32327	Parcialmente em sedimento
Fartura do Piauí	5074	Totalmente Cristalino	Sebastião Barros	3560	Totalmente Cristalino
Francisco Macedo	2879	Totalmente Cristalino	Simões	14180	Totalmente Cristalino
Fronteiras	11117	Totalmente Cristalino	Várzea Branca	4913	Totalmente Cristalino

Fonte: IBGE, 2017c (* Indica o tipo de geologia onde se encontra o município).

Quadro 2 - Municípios do Estado do Ceará totalmente inseridos nos sedimentos na Bacia do Parnaíba

	Município	No de habitantes	Geologia*
40	Carnaubal	16.746	Totalmente em sedimento
52	Croatá	17.069	Totalmente em sedimento
68	Guaraciaba do Norte	37.775	Totalmente em sedimento
144	Poranga	12.001	Totalmente em sedimento
161	São Benedito	44.178	Totalmente em sedimento

Fonte: IBGE, 2017d (* Indica o tipo de geologia onde se encontra o município)

No estado do Piauí, de acordo com a Agência Nacional de Águas - ANA, 2010, por conta da farta disponibilidade de águas subterrâneas e da grande presença de municípios de grande porte, 78% das sedes urbanas já eram abastecidas em 2010 por sistemas com captação exclusivamente em poços, predominando, portanto, os sistemas isolados, presentes em quase todas as sedes urbanas (92% do total).

Esta Agência, em diagnóstico de 2010, já previa a necessidade de investimentos da ordem de R\$ 115.000.000,00 em 115 sedes municipais para atendimento satisfatório da população, através de poços tubulares devido à grande disponibilidade dos aquíferos da bacia (Quadro 3). Com relação à economia, segundo a Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí - CEPRO (CEPRO, 2016), os dez municípios com maior participação no PIB no Estado, em 2014, foram os listados no Quadro 4.

Quadro 3 - Sedes municipais do Piauí com necessidade de investimentos.

Município	Município	Município	Município
Água Branca	Cocal de Telha	Monte Alegre do Piauí	São João da Serra
Alto Longá	Cocal dos Alves	Morro Cabeça no Tempo	São João da Varjota
Altos	Coivaras	Morro do Chapéu do Piauí	São José do Divino
Alvorada do Gurguéia	Colônia do Gurguéia	Nazaré do Piauí	São José do Peixe
Amarante	Colônia do Piauí	Nossa Senhora de Nazaré	São José do Piauí
Angical do Piauí	Cristino Castro	Nova Santa Rita	São Luis do Piauí
Antônio Almeida	Currais	Novo Oriente do Piauí	São Miguel da Baixa Grande
Aroeiras do Itaim	Curralinhos	Novo Santo Antônio	São Miguel do Fidalgo
Arraial	Dom Expedito Lopes	Oeiras	São Miguel do Tapuio
Assunção do Piauí	Dom Inocêncio	Olho d'Água do Piauí	São Pedro do Piauí
Baixa Grande do Ribeiro	Domingos Mourão	Paes Landim	Sebastião Barros
Barra d'Alcântara	Elesbão Veloso	Pajeú do Piauí	Sebastião Leal
Barreiras do Piauí	Eliseu Martins	Palmeira do Piauí	Socorro do Piauí
Barro Duro	Flores do Piauí	Palmeirais	Sussuapara
Batalha	Floresta do Piauí	Paquetá	Tamboril do Piauí
Bela Vista do Piauí	Francinópolis	Passagem Franca do Piauí	Tanque do Piauí
Benedictinos	Francisco Ayres	Pau d'Arco do Piauí	Uruçuí
Bertolínia	Geminiano	Pavussu	Valença do Piauí
Betânia do Piauí	Gilbués	Pedro Laurentino	Vera Mendes
Boa Hora	Inhuma	Picos	Wall Ferraz
Boqueirão do Piauí	Itainópolis	Pimenteiras	Agricolândia
Brasileira	Itaueira	Porto Alegre do Piauí	Aroazes
Brejo do Piauí	Jardim do Mulato	Redenção do Gurguéia	Bom Princípio do Piauí
Bom Jesus	Jatobá do Piauí	Regeneração	Cabeceiras do Piauí
Buriti dos Lopes	Jerumenha	Ribeira do Piauí	Canto do Buriti
Buriti dos Montes	João Costa	Rio Grande do Piauí	Demerval Lobão
Cajazeiras do Piauí	José de Freitas	Santa Cruz do Piauí	Esperantina
Campinas do Piauí	Lagoa de São Francisco	Santa Cruz dos Milagres	Ipiranga do Piauí
Campo Largo do Piauí	Lagoa do Piauí	Santa Filomena	Juazeiro do Piauí
Campo Maior	Lagoa do Sítio	Santa Luz	Manoel Emídio
Canavieira	Lagoinha do Piauí	Santana do Piauí	Ribeiro Gonçalves
Capitão de Campos	Landri Sales	Santo Inácio do Piauí	Santa Rosa do Piauí
Caracol	Marcos Parente	São Francisco do Piauí	São Gonçalo do Piauí
Caraúbas do Piauí	Massapê do Piauí	São Gonçalo do Gurguéia	São João do Arraial
Castelo do Piauí	Miguel Leão	São João da Canabrava	Sigefredo Pacheco
Caxingó	Milton Brandão	São João da Fronteira	Várzea Grande
Cocal	Monsenhor Gil	-	-

Fonte: ANA, 2010.

Quadro 4 - Dez maiores participações municipais no PIB do Estado do Piauí.

Ordem	Município	Participação no Estado (%)	Valor (R\$)	Setores que se destacam
1º	Teresina	47,09	17.762.266	Serviços e indústrias
2º	Parnaíba	4,41	1.663.949	Serviços, Indústrias e Agropecuária
3º	Picos	3,22	1.214.900	Serviços, Indústrias e Agropecuária
4º	Uruçuí	2,53	954.285	Serviços, Indústrias e Agropecuária
5º	Florianópolis	2,42	911.051	Serviços, Indústrias e Agropecuária
6º	Piripiri	1,42	535.169	Não Informado
7º	Baixa Grande do Ribeiro	1,28	481.692	Não Informado
8º	Bom Jesus	1,21	457.869	Não Informado
9º	Campo Maior	1,17	443.011	Não informado
10º	São Raimundo Nonato	0,85	319.268	Não informado
Total		65,59	24.743.460	-

Fonte: CEPRO, 2016.

Destes 10 municípios, apenas dois não se encontram totalmente inseridos nas áreas sedimentares - os municípios de Parnaíba e São Raimundo Nonato (este último encontra-se parcialmente assentado em sedimentos na área de pesquisa).

Com base nos dados apresentados verifica-se que, além da grande parte da população do Estado do Piauí estar assentada sobre áreas sedimentares da bacia, também as atividades de serviços, indústrias e agropecuária, que geram os maiores valores de PIB para o estado, são desenvolvidas em áreas representadas por esta mesma geologia.

Vale ainda ressaltar a região do Vale do Gurguéia que, de acordo com informação do Serviço Geológico do Brasil - CPRM (informação verbal)^[1], cerca de 300 poços jorram água todos os dias, muitos deles sem parar. Entre os poços da região, o Poço Violento é o que mais chama atenção, por ter apresentado um jorro de 60m, quando construído na década de sessenta - esses poços captam água principalmente do Aquífero Cabeças.

Apesar de existirem pesquisas importantes na Bacia do Parnaíba, principalmente desenvolvidas pela PETROBRAS, estas sempre foram dirigidas mais especificamente ao conhecimento estratigráfico e estrutural da bacia para a exploração de petróleo e gás, caracterizando uma carência de pesquisas mais específicas no conhecimento das dinâmicas dos principais aquíferos, notadamente os Serra Grande e Cabeças, por suas importâncias em termos de área de abrangência e capacidade de armazenamento de água.

¹ Informação obtida em reunião na CPRM – RETE em janeiro / 2016.

A proposta desta pesquisa justifica-se, portanto, pela contribuição ao melhor conhecimento das características regionais destes dois aquíferos na região de estudo, através da construção de cenários de *Vocação Hidrogeológica* e da proposta conjunta de uma metodologia de *Modelagem Matemática com Refinamento e posterior Ajuste Qualitativo - MoMaRAQ*, para cálculo de volumes de sedimentos.

Uma vez que, para o cálculo de volumes de sedimentos (necessário para o cálculo de reservas de aquíferos), é necessária a anterior determinação da geometria do aquífero de interesse, e que, para esta determinação é usualmente necessário um programa de investigação geofísica, acompanhado de furos estratigráficos, o modelo proposto otimizará, de sobremaneira, os custos envolvidos em estudos desta natureza.

Saliente-se, entretanto, que esta proposta é mais apropriada para avaliações regionais e que não substitui a necessidade de pesquisas de detalhe em pequenas áreas.

O conhecimento destes cenários permitirá um entendimento preliminar, e indispensável, ao direcionamento de futuras pesquisas de maior detalhamento hidrogeológico para os aquíferos considerados, enquanto a metodologia *MoMaRAQ* poderá ser aplicada em regiões semelhantes com baixo custo.

Também foi proposto nesta pesquisa o conceito de *hidroisópaca estratigráfica*, como sendo a espessura da unidade aquífera efetivamente capaz de armazenar água, excluindo-se todos os principais materiais impermeáveis que a compõem, como as intrusões de rochas vulcânicas, comuns na Bacia do Parnaíba. De uma forma geral, os cálculos de volumes são feitos baseando-se em uma espessura do aquífero no sentido estritamente estratigráfico, ou seja, considerando-se toda a sua extensão, desde o topo até à base, sem considerar a existência de materiais impermeáveis que possam fazer parte da sua composição e diminuindo a sua capacidade de armazenamento efetivo.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa propõe atender aos seguintes objetivos.

2.1 Geral

Avaliar a *Vocação Hidrogeológica*, através de isópacas e hidroisópacas estratigráficas e de testes de bombeamento, do Aquífero Serra Grande, nos Estados do Ceará e Piauí, e do Aquífero Cabeças, no Estado do Piauí, na abrangência da área de pesquisa.

2.2 Específicos

- Gerar, através da aplicação de uma proposta de Modelagem Matemática com Refinamento e posterior Ajuste Qualitativo - MoMaRAQ, as isópacas e hidroisópacas estratigráficas dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças.
- Gerar, a partir de resultados de testes de bombeamento em poços nos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, curvas de isovalores de capacidades específicas para cada um dos aquíferos.
- Gerar cenários de *Vocação Hidrogeológica* para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças, a partir das suas espessuras e capacidades específicas classificadas.
- Gerar modelos das profundidades dos topos dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças a partir das informações das profundidades do topo de suas isópacas estratigráficas.
- Calcular, em SIG, a partir das curvas de isópacas e hidroisópacas estratigráficas, os volumes de sedimentos dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, considerando suas porções livres e confinadas.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E DEFINIÇÕES

Neste tópico são feitas considerações sobre as definições e fundamentos teóricos aplicados nesta pesquisa.

3.1 Isópacas

A seguir são apresentadas e discutidas as definições de isópacas adotadas.

3.1.1 *Isópaca Estratigráfica (IsoEst)*

O termo “*Isópaca Estratigráfica*” é aplicado nesta pesquisa no sentido de representar a espessura total de um aquífero, ou seja, desde o seu topo até sua base, independentemente se existem, nesse aquífero, materiais que não possibilitem o acúmulo de água, como intrusões de rochas vulcânicas, por exemplo. Pode ser representada pela expressão da *Equação 1*:

$$IsoEst = P_B - P_T \quad \text{Equação 1}$$

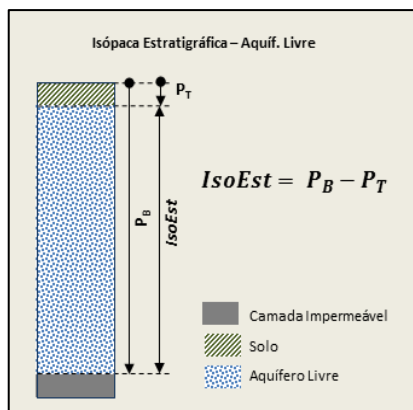
Onde:

- $IsoEst$ = *Isópaca Estratigráfica* no ponto (M).
- P_B = Profundidade da base da unidade aquífera no ponto (M).
- P_T = Profundidade do topo da unidade aquífera no ponto (M).

Esta definição é aplicada aos aquíferos livres (Figura 2) e confinados (Figura 3).

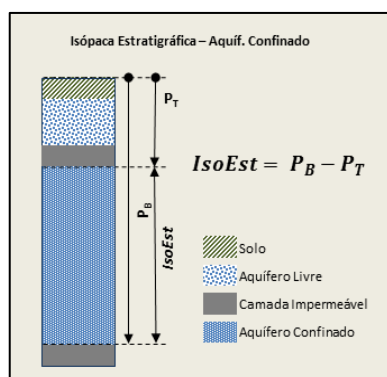
Os casos de aplicação e onde as $IsoEst$ podem ser definidas, através de furos de pesquisa ou poços tubulares, são representados na Figura 6, casos 03, 04, 07, 08, 11 e 12, ou seja, quando o aquífero é atravessado até sua base - nestes casos as isópacas estratigráficas são ditas “*completas*” e representam a real espessura do aquífero naquele ponto. Os casos 01, 02, 05, 06, 09 e 10 (Figura 6), representam isópacas “*incompletas*”, mas que são consideradas na fase de refinamento na geração de curvas isópacas, como será discutido mais adiante.

Figura 2 – Isópaca estratigráfica em aquífero livre.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 3 – Isópaca estratigráfica em aquífero confinado.



Fonte: Do próprio autor.

3.1.2 Hidroisópaca Estratigráfica (*HIsoEst*)

O termo “*Hidroisópaca Estratigráfica*” é aplicado nesta pesquisa no sentido de representar o “*aquífero puro*”, ou seja, a espessura do aquífero capaz de armazenar água, excluindo-se todas as espessuras dos materiais que não possibilitam o acúmulo de água, como intrusões de rochas vulcânicas, por exemplo [2]. Pode ser representada pela expressão da *Equação 2*:

$$HIsoEst = (P_B - P_T) - \sum E_{MD} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

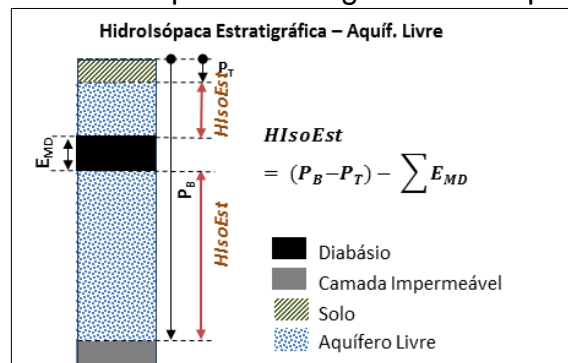
- *HIsoEst* = Hidroisópaca Estratigráfica no ponto (*M*).

² Esta isópaca reflete de forma mais precisa o **volume efetivamente disponível** da unidade aquífera capaz de armazenar água.

- P_B = Profundidade da base da unidade aquífera no ponto (M).
- P_T = Profundidade do topo da unidade aquífera no ponto (M).
- $\sum E_{MD}$ = Somatório de todas as espessuras de materiais distintos da unidade em questão no ponto (M). Esta definição é aplicada aos aquíferos livres (Figura 4) e confinados (Figura 5).

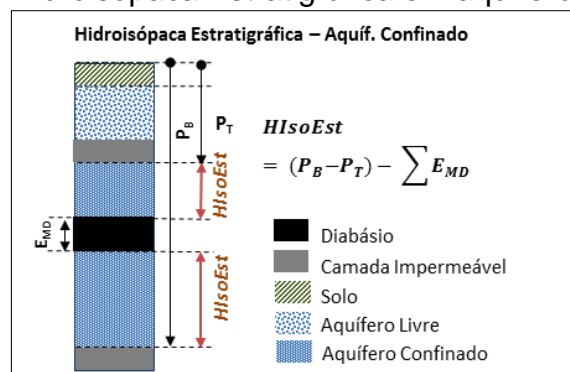
Os casos de aplicação e onde as H_{IsoEst} podem ser definidas, através de furos de pesquisa e poços tubulares, são representados na Figura 6 (Casos 03, 04, 07, 08, 11 e 12), onde, da mesma forma que para as isópacas estratigráficas, o aquífero é atravessado até sua base. Estas são denominadas de “*Hidroisópacas Estratigráficas Completas*”. Os casos 01, 02, 05, 06, 09 e 10 da Figura 6, representam hidroisópacas “*incompletas*”, mas que são consideradas na fase de refinamento na geração de curvas isópacas, como será discutido mais adiante.

Figura 4 - Hidroisópaca Estratigráfica em aquífero livre



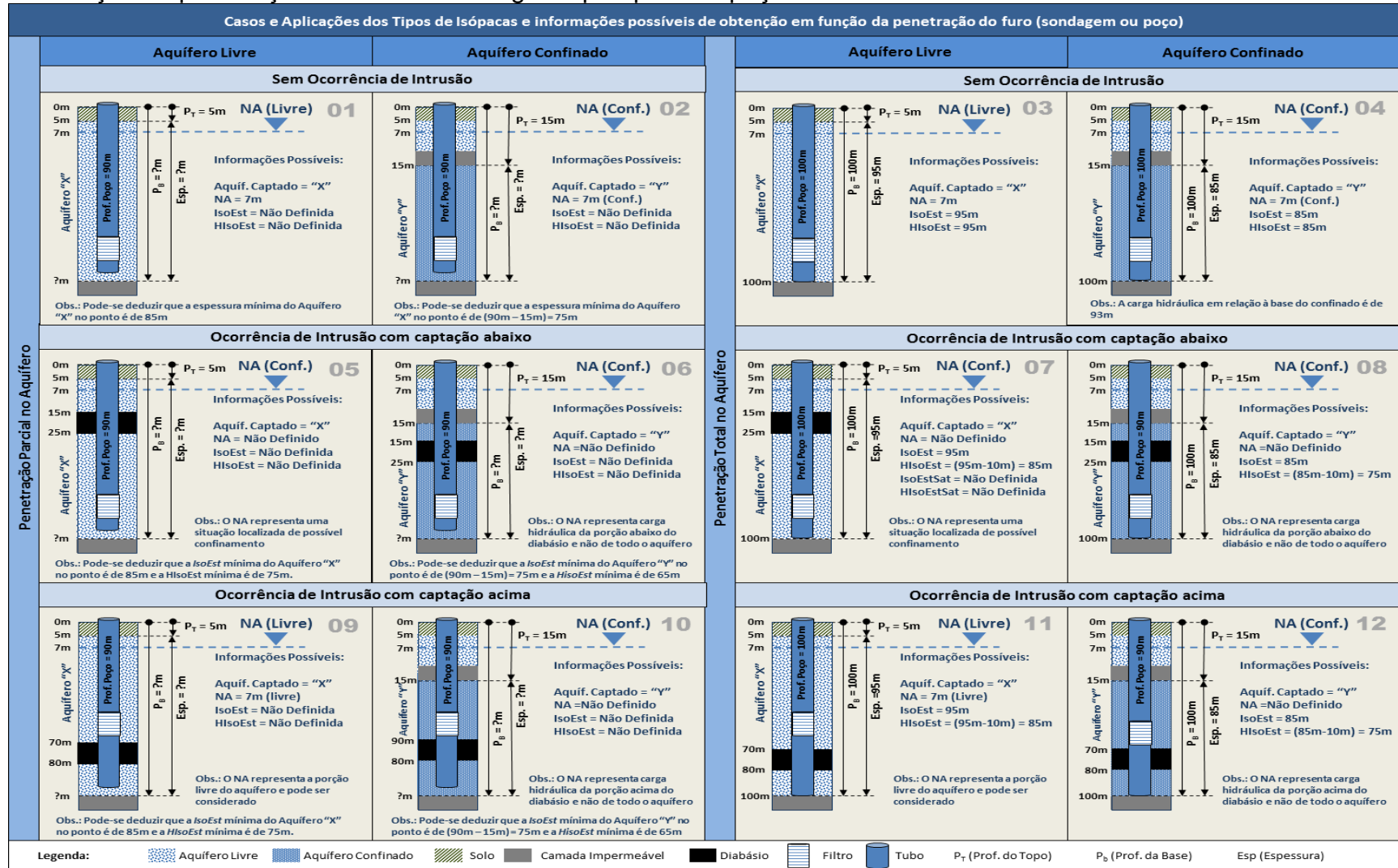
Fonte: Do próprio autor.

Figura 5 - Hidroisópaca Estratigráfica em aquífero confinado.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 6 - Casos e aplicações dos tipos de isópacas definidas nesta pesquisa e informações possíveis de determinação em função da penetração do furo de sondagem / pesquisa ou poço.



Fonte: Do próprio autor.

3.2 Capacidade específica

Denomina-se *capacidade específica* de um poço o quociente entre a vazão de água bombeada e o rebaixamento do nível produzido (CUSTODIO e LLAMAS, 1983) como na *Equação 3* e reflete a eficiência do poço tubular em bombeamento.

$$Q_{esp} = \frac{Q}{s} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- Q_{esp} = Capacidade Específica [$(M^3 \times T^{-1}) \times M^{-1}$]
- Q = Volume bombeado no tempo "T" ($M^3 \times T^{-1}$)
- s = Rebaixamento medido no tempo "T" (M)

As capacidades específicas são determinadas nesta pesquisa a partir da organização dos resultados de testes de bombeamento disponíveis para poços captando exclusivamente os Aquíferos Serra Grande e Cabeças.

3.3 Método da Modelagem Matemática com Refinamento e Ajuste Qualitativo - "MoMaRAQ"

Pela complexidade e quantidade de processamentos e dados envolvidos na geração das curvas isópacas e das respectivas *imagens RASTER*, se fez necessária a formatação de uma metodologia específica para esta pesquisa, e que reflete, portanto, uma proposta metodológica para este tipo de abordagem hidrogeológica: a *geração de curvas de isópacas³ de aquíferos*.

A metodologia é precedida de uma necessária organização e seleção de dados de furos (sondagens/pesquisas e poços) que serão utilizados para a construção das curvas de isópacas e um posterior cálculo dos volumes de sedimentos dos aquíferos na área de pesquisa (baseados nestas isópacas).

Cabe ressaltar que não se trata de novos processamentos matemáticos, mas de uma rotina organizada para geração, avaliação qualitativa e melhor aproximação da realidade de curvas isópacas, utilizando-se de espessuras

³ Todas as referências feitas às isópacas, ao longo do texto, são válidas para as hidroisópacas.

atravessadas por furos de sondagens/pesquisas e/ou poços tubulares, em uma determinada área.

A metodologia é aqui definida como “**Modelagem Matemática com Refinamento e Ajuste Qualitativo**” e será referida nas discussões seguintes como “**MoMaRAQ**”.

O método se desenvolve em três fases distintas:

- a) Geração das Isópacas por “**Modelagem Matemática sem Refinamento**”;
- b) Geração das Isópacas por “**Modelagem Matemática com Refinamento**”;
- c) Ajuste das Isópacas por “**Ajuste Qualitativo**”.

Os procedimentos foram aplicados para as isópacas estratigráficas e hidroisópacas estratigráficas, tanto para o Aquífero Cabeças como para o Aquífero Serra Grande, objetos desta pesquisa.

A seguir são definidas cada uma das fases da metodologia proposta e adotada. Estas fases são apresentadas, também, de forma organizada na Figura 7.

3.3.1 Modelagem matemática sem refinamento

A modelagem matemática sem refinamento implica na geração das isópacas simplesmente utilizando-se dos dados de espessuras atravessadas por furos que penetram *totalmente* o aquífero, sejam esses aquíferos confinados ou livres (Figura 7 - 1).

3.3.2 Modelagem matemática com refinamento

Com as curvas de isópacas já geradas na primeira fase, são plotados todos os demais furos que penetram apenas *parcialmente* o aquífero. É feita, então, uma avaliação qualitativa do processamento, avaliando os valores das isópacas, no ponto, destes furos e se eles se encontram entre curvas de isópacas com valores coerentes.

Um exemplo hipotético desta situação seria a existência de um furo com isópaca de 300m, de um determinado aquífero, localizado entre duas curvas de isópacas de 100m e 200m deste mesmo aquífero. Apesar deste furo não ser

totalmente penetrante no aquífero em questão, é óbvio que a região onde se encontra não apresenta uma espessura do aquífero com valor entre 100m e 200m (neste exemplo) e sim, uma espessura de, pelo menos, 300m (no mínimo, já que o furo não é totalmente penetrante). Na situação deste exemplo o furo é considerado então para uma nova modelagem matemática, agora não apenas com furos totalmente penetrantes, mas, com furos de penetrações parciais definidos aqui como “*Furos de Refinamento*” (Figura 7- 2).

3.3.3 Ajuste qualitativo

Nesta terceira fase da metodologia as curvas de isópacas geradas são avaliadas com base na “*proximidade da realidade*” e “*coerência*” (Figura 7- 3).

Modelagens matemáticas são processamentos matemáticos automatizados que, dependendo do tipo de algoritmo aplicado, geram “desenhos” de curvas distintos e característicos a cada um destes processamentos.

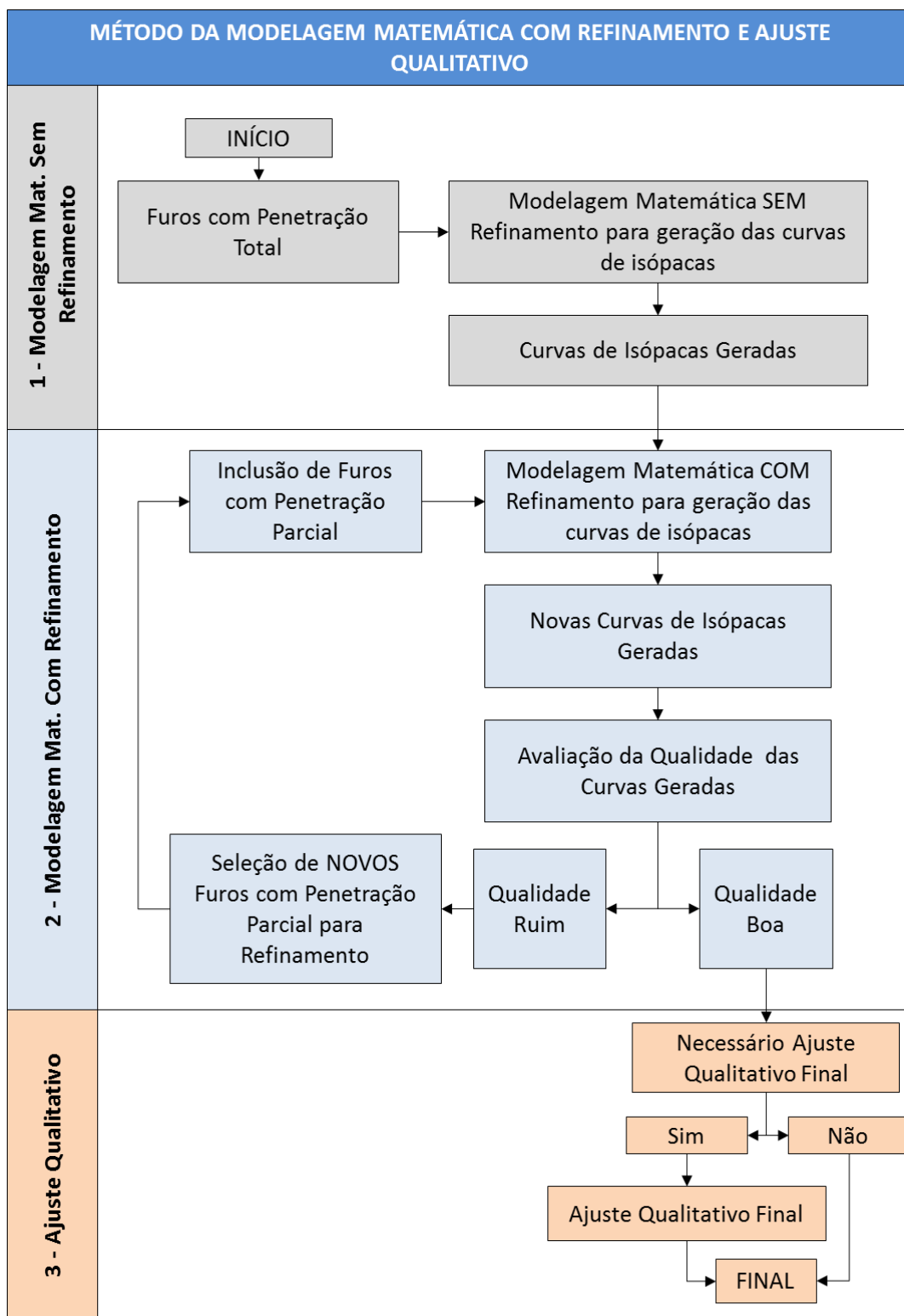
Em geologia, fenômenos localizados como *grabens* e *horsts*, por exemplo, podem gerar variações localizadas nas isópacas, podendo refletir em um aumento da espessura de certa unidade geológica, ou sua diminuição podendo chegar até ao seu desaparecimento. Apesar de reconhecidamente ser este um fenômeno localizado, facilmente identificado por um intérprete com bom conhecimento da área de pesquisa, do ponto de vista matemático é um fenômeno que interfere diretamente nos demais pontos da região. Este fato pode provocar “desenhos” de curvas claramente fora da realidade e praticamente impossíveis de serem ajustadas de forma matemática.

Neste ponto é necessária a intervenção do interprete ao ponto de “redesenhar” a curva e gerar outras curvas *inferidas* para melhor representar estes fenômenos geológicos localizados. Este problema, característico em pesquisas desta natureza, é então resolvido através do que é definido aqui como “*Ajuste Qualitativo*”.

Este procedimento é fundamental, tendo em vista que fenômenos localizados e que implicam em espessamentos dos aquíferos, são desconsiderados em uma modelagem matemática automática. O resultado implica então, em uma subestimação do volume total de sedimentos do aquífero considerado.

A Figura 7 mostra a representação esquemática das três fase da metodologia “*MoMaRAQ*”.

Figura 7 - Método da Modelagem Matemática com Refinamento e Posterior Ajuste Qualitativo - *MoMaRAQ*.



Fonte: Do próprio autor.

4 METODOLOGIA

A metodologia de trabalho aplicada nesta pesquisa foi organizada em quatro fases, definidas e discutidas a seguir, e apresentadas na Figura 8.

São elas:

- (a) Principais fontes de pesquisa;
- (b) Dados relevantes;
- (c) Informações extraídas e organizadas em SIG e STRATER;
- (d) Processamentos em SIG.

4.1 Principais fontes de pesquisa

As principais fontes de pesquisa (Figura 8A) podem ser representadas pelos projetos de pesquisa mineral e específicos para água subterrânea, pelos relatórios construtivos de poços tubulares (principalmente os executados pela CPRM), pelos bancos de dados de poços tubulares (principalmente o SIAGAS [4] - CPRM) e pelos artigos, boletins e relatórios técnicos, dissertações e teses, agrupados aqui no tema “*bibliografia*”.

Os projetos de pesquisa mineral e específicos para água subterrânea diferem entre si pelo fato dos primeiros apresentarem informações de “*furos de pesquisa*”, apenas com descrição litológica das unidades atravessadas, enquanto os segundos apresentam dados mais específicos de interesse hidrogeológico, como discussões sobre a hidrogeologia da área e testes de produção, níveis de água, perfis construtivos e litológicos de poços.

Estes últimos dados também são encontrados nos relatórios de construção de poços tubulares, principalmente nos antigos relatórios produzidos pela CPRM.

Como exemplo de projeto de pesquisa mineral pode ser citado o “*Projeto Fosfato de São Miguel do Tapuio*” (OLIVEIRA e BARROS, 1976). Este projeto trata do estudo da Formação Pimenteiras, com ênfase especial às mineralizações fosfáticas, em uma área de aproximadamente 9.000 km² na região nordeste do Estado do Piauí e apresenta dados de furos nos Aquíferos Cabeças e Serra Grande.

⁴ SIAGAS – Sistema de Informações de Águas subterrâneas

Como exemplo específico de projeto para pesquisa de água subterrânea, pode ser citado o “*Projeto Gurguéia II - Relatório final de Projeto*” (CPRM, 1978). Este trabalho, executado pela CPRM no Vale do Gurguéia - PI, em convênio com o DNOCS, constou da construção de quinze poços com objetivo de se avaliar as potencialidades dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças para dimensionamento de um programa de irrigação. Apresenta comentários sobre a hidrogeologia da região e os perfis construtivos e litológicos dos poços construídos, além dos resultados de testes de bombeamento.

Todos os dados destes e de outros projetos foram organizados em planilhas eletrônicas para posterior composição do banco de dados em SIG e posteriores processamentos. Os dados pesquisados referentes ao tema “*bibliografia*” (Figura 8-A4) constaram, principalmente, de informações gerais da Bacia do Parnaíba tais como eixos deposicionais dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, origem da bacia e ciclos deposicionais, além dos aspectos estruturais.

4.2 Dados relevantes

Nesta etapa foram coletados, nas fontes de pesquisas citadas anteriormente (Tópico 4.1), dados e informações relevantes aos objetivos deste trabalho (Figura 8B). Foram eles:

4.2.1 Perfis litológicos de furos de pesquisa e de poços tubulares

Os perfis litológicos de furos de pesquisa (Figura 8-B1) e de poços tubulares (Figura 8-B2) foram obtidos a partir de projetos de pesquisa mineral (furos de sondagem/pesquisa) e de projetos específicos para água subterrânea (poços tubulares), de relatórios de construção de poços, de bancos de dados de poços e, também, da bibliografia (relatórios e boletins técnicos, artigos, dissertações e teses).

Inicialmente foram organizadas 6.432 informações pontuais de geologia de subsuperfície, para toda a Bacia do Parnaíba, que serviram para seleção posterior de pontos com penetração específica nos Aquíferos Serra Grande e Cabeças: 1.949 pontos no Aquífero Cabeças (1.560 pontos com penetração parcial e 389 pontos com penetração total) e 1.082 pontos no Aquífero Serra Grande (917 pontos com penetração parcial e 265 pontos com penetração total).

Os principais critérios aplicados para a eliminação de pontos foram:

- (a) Poços informando penetração no Aquífero Serra Grande ou Cabeças fora da sua área de ocorrência;
- (b) Poços informando confinamento do Aquífero Serra Grande ou Cabeças posicionados em área onde o aquífero não é confinado;
- (c) Poços informando penetração no Aquífero Serra Grande ou Cabeças livre posicionados em área onde o aquífero é confinado.

A principal causa destas inconsistências se deve a possíveis erros na anotação de suas coordenadas e/ou imperfeições nos relatórios de construção destes poços.

4.2.2 Perfis construtivos de poços tubulares

Os perfis construtivos de poços tubulares (Figura 8-B3) foram obtidos, na sua grande maioria, de projetos de pesquisa de água subterrânea, relatórios de construção e de bancos de dados de poços (SIAGAS).

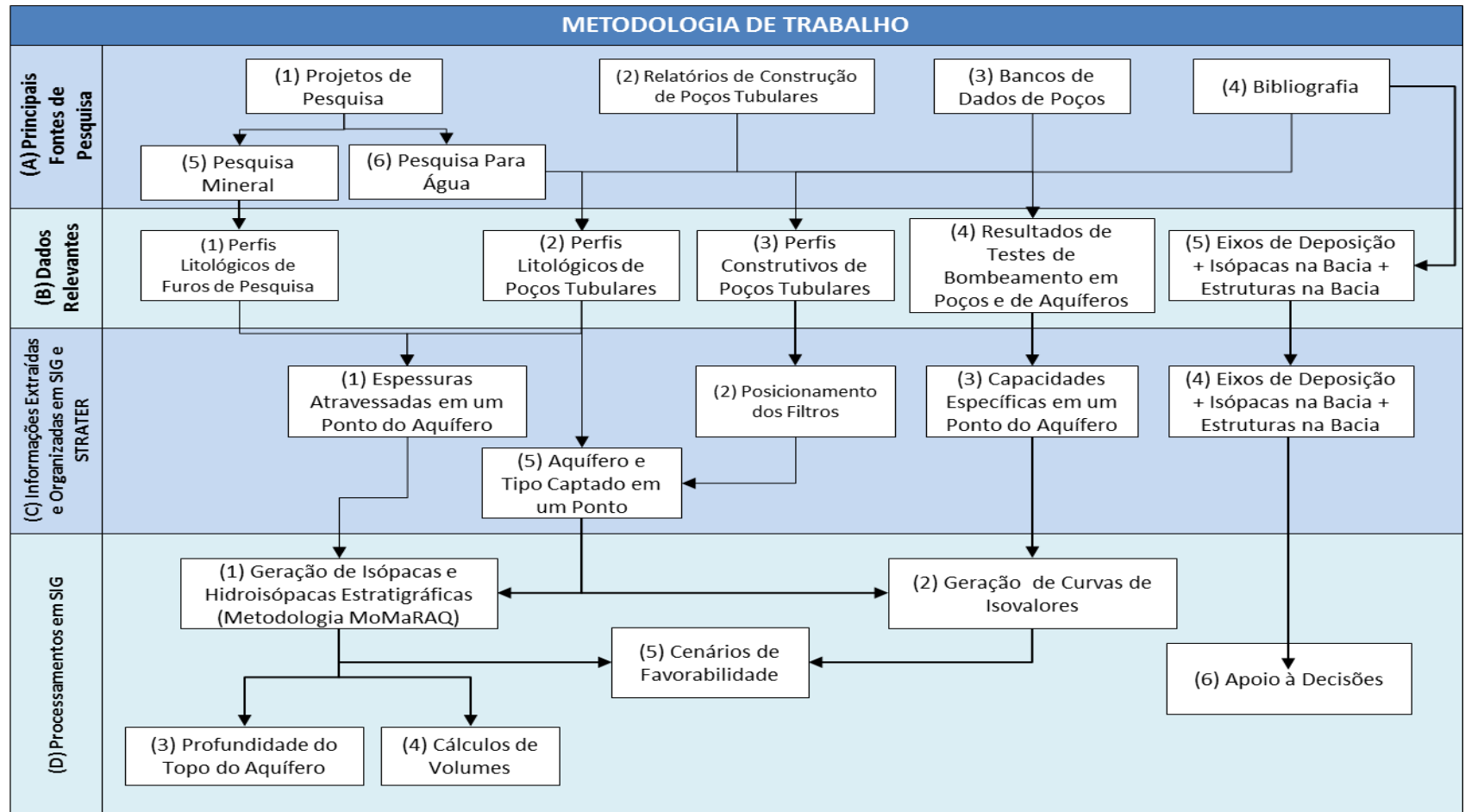
A partir dos 6.432 pontos originais na bacia, foram selecionados e organizados, após avaliação criteriosa, 363 poços, sendo 235 no Aquífero Cabeças (199 com penetração parcial e 36 com penetração total) e 128 no Aquífero Serra Grande (109 com penetração parcial e 19 com penetração total).

Neste caso, foram selecionados apenas poços com informações de revestimento, o que permitiu a definição do aquífero captado.

4.2.3 Resultados de testes de bombeamento em poços e de aquíferos

Os resultados dos testes de bombeamento (Figura 8-B4) foram obtidos a partir dos relatórios de construção de poços, enquanto os testes de aquíferos foram obtidos a partir de relatórios de pesquisas específicas para água subterrânea. Os bancos de dados de poços contribuíram com dados de níveis de água e vazões.

Figura 8 - Fases da Metodologia de Trabalho aplicada na pesquisa.



Fonte: Do próprio autor.

As informações possibilitaram a organização dos dados de capacidades específicas, onde foram aproveitadas informações de 477 poços para o Aquífero Cabeças e 464 poços para o Aquífero Serra Grande.

4.2.4 Eixos de deposição, isópacas na bacia e aspectos estruturais

Estas informações (Figura 8-B5) foram coletadas do tema “*bibliografia*”. Nos casos de figuras e esquemas de eixos de deposição, isópacas e estruturas, eles foram georreferenciados e digitalizados em SIG para composição do banco de dados da pesquisa.

Exemplos, dentre outras, destas informações são:

- As isópacas dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, discutidas e apresentadas por Caputo (1984) e Cunha (1986).
- Os eixos deposicionais do Aquífero Serra Grande e do Grupo Canindé (onde se inclui o Aquífero Cabeças), discutidos por Góes, Souza e Teixeira (1990), que os correlaciona com os lineamentos Transbrasiliano e Picos - Santa Inês.
- As espessuras totais dos sedimentos na Bacia do Parnaíba apresentadas por Campos (1964).
- As estruturas do fundo da bacia do trabalho de Castro *et al.*, 2014 - esboço tectônico do fundo da Bacia do Parnaíba a partir de informações geofísicas e geológicas anteriores.

4.3 Informações extraídas e organizadas em SIG e STRATER

Nesta etapa (Figura 8-C) os dados coletados na etapa anterior foram organizados em um banco de dados em SIG, na forma de tabelas, *shapefiles* e imagens RASTER. Os perfis litológicos e construtivos também foram organizados em um banco de dados no software STRATER[®] da Golden Software Inc.

Este banco foi alimentado com as informações de unidades atravessadas (a partir dos perfis litológicos levantados) e de construção (a partir dos perfis

construtivos levantados). Posteriormente todos os dados processados nesta fase alimentaram o banco de dados em SIG para geração das isópacas e hidroisópacas.

4.3.1 Espessuras atravessadas em um ponto do aquífero

Essas informações (Figura 8-C1) referem-se às espessuras atravessadas informadas por um furo de pesquisa ou poço tubular em um determinado ponto do Aquífero Serra Grande ou Cabeças.

4.3.2 Posicionamento dos filtros

Essa informação (Figura 8-C2) foi possibilitada pela avaliação dos perfis construtivos de poços tubulares (Figura 8-B3). Quando avaliada em conjunto com os perfis litológicos do mesmo poço (Figura 8-B2), permite a definição exata do aquífero captado (no caso Serra Grande ou Cabeças) e do seu tipo (livre ou confinado) em um determinado ponto.

4.3.3 Capacidades específicas em um ponto do aquífero

Essas informações (Figura 8-C3) foram coletadas a partir de relatórios e bancos de dados, considerando as captações distintamente nos Aquíferos Serra Grande e Cabeças. Cabe ressaltar que as fontes disponíveis, na sua grande maioria, não permitiram que fosse feita uma análise criteriosa dos valores de capacidades específicas informadas e, por esta razão, estes dados foram avaliados considerando: (a) a pequena quantidade de poços totalmente penetrantes em cada um dos aquíferos e; (b) os poços com penetração total em conjunto com os demais com penetração parcial.

4.3.4 Eixos de deposição, isópacas e estruturas na bacia

Referem-se às informações coletadas no tema “*bibliografia*”, que foram georreferenciadas e digitalizadas em SIG (Figura 8-C4).

4.3.5 Aquífero e tipo captado em um ponto

Essas informações (Figura 8-C5) são frutos de avaliação conjunta dos

“perfis litológicos de poços tubulares” e “posicionamento dos filtros”. Referem-se a qual aquífero é captado (no caso Serra Grande ou Cabeças) e seu tipo (livre ou confinado) em um determinado ponto.

Este tema é de extrema importância para diferenciação dos aquíferos captados em todos os pontos utilizados nesta pesquisa, não permitindo que dados sejam “misturados” nos processamentos finais.

4.4 Processamentos em SIG

Nesta última etapa (Figura 8-D) são executados os processamentos em ambiente SIG, aplicados aos dados / informações já devidamente organizados.

Os números de pontos/poços utilizados e suas localizações, em cada processamento, são apresentados durante as discussões dos resultados da pesquisa, bem como as classificações e respectivos intervalos.

4.4.1 Geração de isópacas e hidroisópacas estratigráficas

Para geração das isópacas e hidroisópacas estratigráficas (Figura 8-D1) foi aplicada a metodologia proposta nesta pesquisa - “*Modelagem Matemática com Refinamento e Posterior Ajuste Qualitativo*” (MoMaRAQ), discutida no Tópico 3.3.

As curvas foram geradas para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças considerando suas porções livres e confinadas, sendo posteriormente aplicada uma classificação nas imagens RASTER resultantes, possibilitando os processamentos posteriores e geração dos cenários de *Vocação Hidrogeológica*.

Os intervalos, ou classes, destas classificações foram definidas em função das espessuras máximas encontradas para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças e são descritas a seguir^[5].

- Para o Aquífero Serra Grande:

Classe B1 - Espessuras de 0m a menos de 50m.

Classe B2 - Espessuras de 50m a menos de 100m.

Classe B3 - Espessuras de 100m a menos de 200m.

Classe A1 - Espessuras de 200m a menos de 400m.

⁵ Pela necessidade de se manter seis classes para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças, e pelo fato do máximo encontrado para o Aquífero Serra Grande ter sido de 819m, enquanto para o Aquífero Cabeças ter sido de 563,6m, foram diferenciados os intervalos de classes para estes dois aquíferos.

Classe A2 - Espessuras de 400m a menos de 600m.

Classe A3 - Espessuras de 600m até o máximo modelado.

- Para o Aquífero Cabeças:

Classe B1 - Espessuras de 0m a menos de 50m.

Classe B2 - Espessuras de 50m a menos de 100m.

Classe B3 - Espessuras de 100m a menos de 200m.

Classe A1 - Espessuras de 200m a menos de 300m.

Classe A2 - Espessuras de 300m a menos de 400m.

Classe A3 - Espessuras de 400m até o máximo modelado.

Os títulos das classes obedecem ao seguinte critério:

B1 - Valores considerados “muito baixos”.

B2 - Valores considerados “baixos”.

B3 - Valores considerados “pouco baixos”.

A1 - Valores considerados “pouco altos”.

A2 - Valores considerados “altos”.

A3 - Valores considerados “muito altos”.

4.4.2 Geração de curvas de isovalores de capacidades específicas

Para geração destes produtos (Figura 8-D2) foram utilizados os valores pontuais de capacidades específicas de poços, considerados para cada aquífero distintamente, definidos no Tópico 4.3.3.

Da mesma forma que na geração de isópacas e hidroisópacas estratigráficas (Tópico 4.4.1), as imagens RASTER produzidas foram classificadas para uso nos processamentos e geração dos cenários de *Vocação Hidrogeológica*.

Os intervalos, ou classes, destas classificações são descritas a seguir:

Classe B1 - Capacidades específicas maiores que 0,1 [(m³/h)/m] e menores que 1 [(m³/h)/m].

Classe B2 - Capacidades específicas de 1 [(m³/h)/m] a menos que 2 [(m³/h)/m].

Classe B3 - Capacidades específicas de 2 [(m³/h)/m] a menos que 6 [(m³/h)/m].

Classe A1 - Capacidades específicas de 6 [(m³/h)/m] a menos que 10 [(m³/h)/m].

Classe A2 - Capacidades específicas de 10 [(m³/h)/m] a menos que 20 [(m³/h)/m].

Classe A3 - Capacidades específicas de 20 [(m³/h)/m] até o máximo modelado.

Os títulos das classes também obedecem ao seguinte critério:

B1 - Valores considerados “muito baixos”.

B2 - Valores considerados “baixos”.

B3 - Valores considerados “pouco baixos”.

A1 - Valores considerados “pouco altos”.

A2 - Valores considerados “altos”.

A3 - Valores considerados “muito altos”.

4.4.3 Profundidade do topo do aquífero

Para a modelagem do topo dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, foram utilizados os mesmos pontos aplicados na modelagem das isópacas estratigráficas destes aquíferos. Os valores considerados foram os de profundidade do topo destas isópacas.

4.4.4 Cálculo de volumes de sedimentos

A partir das curvas de isópacas e hidroisópacas estratigráficas geradas anteriormente (Figura 8-D1), foram calculados os volumes de sedimentos dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, considerando também suas porções livres e confinadas, distintamente (Figura 8-D4), aplicando a função “*Volume de Superfície*” intrínseca ao software Esri®ArcMap™ 10.2.

4.4.5 Cenários de Vocação Hidrogeológica

Os cenários de *Vocação Hidrogeológica* foram produzidos a partir dos produtos classificados de isópacas e hidroisópacas estratigráficas (Tópico 4.4.1) e das capacidades específicas classificadas (Tópico 4.4.2).

Estes dois produtos foram processados através da técnica de adição de imagens por álgebra de mapas no software Esri®ArcMap™ 10.2 e os resultados foram condensados em quatro classes.

Estas classes representam combinações das classes aplicadas às espessuras (isópacas e hidroisópacas - Tópico 4.4.1) e às capacidades específicas

(Tópico 4.4.2) (Figura 9). Os significados de cada classe são apresentados no Quadro 5.

Figura 9 - Classes para as Vocações Hidrogeológicas

		Espessuras					
		B1	B2	B3	A1	A2	A3
Capacidades Específicas	B1	Classe 01			Classe 02		
	B2						
	B3						
	A1	Classe 03			Classe 04		
	A2						
	A3						

Fonte: Do próprio autor

Quadro 5 - Classes para as Vocações Hidrogeológicas.

Classe	Descrição
B1	Intervalo de valores considerados muito baixos
B2	intervalo de valores considerados baixos
B3	intervalo de valores considerados pouco baixos
A1	intervalo de valores considerados pouco altos
A2	intervalo de valores considerados altos
A3	intervalo de valores considerados muito altos

Fonte: Do próprio autor

4.4.6 Apoio à decisão

Refere-se às figuras e informações do tema “*bibliografia*”, georreferenciadas e digitalizadas em SIG (Figura 8-D6). Constituem-se em informações relevantes para avaliação conjunta e críticas aos produtos gerados.

5 SINOPSE BIBLIOGRÁFICA

Vale ressaltar que desde a década de cinquenta já se encontravam disponíveis informações sobre a geologia, os aspectos estruturais e a hidrogeologia da Bacia do Parnaíba, merecendo destaque, os levantamentos iniciais de Kegel (1955 e 1956).

Essa sinopse discute os principais trabalhos pesquisados com interesse específico aos objetivos desta pesquisa, por ordem cronológica.

(Kegel, 1955) - O autor publicou uma série de observações e considerações sobre a água subterrânea do Piauí, coletadas durante anos em campanhas geológicas de campo.

Esta publicação apresentou uma coluna estratigráfica (Figura 10) onde o Aquífero Serra Grande varia, em espessura, de 50m a 700m, enquanto a variação do Aquífero Cabeças é de 200m a 300m.

Segundo o autor, todo o Grupo Serra Grande se constitui como bom aquífero, enquanto na Formação Cabeças as unidades aquíferas são representadas pelos arenitos do Membro Ipiranga (Superior), todo o Membro Oeiras (Médio) e pelos arenitos da porção inferior do Membro Passagem (Inferior).

Também classificou os arenitos do Membro Itaim (Inferior) da Formação Pimenteiras como unidade aquífera, e ressaltou que a água do Membro Picos (Superior) parece não comunicar-se com a água do Membro Itaim (Inferior) em virtude da intercalação de camadas argilosas.

A publicação também fez considerações sobre a capacidade específica de poços nos diversos aquíferos da região, baseadas em medições executadas pelo DNOCS e DNPM, com o cuidado de considerar poços que captavam apenas um aquífero específico.

Entretanto, segundo o próprio autor, os resultados não tem o mesmo valor por existirem apenas 4 ou 5 poços em um determinado aquífero e mais de 20 em outros. Não informa a quantidade de poços utilizados em cada aquífero, portanto estes dados devem ser usados com cautela. Também informa não ter contado com poços no Aquífero Serra Grande, mas que as capacidades específicas neste aquífero devem ser bem superiores aos demais.

Os valores para os membros Oeiras (Médio) e Ipiranga (Superior), do Aquífero Cabeças, variaram, respectivamente, de 0,612 [(m³/h)/m] a 7,99 [(m³/h)/m]

e de 0,072 [(m³/h)/m] a 0,864 [(m³/h)/m] ^[6]. O fato do Membro Ipiranga (Superior) ter apresentado os menores valores entre todos os avaliados, pode ser explicado, segundo o autor, pelo fato deste membro apresentar arenitos de granulação muito fina em determinados locais.

Importante ressaltar a referência aos três poços jorrantes, com profundidades médias de 30m e construídos pelo DNOCS, captando o Membro Itaim (Inferior) da Formação Pimenteiras no município de São Miguel do Tapuio - PI e com vazões de 6 m³/h cada um.

(Kegel, 1956) - discutiu as inconformidades da Bacia do Parnaíba, destacando a sua margem oriental (limite Piauí - Ceará), a zona limítrofe Piauí - Bahia e as formações no interior da bacia. São de particular interesse as discussões sobre as variações de espessuras dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças.

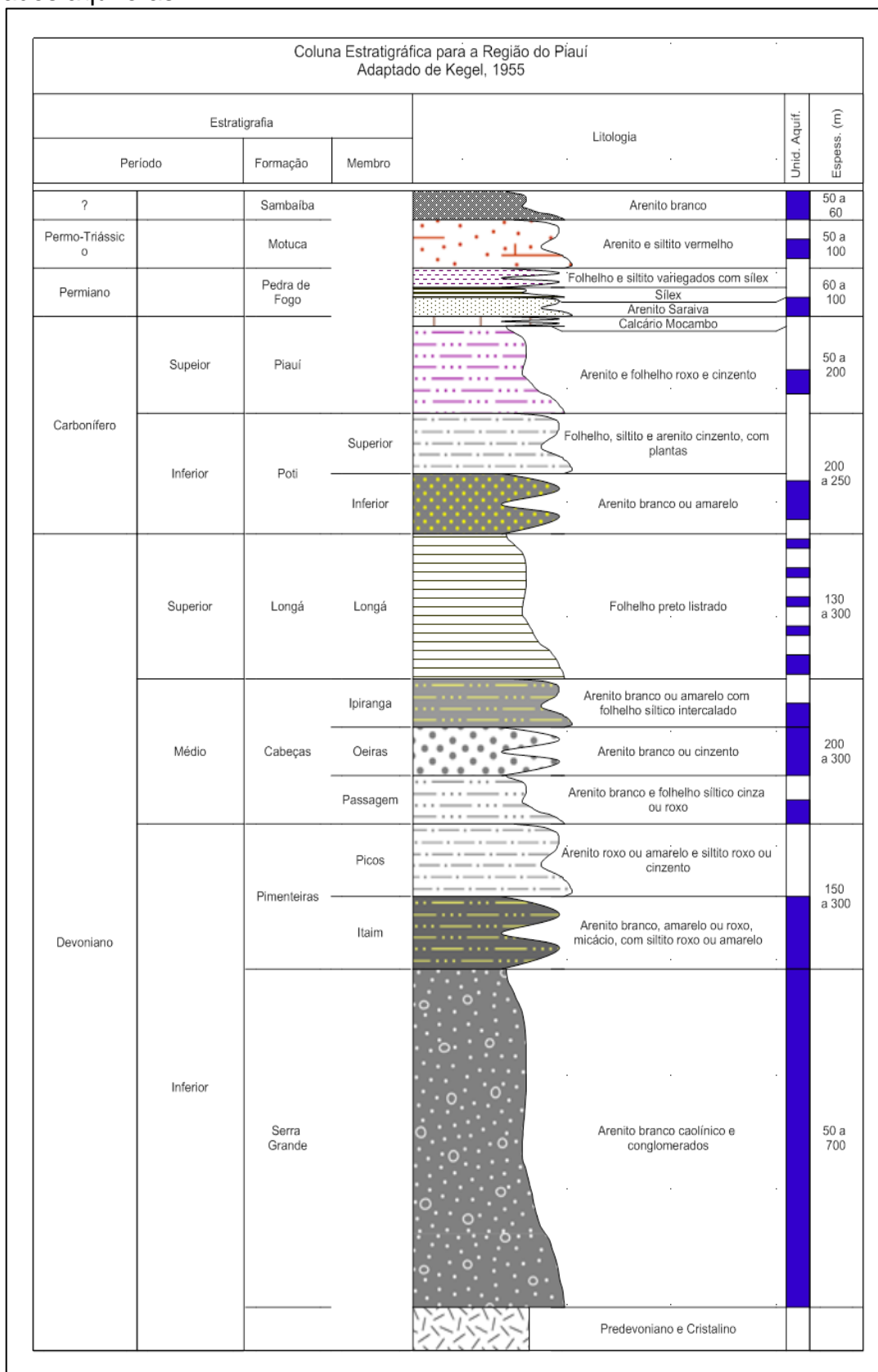
Na região do limite Piauí - Ceará, no Alto Jaguaribe (Ceará) (Figura 11), o autor ressaltou a clara direção NE preferencial do cristalino, que desaparece, rumo ao SW, abaixo do Aquífero Serra Grande aflorante, e também ressaltou a forma bem escarpada do mesmo aquífero na região da Serra dos Currais Novos e uma paulatina suavização em direção ao Rio Riachão.

Na zona limítrofe Piauí - Bahia, segundo o autor, a espessura do Aquífero Serra Grande diminui muito na margem da bacia, da seguinte forma: de Jaicós (cerca de 200m) para São João do Piauí (cerca de 50m), São Raimundo Nonato (cerca de 150m - este aumento é causado pela intercalação de um conglomerado grosseiro), Caracol a Curimatá (menos de 50m) e finalmente a Paranaguá, de novo com aumento para 100m a 150m. Todos os municípios encontram-se no Estado do Piauí.

O mapa da região foi adaptado do trabalho original e é apresentado na Figura 12. Informa-se que o original não apresenta legenda para as estruturas representadas e aqui foi preservada esta “não informação”, mas respeitando-se as mesmas configurações utilizadas no referido trabalho.

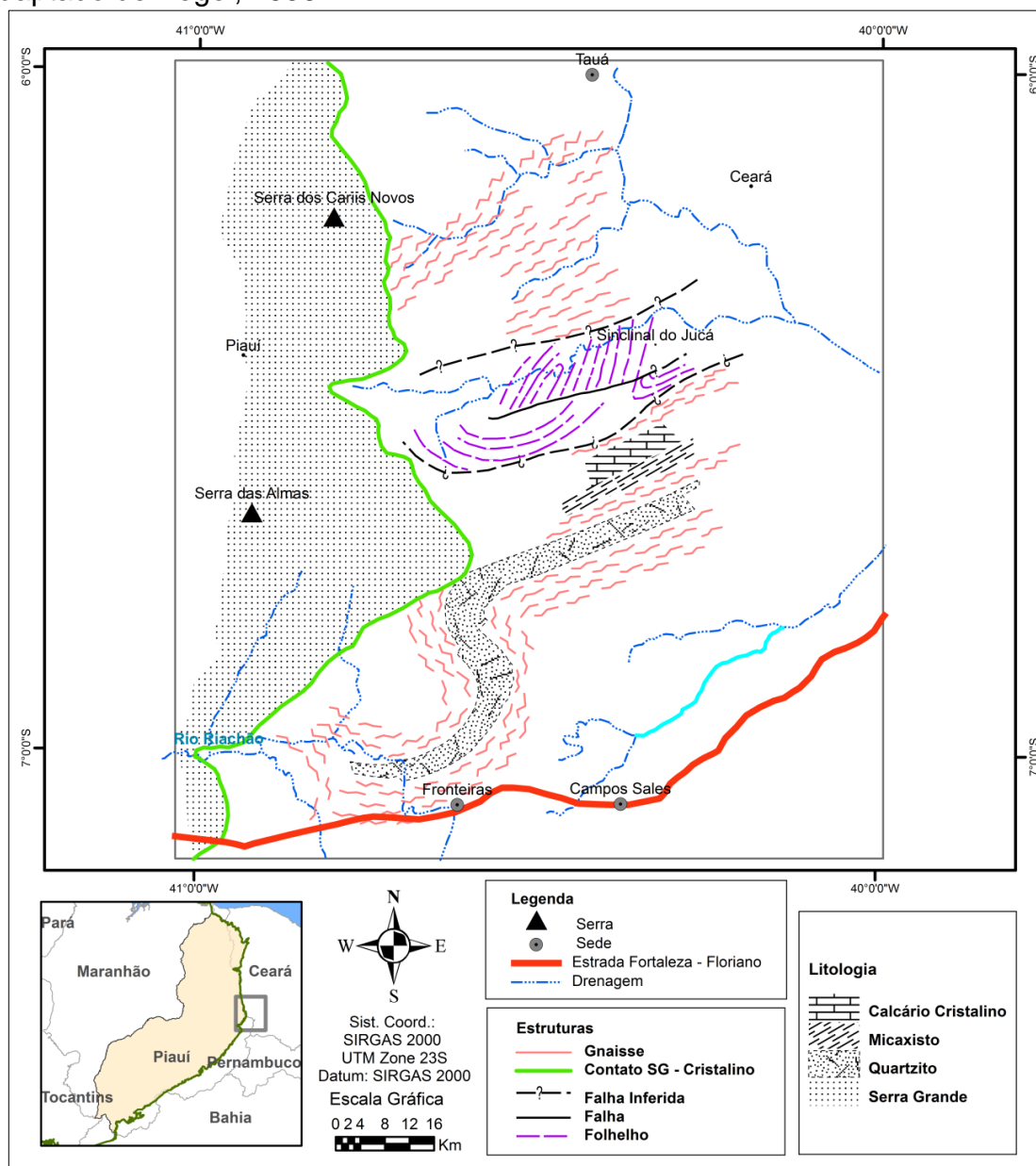
⁶ Os valores originais em L/s foram aqui convertidos para [(m³/h)/m]

Figura 10 - Coluna estratigráfica adaptada de Kegel (1955) com espessuras e unidades aquíferas.



Fonte: Adaptado de Kegel, 1955.

Figura 11 - Geologia e estruturas na margem oriental da Bacia do Parnaíba. Adaptado de Kegel, 1956.



Fonte: Adaptado de Kegel, 1956.

Na região de Parnaguá, o autor ressaltou a interrupção da horizontalidade do Aquífero Serra Grande onde falhas modificam o contato com o embasamento e produzem inclinação das camadas para até 20° , e de dobramentos muito fracos que sofreram em alguns locais.

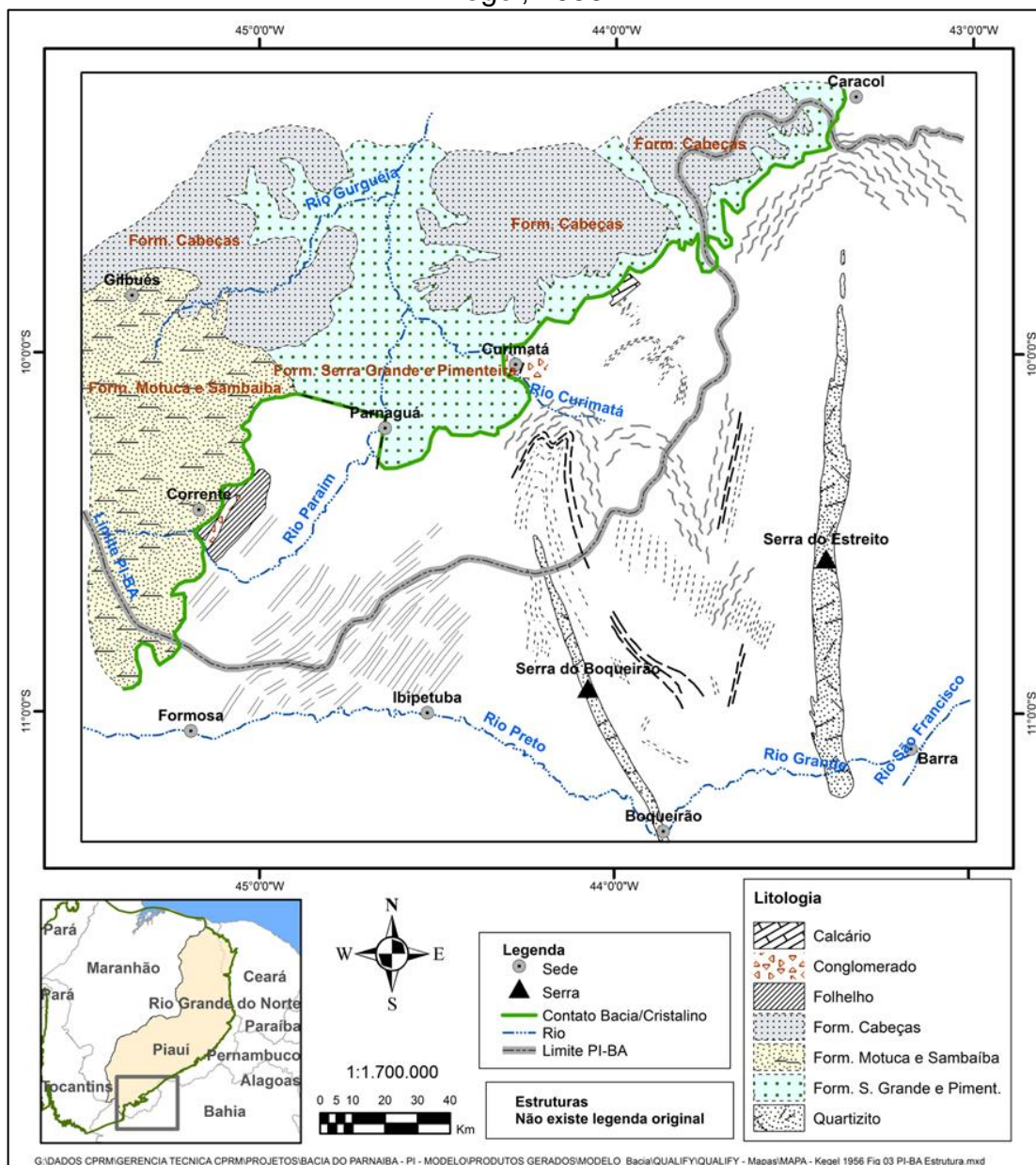
Com relação ao Aquífero Cabeças, na região limite Piauí - Ceará, o autor fez as seguintes considerações-

- (a) Membro Passagem (Inferior) - Nesta região apresenta espessuras reduzidas da ordem de 30m a 40m. Na região oriental da bacia estas espessuras variam

de 100m a 150m.

- (b) Membro Oeiras (Médio) - Nesta região apresenta espessuras da ordem de 100m a mais. Na região oriental da bacia suas espessuras são bem mais reduzidas, da ordem de 40m a 50m.

Figura 12 - Geologia e estruturas na região limítrofe Piauí - Bahia. Adaptado de Kegel, 1956.



Fonte: Adaptado de Kegel, 1956.

Na região de Bom Jesus do Gurguéia - PI, cerca de 80 km ao norte da margem da bacia, segundo o autor, a composição litológica do Aquífero Cabeças

corresponde ao Membro Passagem (Inferior), com espessura aumentada para cerca de 100m, ao contrário dos 30m a 40m na margem meridional.

O autor fez os seguintes importantes comentários sobre os furos, do então Conselho do Petróleo e PETROBRAS, em Carolina e Riachão no Maranhão, parte centro - oeste da bacia:

- (a) Os furos não encontraram o Aquífero Serra Grande e a Formação Pimenteiras;
- (b) O furo de Carolina parou no cristalino sem encontrar a Formação Pimenteiras;
- (c) O furo de Riachão encontrou, abaixo do Aquífero Cabeças, uma espessa formação horizontal de arenito arcósio castanho arroxeadado, com camadas delgadas de folhelho da mesma cor, totalmente desconhecido em afloramentos e com espessura mínima de 1.000m (não foi totalmente perfurada), sendo denominada pelo autor como "*Formação Riachão*".

Estes fatos sugerem, segundo o autor, pelo menos um grande hiato da sedimentação e a possibilidade de que a bacia tenha se formado, nesta região, muito mais tarde que na zona oriental. A primeira ingressão do mar com faunas legitimamente marinhas (trilobitas, braquiópodes, etc.), no Devoniano Inferior (Formação Pimenteiras) não teria atingido a zona ocidental - somente com a transgressão no Devoniano Médio (Aquífero Cabeças) os sedimentos ali teriam se incorporado à bacia.

(Campos, 1964) - O autor discutiu a espessura total dos sedimentos na Bacia do Parnaíba e também apresentou curvas isópacas para a sequência Siluro-Devoniana Mississippiana, representada pelas formações Serra Grande [7], Pimenteiras, Cabeças e Longá.

Segundo o autor a Formação Serra Grande recobre transgressivamente camadas Pré-Cambrianas e Cambro-Ordovicianas dobradas e metamorfoseadas, e toda a parte inferior da série recobre a si mesma em direção às margens oeste-sudoeste, ou seja, em direção ao Escudo Brasileiro Central, significando que a Formação Serra Grande desaparece em rumo oeste e os arenitos Itaim a ultrapassam repousando sobre o complexo do embasamento. Em alguns locais, na margem oeste, o Membro Itaim desaparece e o Membro Picos sobreposto repousa

⁷ O autor não classifica o Serra Grande como Grupo como é adotado nesta pesquisa. Neste tópico a classificação do autor como "Formação" foi preservada.

diretamente sobre o embasamento, indicando uma expansão gradual do mar para oeste, desde o siluriano até o devoniano médio.

O arenito Cabeças, do Devoniano médio, desaparece em direção ao flanco oeste, segundo o autor, e em alguns locais em direção ao flanco norte, permitindo ao folhelho Longá repousar diretamente sobre o folhelho Picos, com possível discordância.

(Godoy, *et al.*, 1974) - A CPRM executou o Projeto Gurguéia e Fidalgo, nos vales dos rios Gurguéia e Fidalgo, com objetivo de avaliar as potencialidades dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, através da construção de nove poços para incrementação da produção agrícola na região.

O relatório conclui que os vales apresentam condições de aplicação de um programa de irrigação, através de poços tubulares, no Aquífero Serra Grande (Vale do rio Fidalgo) e poços de 400m de profundidade máxima no Aquífero Cabeças (vale do Gurguéia).

(Ano de 1975) - Através de convênio entre o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM e o Serviço Geológico do Brasil - CPRM teve início, em 1975, o *Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba*. Como parte deste projeto foi criado o *Subprojeto Hidrogeologia*, semelhante ao Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste (SUDENE), para execução das folhas Rio São Francisco - NO (ARAUJO e MIRANDA, 1979) e SO (SILVA, 1979), Teresina - NO (SOARES FILHO, 1979) e São Luís - NO (MIRANDA, 1979) e SO (SILVA, 1979).

(CPRM, 1976) - A CPRM executou o Projeto Fidalgo II, em parceria com o DNOCS, onde foram construídos dezesseis poços no Vale do rio Fidalgo, nos municípios de Simplício Mendes, Paes Landim e São José do Peixe, no Estado do Piauí. O projeto teve como objetivo a perfuração, completação e desenvolvimento de poços para captação de água subterrânea, visando determinar, qualitativamente e quantitativamente, os Aquíferos Serra Grande e Cabeças para irrigação do vale.

(Caputo, 1984) - O autor, na sua Tese de Doutorado, discutiu sobre as Bacias Paleozoicas do Nordeste do Brasil com respeito as suas características estratigráficas, tectônicas, paleoclimáticas e paleogeográficas.

Um das informações de maior relevância aos objetivos desta pesquisa correspondem às curvas de isópacas, construídas a partir de dados de furos da Petrobras, apresentadas para as diversas formações da Bacia do Parnaíba. As

referentes aos Aquíferos Serra Grande e Cabeças foram georreferenciadas e digitalizadas em SIG para compor o banco de dados desta pesquisa.

(Cunha, 1986) - O autor apresentou uma rica discussão sobre as principais estruturas do embasamento da bacia e a forma como elas atuaram no posicionamento dos eixos de deposição.

O embasamento da bacia, segundo o autor, é constituído pela extensão, para o seu interior, das faixas de dobramentos, maciços medianos e descontinuidades crustais que afloram em suas bordas. Estas estruturas foram decisivas na compartimentação básica da bacia e presidiram a distribuição dos seus eixos de deposição no decorrer do Paleozoico.

As estruturas mais significativas na bacia são representadas pelos lineamentos Transbrasiliano e Picos - Santa Inês, onde, segundo o autor, por conta do resfriamento e contração da litosfera, se instalaram fossas tectônicas precursoras à bacia.

A primeira, denominada de Lineamento Transbrasiliano, corta a área objeto desta pesquisa em toda a sua extensão com direção NE-SW, enquanto a segunda (Picos - Santa Inês) corta a área na sua porção centro-oeste com direção NW-SE.

Os dois eixos de deposição da bacia coincidem, grosseiramente, com estes dois lineamentos, sendo que, segundo o autor, o Lineamento Transbrasiliano apresentou maior subsidência acumulando as maiores espessuras de sedimentos, enquanto o Lineamento Picos-Santa Inês é menos expressivo e somente acumulou espessuras consideráveis de sedimentos no Devoniano Inferior, durante a deposição da Formação Pimenteiras.

Ainda segundo o autor, os eixos deposicionais sofreram, em várias ocasiões, deslocamentos laterais (embora mantendo as suas direções preferenciais), sendo que o maior deslocamento foi do Lineamento Transbrasiliano, no início da deposição da bacia (clásticos dos membros Ipu e Tianguá do Aquífero Serra Grande). A deposição do Membro Ipu foi condicionada pela Falha de Guaraciaba/Lineamento Sobral-Pedro II, enquanto a deposição do Membro Tianguá foi condicionada pela Falha de Jaguarapi, que também condicionou a deposição dos sedimentos do Aquífero Cabeças.

O eixo de direção NW-SE (Lineamento Picos-Santa Inês) aparentemente se manteve estável, segundo o autor, apresentando deslocamento para SE somente durante as deposições dos clásticos das formações Longá e Piauí.

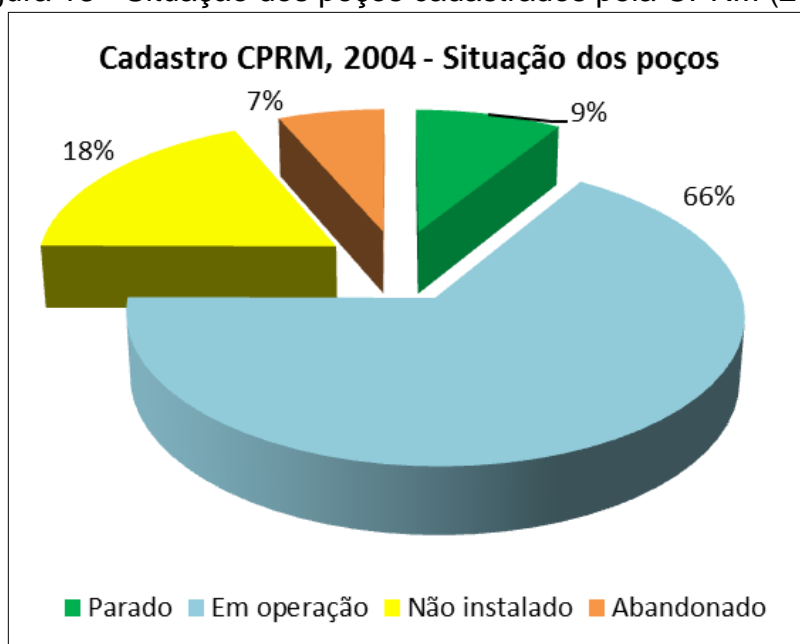
(Góes, Souza e Teixeira, 1990) - Os autores apresentaram o estágio atual (à época) exploratório da Bacia do Parnaíba, iniciando com uma retrospectiva histórica das atividades, seguida pelos últimos trabalhos efetuados e avanços na interpretação geológica, finalizando com exposição das perspectivas exploratórias para a bacia.

Os autores informaram que as primeiras pesquisas para hidrocarbonetos na bacia foram realizadas pelo então Conselho Nacional do Petróleo - CNP, no início da década de 50, através de estudos de geologia de superfície e que dois poços foram perfurados no Estado do Maranhão nesta época. No período de 1956 a 1966, após criação da Petrobras (em 1953), foram retomadas atividades de mapeamento geológico, interpretação fotogeológica, gravimetria, sísmica e construídos 22 poços exploratórios na bacia.

Apresentaram interpretações a partir de seções sísmicas de feições grabeniformes e os relacionamentos dos lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês com os eixos de deposição do Aquífero Serra Grande e do Grupo Canindé (do qual faz parte o Aquífero Cabeças). Estes relacionamentos dos eixos de deposição com os lineamentos na bacia são mostrados nas Figuras 21 e 22.

(CPRM, 2004) - O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) executou o Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Piauí, onde foram cadastrados 23.842 pontos, sendo 23.347 poços tubulares, 355 poços escavados e 140 fontes naturais. Dentre os poços tubulares, 2.075 encontravam-se parados (9%), 15.457 em operação (66%), 4.299 não instalados (18%) e 1.516 abandonados (7%).

Figura 13 - Situação dos poços cadastrados pela CPRM (2004)



Fonte: CPRM, 2004.

(Vaz, *et al.*, 2007) - Os autores apresentaram uma coluna estratigráfica da Bacia do Parnaíba com as espessuras máximas para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças e para a Formação Pimenteiras (Quadro 6).

Quadro 6 - Espessuras máximas para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças e para a Formação Pimenteiras.

Unidade Estratigráfica	Membro	Espessura (m)	Total (m)
Aquífero Cabeças	-	350	350
Formação Pimenteiras [⁸]	Picos	320	580
	Itaim	260	
Aquífero Serra Grande	Jaicós	380	930
	Tianguá	200	
	Ipu	350	

Fonte: Vaz *et. al.* (2007).

Observa-se que a espessura adotada para o Aquífero Serra Grande (930m) é bem mais expressiva que a máxima adotada por Kegel de 700m (Kegel, 1955) (Figura 10).

Os autores também comentaram sobre duas unidades sedimentares anteriores à bacia, compondo o seu embasamento:

⁸ Nas notações da PETROBRAS o Membro Itaim da Formação Pimenteiras é individualizado como *Formação*. Aqui as Formações Pimenteiras e Itaim de (Vaz, Rezende, Filho, & Travassos, 2007) foram denominadas de membros Picos e Itaim, respectivamente, conforme adotado no Mapa Geológico do PI (CPRM, Mapa Geológico do Estado do Piauí, 2006).

- (a) Formação Riachão - Grauvacas, arcósios, siltitos, folhelhos vermelhos e ignimbritos. É considerada, segundo o autor, do Proterozóico Médio ou Superior, por correlação com coberturas plataformais dos Crátons Amazônico e do São Francisco.
- (b) Grupo Jaibaras - Depósitos aluviais, fluviais, lacustres que ocorrem preenchendo calhas grabenformes sugeridas por dados geofísicos e ainda, segundo os autores, não amostrada em poços. Estima-se uma idade Cambro-Ordoviciano.

(Correia Filho, 2009) - O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) executou o Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que resultou nas seguintes principais conclusões:

- A modelagem e interpretação das seções dos perfis geofísicos, executados na borda da bacia, com o Método MT e a interpretação dos dados aeromagnetométricos com a utilização do Método de EULER, sugerem um amplo e complexo fenômeno de formação de “grabens” e “horst” entrecruzados que, ocorrendo durante os processos de sedimentação geraram espessamentos da ordem de até 1.300m de sedimentos, além de notáveis adelgaçamentos locais e regionais para as formações depositadas subseqüentemente às movimentações, como observado no próprio grupo Serra

Grande.

- A combinação dos estudos geológicos, tectono-estruturais e hidrogeológicos com os resultados geofísicos de subsuperfície revelaram um espessamento anômalo do pacote sedimentar, especialmente dos arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados do grupo Serra Grande, confirmado pela perfuração dos poços estratigráficos da localidade Mocambo e Parque Nacional Serra da Capivara, situados cerca de 10 km a norte da borda da bacia, respectivamente com 700 e 953m de profundidade, dentro de estruturas “grabenformes”. De acordo com a interpretação dos resultados geofísicos se estima uma espessura superior a 1.000m nesses locais, para todo pacote sedimentar.

- Admite-se que todas as ocorrências de arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados, encontradas no domínio do Embasamento Pré-Siluriano, devam mesmo pertencer ao grupo Serra Grande, deixados pela erosão

remontante como restos residuais do recuo da escarpa da linha de “cuesta” ou condicionados em estruturas de abatimento na borda da bacia;

- O nível estático do aquífero Serra Grande, nas áreas de espessamento, dentro das estruturas “grabenformes”, é muito profundo, normalmente acima de 200 metros, cujo valor é limitado a uma menor ou maior diferença entre a cota topográfica e a cota potenciométrica do aquífero.

- Foram determinados como valores representativos para o aquífero Serra Grande, a transmissividade $T = 7,0.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, a condutividade hidráulica $K = 2,8.10^{-5} \text{ m/s}$, o coeficiente de armazenamento $S = 1.0 \times 10^{-4}$ e a porosidade efetiva $\eta_e = 3\%$.

- Foram determinados como valores representativos para o aquífero Cabeças, a transmissividade $T = 6,39.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, a condutividade hidráulica $K = 5,32.10^{-5} \text{ m/s}$ e a porosidade efetiva $\eta_e = 3\%$;

(Aguiar, 2017) – O autor, na sua tese de doutoramento, caracterizou o Aquífero Serra Grande na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba, através, dentre outros métodos, de sondagens elétricas verticais (80 SEVs) e gravimetria (632 estações).

As SEVs, que investigaram até 750 metros de profundidade, detectaram duas zonas aquíferas separadas por uma camada resistiva. As interpretações dessas sondagens estimaram que as espessuras saturadas, mais frequentes, do Aquífero Serra Grande, na área da pesquisa, estão em torno de 300 metros.

O processamento dos dados gravimétricos constataram que o arcabouço da bacia é bastante irregular, com várias anomalias positivas e negativas, condizentes com os sistemas de grabens e horsts, relacionados ao Lineamento Transbrasiliano.

6 COMPONENTES GEOAMBIENTAIS

Neste capítulo são abordados os componentes geoambientais da área de pesquisa.

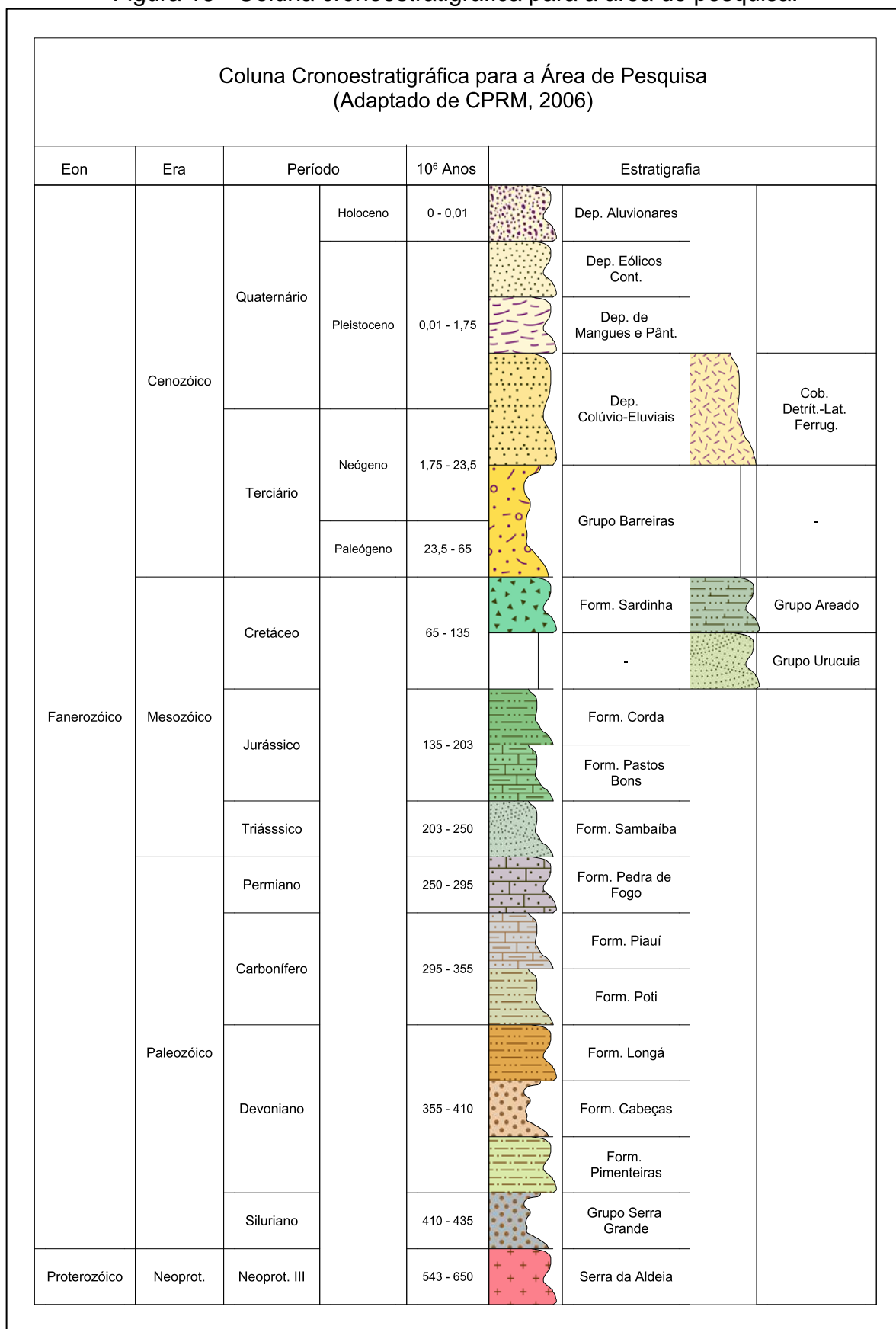
6.1 Geologia

A geologia da área de pesquisa (Figura 14), segundo o Mapa Geológico do Estado do Piauí [⁹] (CPRM, 2006) é representada da base para o topo pelas seguintes unidades (a coluna cronoestratigráfica para a área é mostrada na Figura 15:

- *Suíte Intrusiva Serra da Aldeia (NP3γ3S)* - Constituída por anfibólio-biotita quartzo-alkali-feldspato-sienitos a sienogranitos alcalinos Neoproterozóicos. Aflora na porção sudeste da área de pesquisa, próximo à margem da bacia, no município de São João do Piauí.
- *Grupo Serra Grande (Ssg)* - Pertencente ao Grupo Canindé, sendo constituído por conglomerados, arenitos e intercalações de siltitos e folhelhos de ambientes fluvial entrelaçado, marinho raso e glacial e de idade Siluriana. Aflora em toda borda leste da área de pesquisa em contato com o embasamento cristalino.
- *Formação Pimenteiras (D2p)* - Pertence ao Grupo Canindé e é constituída por arenitos, siltitos e folhelhos de ambiente marinho raso. Na parte inferior da área de pesquisa aflora segundo uma direção SW - NE, desde a sua porção sul até a sua porção central e próxima das margens da bacia, a leste, em contato com o Grupo Serra Grande. Na parte superior da área de pesquisa aflora segundo uma direção N - S, desde a sua parte central até o seu extremo norte, mais afastada das margens da bacia a leste, e também em contato com o Grupo Serra Grande.

⁹ A geologia adotada nesta pesquisa é a mesma adotada pelo Mapa Geológico do Piauí (CPRM, 2006)

Figura 15 - Coluna cronoestratigráfica para a área de pesquisa.



Fonte: Adaptado de CPRM, 2006.

- *Formação Cabeças (D2c)* - Pertence ao Grupo Canindé e é constituída por arenitos e siltitos de ambientes fluvial, estuário e marinho raso Devoniana. Na parte inferior da área de pesquisa aflora segundo uma direção SW - NE, desde a sua porção sul até a sua porção central e próxima das margens da bacia a leste em contato com a Formação Pimenteiras. Na parte superior da área de pesquisa aflora segundo uma direção N - S, desde a sua parte central até o seu extremo norte e bem mais afastada das margens da bacia a leste, também em contato com a Formação Pimenteiras.
- *Formação Longá (D3C1l)* - Pertencente ao Grupo Canindé sendo constituída por folhelhos e siltitos de ambiente marinho raso Devoniana. Aflora segundo dois eixos preferenciais - (a) desde a porção sul até a porção central da área de pesquisa com direção SW - SE e (b) desde a porção central até a porção norte da área de pesquisa, com direção N-S.
- *Formação Poti (C1po)* - Pertence ao Grupo Canindé e é constituída por arenitos, siltitos e folhelhos de ambientes deltaico e litorâneo Carbonífera. Na parte inferior da área de pesquisa aflora ao longo dos cursos do rio Gurguéia, desde a porção sul e em direção ao norte até o limite dos estados do Piauí e do Maranhão, no encontro com o rio Parnaíba e do rio Itaueira. Na parte superior da área de pesquisa aflora desde a porção central até o extremo noroeste, limite com o Estado do Maranhão.
- *Formação Piauí (C2pi)* - Pertencente ao Grupo Balsas, é constituída por arenitos, siltitos, folhelhos e calcários de ambientes continental, fluvial e litorâneo, com intercalações marinhas e de idade Carbonífera. Aflora nas porções centro noroeste, incluindo a capital Teresina, e sudoeste da área de pesquisa.
- *Formação Pedra de Fogo (P12pf)* - Pertence ao Grupo Balsas e é constituída por arenitos, folhelhos, calcários e silexitos de ambientes marinho raso e

litorâneo Permiana. Aflora bordejando praticamente todo o limite oeste da área de pesquisa com exceção das porções norte e sul da área.

- *Formação Sambaíba (T12s)* - Pertencente ao Grupo Balsas, é constituída por arenitos bimodais com estratificação cruzada de grande porte de ambientes desérticos e dunas eólicas e de idade Triássica. Aflora no extremo sul da área de pesquisa, no limite com o vizinho Estado do Maranhão e encontra-se quase que totalmente no município de Barreiras do Piauí.
- *Formação Pastos Bons (J2pb)* - Pertencente ao Grupo Mearim é constituída por arenitos, folhelhos e calcários de ambientes desértico, fluvial e lacustre e de idade Jurássica. Aflora na porção centro leste da área de pesquisa, ao sul da capital Teresina.
- *Formação Corda (J2c)* - Pertencente ao Grupo Mearim é constituída por arenitos, argilitos e folhelhos de ambientes desértico, fluvial e lacustre e de idade Jurássica. Aflora principalmente no centro oeste da área de pesquisa, ao sul da capital Teresina, e apresenta pequenas representações ainda no município de Porto Alegre do Piauí (na porção centro-oeste da área de pesquisa) e nas regiões dos municípios de Rio Grande do Piauí, Flores do Piauí e Pajeú do Piauí, na porção centro sul da área.
- *Grupo Urucuia (K2u)* - Constituído por arenitos com estratificação cruzada de grande porte, arenitos conglomeráticos, pelitos, da Bacia Sanfranciscana. Aflora por toda a região sul da área de pesquisa, representando um prolongamento dos sedimentos da Bacia do São Francisco por sobre a Bacia do Parnaíba.
- *Grupo Areado (K1a)* - Constituído por arenitos, siltitos, folhelhos e conglomerados, da Bacia Sanfranciscana, de idade Cretácea. Aflora no extremo sul da área de pesquisa, na região dos municípios de São Gonçalo do Gurguéia e Corrente.

- *Formação Sardinha (K1βs)* - Constituída por basaltos e diabásios, de idade Cretácea. Aflora na porção central e norte da área de pesquisa. Existem também pequenos afloramentos na região entre as duas áreas anteriores.
- *Grupo Barreiras (ENb)* - Constituído por arenitos e conglomerados, com intercalações de siltitos e argilitos, de idade Terciária. Sua ocorrência, em superfície, é limitada à porção norte-noroeste da área de pesquisa.
- *Coberturas Detrito-Lateríticas (NQdl)* - Constituídas por areias com níveis de argilas e cascalhos e crosta laterítica, de idade Terciária-Quaternária. Afloram ao sul da área de pesquisa na região dos municípios de Corrente e Parnaíba.
- *Depósitos Colúvio-Eluviais (NQc)* - Constituídos por sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos, de idade Terciária-Quaternária. Afloram de forma mais expressiva na porção centro-sul da área de pesquisa e de forma menos expressiva na porção centro-norte, segundo uma direção preferencial N-S, e também no extremo norte da área de pesquisa.
- *Depósitos de Pântanos e Mangues (Qpm)* - Constituídos por areias, siltes, argilas e materiais orgânicos, de idade Pleistocênica, do Quaternário. Afloram de forma muito limitada, apenas no município de Buriti dos Lopes, no extremo norte da área de pesquisa, na calha do Rio Parnaíba, no limite com o vizinho Estado do Maranhão.
- *Depósitos Eólicos Continentais (Q1e)* - Constituídos por areias, regularmente selecionadas, de idade Pleistocênica, do Quaternário. Afloram de forma muito limitada, apenas no município de Buriti dos Lopes, no extremo norte da área de pesquisa, já no limite com o vizinho Estado do Maranhão e na calha do Rio Parnaíba.
- *Depósitos Aluvionares (Q2a)* - Constituídos por areias, cascalhos e níveis de argilas, de idade Holocênica. Afloram por toda a área preenchendo os vales das principais drenagens.

6.2 Hidrografia

A área de pesquisa - com cerca de 98% da sua área - está quase totalmente inserida na denominada Região Hidrográfica do Parnaíba (RHP), a segunda maior em extensão, em todo o Nordeste brasileiro, menor apenas do que a bacia do rio São Francisco, abrangendo quase totalmente o estado do Piauí, parte do Maranhão e uma pequena área do Ceará, totalizando 344.112 km².

O principal curso d'água, e que empresta seu nome à bacia, é o Parnaíba com extensão de aproximadamente 1.400km sendo perene na maioria de seus trechos. Seus principais afluentes são alimentados por águas superficiais e subterrâneas, destacando-se os rios Balsas, Gurguéia, Piauí, Canindé, Poti e Longá.

O rio tem origem na chapada das Mangabeiras, sul do Piauí, que, atualmente, é preservada pelo Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba numa altitude de setecentos metros, da confluência principalmente de três cursos d'água- o Água Quente, na divisa do Piauí com o Maranhão, o Curriola e o Lontra, no Piauí.

As regiões da área de trabalho fora da RHP encontram-se nas bacias denominadas “Litorâneas do Ceará” e “Jaguaribe”, no Ceará e “Salitre e Outros - São Francisco” na Bahia (Figura 16).

Segundo SEMAR (2010), no Estado do Piauí, onde se insere a área de pesquisa, a RHP é dividida em 12 bacias hidrográficas ou conjuntos de bacias. Destas, apenas a denominada de “*Bacias Difusas do Litoral*” não se encontra na área de trabalho e não será apresentada a seguir^[10].

Bacia do rio Piranji

Com área de apenas 1.082 km², está situada no norte da área, no limite com o Estado do Ceará (Figura 16), e tem como principal drenagem o rio Piranji, cuja origem é na Serra da Ibiapaba, ainda no Estado do Ceará. Toda a sua extensão no Piauí, atravessa os municípios de Cocal e Buriti dos Lopes, e desemboca no Parnaíba após atravessar a BR 343, no trecho Buriti dos Lopes - Parnaíba.

¹⁰ Os valores são os informados em SEMAR, 2010.

A bacia apresenta vazão específica^[11] de 4,42 L/s/km², deflúvio médio anual de 139,39 mm com volume anual produzido de 150,89 hm³ e vazão natural de 4,78 m³/s. O aquífero explotado na bacia é o Serra Grande^[12].

Bacias difusas do Baixo Parnaíba;

Situadas no norte da área, no limite com o Maranhão (Figura 16), são compostas de conjuntos de pequenas bacias que desaguam no rio Parnaíba sem apresentar nenhum curso de água de grande expressão. Sua área é de 7.643 km² com vazão específica de 2,20 L/s/km², deflúvio médio anual de 69,38 mm, volume anual produzido 530,29 hm³ e vazão natural de 16,82 m³/s.

Destacam-se, em termos de armazenamentos superficiais, as lagoas da Salina em Miguel Alves com 13,30hm³, a lagoa do Campo Largo com 12,95hm³, a lagoa da Estiva com 17,60hm³ e a lagoa de São Francisco com 8,05hm³, todas no município de Porto. Os aquíferos explotadas na bacia são o Serra Grande, Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Bacia do rio Longá;

Esta bacia com área de 22.623 km² tem como principal curso d'água o rio Longá, cujas nascentes estão situadas no Município de Alto Longá e recebem contribuições oriundas dos Municípios de Altos e Campo Maior.

Trata-se de um rio perene no médio e baixo curso e alimenta inúmeras lagoas de pequeno porte. Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, os rios Surubim e Maratoan; pela margem direita, os rios Jenipapo, Corrente, dos Matos, Caldeirão e o rio Piracuruca. A bacia apresenta uma vazão específica de 7,27 L/s/km², deflúvio médio anual de 229,27 mm, volume anual produzido de - 5186,59 hm³ e vazão natural de 164,47 m³/s.

Registram-se nesta bacia os reservatórios de Bezerros em José de Freitas no rio Bezerro com 11,00hm³, Caldeirão em Piripiri no rio Caldeirão com 54,60hm³, Corredores em Campo Maior no rio Jenipapo com 63,00hm³ e Piracuruca em Piracuruca no rio Piracuruca com 250,00hm³, além das lagoas do Angelim em Buriti dos Lopes com 11,50hm³ e a da Mata em Buriti dos Lopes com 39,00hm³.

¹¹ Vazão por unidade de área da bacia hidrográfica.

¹² Na avaliação de "aquíferos explotados" não foram consideradas as captações em aluviões, apenas aquelas nos três principais aquíferos do Estado do Piauí – Serra Grande, Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

São explorados nesta bacia os Aquíferos Serra Grande, Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Bacia do rio Poti;

Com área de 39.050 km², vazão específica de 1,85 L/s/km², deflúvio médio anual de 58,34 mm, volume anual produzido de 2278,25 hm³ e vazão natural de 72,24 m³/s, tem como principal curso d'água o rio Poti, com nascente no Estado do Ceará, no município de Novo Oriente e entra no Estado do Piauí através do canyon que corta a Chapada da Ibiapaba, no Município de Castelo do Piauí

Seus principais tributários são os rios Sambito, Berlengas e São Nicolau pela margem esquerda e os rios Capivara e Macambira pela margem direita. A maioria dos rios e riachos tem suas nascentes no Semiárido, quase sempre apresentando caráter de torrencialidade e intermitência.

Registra-se nesta bacia o reservatório Mesa de Pedra em Valença, no rio Sambito, com 55,00hm³.

São explorados nesta bacia os Aquíferos Serra Grande, Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Bacias dos rios Piauí/Canindé;

Com área de 75.683 km² é a bacia com maior extensão na RHP. Seus principais cursos d'água são os rios Canindé, com nascentes no Município de Paulistana, sudeste do Estado, na fronteira com o Estado de Pernambuco, ao sopé do prolongamento da Serra dos Dois Irmãos e o Piauí, com origem no sudeste do estado, junto à fronteira com o Estado da Bahia, no sopé das Serras das Confusões e Bom Jesus do Gurguéia, no Município de Caracol. São ainda representativos, em termos de extensão, os rios Itaim, Salinas e o Guaribas.

Apresenta uma vazão específica de 0,73 L/s/km², um deflúvio médio anual de 23,02 mm, um volume anual produzido de 1742,32 hm³ e uma vazão natural de 55,25 m³/s. os aquíferos representados na bacia são os Serra Grande, Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Também é a bacia com maior número de registros de reservatórios, como o Cajueiro I em Jaicós no rio Tanquinho com 15,00hm³, o Cajazeiras em Pio IX no rio Condado com 24,70hm³, o Ingazeiras em Paulista com 25,72hm³, o Bocaina em Bocaina no rio Guaribas com 106,00hm³, o Petrônio Portela em São Raimundo Nonato no rio Piauí com 181,00hm³, o Pedra Redonda em Conceição do Canindé no rio Canindé com 216,00hm³, o Jenipapo em São João do Piauí no rio Piauí com

248,00hm³, o Salinas em São Francisco do Piauí no rio Salinas com 385,00hm³, o Poço do Marruá em Patos no rio Itaim com 293,16hm³ e o Piau em São Julião e Pio IX no rio Marçal com 104,51hm³.

Suas principais lagoas são a Lagoa Grande em São João do Piauí no rio Baixão da Boa Esperança com 43,70hm³, a Lagoa de Nazaré em Nazaré do Piauí no rio Piauí com 35,00hm³, a Lagoa de Pussaline em Oeiras no rio Salinas com 12,04hm³ e a Lagoa de Quartel em Nazaré do Piauí no rio Piauí com 7,98hm³.

Os aquíferos explorados na bacia são o Serra Grande, Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Bacias Difusas do Médio Parnaíba;

São representadas por um conjunto de drenagens de pouca expressão no centro-oeste do estado (Figura 16), ao norte e ao sul do Município de Floriano, com área de 6.320 km². Apresenta vazão específica de - 2,35 L/s/km², deflúvio médio anual de 74,11 mm, volume anual produzido de 468,40 hm³ e vazão natural de 14,85 m³/s e os principais aquíferos explorados são o Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Bacia do Rio Itaueira;

Com área de 10.247 km², o principal curso d'água é o rio Itaueira com origem no Município de Caracol, no sudeste do Estado, junto às elevações da Serra do Bom Jesus do Gurguéia, apresentando um curso de, aproximadamente, 290Km e desaguando no rio Parnaíba cerca de 13Km à jusante da cidade de Floriano. Registra-se na bacia o reservatório de Poços em Itaueira no rio Itaueira com 43,00hm³.

Apresenta uma vazão específica de 1,64 L/s/km², um deflúvio médio anual de 51,72 mm, um volume anual produzido de 529,97 hm³ e uma vazão natural de 16,81 m³/s. os aquíferos explorados são o Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Bacia do Rio Gurguéia;

Seu principal curso d'água é o rio Gurguéia, com origem no sopé da Chapada das Mangabeiras, no Município de Barreiras do Piauí e que drena todo o extremo sul do Estado, captando as águas das vertentes da Chapada das Mangabeiras, no extremo sudoeste, e as águas da Serra da Tabatinga, no trecho fronteiro com o Estado da Bahia. As suas cheias médias máximas ocorrem com descarga de 200 m³/s e descarga média anual em torno de 39 m³/s.

Com uma área de 48.826 km² é nesta bacia que se encontram as maiores ocorrências de poços jorrantes do estado, principalmente no aquífero Cabeças. Os aquíferos explorados são o Serra Grande, Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Apresenta uma vazão específica de 0,75 L/s/km², um deflúvio médio anual de 23,65 mm, um volume anual produzido de 1154,83 hm³ e uma vazão natural de 36,62 m³/s. seu reservatório de destaque é o Algodões II em Curimatá no rio Curimatá com 247,00hm³ enquanto suas lagoas representativas são a lagoa do Peixe em Redenção com 11,90 hm³ e a lagoa de Parnaguá em Parnaguá no rio Paraim com 74,00 hm³.

Bacias Difusas da Barragem de Boa Esperança;

Com área de 8.030 km², apresenta uma vazão específica de 2,44 L/s/km², um deflúvio médio anual de 76,95 mm, um volume anual produzido de 617,86 hm³ e uma vazão natural de 19,59 m³/s. destaca-se nesta bacia a hidrelétrica de Boa Esperança em Guadalupe no rio Parnaíba com 5.085,001 hm³. O aquífero explorado é o sistema Poti/Piauí.

Bacia do Rio Uruçuí Preto;

Seu principal curso d'água é o rio de mesmo nome, com uma extensão aproximada de, 270Km e origem entre as Serras Grande e Vermelha/Uruçuí a uma altitude de 550m. O principal afluente do rio Uruçuí Preto é o riacho da Estiva, na sua margem direita.

A bacia, com uma área de 15.784 km², apresenta uma vazão específica de 2,42 L/s/km², um deflúvio médio anual de 76,32 mm, um volume anual produzido de 1.204,62 hm³ e uma vazão natural de 38,20 m³/s, sendo os aquíferos explorados o Cabeças e o sistema Poti/Piauí.

Apenas pequenas lagoas são encontradas ao longo das várzeas dos cursos de água, como as lagoas do Choro, da Velha, do Félix e Sete Lagoas.

Bacias Difusas do Alto Parnaíba.

No sudoeste do estado, e com uma área de 17.091 km², apresenta uma vazão específica de 6,97 L/s/km², um deflúvio médio anual de 219,81 mm, um volume anual produzido de 3.756,81 hm³ e uma vazão natural de 119,13 m³/s. Não apresenta registros de reservatórios ou lagoas como também não apresenta resultado de poços cadastrados na bacia.

6.3 Clima

A área de pesquisa possui características fisiográficas tipicamente de zona de transição, por encontrar-se inserido em áreas do Nordeste Setentrional, Nordeste Meridional, Centro-Oeste e do Meio-Norte, apresentando um regime pluviométrico heterogêneo, com três tipos de clima bem definidos (SEMAR, 2010):

- **Tropical úmido** - ao norte do Estado, particularmente no litoral;
- **Tropical** - predominando no centro-oeste;
- **Semiárido** - no sul e sudeste.

Segundo a classificação de Köeppen, apresenta três tipos de clima-

- **Aw'** - quente e úmido - com chuvas de verão/outono que ocorrem no norte do Estado;
- **Aw** - quente e úmido, com chuvas de verão, que atingem o centro-sul e sudoeste do Estado;
- **BShw** - Semiárido - caracterizado por curta estação chuvosa no verão, no leste e sudeste do Estado.

A seguir são sumarizados os comportamentos das estações chuvosas na área de pesquisa (SEMAR, 2010):

- **No norte** - estende-se de janeiro a maio, sendo o trimestre fevereiro/março/abril o mais chuvoso e agosto/setembro/outubro, o mais seco. As precipitações ficam em torno de 1.400mm.
- **No centro-sul e sudoeste** - O período chuvoso dá-se de novembro a março e as precipitações pluviométricas variam de 1.000 mm a 1.400 mm, ocorrendo principalmente em dezembro/janeiro/fevereiro. O trimestre junho/julho/agosto é o mais seco;
- **No leste e sudeste** - As precipitações pluviométricas variam de 400 mm a 1.000mm, sendo a estação chuvosa no período de dezembro a abril, em especial no trimestre janeiro/fevereiro/março e os meses de julho/agosto/setembro, os mais secos.

6.4 Vegetação

Predominam, no território do Piauí, quatro classes de vegetação descritas a seguir (SEMAR, 2010):

- **Caatinga** - Registrada principalmente no sul e sudeste da área, é composta por cactáceas, bromélias, arbustos e árvores de pequeno até grande porte em áreas brejosas.
- **Cerrado** - Estendem-se nas porções sudoeste e norte da área apresentando arbustos, árvores e galhos retorcidas, folhas grandes, casca grossa, raízes profundas e algumas gramíneas, cactos, bromélias e ervas cobrindo o solo. Encontra-se no sul, sudoeste e da região central ao leste.
- **Floresta estacional semidecidual** - Ocorre da foz do rio Canindé no médio Parnaíba até o baixo Parnaíba, além de outra extensão no vale do rio Gurgueia, é mista com a floresta de palmáceas principalmente acompanhando o rio Parnaíba; espécies ocorrentes carnaúba, babaçu, buriti, macaúba, tucum, pati e outras.
- **Mata de cocais** - Ocorre entre a Amazônia e a caatinga e predomina nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará e norte do Tocantins. Na área predominam as palmeiras babaçu, carnaúba, buriti, tucum, macaúba, patizeiro além de muitas outras.

6.5 Geomorfologia

A área de pesquisa é representada pelos domínios geomorfológicos sintetizados a seguir (FERREIRA e DANTAS, 2010).

- **Superfícies Aplainadas do Rio Parnaíba**

Consiste de uma vasta superfície arrasada por processos de erosão do relevo em diferentes níveis altimétricos, entre 50 e 300 m. Delimita-se, a leste da área, pelo Planalto da Ibiapaba; a norte pela planície costeira do Piauí; a sul, pelos compartimentos planálticos das chapadas do Alto Parnaíba e também pela Depressão Sertaneja.

- **Vale do Rio Gurguéia**

Situado no sudoeste da área, consiste em uma ampla forma erosiva resultante de processos de entalhamento fluvial e alargamento das vertentes do vale por recuo erosivo de suas encostas.

É caracterizado por ser um extenso vale encaixado e trabalhado por erosão regressiva entre as chapadas do Alto Parnaíba (Planalto de Uruçuí, a oeste; Planalto das Confusões, a leste). Apresenta uma direção aproximada SSW-NNE e um desnivelamento total em torno de 200 a 350 m.

Pela importância do Vale do Gurguéia, do ponto de vista hidrogeológico, é importante destacar o comentário dos autores sobre esta região:

“Tanto ao longo das superfícies aplainadas do fundo de vale alargado do vale do Gurgueia, quanto nos rebordos erosivos que o delimitam, aflora uma sequência de idades devoniana a carbonífera composta por arenitos, folhelhos e siltitos das formações Cabeças, Longá, Poti e Piauí. Destaca-se um espetacular potencial hidrogeológico no fundo do vale do rio Gurgueia, cujo aproveitamento atual restringe-se a uma série de poços tubulares e artesianos com uma rede de irrigação ainda incipiente. Destaca-se, nesse contexto, o poço Violetto, perfurado no início da década de 1970 e que, até o presente, apresenta-se como um poço jorrante.”

- **Chapadas do Alto Parnaíba**

Estão localizadas no centro-sul da área e consistem de vastas superfícies planálticas com cotas variando entre 400 e 700 m de altitude e levemente adernadas para norte, sendo profundamente entalhadas por uma rede de vales encaixados.

- **Chapada da Ibiapaba**

Localizado na porção leste da área, este domínio é representado por um conjunto de platôs e planaltos mais rebaixados, com características residuais.

Essas superfícies elevadas encontram-se em altitudes superiores a 400m, podendo atingir cotas entre 800m e 900m no topo do Platô da Ibiapaba (na divisa com o Ceará).

- **Chapada do Araripe**

Abrange os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, entretanto apenas parte deste domínio se apresenta na área de trabalho - sua extremidade ocidental. Consiste em um vasto platô com cotas que variam entre 800 e 850 m de altitude, e que se apresenta abruptamente delimitado em todos os flancos por escarpas erosivas com desnivelamentos totais sempre superiores a 300 m.

- **Chapada das Mangabeiras**

Representa uma extensa superfície, denominada regionalmente de Espigão Mestre, que abrange os estados da Bahia, Tocantins, Maranhão e Piauí, correspondente à Bacia Sedimentar do São Francisco.

Consiste em um vasto platô com cotas que variam entre 750 e 800 m de altitude, sendo abruptamente delimitado por escarpas erosivas.

- **Depressão Sertaneja**

É representada por uma depressão periférica em relação aos planaltos da Bacia Sedimentar do Parnaíba e compreende um diversificado conjunto de padrões de relevo com amplo predomínio de superfícies aplainadas com relevo levemente ondulado. Essas vastas superfícies aplainadas encontram-se pontilhadas por inselbergs e pequenos platôs isolados - como os observados entre as cidades de Gilbués e Corrente.

Está posicionada em cotas entre 300 e 500 m, apresentando elevações residuais que podem atingir cotas elevadas, como as situadas nas divisas com os estados de Pernambuco e da Bahia.

- **Alinhamentos Serranos da Depressão Sertaneja**

Representa o divisor de águas entre as bacias hidrográficas dos rios Parnaíba e São Francisco, sendo regionalmente descrito na paisagem geomorfológica como Serra da Tabatinga e Serra de Dois Irmãos, nas divisas entre os estados do Piauí com Bahia e Pernambuco.

Compreende um diversificado conjunto de padrões de relevo com predomínio de colinas dissecadas, pequenas cristas e esparsas superfícies planálticas recobertas por coberturas detrito-lateríticas e delimitadas por curtos rebordos erosivos.

O Domínio de Colinas Dissecadas apresentam amplitude de relevo variando de 30m a 80m enquanto o Domínio de Morros e Serras Baixas apresentam amplitude de relevo variando de 80m a 200m, podendo apresentar desnivelamentos de até 300m.

7 INTEGRAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS

Este capítulo apresenta os resultados da integração e tratamento dos dados coletados, de interesse à pesquisa.

7.1 Dados relevantes da bibliografia

Neste tópico são apresentados os resultados da coleta de informações gerais sobre a Bacia do Parnaíba, que permitiu a alimentação do banco de dados da pesquisa, em SIG, através do georreferenciamento de figuras, mapas de projetos e artigos, com posterior digitalização de curvas de isópacas, eixos de deposição e espessuras totais dos sedimentos na bacia, além de aspectos estruturais e outros, conforme metodologia adotada (Figura 8 – A4, B5 e C4).

7.1.1 Isópacas Serra Grande e Cabeças

Dentre as principais informações relevantes, destacam-se as isópacas do Aquífero Serra Grande e do Aquífero Cabeças, extraídas de trabalhos como o de Caputo (1984) e Cunha (1986).

Essas isópacas foram digitalizadas em SIG para composição do banco de dados da pesquisa. Os resultados são mostrados nas Figuras 17 até 20. As figuras também mostram os poços utilizados pelos autores para composição das isópacas em ambos os aquíferos. É importante notar a quase total ausência de poços considerados na área desta pesquisa.

Verifica-se, para o Aquífero Serra Grande, que as isópacas, de ambos os autores, na área desta pesquisa, apresentam valores máximos na sua região central (na região da sede de Floriano), embora com valores bem distintos de 900m (CAPUTO, 1984) e 700m (CUNHA, 1986).

Para o Aquífero Cabeças as isópacas máximas foram de 400m, no centro norte da área (região ao sul de Teresina e ao norte de Floriano) (CAPUTO, 1984), e de 700m também no centro da área e se estendendo até o sul.

7.1.2 Eixos deposicionais

Os eixos de deposição dos sedimentos do Aquífero Serra Grande e do Aquífero Cabeças, discutidos por Góes, Souza e Teixeira (1990), que os relacionam com os lineamentos Transbrasiliano e Picos - Santa Inês, foram também georreferenciados para composição do banco de dados da pesquisa - os resultados são apresentados nas Figuras 21 e 22.

Figura 17 - Isópacas do Aquífero Serra Grande, poços utilizados, limite da Bacia do Parnaíba e Arco Ferrer-Urbano Santos.

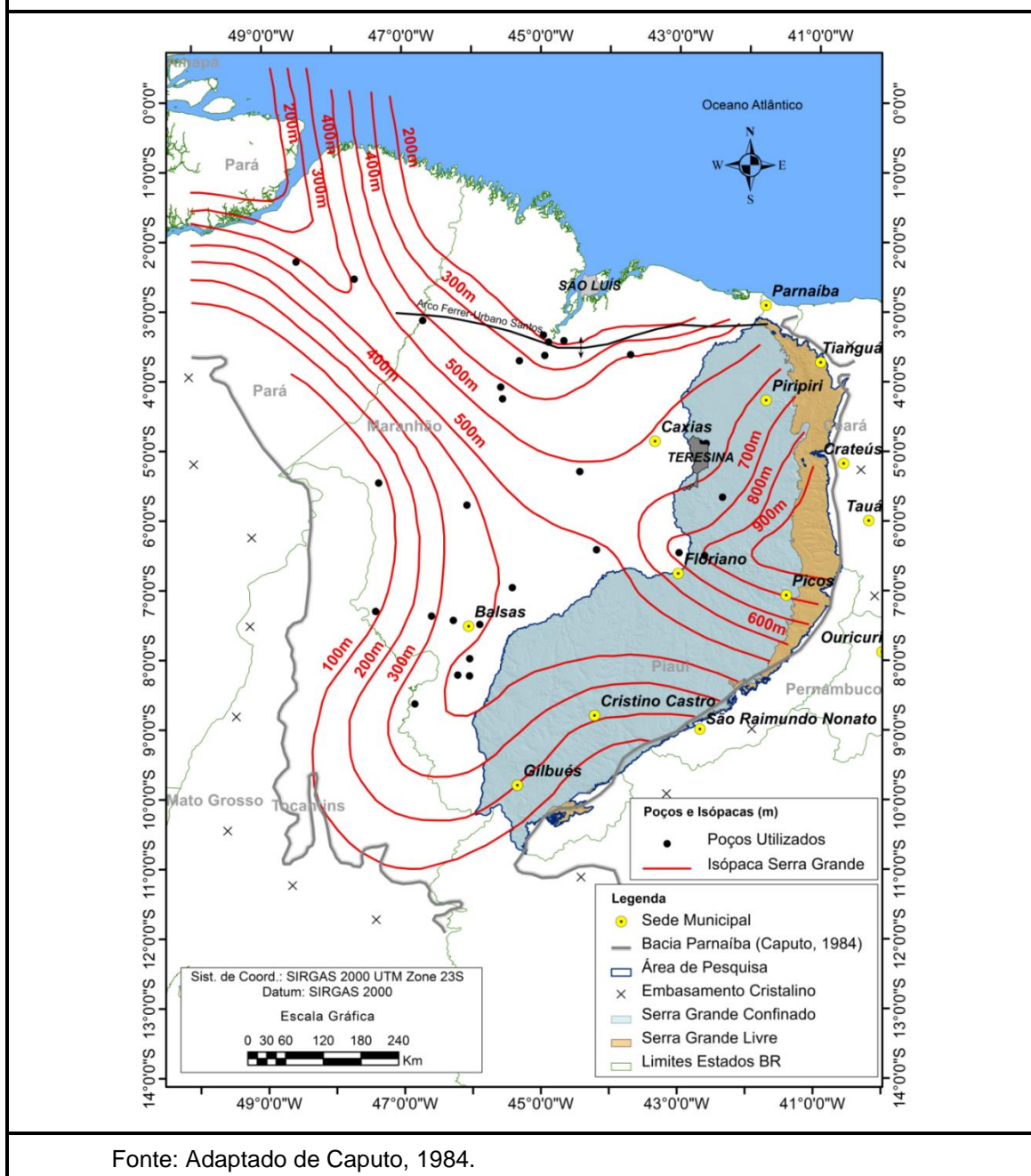
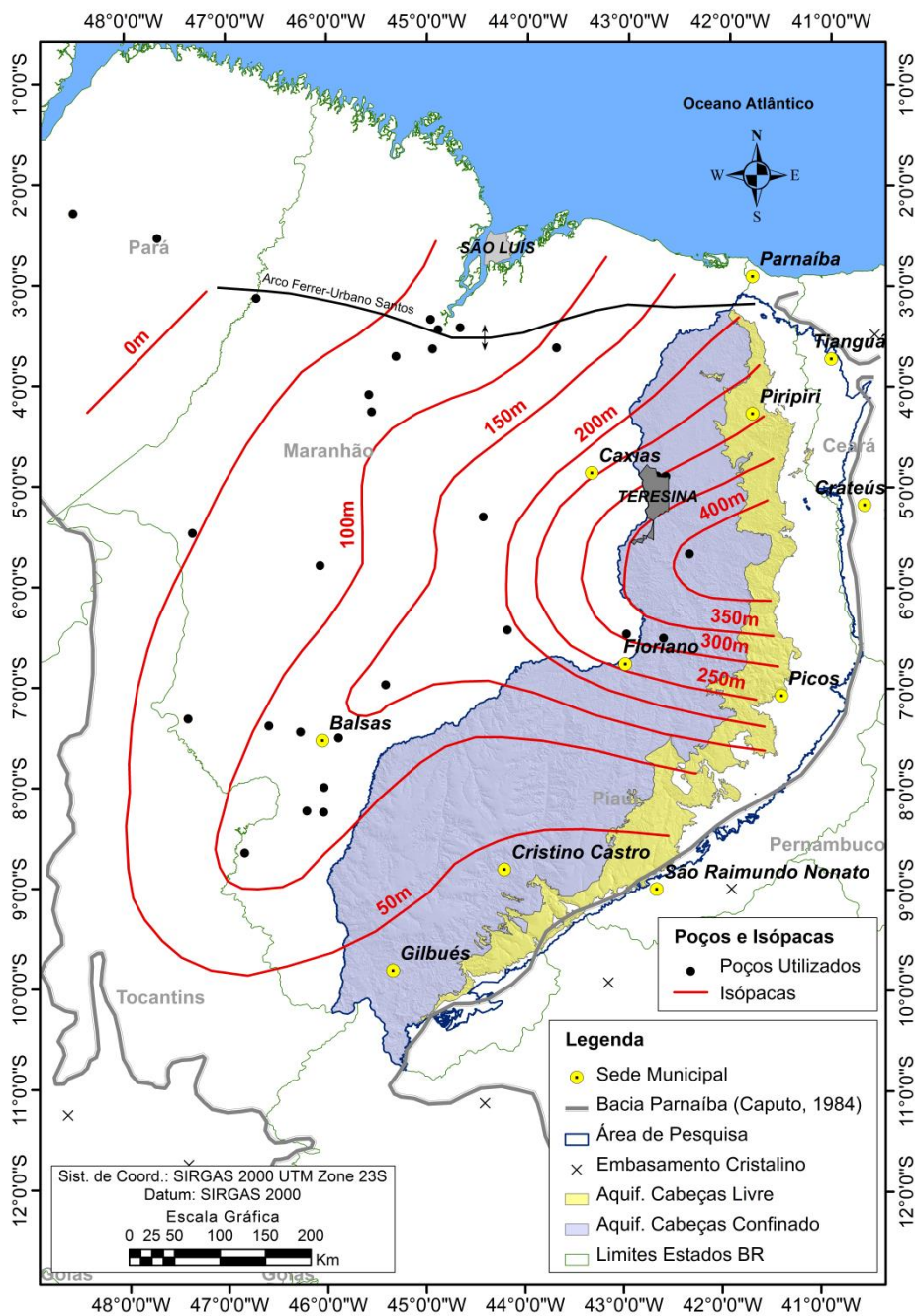
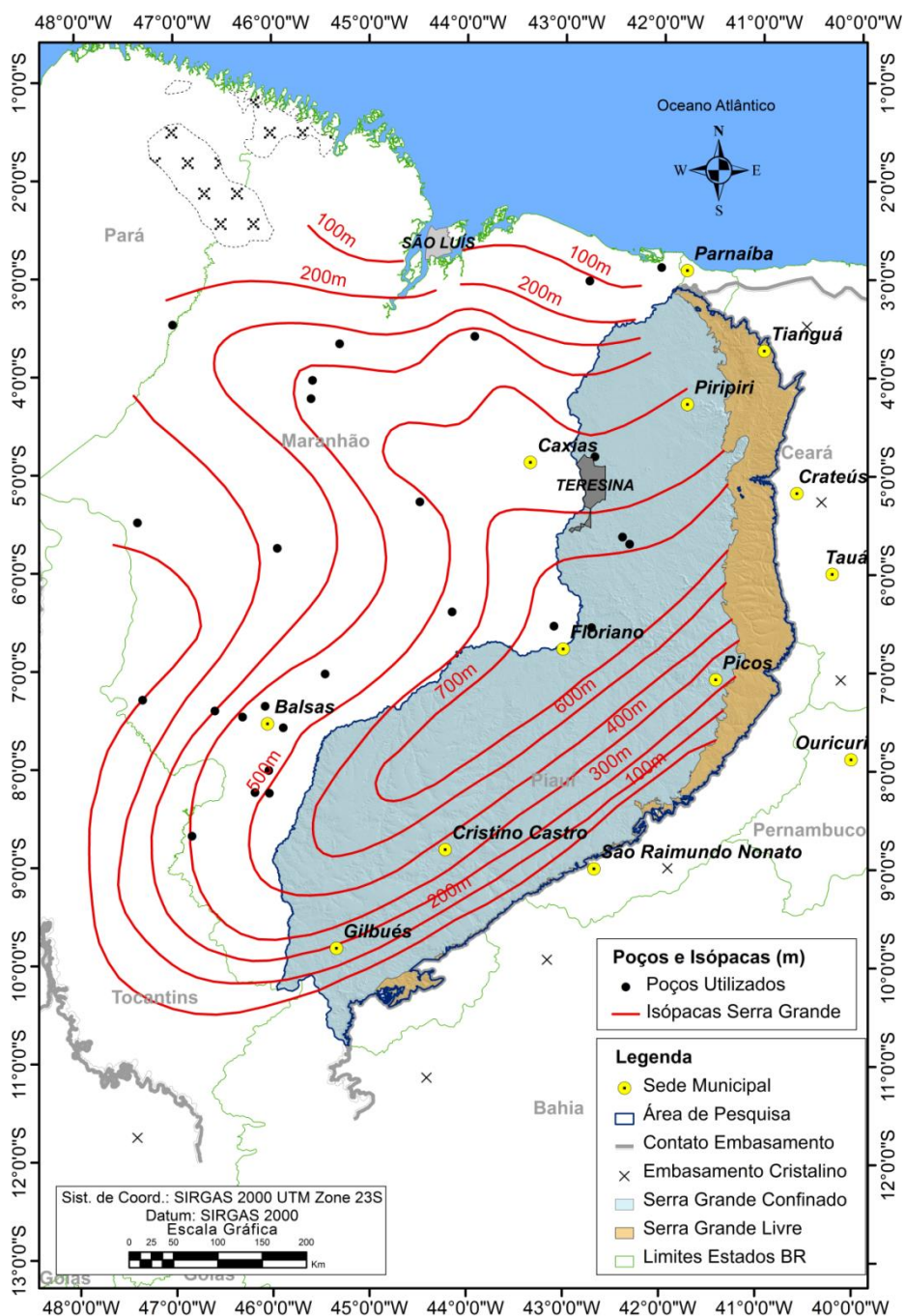


Figura 18 - Isópacas do Aquífero Cabeças, poços utilizados, limite da Bacia do Parnaíba e Arco Ferrer-Urbano Santos.



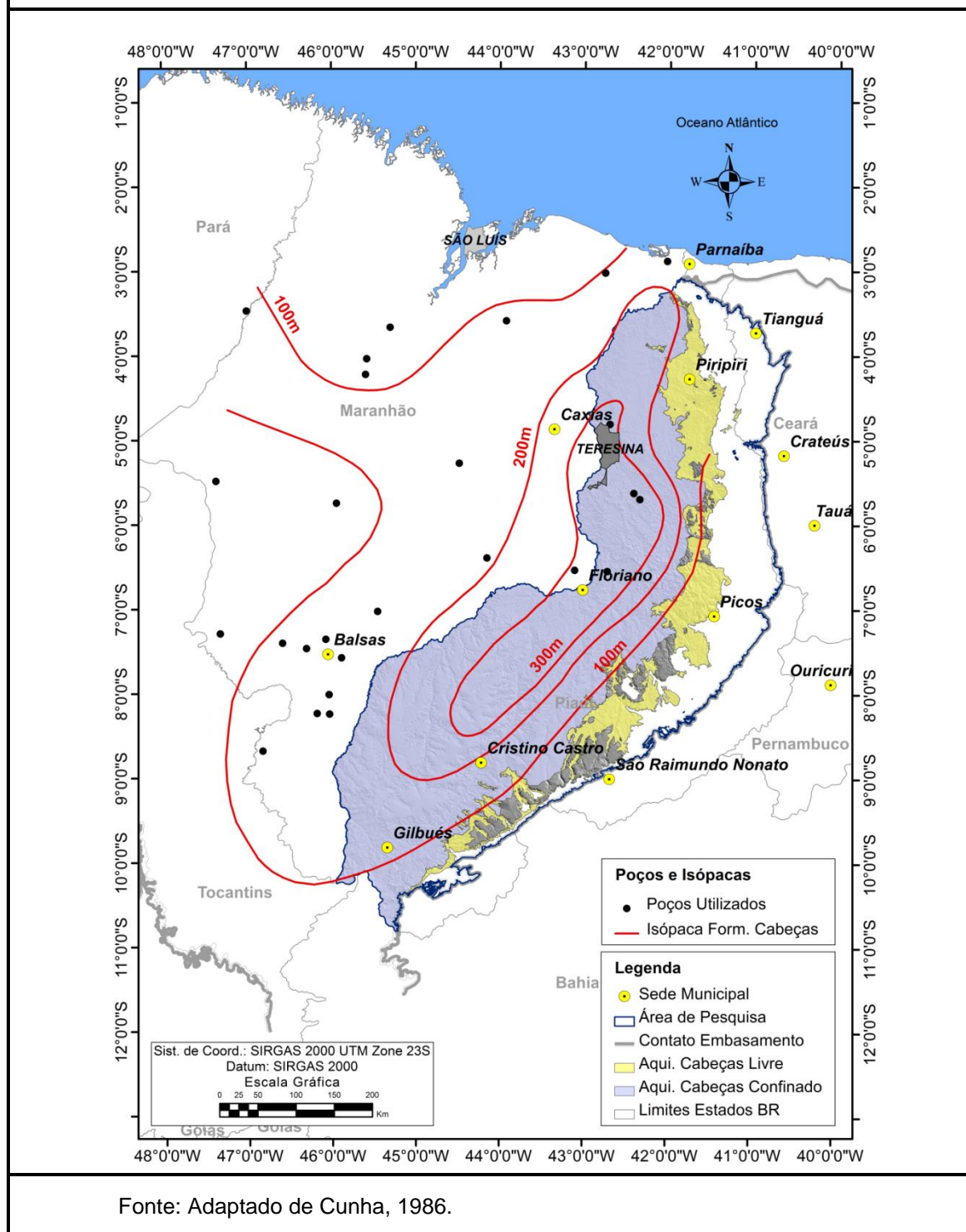
Fonte: Adaptado de Caputo, 1984.

Figura 19 - Isópacas do Aquífero Serra Grande, poços utilizados e limite da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Adaptado de Cunha, 1986.

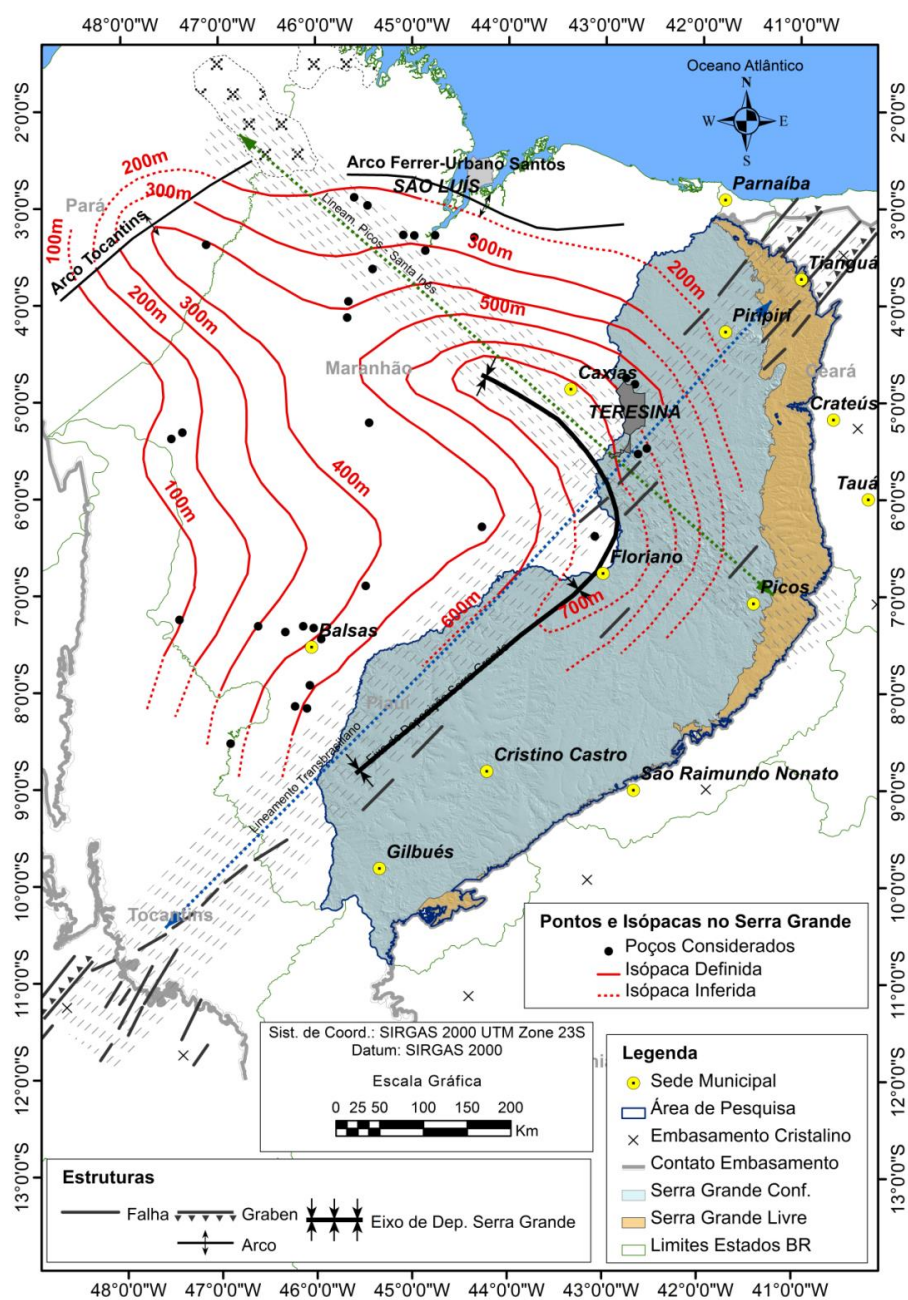
Figura 20 - Isópacas do Aquífero Cabeças, poços utilizados e limite da Bacia do Parnaíba.



A Figura 21 mostra as isópacas para o Aquífero Serra Grande variando de 100m a 700m, os poços utilizados para composição das curvas, as direções preferenciais dos lineamentos Transbrasiliiano (SW - NE) e Picos - Santa Inês (NW - SE) e o eixo deposicional.

Na área de pesquisa, o eixo deposicional do Aquífero Serra Grande se encontra, praticamente, apenas na parte inferior com direção congruente ao Lineamento Transbrasiliano (SW - NE). No centro da área de pesquisa este eixo começa a tomar a direção do Lineamento Picos - Santa Inês (NW - SE), para oeste.

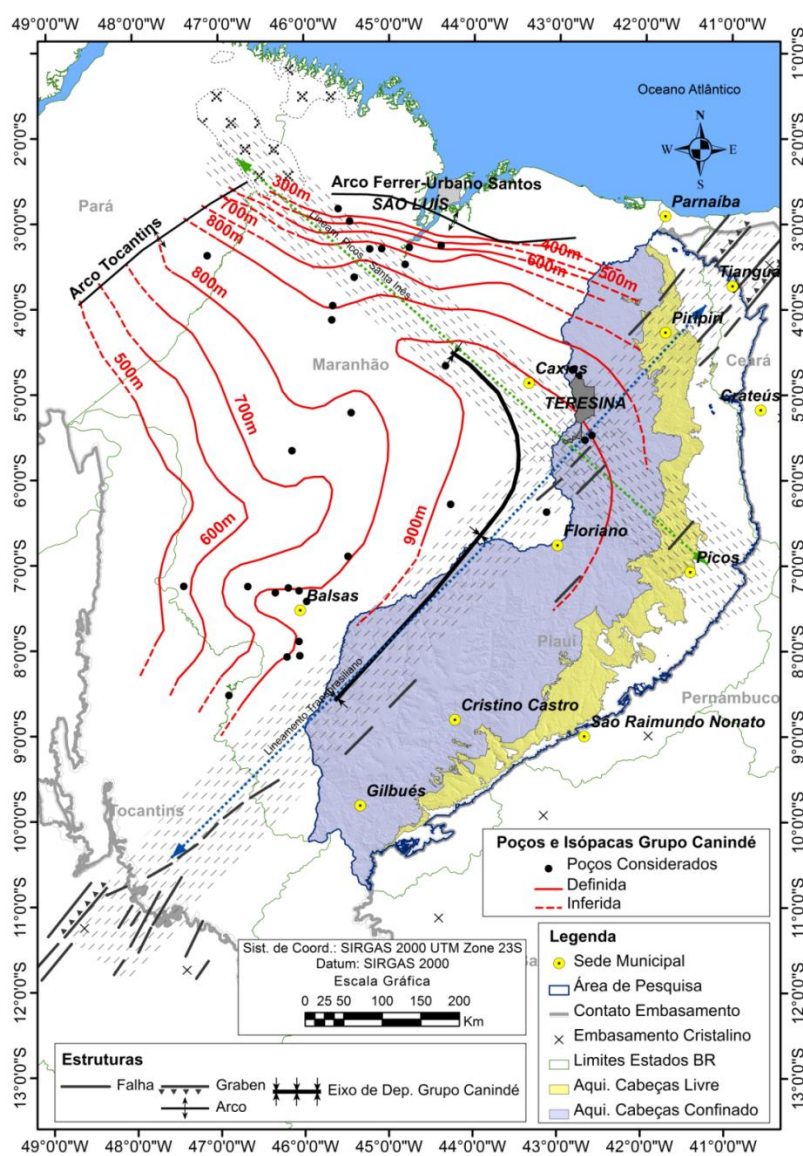
Figura 21 - Relacionamento entre o eixo deposicional do Aquífero Serra Grande e os lineamentos Transbrasiliano e Picos - Santa Inês e estruturas na Bacia do Parnaíba.



Fonte: Adaptado de Góes, Souza e Teixeira (1990).

A Figura 22 mostra as isópacas para o Aquífero Cabeças, variando de 300m a 900m, os poços utilizados para composição das curvas, as direções preferenciais dos lineamentos Transbrasiliano (SW - NE) e Picos - Santa Inês (NW - SE) e o eixo de deposição. Na área de pesquisa, o eixo deposicional do Aquífero Cabeças se encontra apenas na parte inferior, com direção coincidente com a do Lineamento Transbrasiliano (SW - NE). Fora da área de pesquisa, a oeste, este eixo toma a direção do Lineamento Picos - Santa Inês (NW - SE).

Figura 22 - Relacionamento entre o eixo deposicional do Grupo Canindé e os lineamentos Transbrasiliano e Picos - Santa Inês e estruturas na Bacia do Parnaíba.

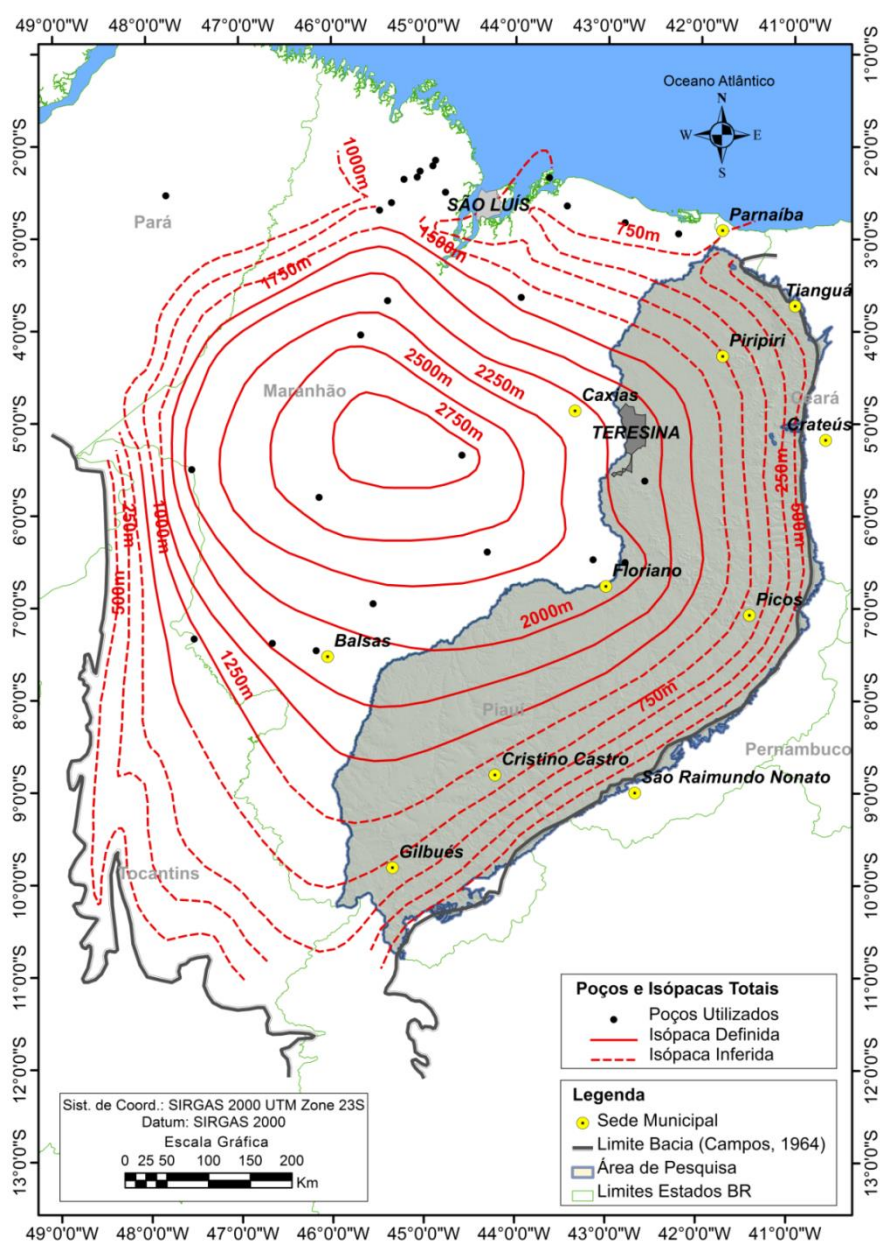


Fonte: Adaptado de Góes, Souza e Teixeira (1990).

7.1.3 Isópacas totais de sedimentos na Bacia do Parnaíba

As isópacas totais dos sedimentos na Bacia do Parnaíba, discutidas e apresentadas por Campos (1964), foram georreferenciadas e digitalizadas para composição do banco de dados da pesquisa, em SIG. Os resultados do georreferenciamento e digitalização desta informação são mostrados na Figura 23.

Figura 23 - Isópacas totais dos sedimentos na Bacia do Parnaíba e limite da Bacia.

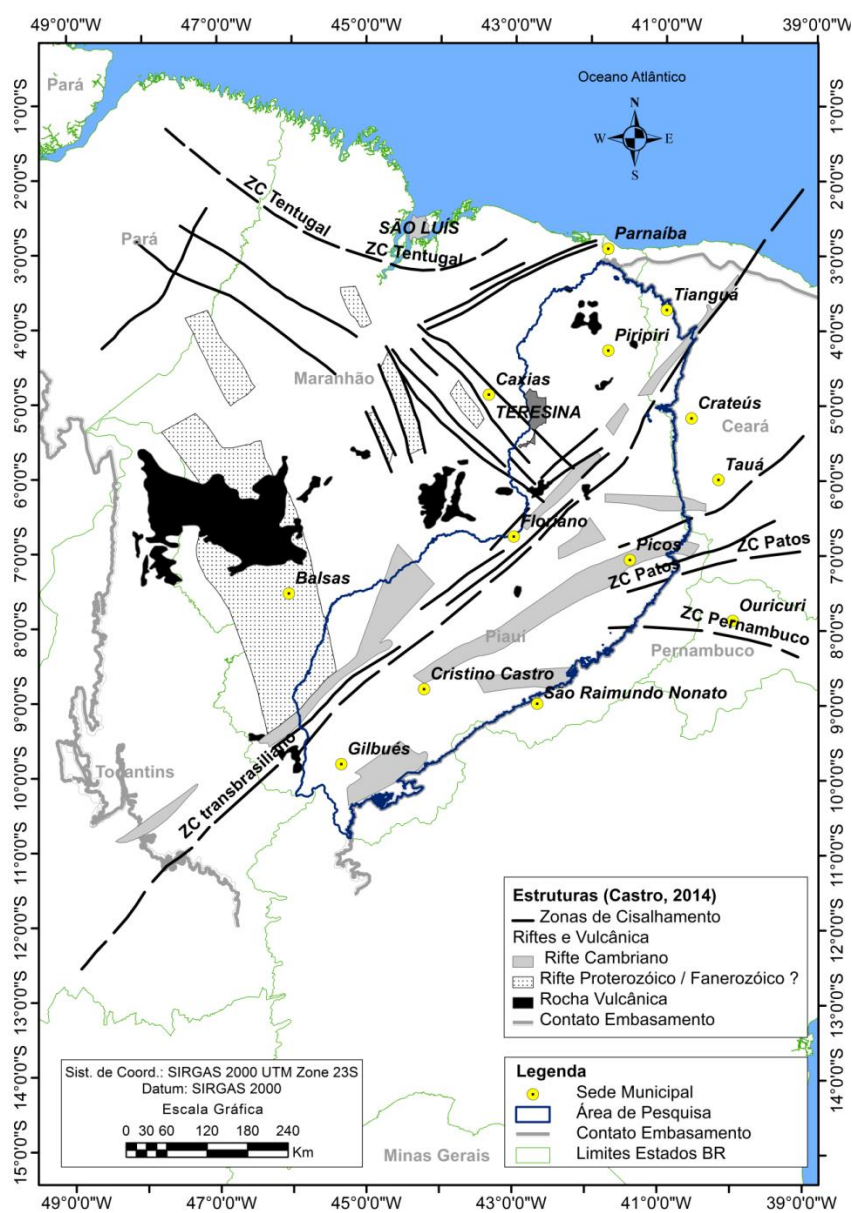


Fonte: Adaptado de Campos, 1964.

7.1.4 Aspectos estruturais da Bacia

Foi incorporado ao banco de dados desta pesquisa o esboço tectônico do fundo da bacia compilado de informações geofísicas e geológicas por Castro *et al.*, 2014 - o resultado georreferenciado e digitalizado em SIG é mostrado na Figura 24.

Figura 24 - Esboço tectônico do fundo da Bacia do Parnaíba, compilado a partir de informações geofísicas e geológicas - Modificado e simplificado de Castro, *et al.*, 2014.



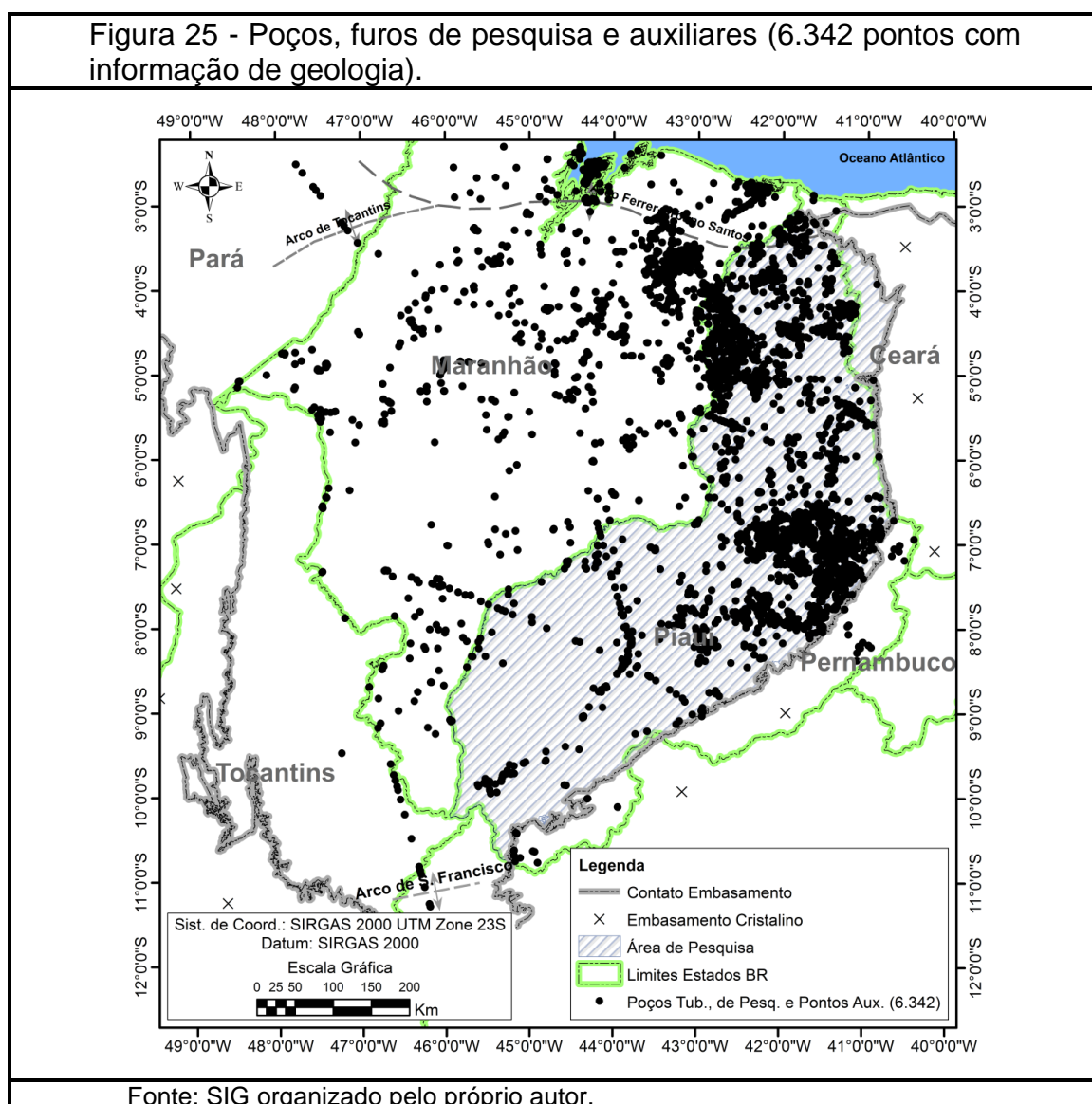
Fonte: Adaptado de Castro *et al.*, 2014.

7.2 Dados relevantes de projetos

A Figura 25 mostra os pontos com dados de geologia de subsuperfície coletados e organizados em SIG, oriundos de projetos de pesquisa mineral e para água, relatórios de construção e bancos de dados de poços.

As informações constaram, principalmente, de:

- Perfis litológicos de furos de sondagem/pesquisa e de poços tubulares.
- Perfis construtivos de poços tubulares e furos de pesquisa.
- Perfis^[13] extraídos de Góes, Travassos e Nunes (1993).



¹³ Estas informações são referidas como “furos auxiliares” para não serem confundidos com “furos de pesquisa”.- Neste trabalho o termo “pontos” refere-se a todas informações pontuais de geologia de subsuperfície, incluindo poços, furos de pesquisa e auxiliares.

7.3 Banco de dados STRATER

Todos os pontos inicialmente selecionados para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças foram incluídos em um banco de dados do software STRATER com a finalidade de determinar todos os tipos de isópacas definidas para esta pesquisa.

Este banco foi alimentado com as informações de unidades aquíferas atravessadas (a partir dos perfis litológicos levantados) e de construção (a partir dos perfis construtivos levantados).

Posteriormente, todos os dados processados nesta fase alimentaram o banco de dados em SIG para geração das isópacas.

A Figura 26 mostra um exemplo de relatório de poço no STRATER com o perfil litológico e construtivo^[14]. A coluna “*Esp (m)*” informa a espessura da unidade atravessada (isópaca), enquanto a coluna “*topo (m)*” informa o topo de cada unidade. As profundidades são mostradas em cada lado da figura para efeito de escala.

Os dados construtivos são mostrados nas colunas “*Perfuração (pol)*” - diâmetro da perfuração em polegadas e “*Revestim. (pol)*” - diâmetro do revestimento em polegadas.

Neste exemplo, da Figura 26, o poço tem profundidade de 800m, com penetração total no Aquífero Cabeças e parcial no Aquífero Serra Grande. Os valores determinados para as isópacas, neste caso, estão no Quadro 7.

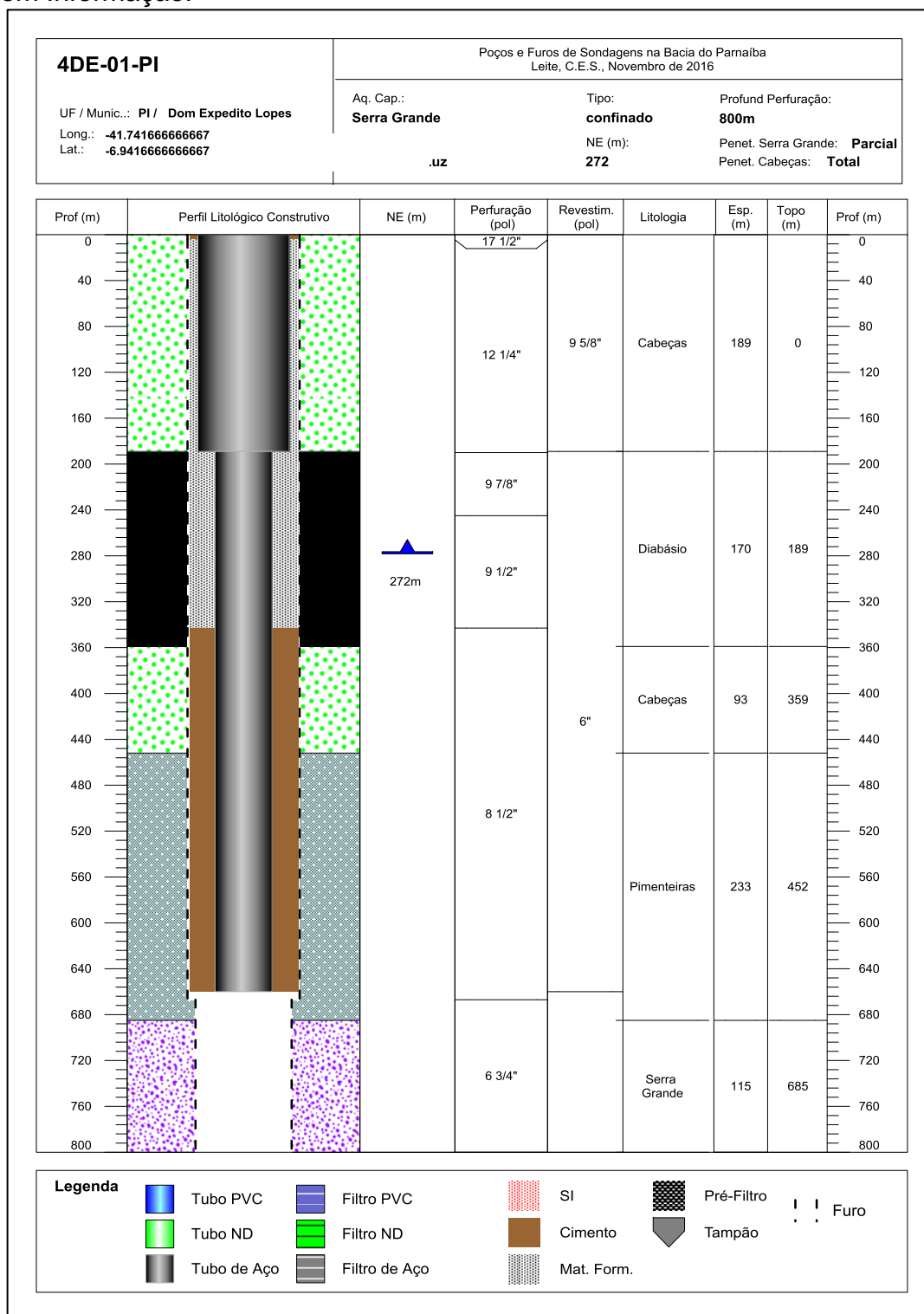
Quadro 7 - Valores de isópacas do poço 4DE-01-PI.(Figura 26).

Aquífero	Penetração	Isópaca Estratigráfica	Hidroisópaca Estratigráfica	Nível Estático
Cabeças	Total	452m	282m	Não Captado
Serra Grande	Parcial	115m	115m	272m

Fonte: Do próprio autor.

¹⁴ A legenda no STRATER refere-se a todas as possibilidades de ocorrências em todo o banco de dados e assim pode apresentar itens que não estão presentes no poço em questão.

Figura 26 - Poço 4DE-01-PI visualizado no STRATER - “Tubo ND”- tipo de tubo Não Definido. “Filtro ND”- Tipo de filtro Não Definido. “SI”- Tipo de cimentação Sem Informação.



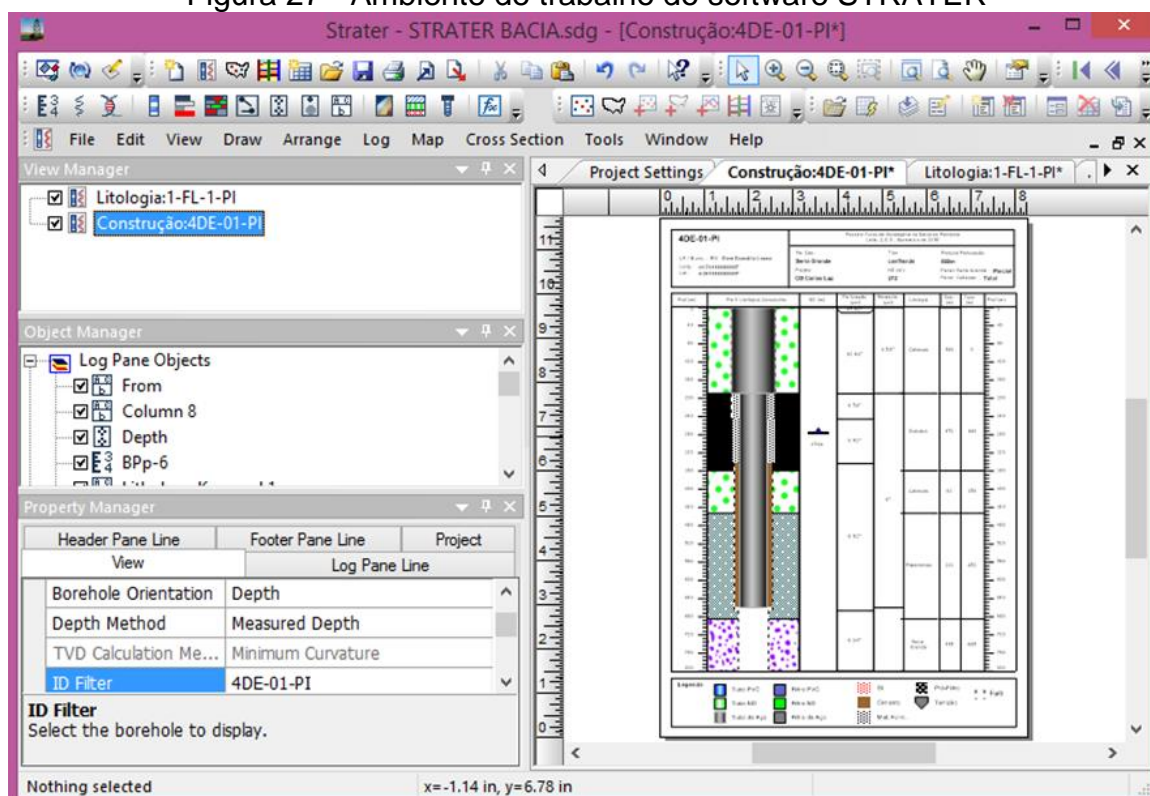
Fonte: Banco de dados do STRATER organizado pelo autor.

O termo “ND”, na legenda da Figura 24 para tubo e filtro, significa “Não Definido”, ou seja, no relatório construtivo do poço não foi possível identificar o tipo

de material utilizado. O termo “SI” na legenda de cimentação da Figura 24 significa “Sem Informação”.

A Figura 27 mostra o mesmo poço no ambiente de trabalho do software STRATER.

Figura 27 - Ambiente de trabalho do software STRATER



Fonte: Banco de dados do STRATER organizado pelo autor.

8 PROCESSAMENTOS EM SIG

Neste tópico são apresentados os resultados das modelagens matemáticas com a metodologia *MoMaRAQ* - com a geração das isópacas e hidroisópacas estratigráficas, das modelagens das capacidades específicas, dos cenários de *Vocação Hidrogeológica*, e das modelagens de profundidade do topo para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças.

8.1 Modelagem matemática (método MoMaRAQ)

A aplicação da Modelagem Matemática com Refinamento e posterior Ajuste Qualitativo (*MoMaRAQ*), resultou na geração das curvas de isópacas e hidroisópacas estratigráficas dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, apresentadas a seguir, para cada uma das fases de modelagem e para cada um destes aquíferos.

O termo “*pontos utilizados*” refere-se aos poços tubulares e furos de pesquisa, com informações geológicas, e aos pontos auxiliares dos perfis geológicos interpretados por Góes, Travassos e Nunes (1993), utilizados nas diferentes fases de modelagem.

Os perfis de isópacas e hidroisópacas dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, apresentados em visualização 2D, 3D e em cortes, nas fases de modelagem com ajuste, possuem as mesmas localizações e orientações.

8.1.1 Aquífero Serra Grande

Neste tópico são apresentadas as isópacas e hidroisópacas estratigráficas do Aquífero Serra Grande, resultantes das três fases de modelagem - (a) Sem refinamento; (b) com refinamento, e; (c) com ajuste qualitativo.

8.1.1.1 Isópacas estratigráficas

A seguir são apresentados os resultados das modelagens para as Isópacas Estratigráficas.

8.1.1.1.1 Sem refinamento

A Figura 28 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem sem refinamento e as curvas de isópacas estratigráficas com equidistância de 50m na área de pesquisa, além dos 171 pontos utilizados (com penetração total no Aquífero Serra Grande). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área.

As isópacas apresentaram variação de 0m, na borda da bacia (contato com o embasamento) até o máximo de 841,8m na região centro-oeste da área, nas proximidades da sede do município de Floriano, ao sul da capital Teresina (Região B na Figura 29). Nas proximidades de Teresina, ao norte, o valor da isópaca é de 662m (Região A). O incremento nos seus valores se dá de forma gradual e preferencialmente, na área de pesquisa, na direção de duas principais regiões (A e B). No sul da área a isópaca máxima é de 500m, nas proximidades da sede do município de Balsas, no Estado do Maranhão (Região C).

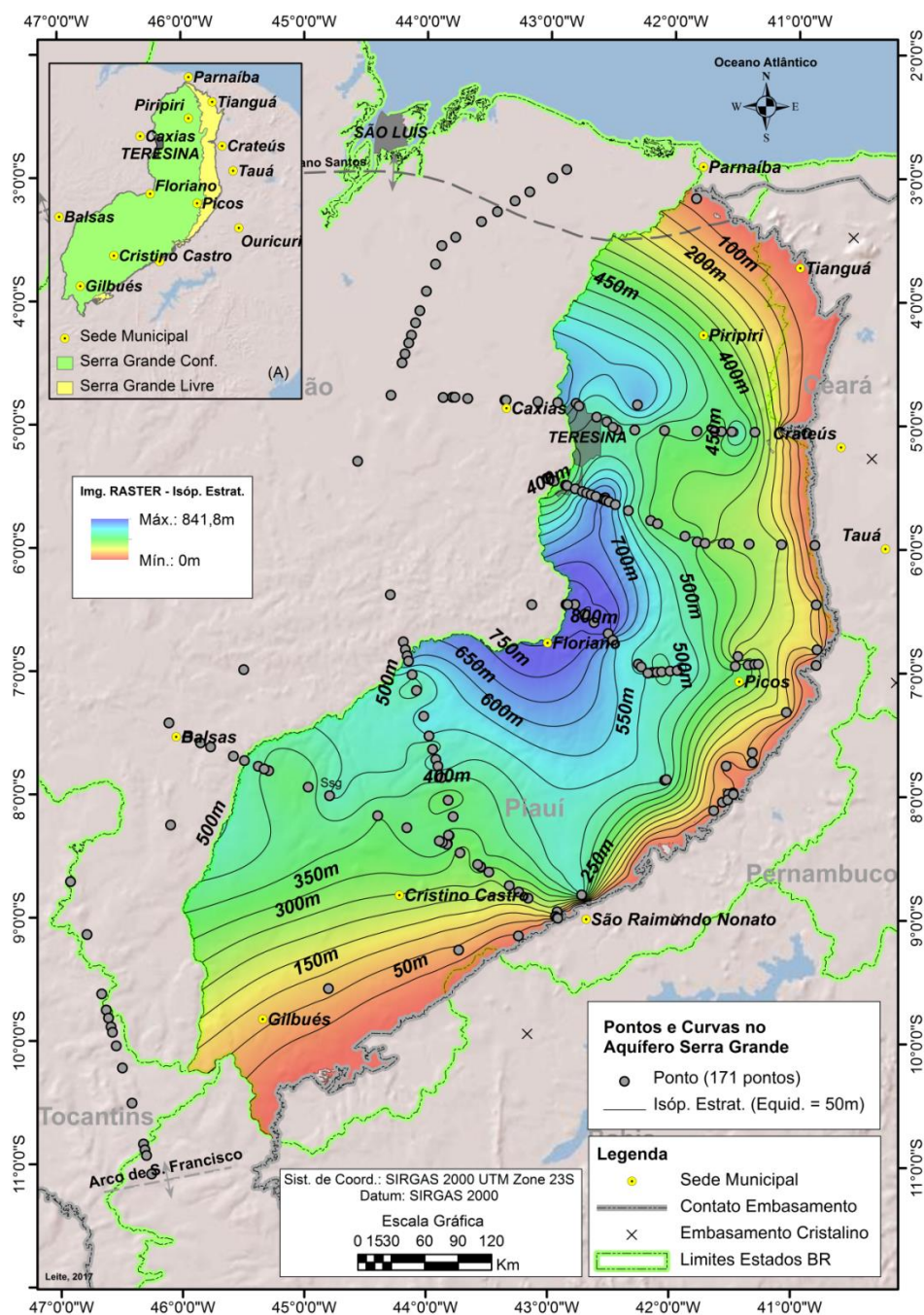
8.1.1.1.2 Com refinamento

A Figura 30 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem com refinamento e as curvas de isópacas estratigráficas com equidistância de 50m na área de pesquisa, além dos 190 pontos utilizados (171 pontos com penetração total e 19 pontos com penetração parcial no Aquífero Serra Grande). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área. O incremento nos seus valores se dá de forma gradual e preferencialmente, na direção de duas principais regiões (A e B Figura 31).

No sul da área a isópaca máxima é de 500m, nas proximidades da sede do município de Balsas, no Estado do Maranhão (Região C na Figura 31). Nesta região a tendência de incremento das isópacas se dá para fora da área de pesquisa.

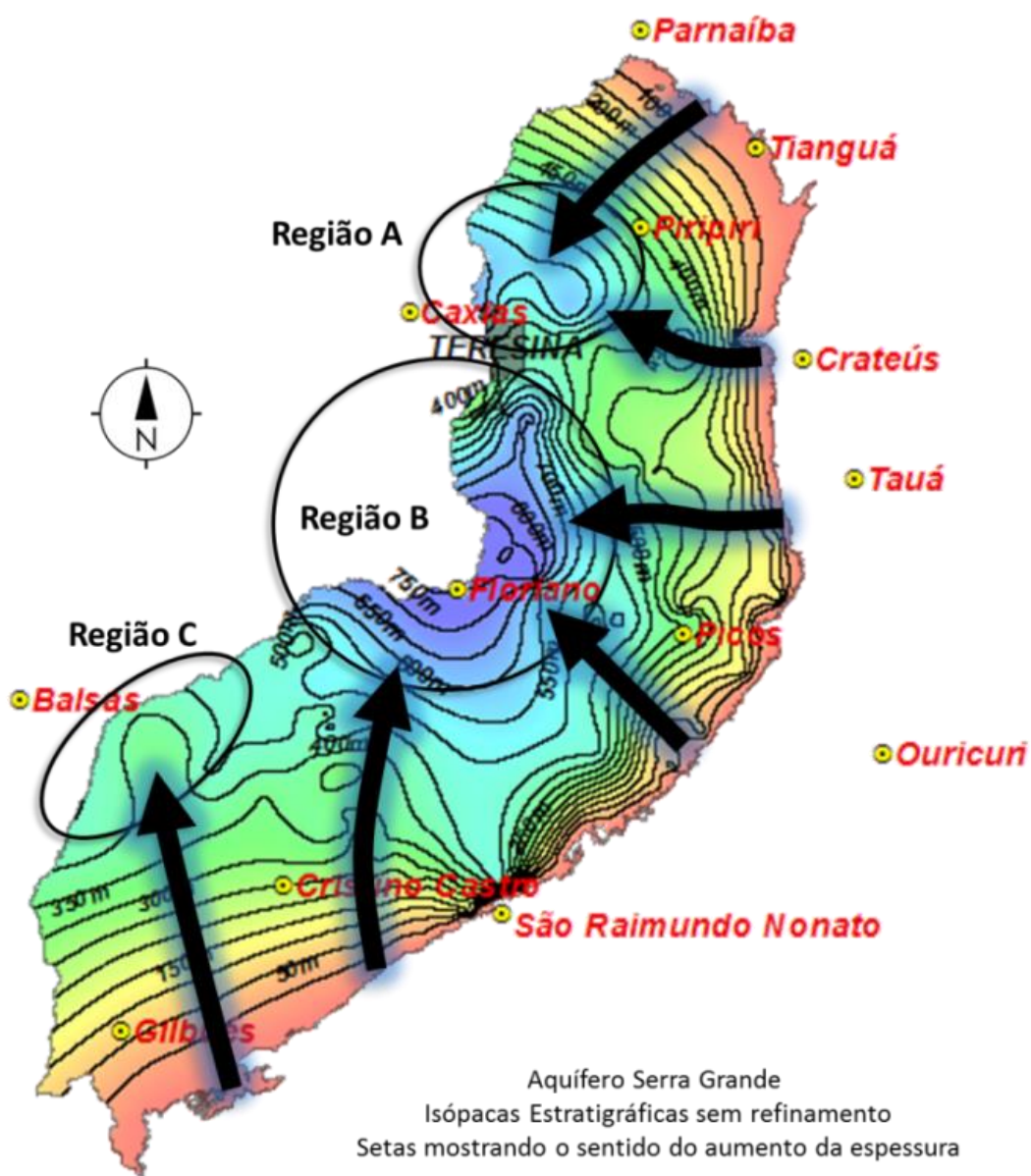
Confrontando estes resultados com aqueles da modelagem sem refinamento anterior, para este mesmo aquífero, verifica-se que a inserção de novos pontos no modelo não influenciaram nas características e comportamentos gerais das isópacas. Houve, entretanto, um refinamento do modelo, que pode ser constatado no exemplo da Figura 32, que mostra uma situação anterior (A) e posterior (B) ao processo de refinamento em uma região da área de pesquisa.

Figura 28 - Isópacas Estratigráficas sem Refinamento do Aquífero Serra Grande - Modelagem sem Refinamento.



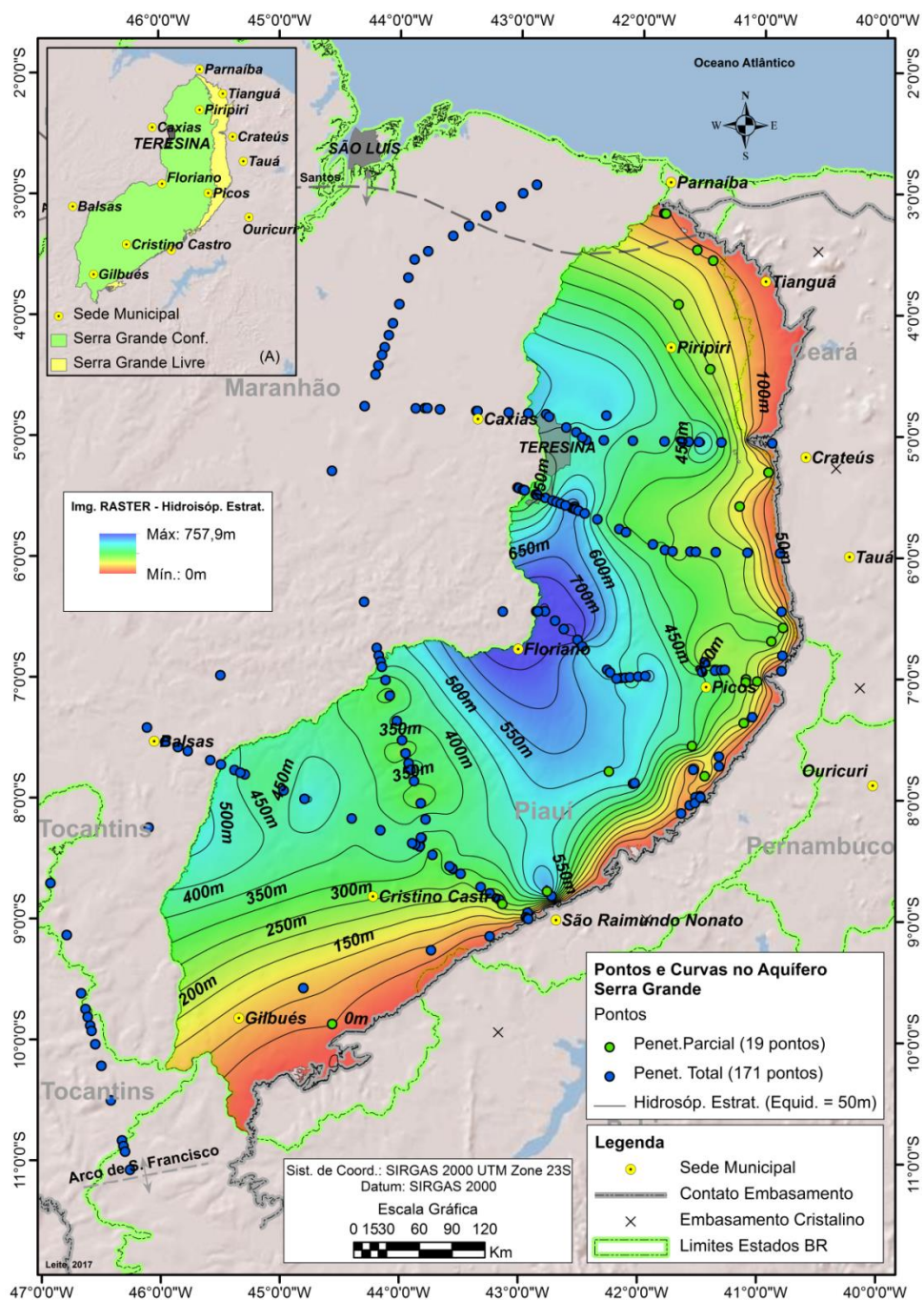
Fonte: Do próprio autor - Curvas isópacas com equidistância de 50m e pontos utilizados (171) com penetração total no Aquífero Serra Grande. Os pontos fora da área permitiram a extrapolação mais precisa das curvas.

Figura 29 - Isópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. - Modelagem sem Refinamento.



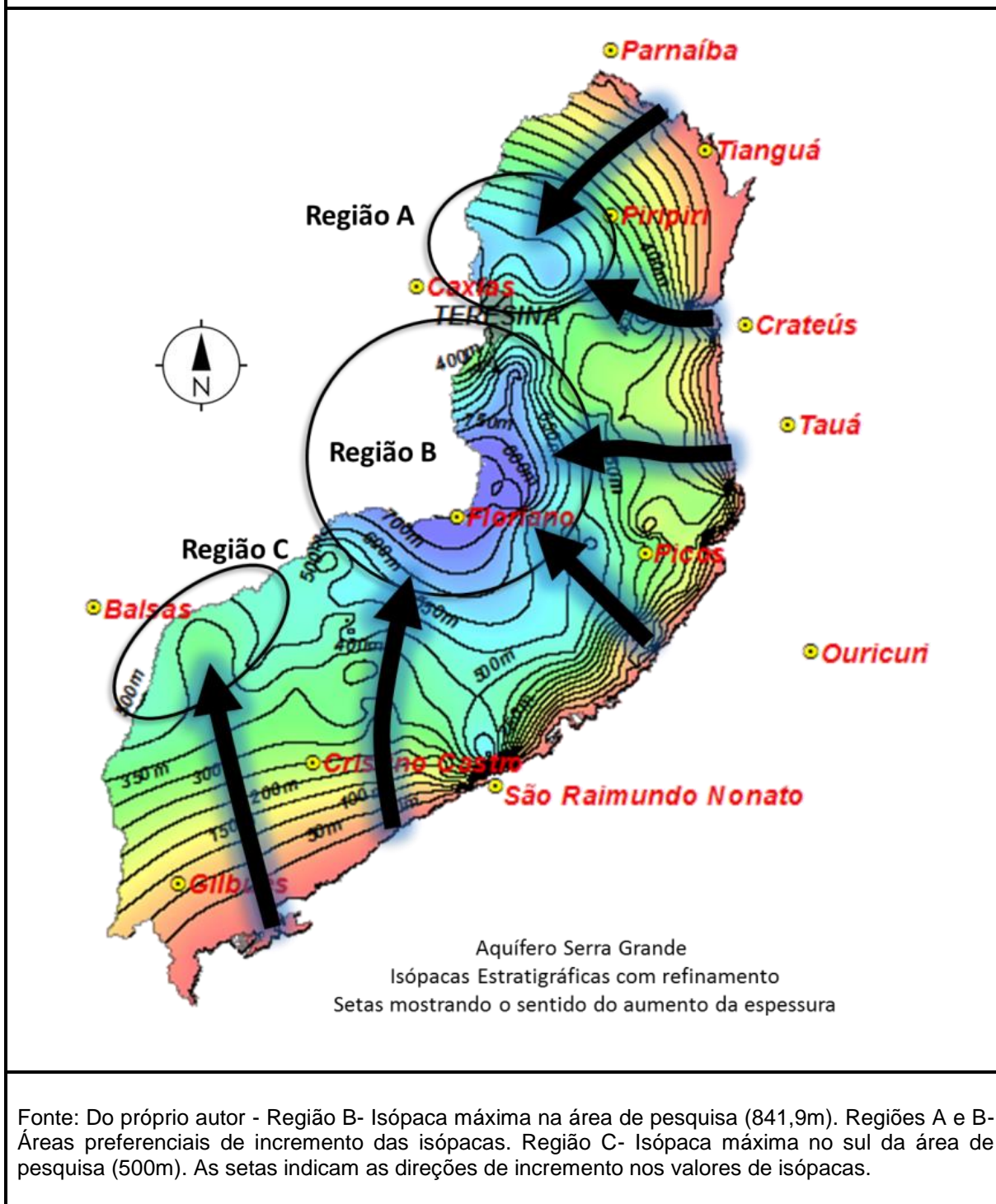
Fonte: Do próprio autor - Região B- Isópaca máxima na área de pesquisa (841,8m). Regiões A e B- Áreas preferenciais de incremento das isópacas. Região C- Isópaca máxima no sul da área de pesquisa (500m). As setas indicam as direções de incremento nos valores de isópacas.

Figura 30 - Isópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Serra Grande - Modelagem com Refinamento.



Fonte: Do próprio autor - Curvas isópacas com equidistância de 50m e pontos utilizados (190) com penetração total e parcial no Aquífero Serra Grande.

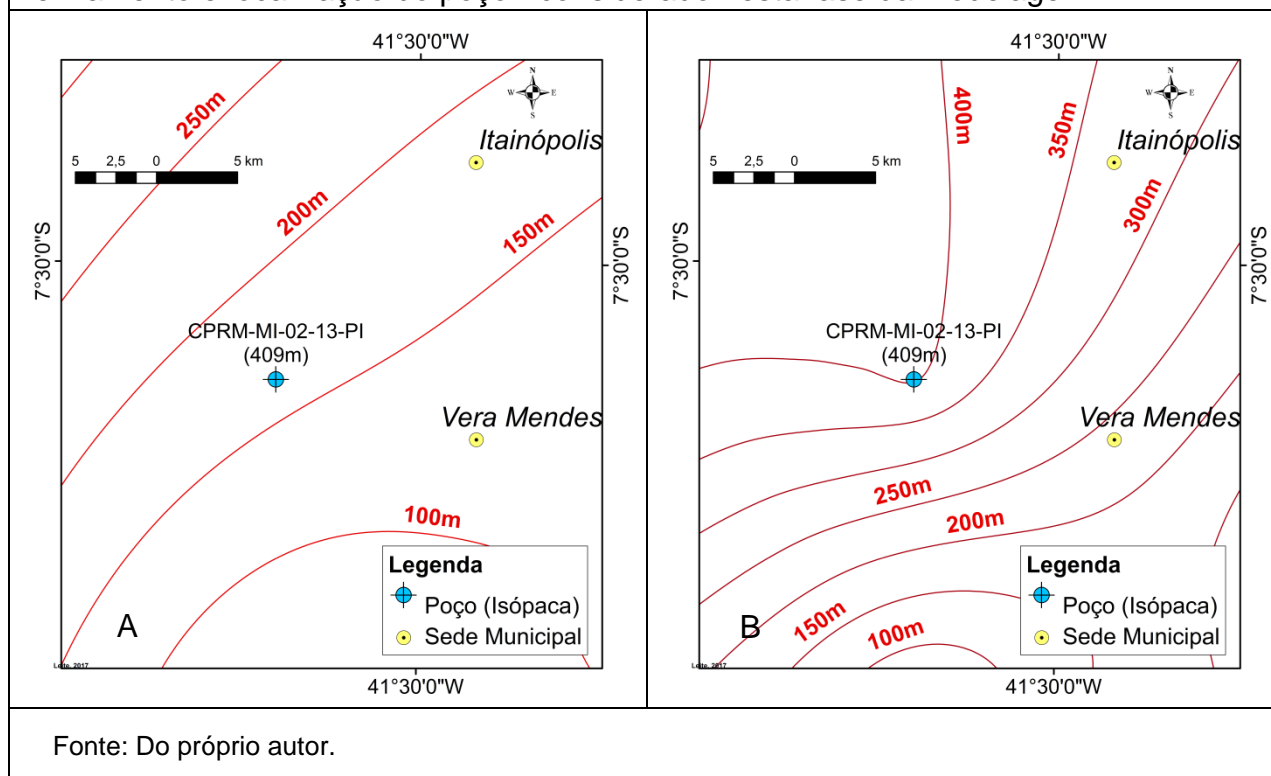
Figura 31 - Isópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas - Modelagem com Refinamento.



Neste caso o poço CPRM-MI-02-13-PI penetrou 409m no Aquífero Serra Grande, sem alcançar a base do aquífero (penetração parcial) e, portanto, não foi considerado na primeira modelagem (sem refinamento). O resultado foi que este

local específico do poço ficou delimitado pelas curvas isópacas de 150m e 200m (Figura 30-A).

Figura 32 - Efeito da inserção do poço CPRM MI-02-13-PI na modelagem com refinamento. (A) Resultado da modelagem sem refinamento e localização do poço - não considerado nesta fase da modelagem. (B) Resultado da modelagem com refinamento e localização do poço - considerado nesta fase da modelagem.



Sabendo-se que, neste ponto, com base na descrição litológica do poço CPRM MI-02-13-PI, a isópaca do Aquífero Serra Grande é de, pelo menos, 409m, esta informação foi considerada no processo de refinamento resultando em um modelo mais realista, como o da Figura 32-B.

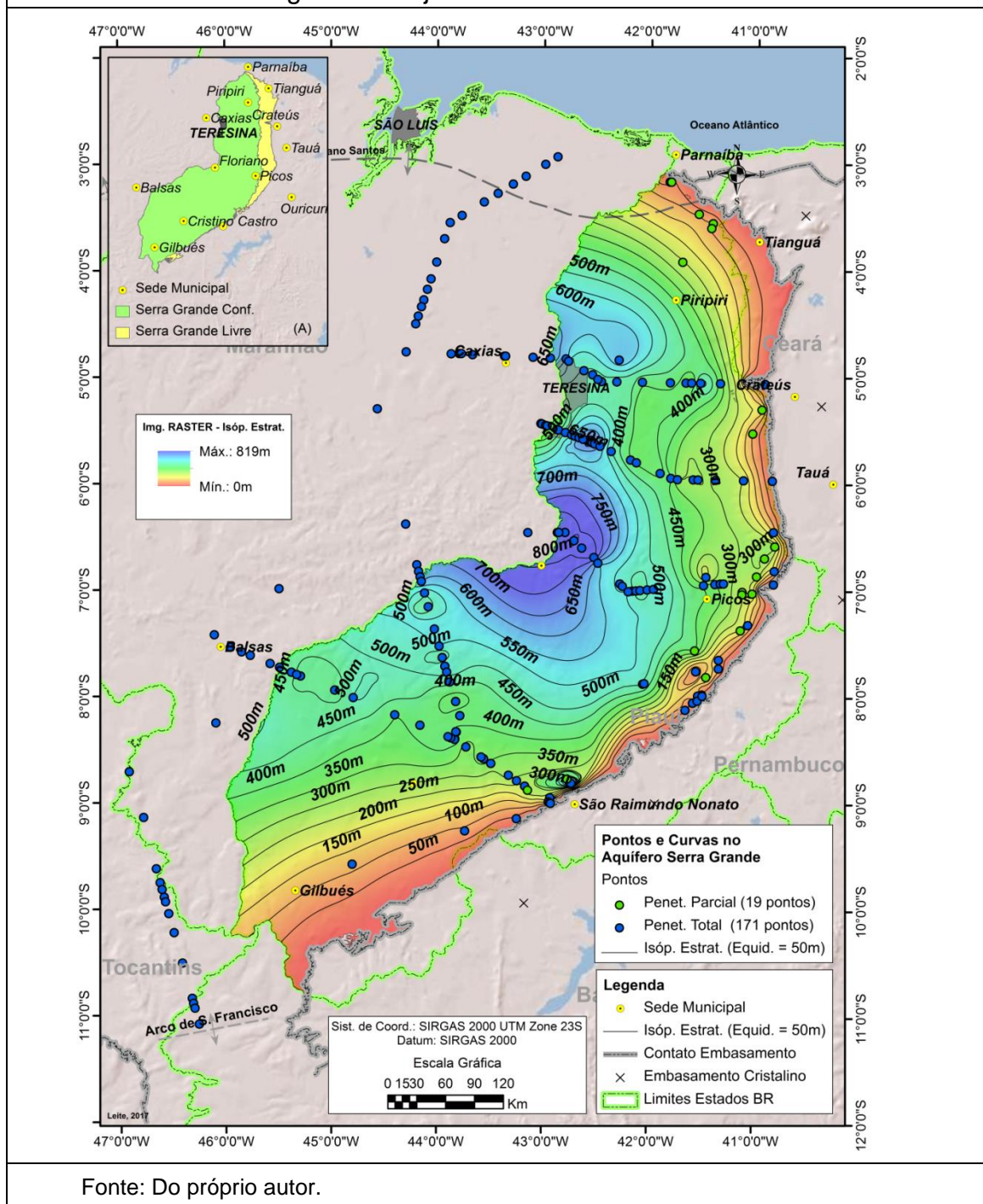
Estas considerações, bem como o exemplo do resultado do refinamento, são válidas tanto para os resultados das hidroisópacas deste aquífero como para os resultados das modelagens das isópacas e hidroisópacas do Aquífero Cabeças,

8.1.1.1.3 Com ajuste

A Figura 33 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem com Ajuste Qualitativo e as curvas de isópacas estratigráficas com equidistância de 50m na área de pesquisa, além dos 190 pontos utilizados (171 pontos com penetração total e 19 pontos com penetração parcial no Aquífero Serra Grande). O Quadro "A", na

mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área.

Figura 33 - Isópacas Estratigráficas com ajuste do Aquífero Serra Grande - Modelagem com Ajuste Qualitativo.

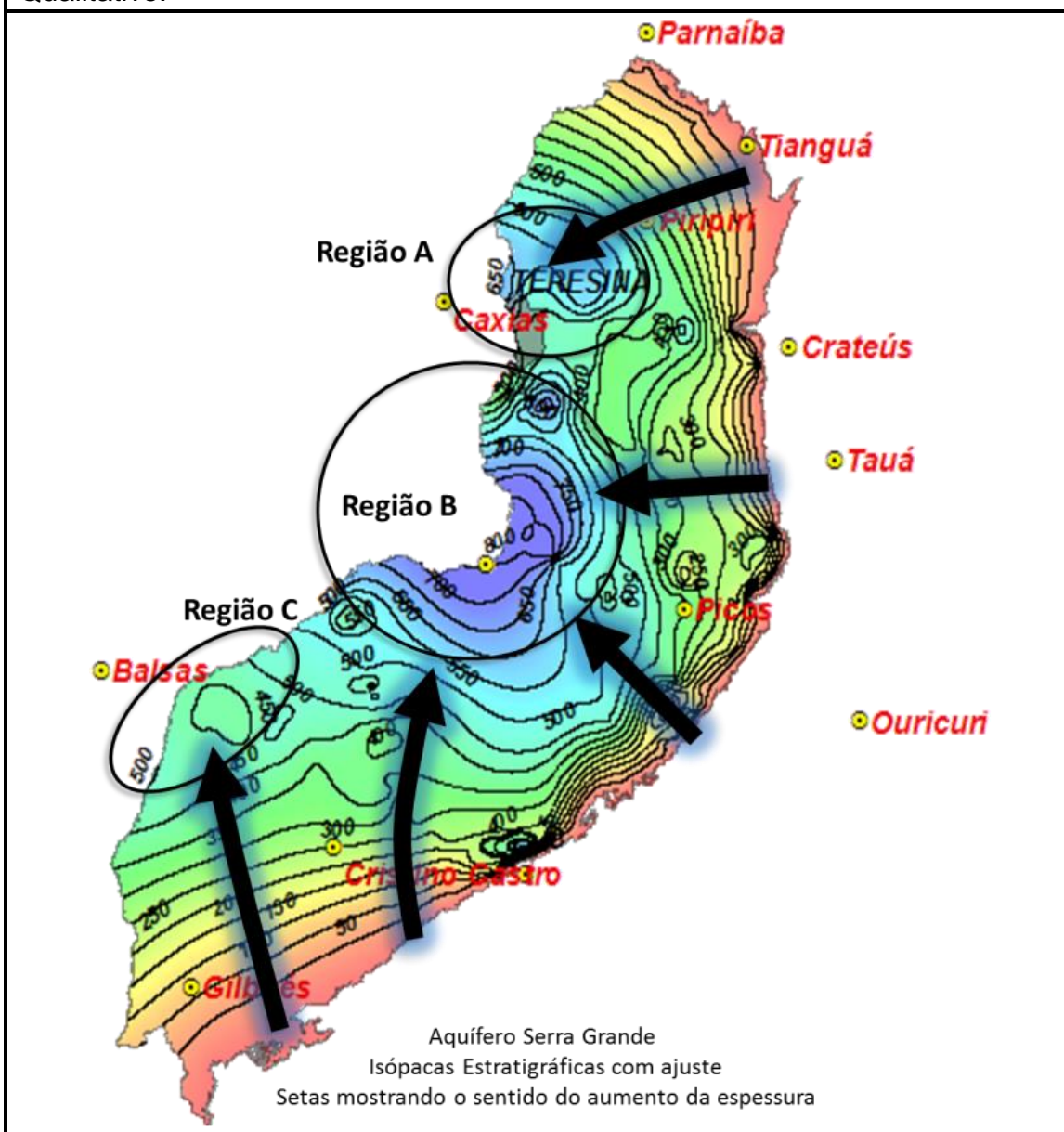


Nesta fase foram realizados apenas ajustes qualitativos nas curvas, e desta forma não existe alteração no comportamento geral das isópacas. A Figura 34

mostra as mesmas regiões da Figura 31 e os mesmos sentidos resultantes de incremento das isópacas do Aquífero Serra Grande.

A Figura 35 mostra uma situação anterior (A) e posterior ao ajuste (B), com as curvas isópacas e os pontos utilizados - com seus respectivos valores de isópacas.

Figura 34 - Isópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas - Modelagem com Ajuste Qualitativo.

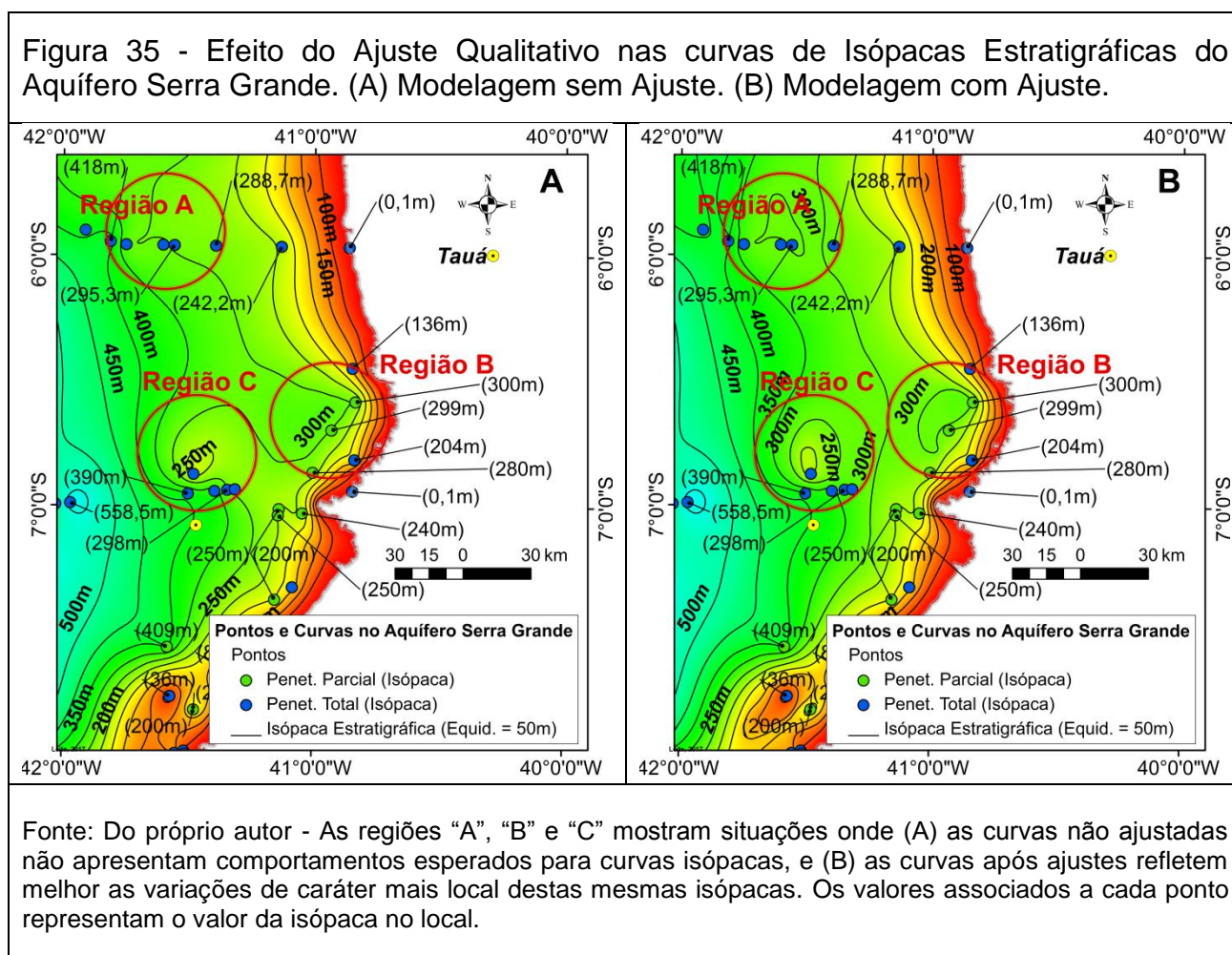


Fonte: Do próprio autor. As setas indicam as direções de incremento nos valores de isópacas.

Tomando-se como exemplo a curva isópaca de 300m na Região B Figura 35, nota-se que ela foi excessivamente deslocada para a direita até o ponto de isópaca igual a 300m. Este efeito é resultado do algoritmo da função de interpolação aplicada (função “*Topo To Raster*” no SIG) e não reflete um comportamento normal esperado de variação da espessura da unidade aquífera.

A correção deste efeito é, então, possível através do Ajuste Qualitativo da curva de 300m (Figura 35-B). Este novo resultado ajustado reflete melhor uma variação local na isópaca do aquífero. As regiões “A” e “C”, na mesma figura, mostram situações semelhantes.

Estas considerações também são válidas para todas as fases de ajustes de curvas posteriores, incluindo as isópacas e hidroisópacas do Aquífero Cabeças. Desta forma os resultados obtidos para estas operações serão apresentados a seguir sem maiores detalhamentos com respeito a estas características específicas do processo de “*Ajuste Qualitativo*”.



A Figura 35 mostra as isópacas estratigráficas ajustadas e a localização de três perfis cortando a área de pesquisa, em visualização 3D (A) e 2D (B). Os perfis em corte são mostrados, na mesma figura, em “C”, “D” e “E”.

O *Perfil SG Iso 1-1'* corta o sul da área com direção NW-SE, passando pelas sedes dos municípios de Baixa Grande do Ribeiro (com isópaca de 445m) e Alvorada do Gurguéia (com isópaca de 385m).

O pico na extremidade do *Perfil SG Iso 1-1'* à SE (Figura 36), representa o efeito da isópaca de 791m do poço estratigráfico 4SR-07-PI, nas proximidades, ao sul.

Esse poço foi construído pela CPRM, através de convênio com o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), no contexto do “*Projeto Borda Sudeste da Bacia do Parnaíba*”, na região sudoeste do Parque Nacional da Capivara (Município de São Raimundo Nonato - PI). O objetivo foi o de avaliação do potencial hidrogeológico dos aquíferos naquela região. O seu perfil litológico - construtivo é mostrado na Figura 37.

O teste de produção do 4SR-07-PI foi realizado com uma bomba HAUPT N65 (32 HP) cujos resultados são os do Quadro 8. O aquífero captado é o Serra Grande.

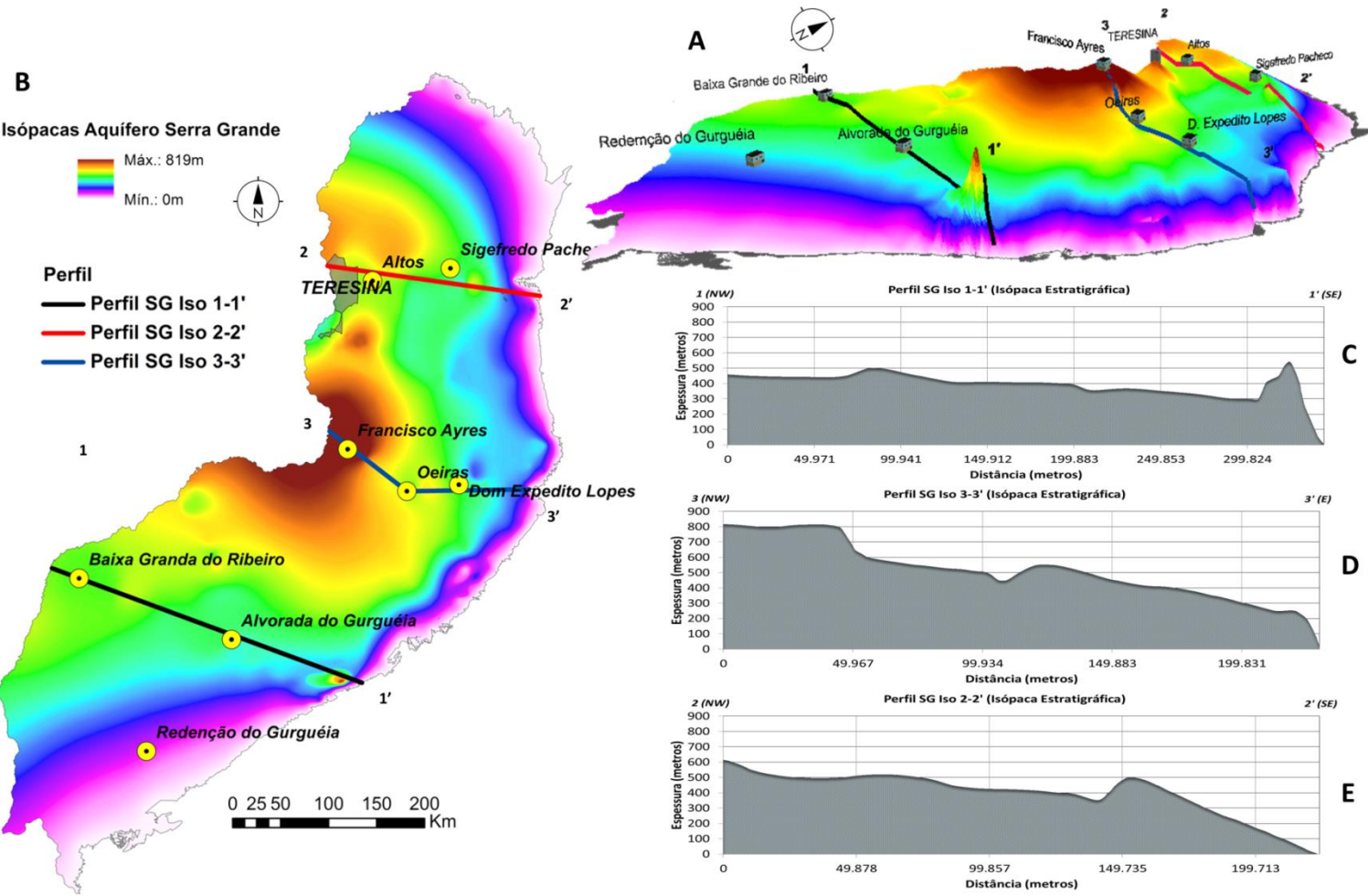
Quadro 8 - Resultados do teste de bombeamento do poço 4SR-07-PI.

Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Q (m ³ /h)	Capacidade. Específica. [(m ³ /h)/m]	Aquífero Captado
255	257,27	16,85	7,42	Serra Grande
Penetração no aquífero	Tempo bombeamento(h)	Método de medida	Início	Término
Parcial	6	Volumétrico	30/04/1999	30/04/1999
Executor				
CPRM				

Fonte: Relatório do poço 4SR-07-PI (CPRM, 1999)

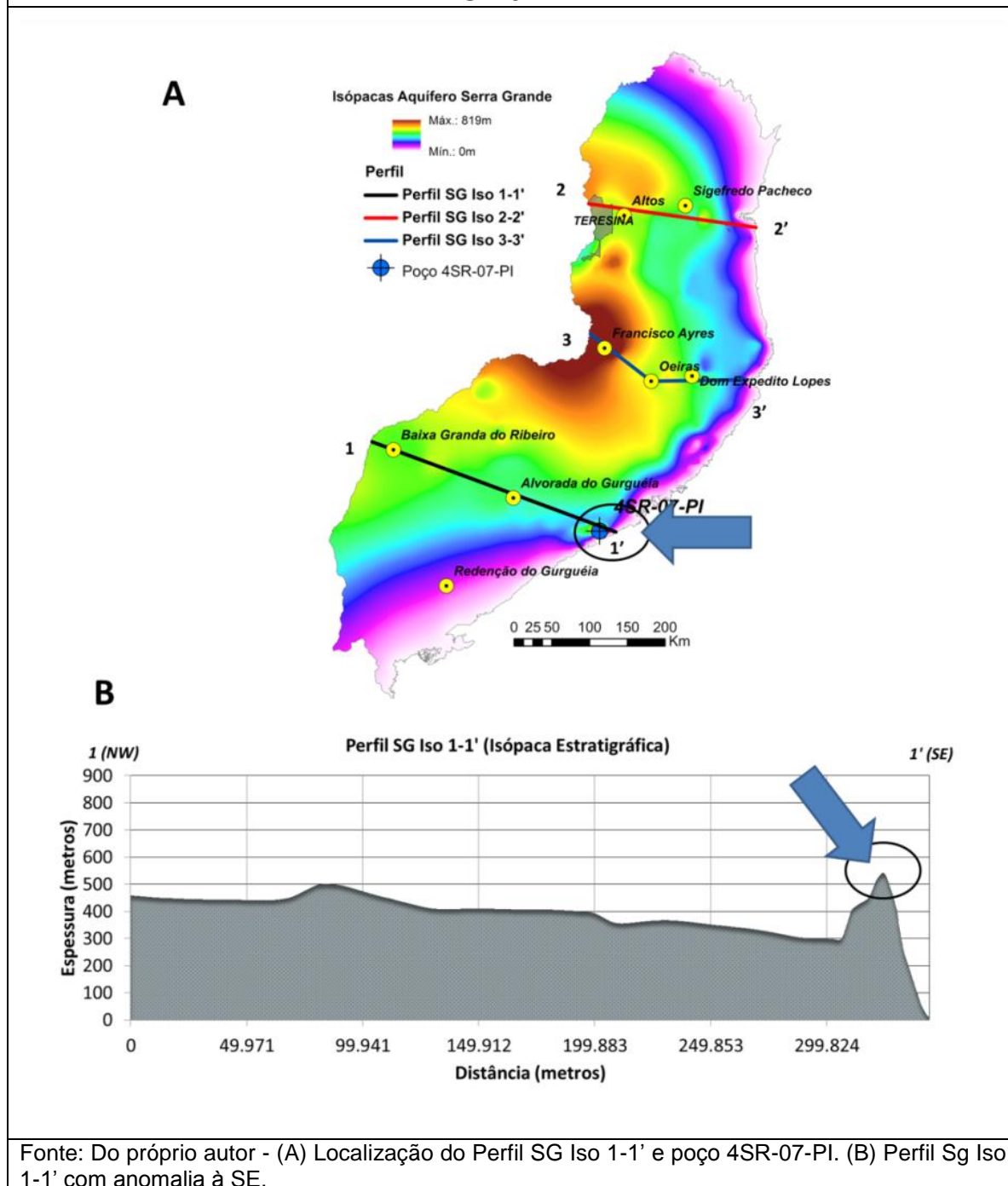
Importante ressaltar que a vazão deste poço foi limitada pela capacidade do equipamento de bombeamento, tendo em vista um rebaixamento de apenas 2,27m, enquanto o crivo da bomba encontrava-se a 294m (37m abaixo do NE). Por outro lado, o reduzido diâmetro do revestimento (8 5/8”) não permitiu o emprego de um sistema de bombeamento de maior potência, necessário em virtude da grande profundidade do nível estático (255m).

Figura 36 - Visualização 2D e 3D das isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande e perfis em corte.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 37 - Valor anômalo no Perfil SG Iso 1-1' - Efeito do poço estratigráfico 4SR-07-PI.



O relatório do poço 4SR-07-PI permite a extração de importantes informações que refletem o comportamento estrutural da área e justificam a anomalia no *Perfil SG Iso 1-1'* como transcrito abaixo.

No intervalo entre 260 e 332 metros o arenito, comumente conglomerático, assume composição mais arenosa, passando a matriz ocasionalmente argilosa e/ou níveis argilosos até aos 388 metros. A partir daí, até a profundidade final, o arenito retoma sua composição mais arenosa, traduzida pela monotonia dos gráficos de perfilagem nos perfis GAMA, SP e

RESISTIVIDADE. Todo este pacote, com 791 metros de espessura, foi atribuído à Formação Serra Grande, revelando espessamento anômalo na borda da bacia (CPRM, 1999, p. 7).

[...] a espessura anômala do pacote sedimentar na região do poço, como demonstrado na perfuração (953 metros sem atingir o Embasamento Cristalino), sugere a presença de estruturas tectônicas do tipo 'grabens', [...] (CPRM, 1999, p. 10).

Estas estruturas do tipo grabeniformes já haviam sido constatadas nas proximidades da borda da bacia e nas proximidades ao sul da localização do poço 4SR-07-PI. A Figura 39-A apresenta a localização da seção final do perfil geológico V-V' de Góes, Travassos e Nunes (1993, p. 43i), do perfil de isópacas "*Perfil SG Iso 1-1*" e do poço 4SR-07-PI. A Figura 39-B mostra o perfil V-V' geológico interpretado pelos autores citados e adaptado pelo próprio autor.

A estrutura associada à anomalia no Perfil SG Iso 1-1' e ao poço 4SR-07-PI (espessura anômala do Aquífero Serra Grande), é assinalada na Figura 39-B por um círculo azul. É importante ressaltar a presença de outra estrutura significativa no início do mesmo perfil geológico V-V'.

O *Perfil SG Iso 2-2'* (Figura 36-E) corta o norte da área com direção NW-SE, iniciando na capital Teresina (com isópaca de 621m), passando ao norte da sede do município de Altos (com isópaca de 515m) e ao sul da sede de Sigefredo Pacheco (com isópaca de 403m), e terminando no contato da bacia com o embasamento, à SE.

O Perfil SG Iso 3-3' (figura36-D) corta o centro da área com direção NW-SE, passando pela sede de Francisco Ayres, onde apresenta os maiores valores de isópacas de toda a área de pesquisa (819m), até a sede de Oeiras (com isópaca de 450m). Deste ponto toma a direção O-E passando pela sede de Dom Expedito Lopes (com isópaca de 410m) até o limite da bacia com o embasamento.

8.1.1.1.4 Classificação

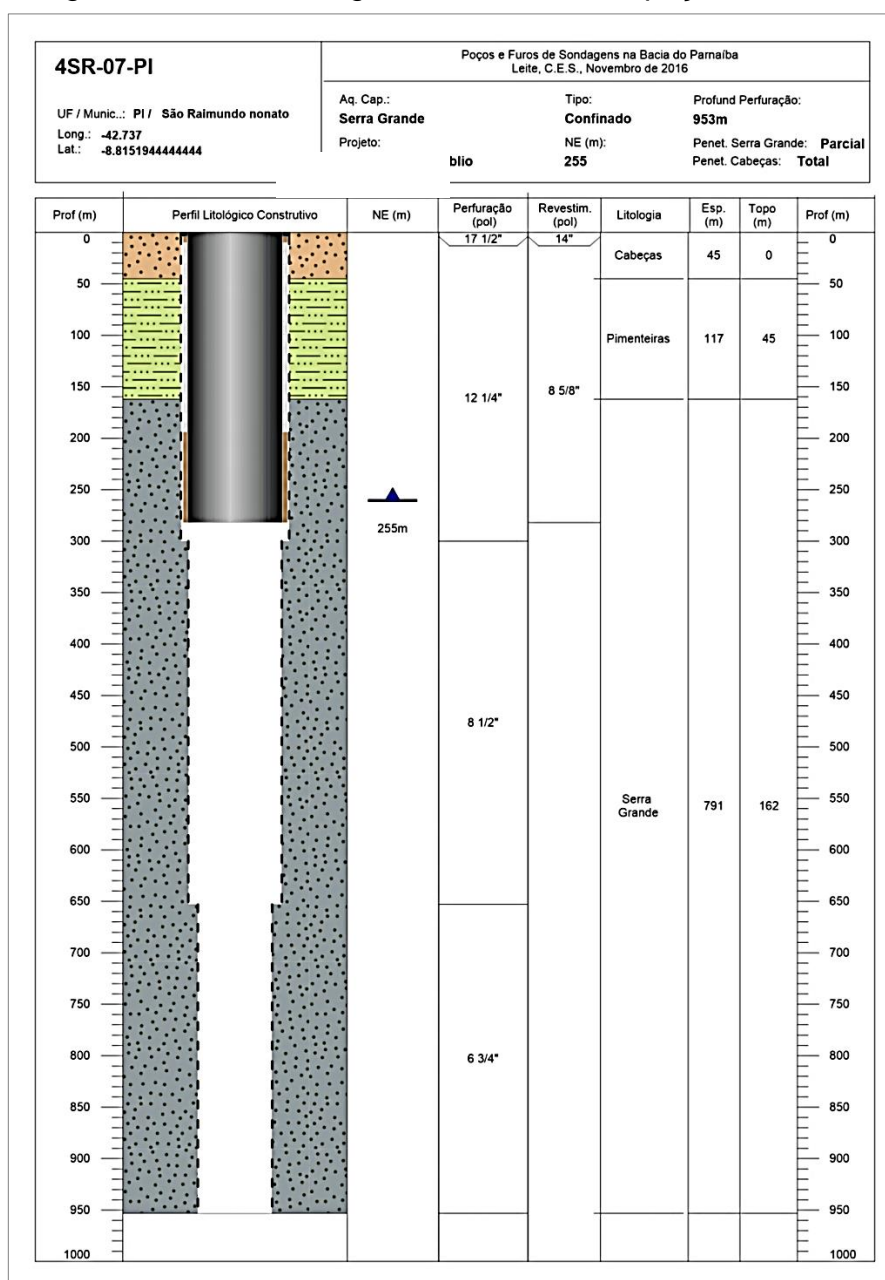
O resultado da classificação aplicada nas isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande, com o objetivo de construção posterior dos cenários de *Vocação Hidrogeológica*, é apresentado na Figura 40. As seis classes definidas e os respectivos intervalos são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Classes aplicadas nas isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo (m)	Classe	Intervalo (m)
B1	0 - <50	A1	200 - <400
B2	50 - <100	A2	400 - <600
B3	100 - <200	A3	600 - 819

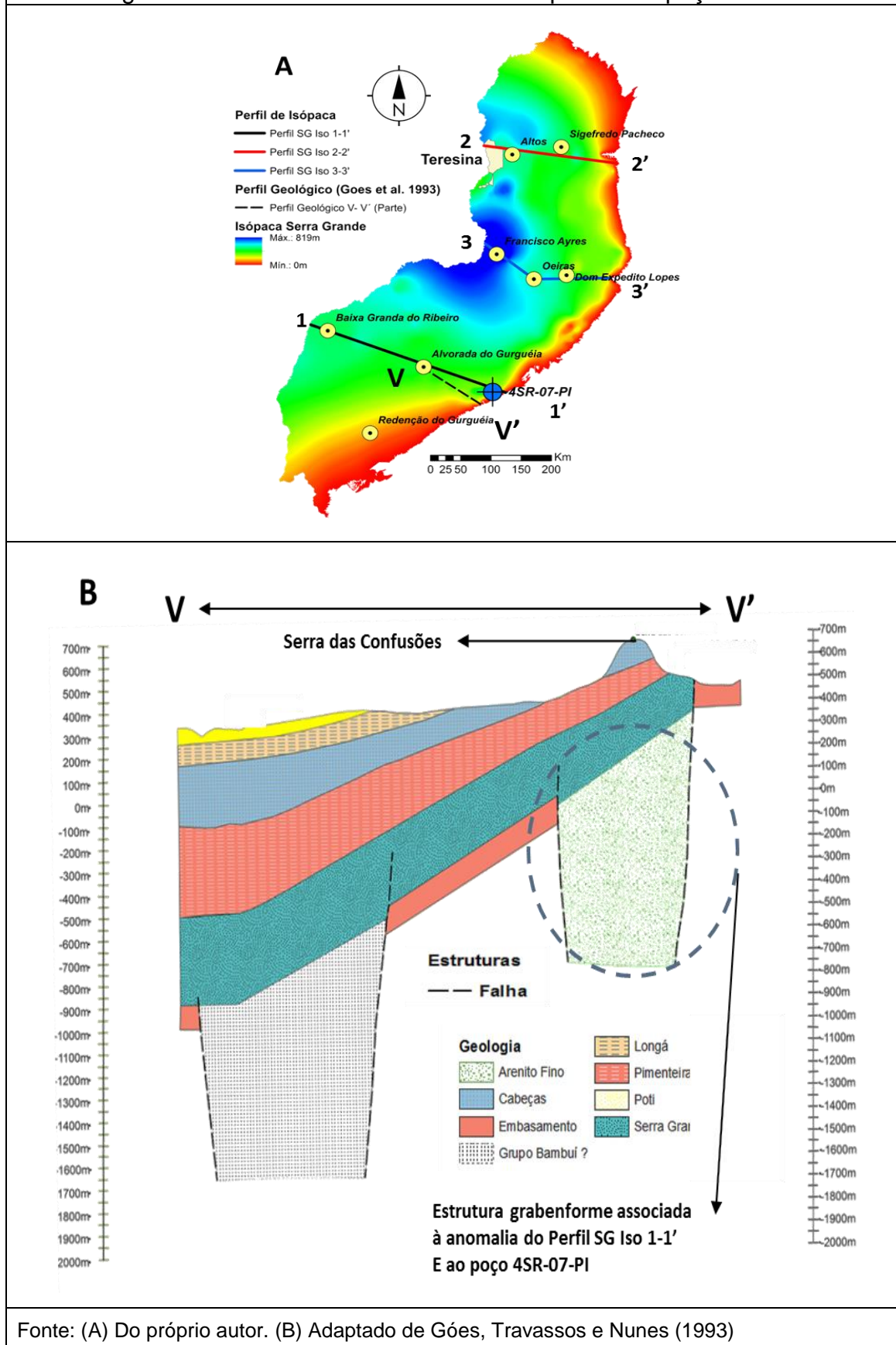
Fonte: Do próprio autor.

Figura 38 - Perfil litológico - construtivo do poço 4SR-07-PI



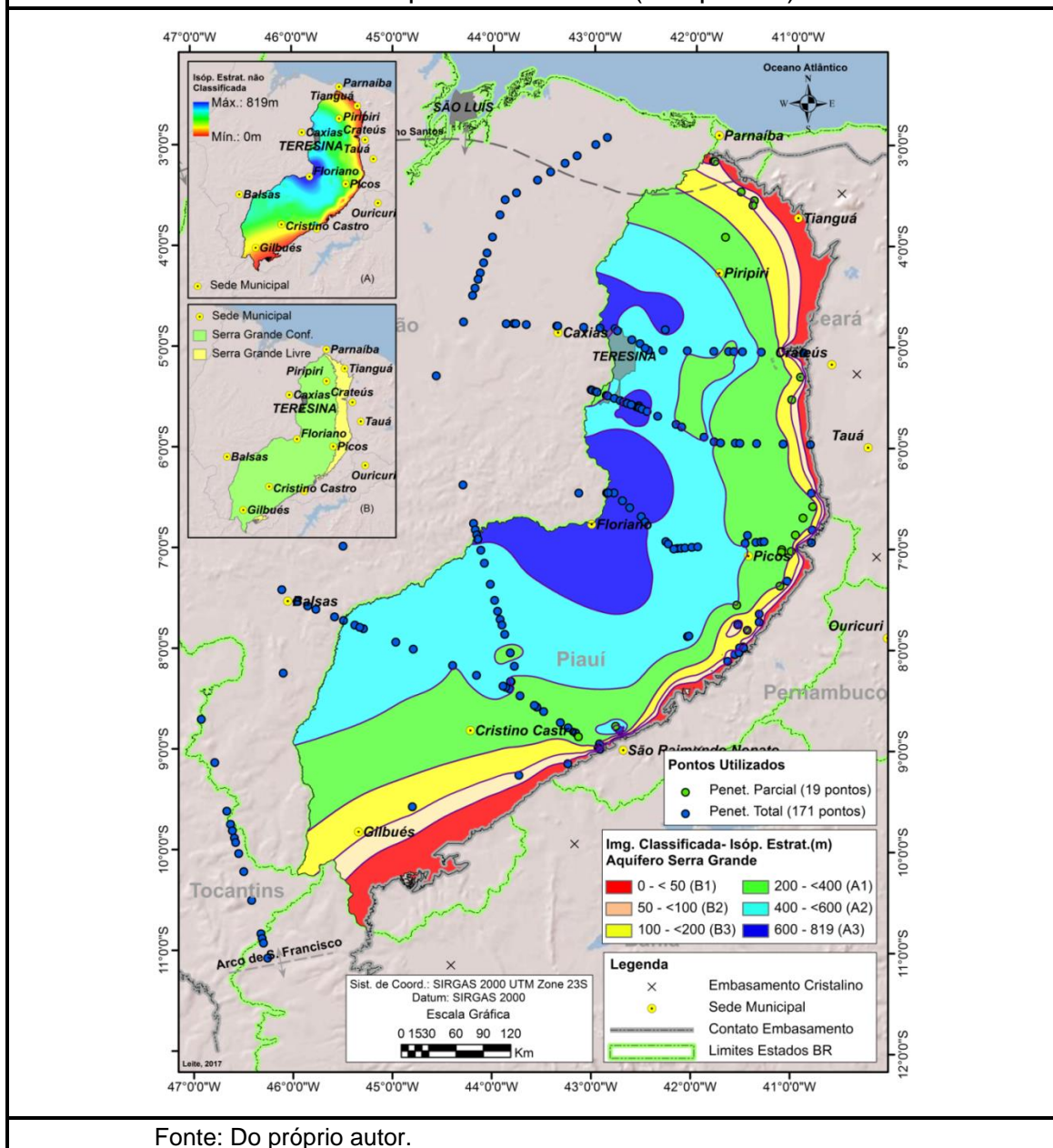
Fonte: Banco de dados STRATER do próprio autor - Dados originais do relatório do poço (CPRM, 1999).

Figura 39 - (A) Localização do Perfil SG Iso 1-1' e poço 4SR-07-PI. (B) parte do perfil geológico interpretado por Góes, Travassos e Nunes (1993) mostrando a estrutura grabenforme associada à anomalia do perfil e ao poço 4SR-07-PI.



Fonte: (A) Do próprio autor. (B) Adaptado de Góes, Travassos e Nunes (1993)

Figura 40 - Isópacas Estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande classificadas e pontos utilizados (190 pontos)



Fonte: Do próprio autor.

8.1.1.2 Hidroisópacas Estratigráficas

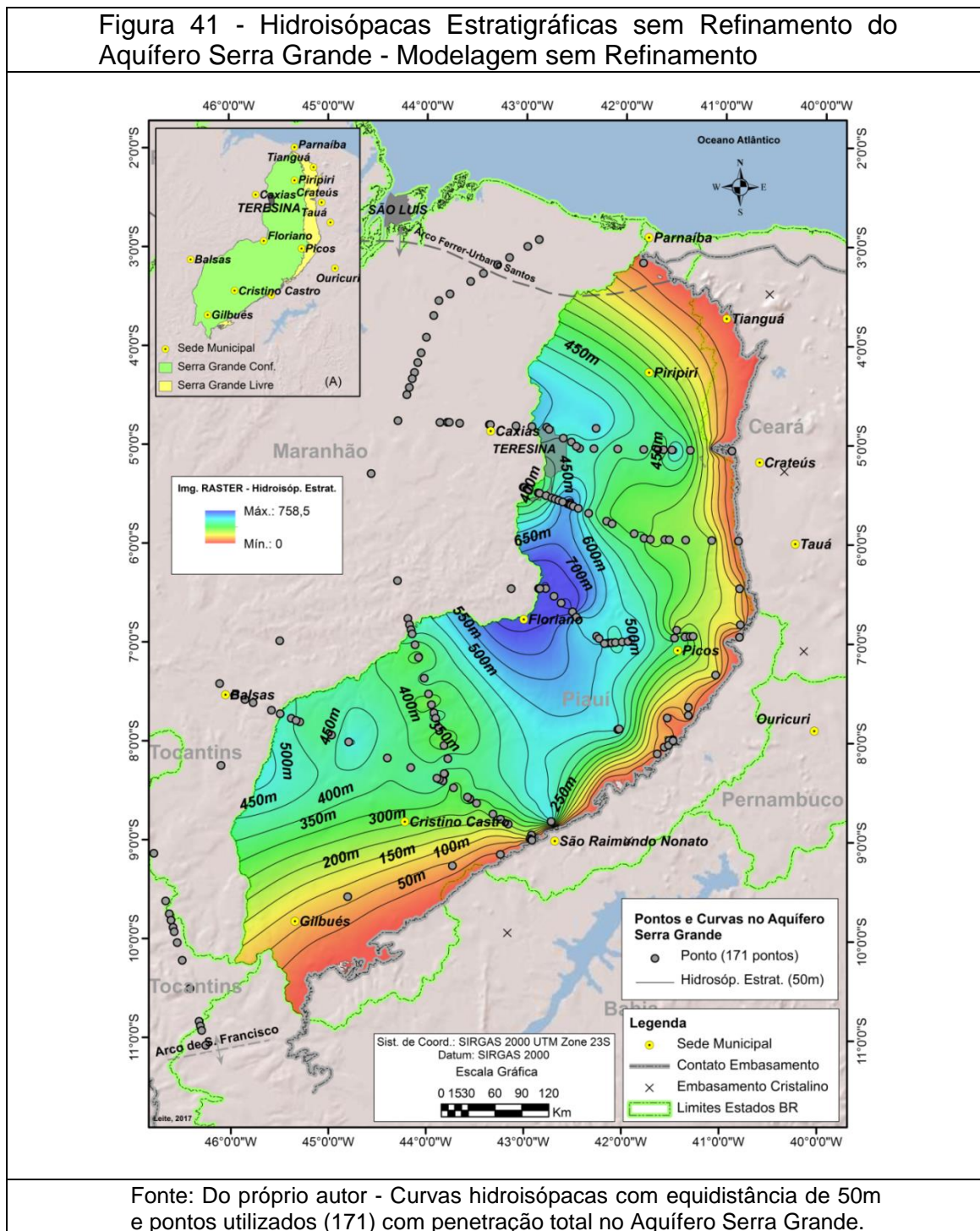
A seguir são apresentados os resultados das modelagens para as Hidroisópacas Estratigráficas.

8.1.1.2.1 Sem refinamento

A Figura 41 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem sem refinamento e as curvas de hidroisópacas estratigráficas com equidistância de 50m

na área de pesquisa, além dos 171 pontos utilizados (com penetração total no Aquífero Serra Grande). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área.

Figura 41 - Hidroisópacas Estratigráficas sem Refinamento do Aquífero Serra Grande - Modelagem sem Refinamento

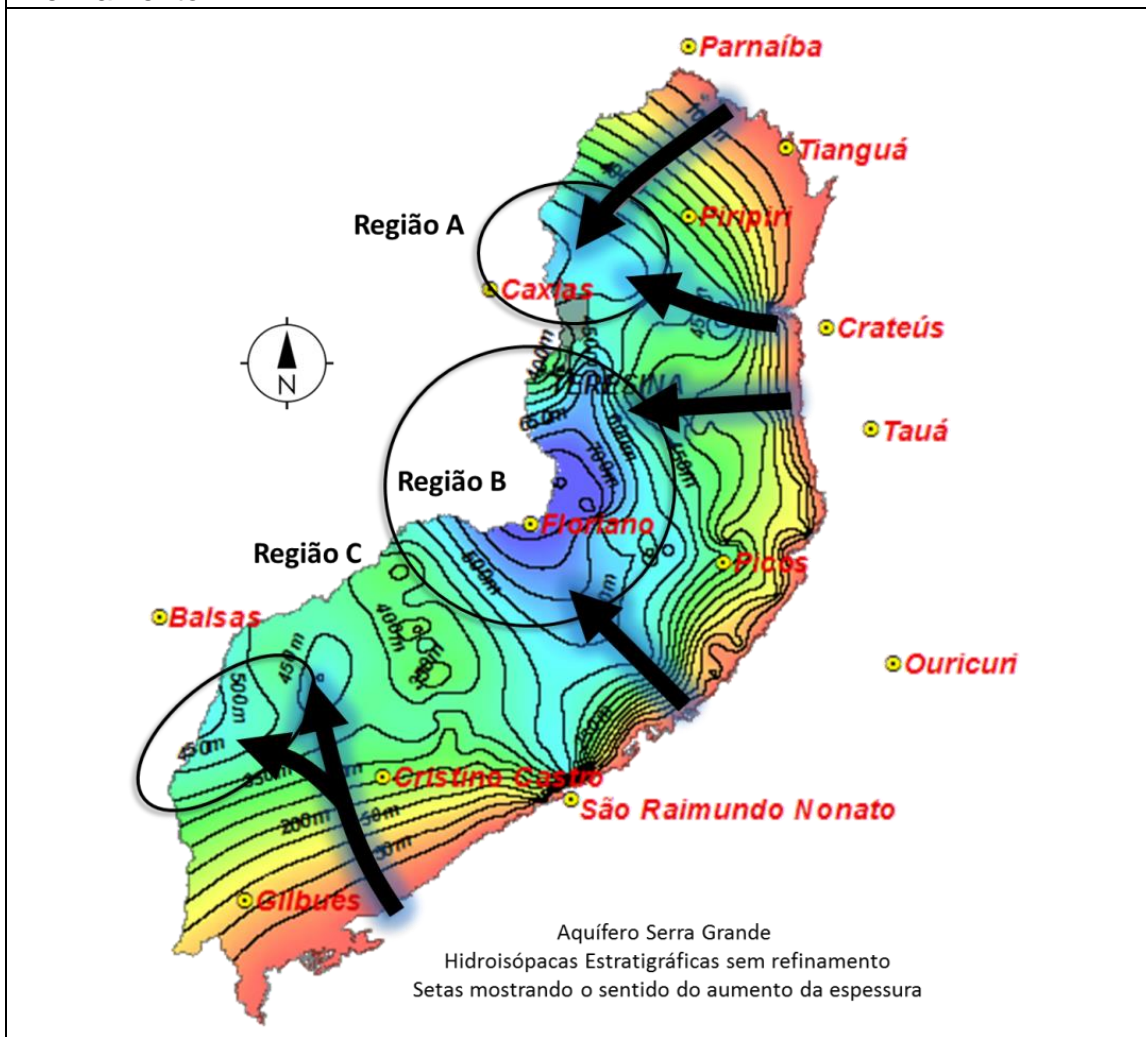


As isópacas *apresentaram variação* de 0m na borda da bacia (contato com o embasamento) até o máximo de 758,5m na região centro-oeste da área, nas

proximidades da sede do município de Floriano, ao sul de Teresina Figura 42 (Região B). Nas proximidades de Teresina, ao norte, a isópaca mostra o valor de 575m (Região A),

O incremento dos valores das hidroisópacas se dá de forma semelhante às isópacas estratigráficas, de forma gradual e preferencialmente na direção de duas regiões (A e B). No sul da área a hidroisópaca alcançou o valor máximo de 511m, nas proximidades e ao sul, da sede do município de Balsas, no Estado do Maranhão (Região C). Nesta região a tendência do aumento das hidroisópacas do Aquífero Serra Grande se dá, como as isópacas deste aquífero, para fora da área de pesquisa.

Figura 42 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das Hidroisópacas - Modelagem sem Refinamento.

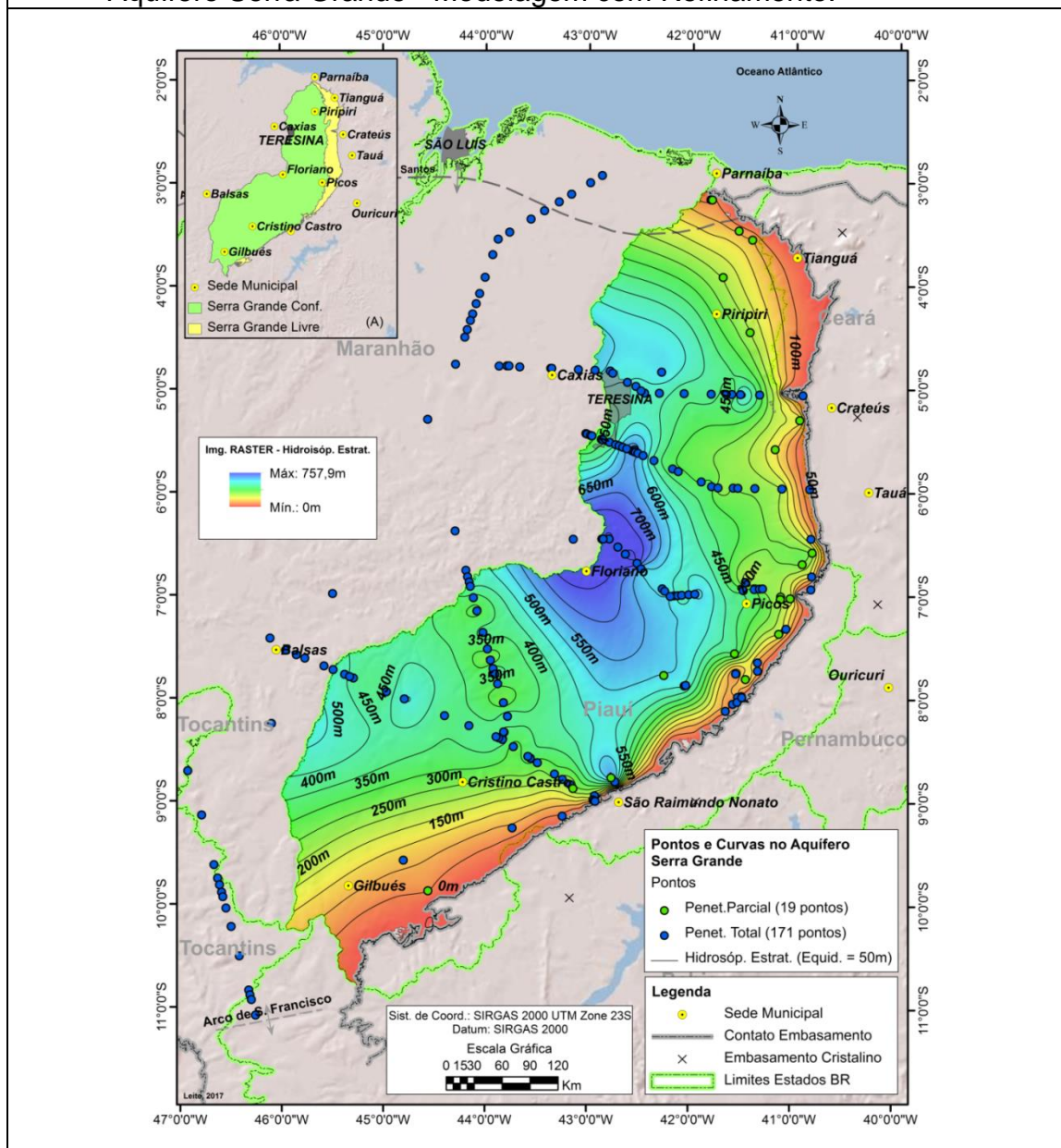


Fonte: Do Próprio autor. As setas indicam as direções de incremento nos valores de hidroisópacas.

8.1.1.2.2 Com refinamento

A Figura 43 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem com refinamento e as curvas de hidroisópacas estratigráficas com equidistância de 50m na área de pesquisa, além dos 190 pontos utilizados (171 pontos com penetração total e 19 pontos com penetração parcial no Aquífero Serra Grande – APÊNDICE B). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área.

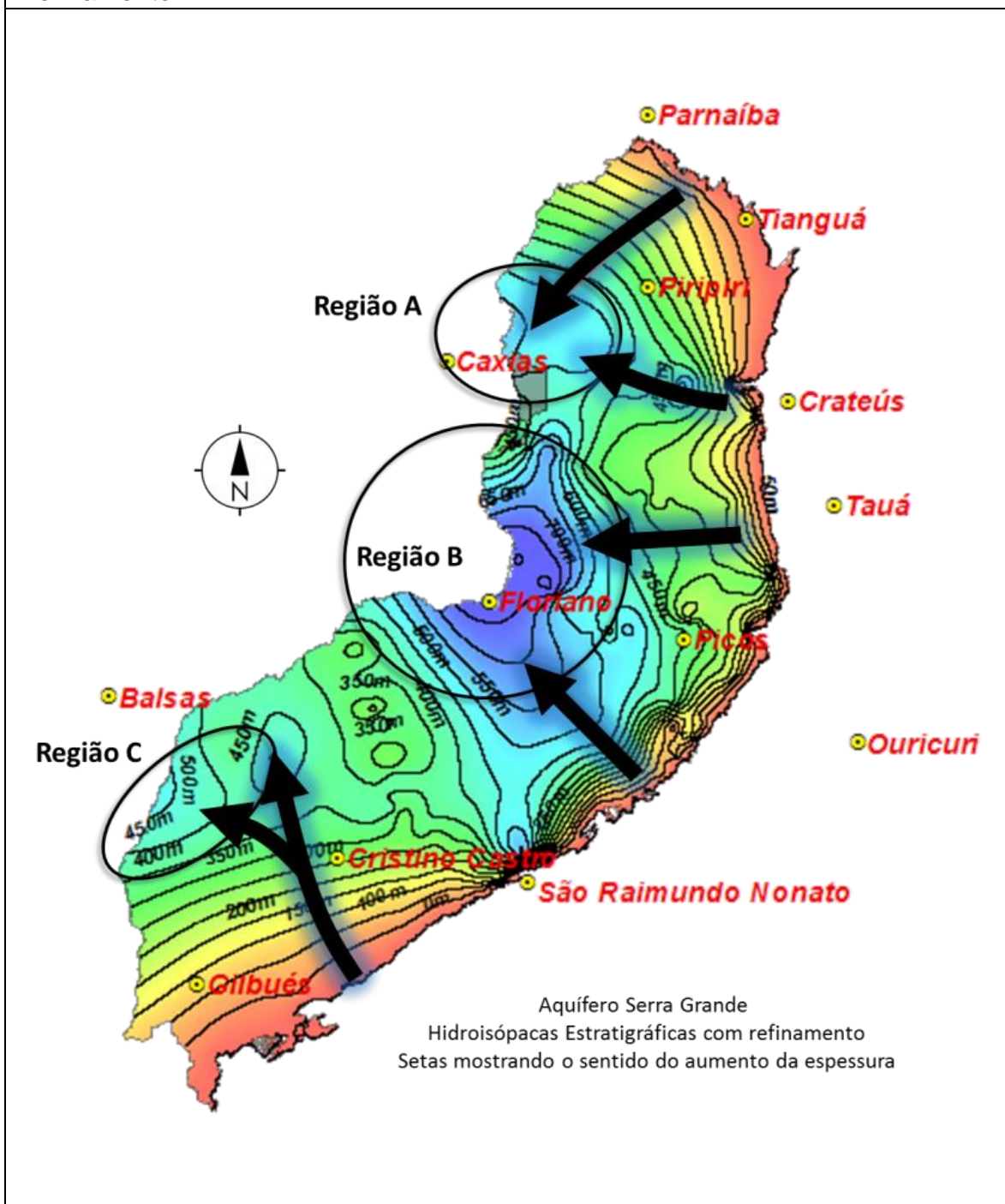
Figura 43 - Hidroisópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Serra Grande - Modelagem com Refinamento.



Fonte: Do próprio autor - Curvas hidroisópacas com equidistância de 50m e pontos utilizados (190) com penetração total e parcial no Aquífero Serra Grande.

As hidroisópacas apresentaram variação de 0m na borda da bacia (contato com o embasamento) até o máximo de 757,9m na região centro-oeste da área, ao norte da sede de Floriano (Região B na Figura 44).

Figura 44 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das Hidroisópacas - Modelagem com Refinamento.



Fonte: Do Próprio autor. As setas indicam as direções de incremento nos valores de hidroisópacas.

O incremento, como as isópacas deste aquífero, também se dá de forma gradual e preferencialmente na direção de duas regiões (A e B na Figura 44).

No sul da área a hidroisópaca máxima, como a isópaca, também é de 511m, nas proximidades da sede do município de Balsas, ao sul, no Estado do Maranhão (Região C na Figura 44). Da mesma forma que na situação das hidroisópacas sem refinamento, nesta região a tendência do incremento das hidroisópacas se dá para fora da área de pesquisa.

As considerações sobre a inclusão de novos pontos no processo de refinamento são as mesmas discutidas no Tópico 8.1.1.1.2.

8.1.1.2.3 Com ajuste

A Figura 45 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem com Ajuste Qualitativo e as curvas de hidroisópacas estratigráficas com equidistância de 50m na área de pesquisa e os 190 pontos utilizados (171 pontos com penetração total e 19 pontos com penetração parcial no Aquífero Serra Grande). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área.

Da mesma forma que para as isópacas ajustadas, nesta fase são realizados apenas ajustes qualitativos nas curvas sem implicar em alterações no comportamento geral das hidroisópacas. A Figura 44 mostra as mesmas regiões da Figura 42 com os mesmos resultados para os sentidos de incrementos das hidroisópacas do Aquífero Serra Grande.

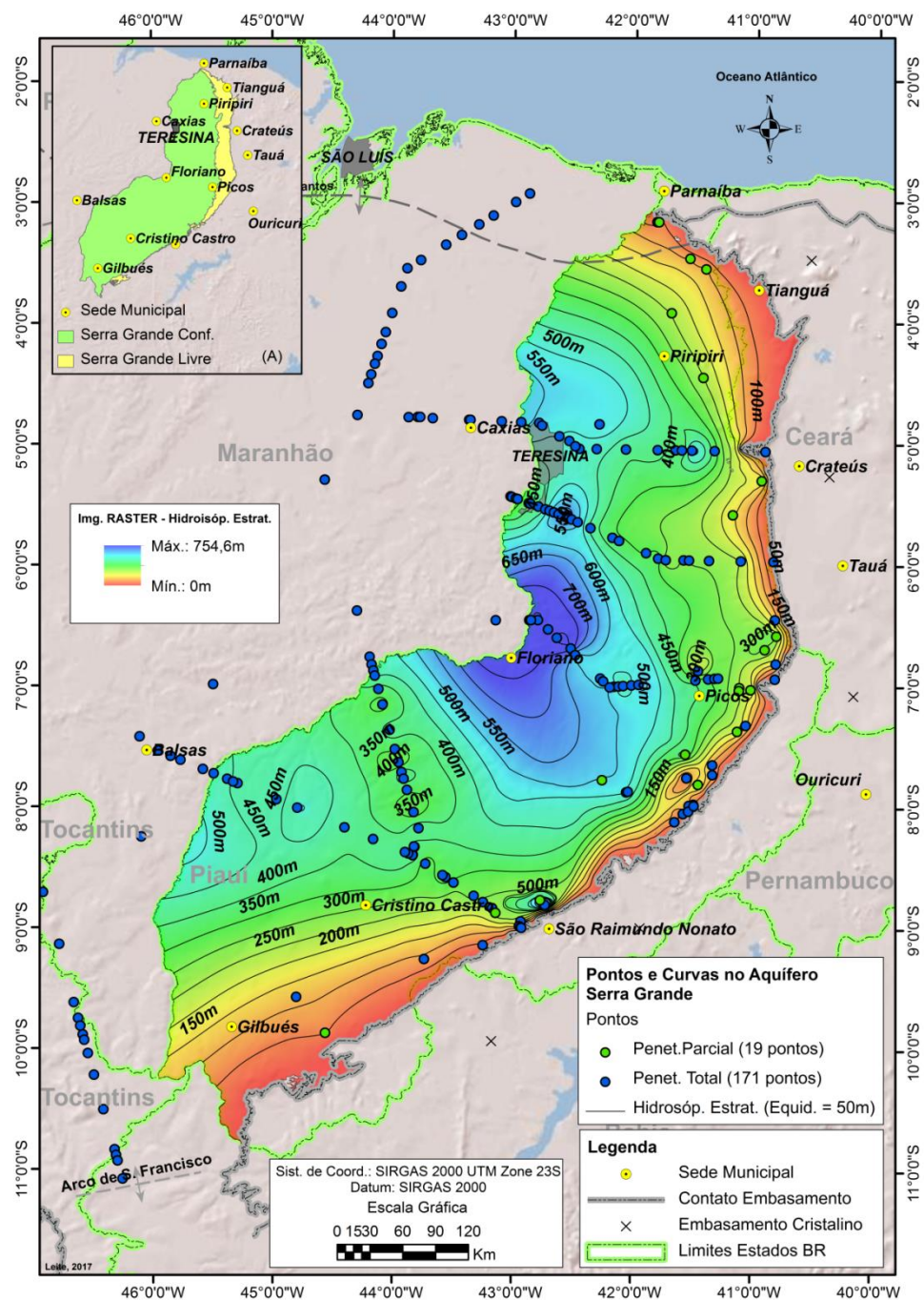
As considerações a respeito dos ajustes qualitativos das curvas são as mesmas discutidas no Tópico 8.1.1.1.3.

A Figura 47 mostra as hidroisópacas ajustadas e a localização de três perfis cortando a área de pesquisa em visualização 2D (em A) e 3D (em B). Os perfis em corte são mostrados na mesma figura em “C”, “D” e “E”.

Estes perfis têm mesmas localizações e direções que os perfis das isópacas na Figura 36.

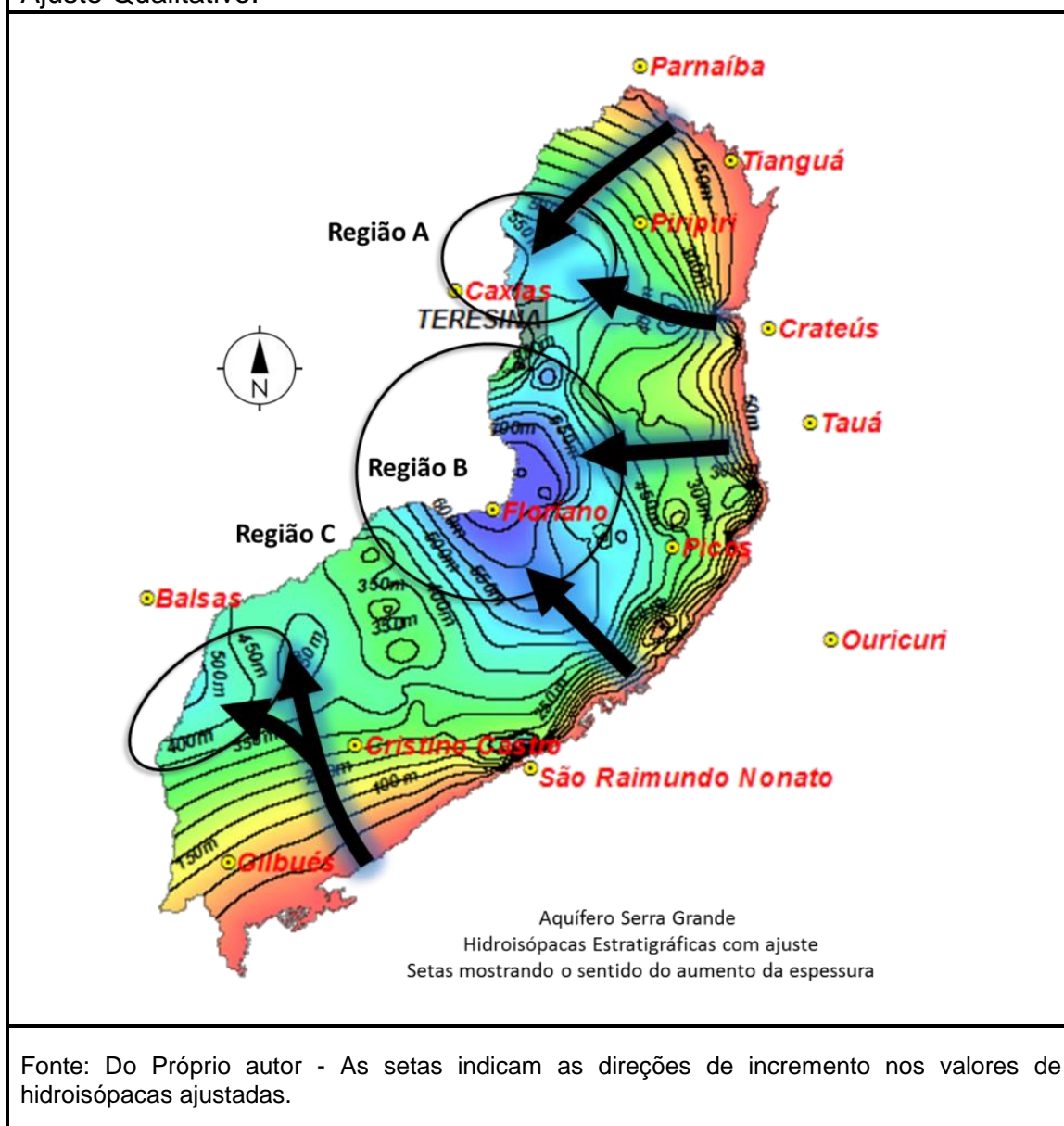
.O Perfil SG Hiso 1-1', no sul da área, inicia à NW com hidroisópaca de 464m e decresce no sentido da borda da bacia, com valores de 444m na sede de Baixa Grande do Ribeiro e 388m na sede de Alvorada do Gurguéia.

Figura 45 - Hidroisópacas Estratigráficas com Ajuste Qualitativo do Aquífero Serra Grande - Modelagem com Ajuste Qualitativo.



Fonte: Do próprio autor - Curvas hidroisópacas com equidistância de 50m e pontos utilizados (190) com penetração total e parcial no Aquífero Serra Grande.

Figura 46 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das Hidroisópacas - Modelagem com Ajuste Qualitativo.

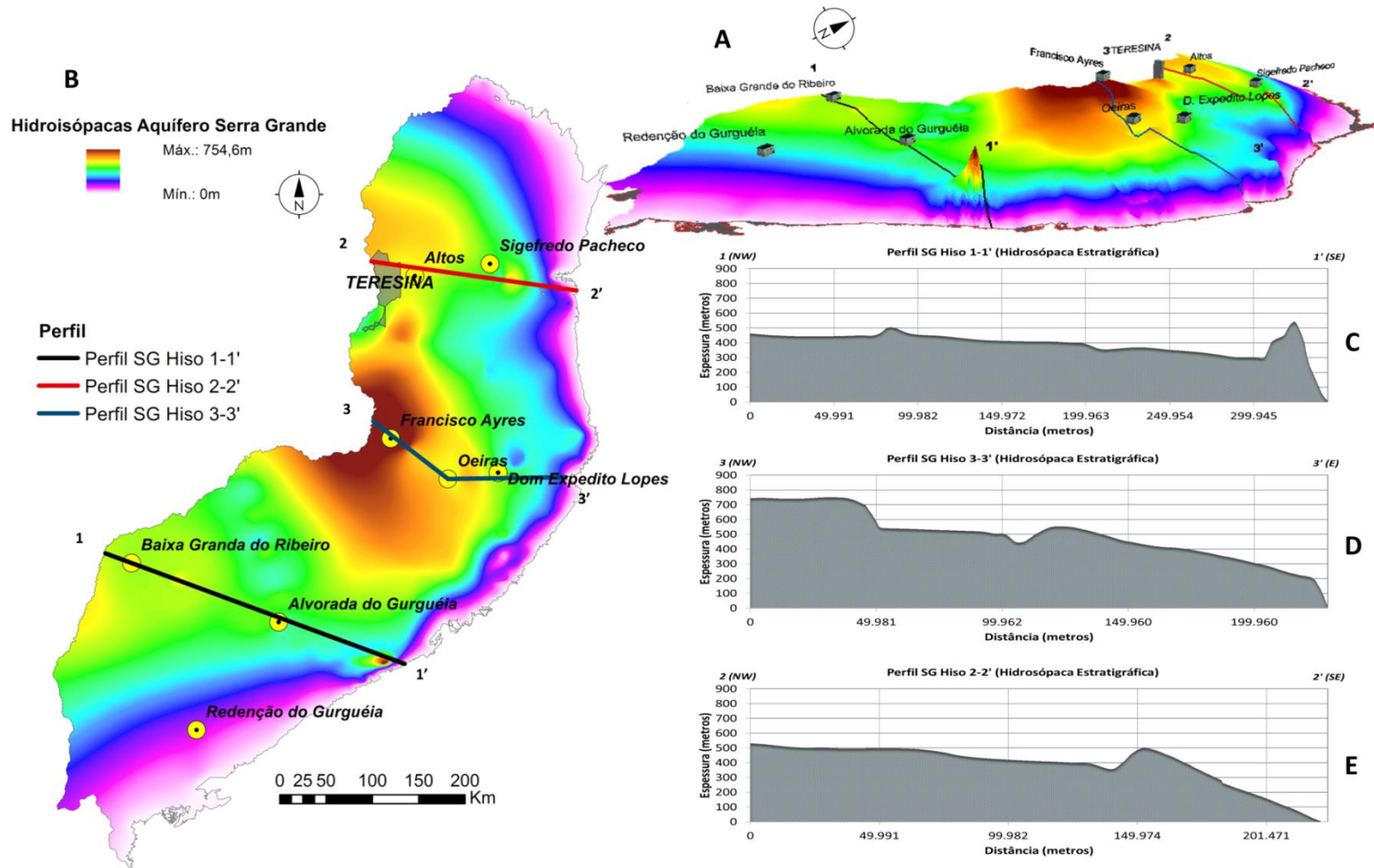


Fonte: Do Próprio autor - As setas indicam as direções de incremento nos valores de hidroisópacas ajustadas.

O valor anômalo a SE deste perfil (Figura 48) deve-se a proximidade do poço 4SR-07-PI, ao sul, com hidroisópacas de 791m, idêntica a sua isópacas. O valor igual de isópacas e hidroisópacas do Aquífero Serra Grande, para este poço, decorre do fato de não ter havido registro de ocorrência de rochas vulcânicas nesta perfuração (perfil litológico do poço na Figura 38).

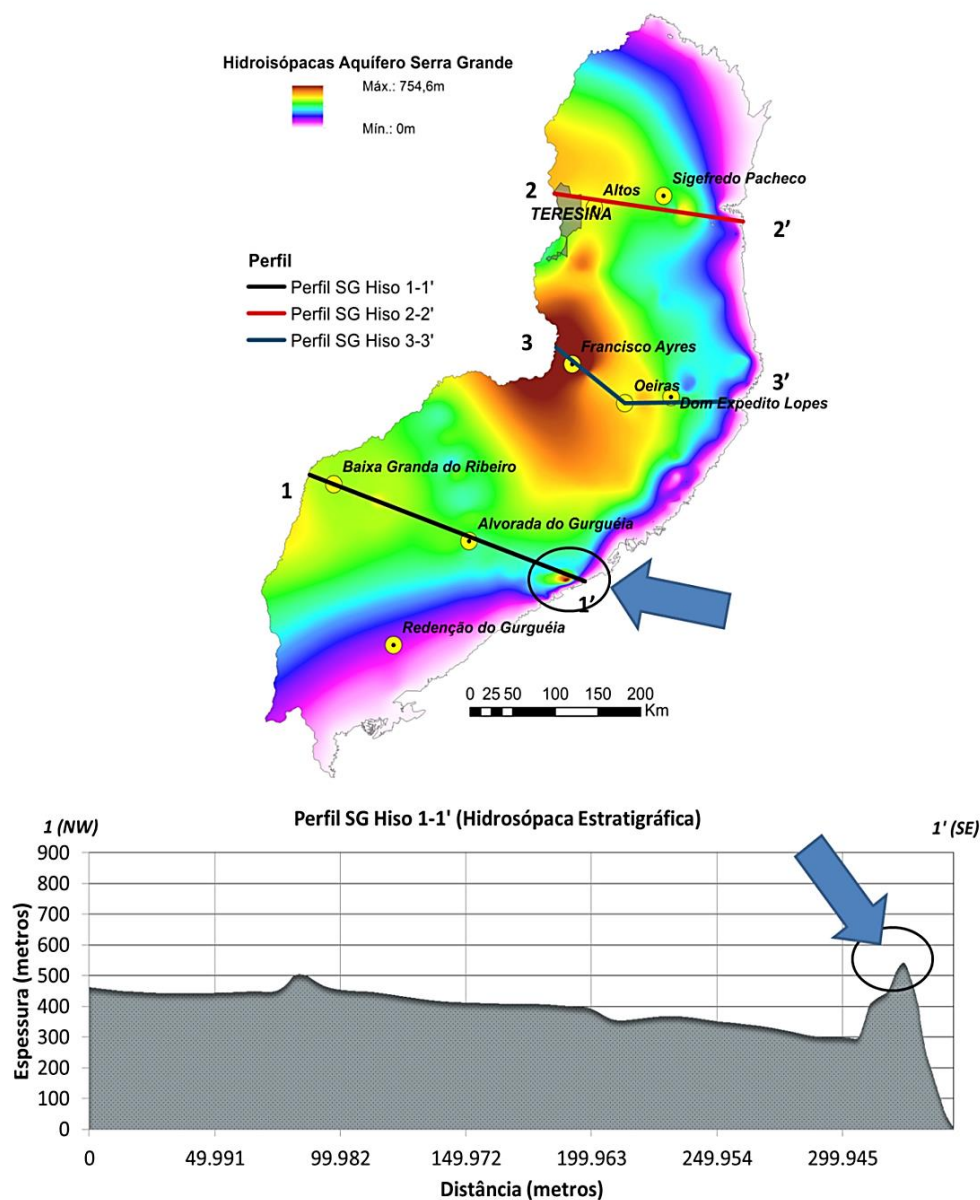
As considerações sobre o poço 4SR-07-PI, bem como sobre as ocorrências de estruturas do tipo grabeniformes nesta região, foram discutidas no Tópico 8.1.1.1.3.

Figura 47 - Visualização 2D e 3D das hidroisópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande e perfis em corte.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 48 - Valor anômalo no Perfil SG Hiso 1-1' justificado pelo poço estratigráfico 4SR-07-PI.

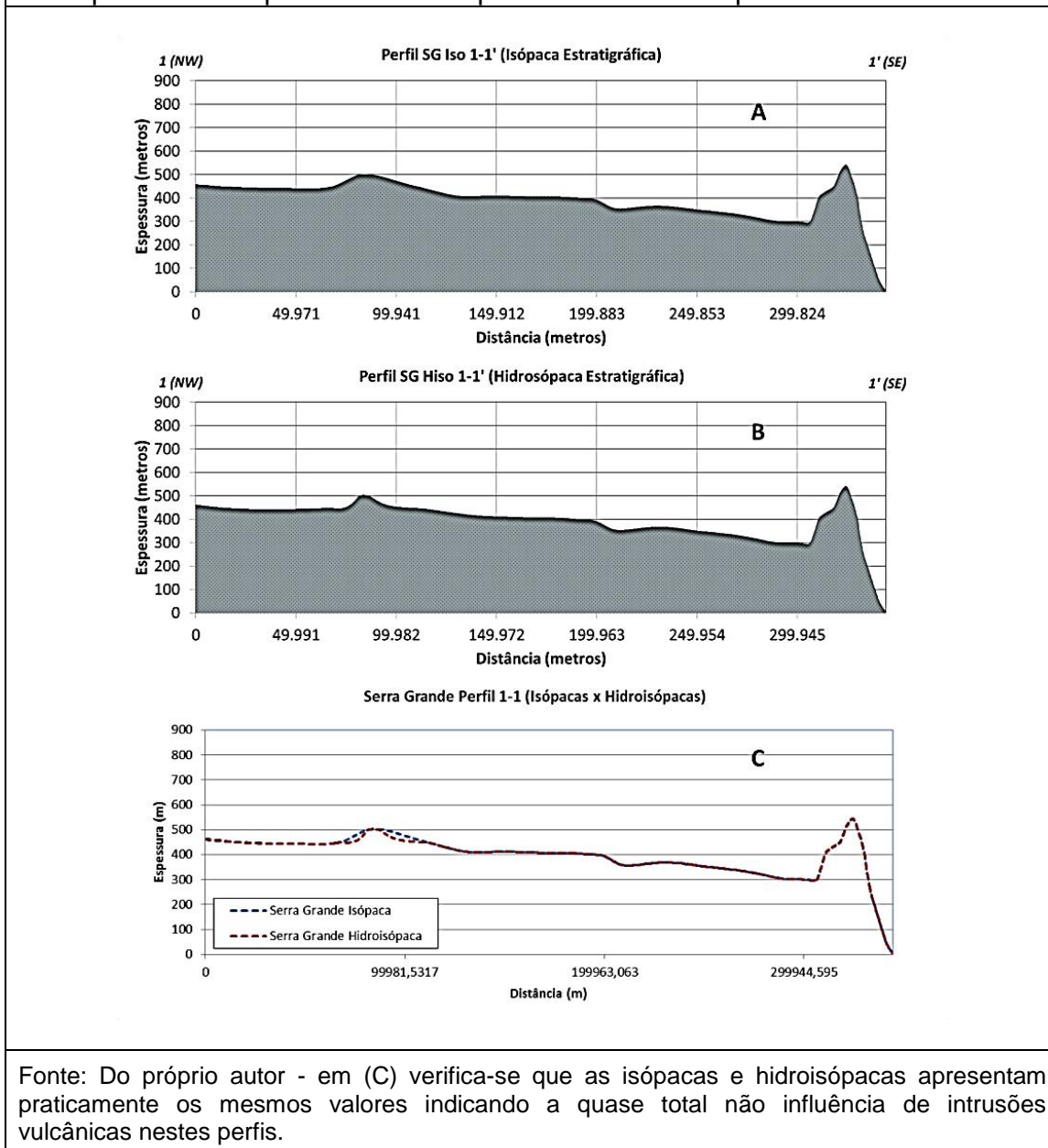


Fonte: Do próprio autor - (A) Localização do Perfil SG Hiso 1-1' e poço 4SR-07-PI. (B) Perfil Sg Hiso 1-1' com anomalia a SE.

A análise conjunta do Perfil SG Iso 1-1' (isópaca) e do Perfil SG Hiso 1-1' (hidroisópaca), mostra que nesta região não existe influência clara de intrusões de

vulcânicas, uma vez que as duas curvas possuem valores de isópacas e hidroisópacas praticamente idênticas (Figura 49).

Figura 49 - Análise conjunta do (A) Perfil SG Iso 1-1' de isópacas e do (B) Perfil SG Hiso 1-1' de hidroisópacas do Aquífero Serra Grande. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.



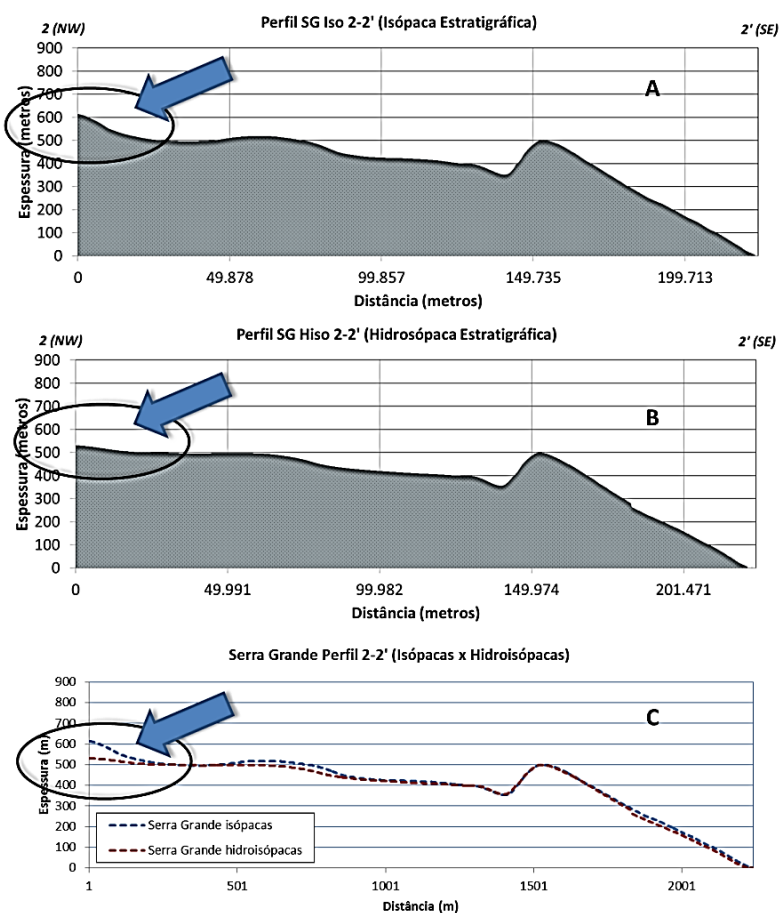
O Perfil SG Hiso 2-2', ao norte da área, apresenta valores iniciais de 530m na capital Teresina à NW, 498m ao norte da sede de Altos, 400m ao sul da sede de Sigfredo Pacheco e finaliza no contato da bacia com o embasamento.

A análise conjunta do *Perfil SG Iso 2-2'* (isópacas) e o *Perfil SG Hiso 2-2'* (hidroisópacas), ressalta a forte influência de rochas vulcânicas no início dos perfis, à NW, correspondendo à região de Teresina (Figura 50).

Este fato é constatado pelo perfil litológico do poço 1-MA-1-PI (Figura 49), que apresenta uma espessura de 100m de rocha vulcânica intercalada no Aquífero Serra Grande. Uma espessura bem maior, de 255m, é registrada no Aquífero Cabeças.

A Figura 52 mostra o perfil geológico interpretado por Góes, Travassos e Nunes (1993, p. 43k) mostrando a indicação de vulcânica no início do perfil, e que foi registrada no poço de pesquisa 1-MA-1-PI (perfil litológico na Figura 51.)

Figura 50 - Influência de rochas vulcânicas no início dos perfis (A) Perfil SG Iso 2-2' e (B) Perfil SG Hiso 2-2'. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.

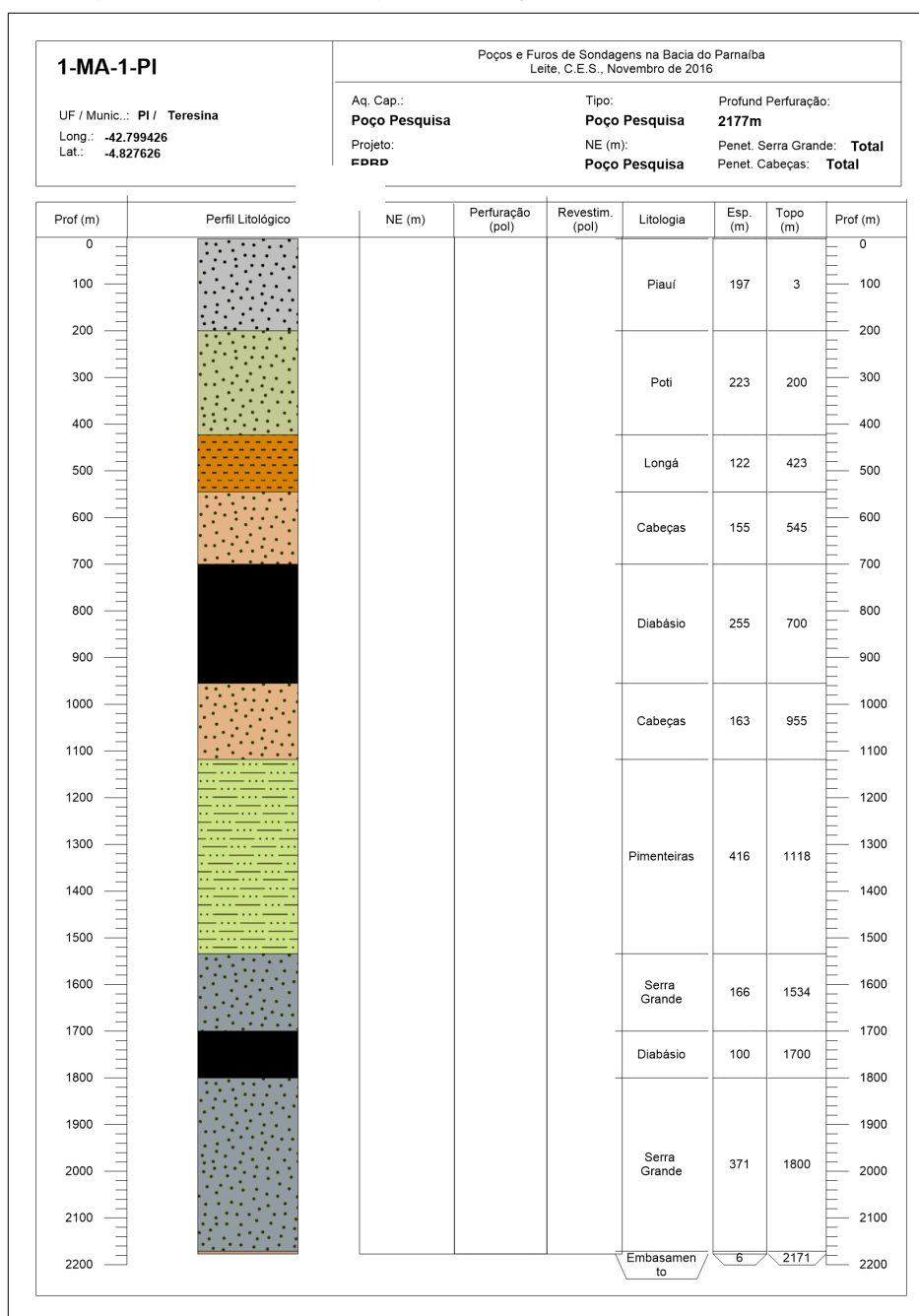


Fonte: Do próprio autor - em (C) assinalada pela seta a maior influência de intrusões vulcânicas nestes perfis.

O Perfil SG Hiso 3-3', no centro da área (Figura 47-D), inicia à NW com hidroisópaca de 744m e nas proximidades da sede de Francisco Ayres alcança o valor máximo da área, 754,6m. Na sede do município de Oeiras a hidroisópaca é de 488m e nas proximidades da sede de Dom Expedito Lopes é de 436m.

A análise conjunta do Perfil SG Iso 3-3' (isópaca) e do Perfil SG Hiso 3-3" (hidroisópaca), na Figura 53 ressalta a forte influência de rochas vulcânicas no início dos perfis, à NW.

Figura 51 - Perfil litológico do poço de pesquisa 1-MA-1-PI



Fonte: Banco de dados STRATER do próprio autor.

Figura 52 - Registro de rochas vulcânicas no Aquífero Serra Grande na região da capital Teresina. (A) Localização do Perfil SG Iso 2-2' (do autor) e (B) Perfil Geológico interpretado por Góes, Travassos e Nunes (1993, p. 43k) adaptado.

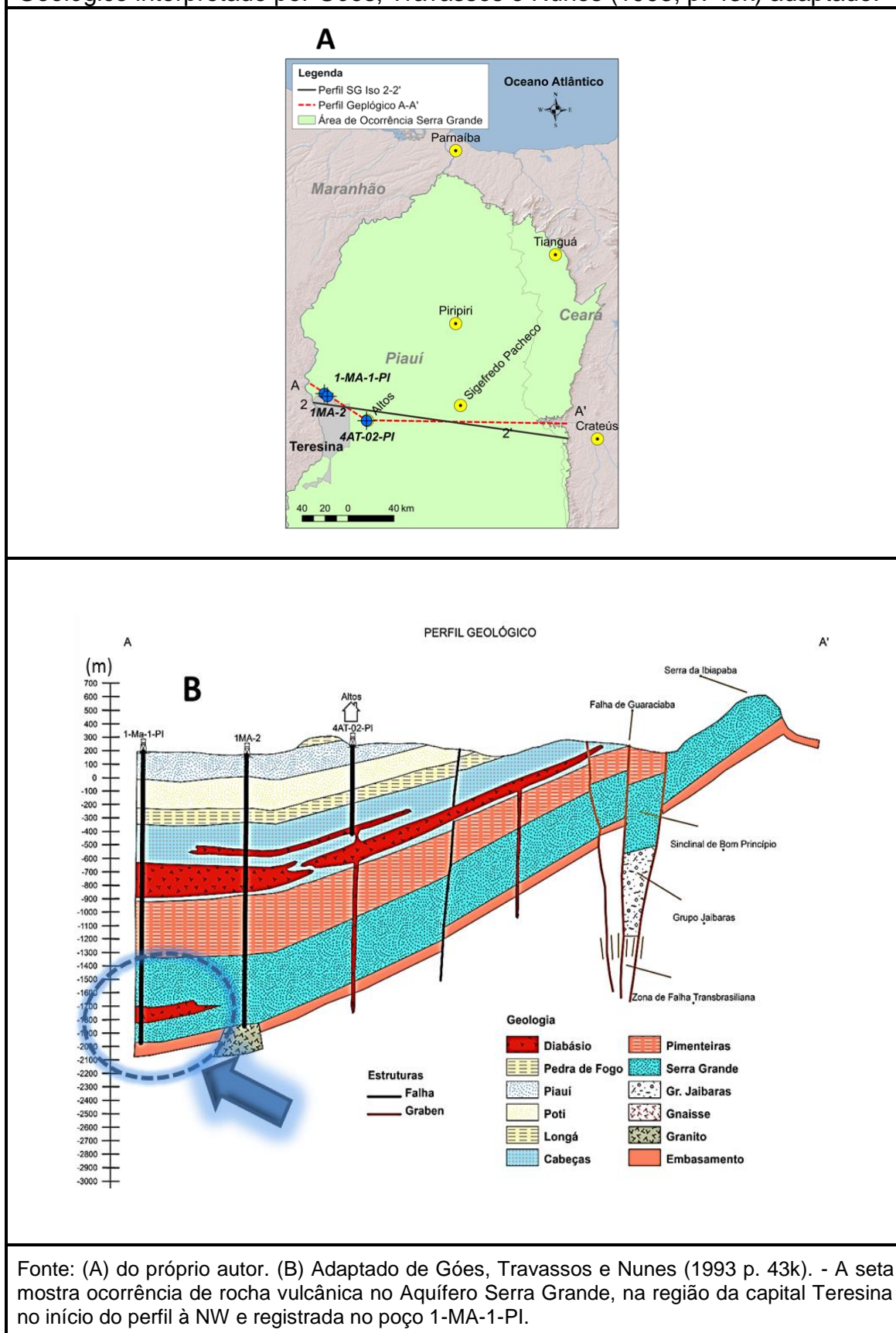
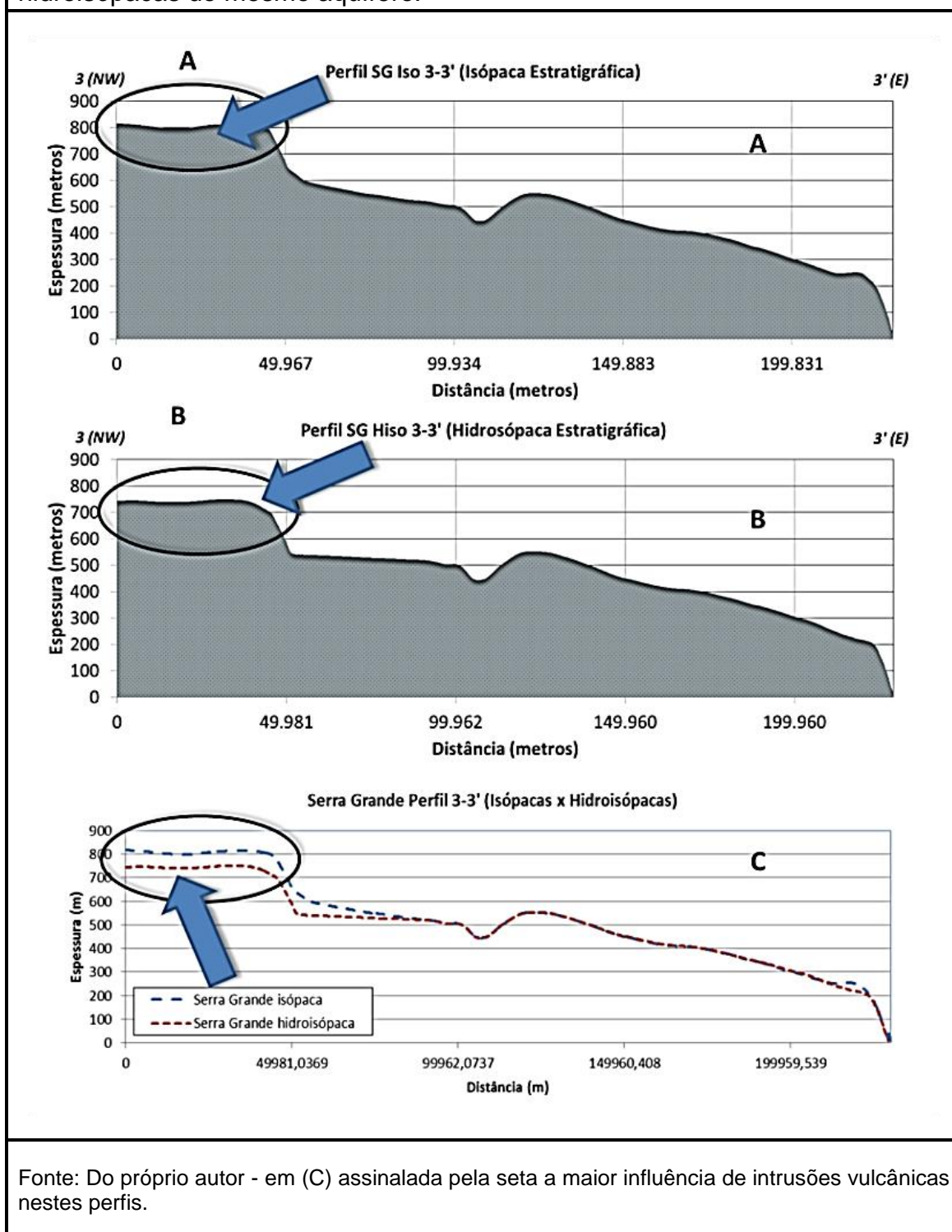
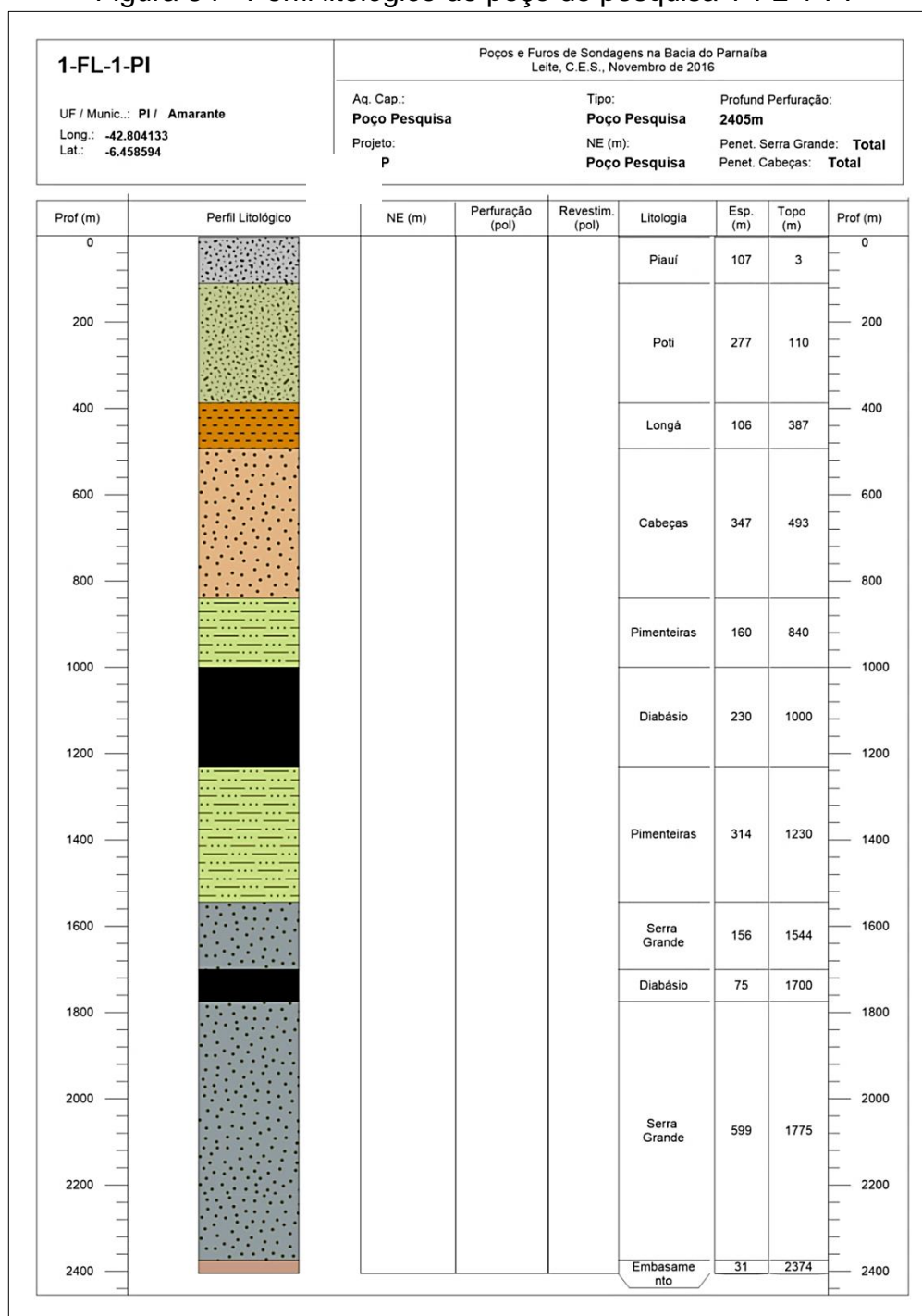


Figura 53 - Influência de rochas vulcânicas no início dos perfis (A) Perfil SG Iso 3-3' e (B) Perfil SG Hiso 3-3'. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.



A influência das rochas vulcânicas nesta região é evidenciada no perfil litológico do poço 1FL-01-PI (Figura 54), com intercalação de rocha vulcânica com espessura de 75m no Aquífero Serra Grande.

Figura 54 - Perfil litológico do poço de pesquisa 1-FL-1-PI



Fonte: Banco de dados STRATER do próprio autor.

8.1.1.2.4 Classificação

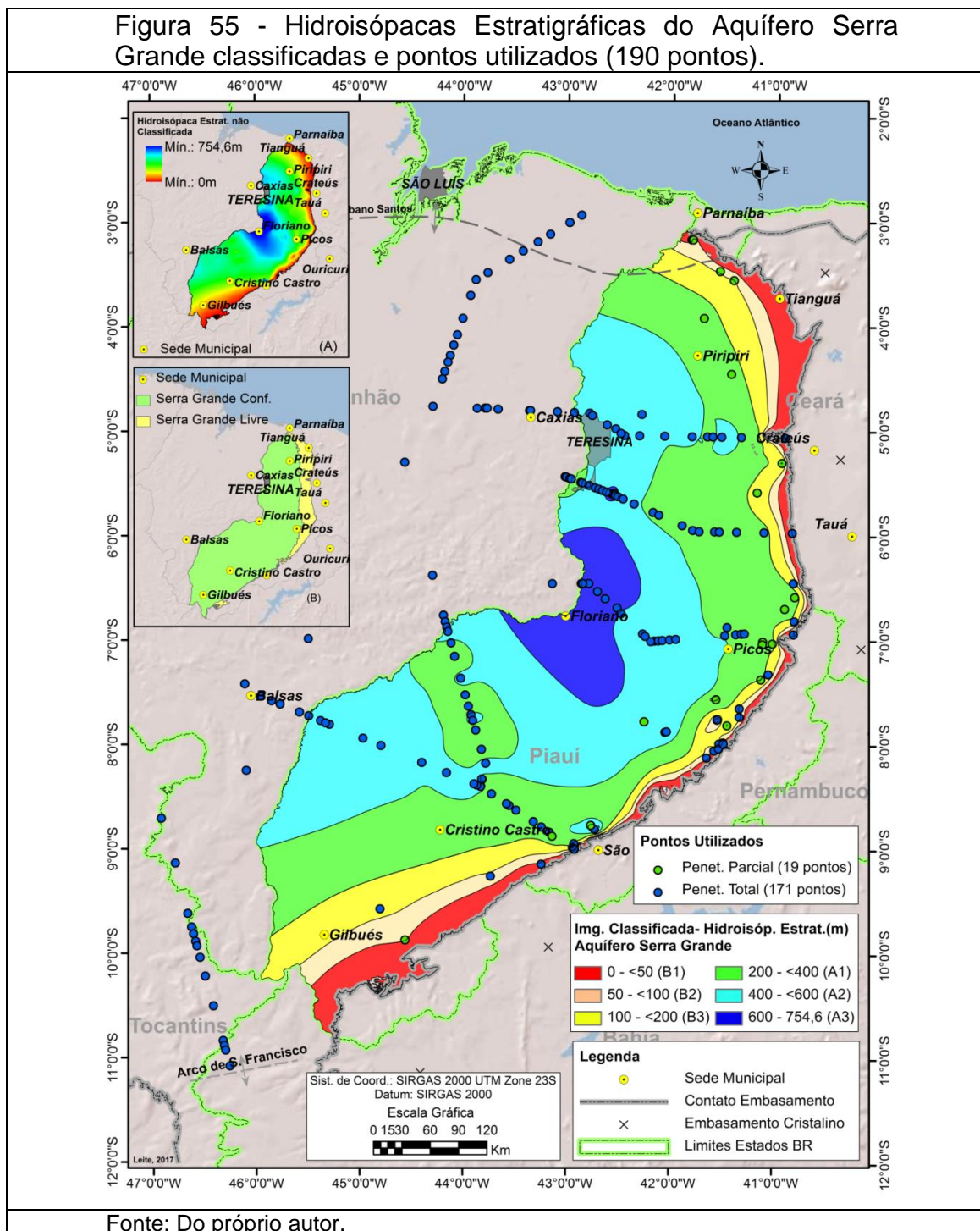
O resultado da classificação aplicada nas hidroisópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Serra Grande, com o objetivo de construção posterior dos cenários de *Vocação Hidrogeológica*, é apresentado na Figura 55. As seis classes definidas e os respectivos intervalos são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 - Classes aplicadas nas hidroisópacas estratigráficas do Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo (m)	Classe	Intervalo (m)
B1	0 - <50	A1	200 - <400
B2	50 - <100	A2	400 - <600
B3	100 - <200	A3	600 - 754,6

Fonte: Do próprio autor.

Figura 55 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Serra Grande classificadas e pontos utilizados (190 pontos).



Fonte: Do próprio autor.

8.1.2 Aquífero Cabeças

Neste tópico são apresentadas as isópacas e hidroisópacas estratigráficas do Aquífero Cabeças resultantes das três fases de modelagem - (a) Sem refinamento; (b) com refinamento, e; (c) com Ajuste Qualitativo.

8.1.2.1 Isópacas Estratigráficas

A seguir são apresentados os resultados das modelagens para as Isópacas Estratigráficas.

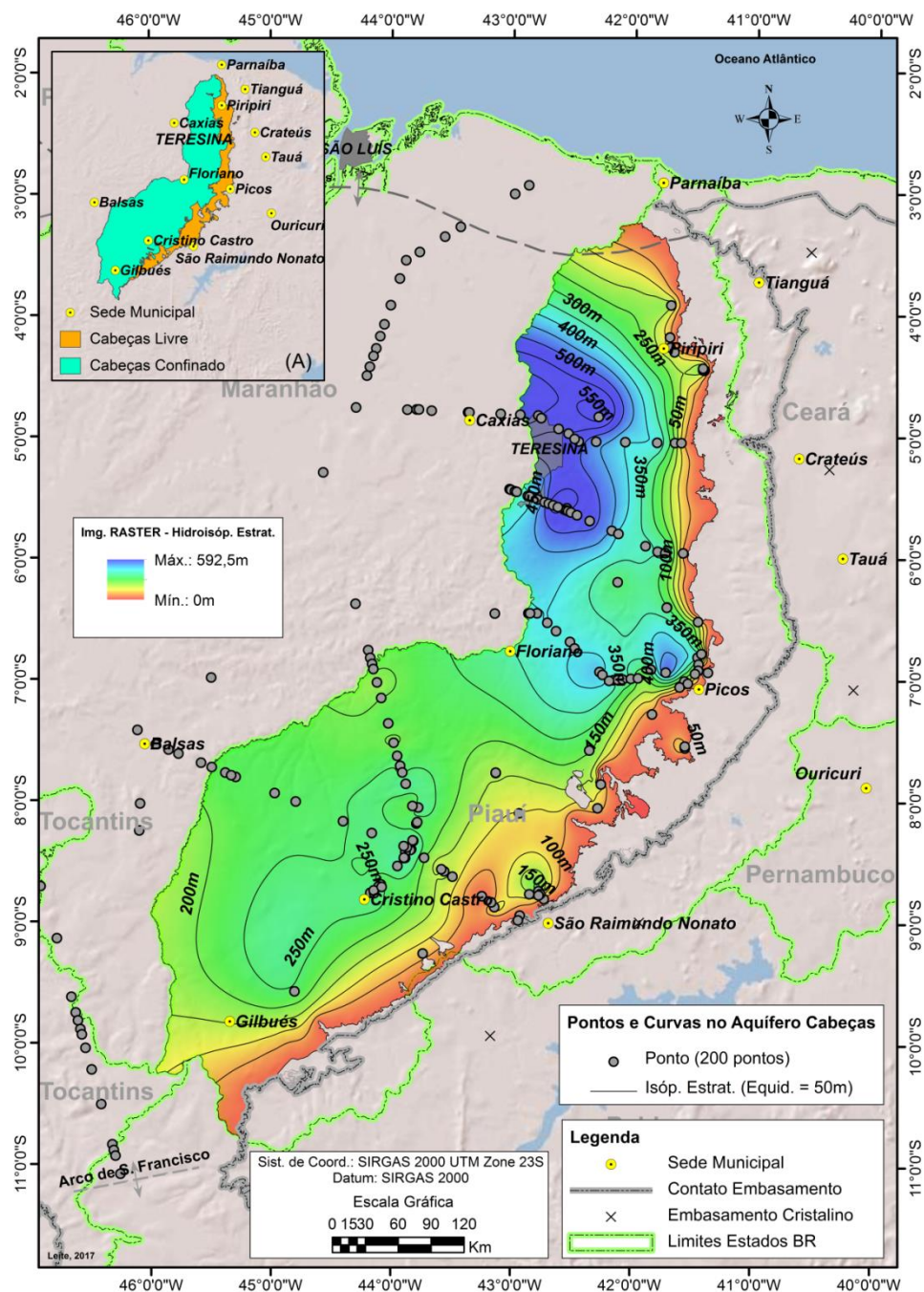
8.1.2.1.1 Sem refinamento

A Figura 56 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem sem refinamento e as curvas de isópacas estratigráficas com equidistância de 50m, na área de pesquisa, e os 200 pontos utilizados (com penetração total no Aquífero Cabeças). O Quadro "A", na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área.

As isópacas apresentaram variação de 0m (contato com o Aquitardo Pimenteiras aflorante) até o máximo de 592,5m (Figura 57 - Região A) ao norte da área, ao norte de Teresina.

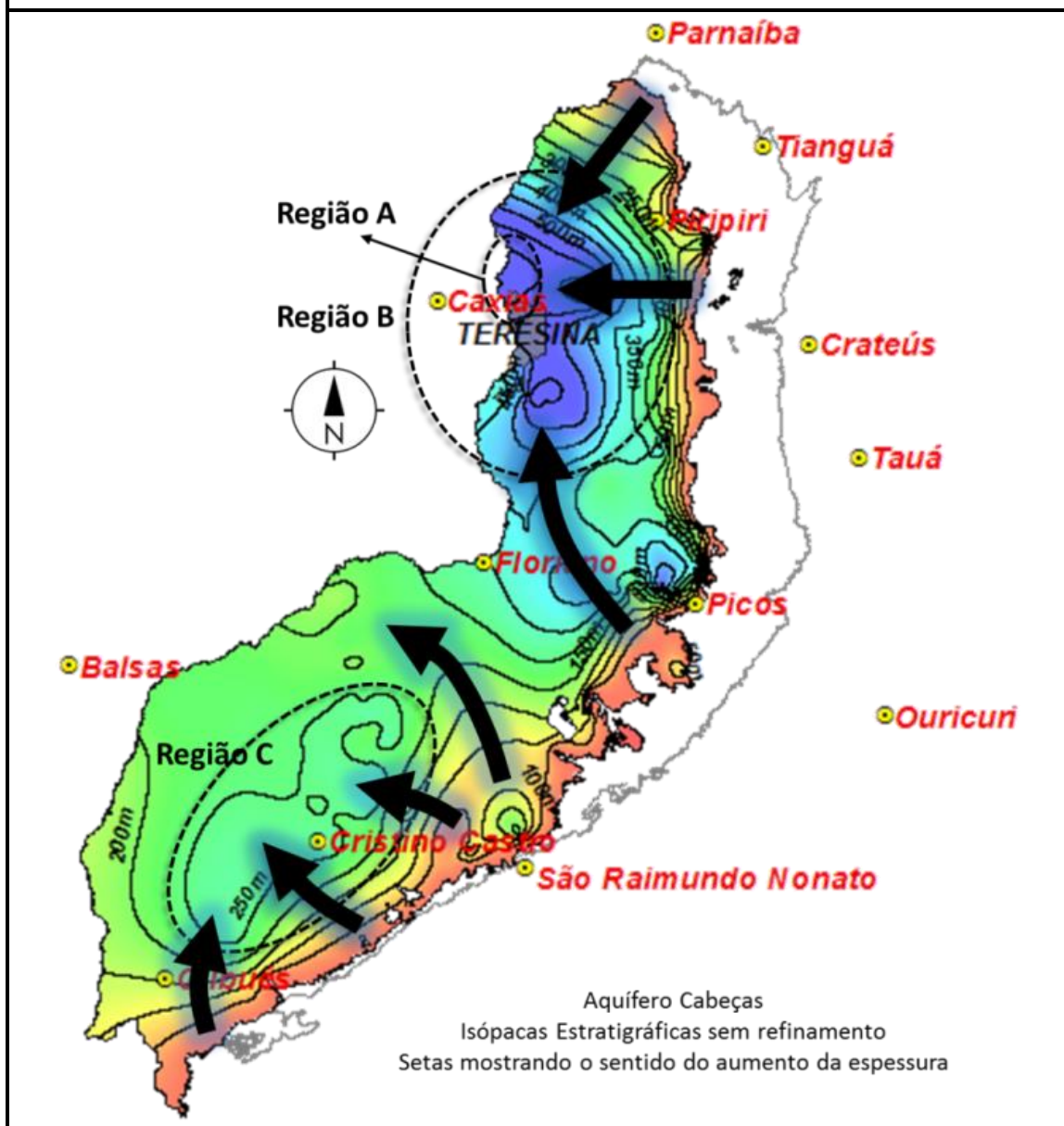
O maior incremento de espessura se dá de forma gradual e preferencialmente, na direção de uma principal região (Região B na Figura 57), entretanto, também se destaca a região sul central, embora com valores inferiores da ordem de 268m (Região C na Figura 57).

Figura 56 - Isópacas Estratigráficas sem Refinamento do Aquífero Cabeças - Modelagem sem Refinamento



Fonte: Do próprio autor - Curvas isópacas com equidistância de 50m e pontos utilizados (200) com penetração total no Aquífero Cabeças.

Figura 57 - Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. - Modelagem sem Refinamento



Fonte: Do próprio autor - Região A- Isópaca máxima na área de pesquisa (592,5m). Região B- Área preferencial de incremento das isópacas. Região C- Isópaca máxima no sul da área de pesquisa (268m). Os valores mínimos de isópacas correspondem à região de borda no contato com o aquífero Pimenteiras aflorante. As setas indicam as direções de incremento nos valores de isópacas.

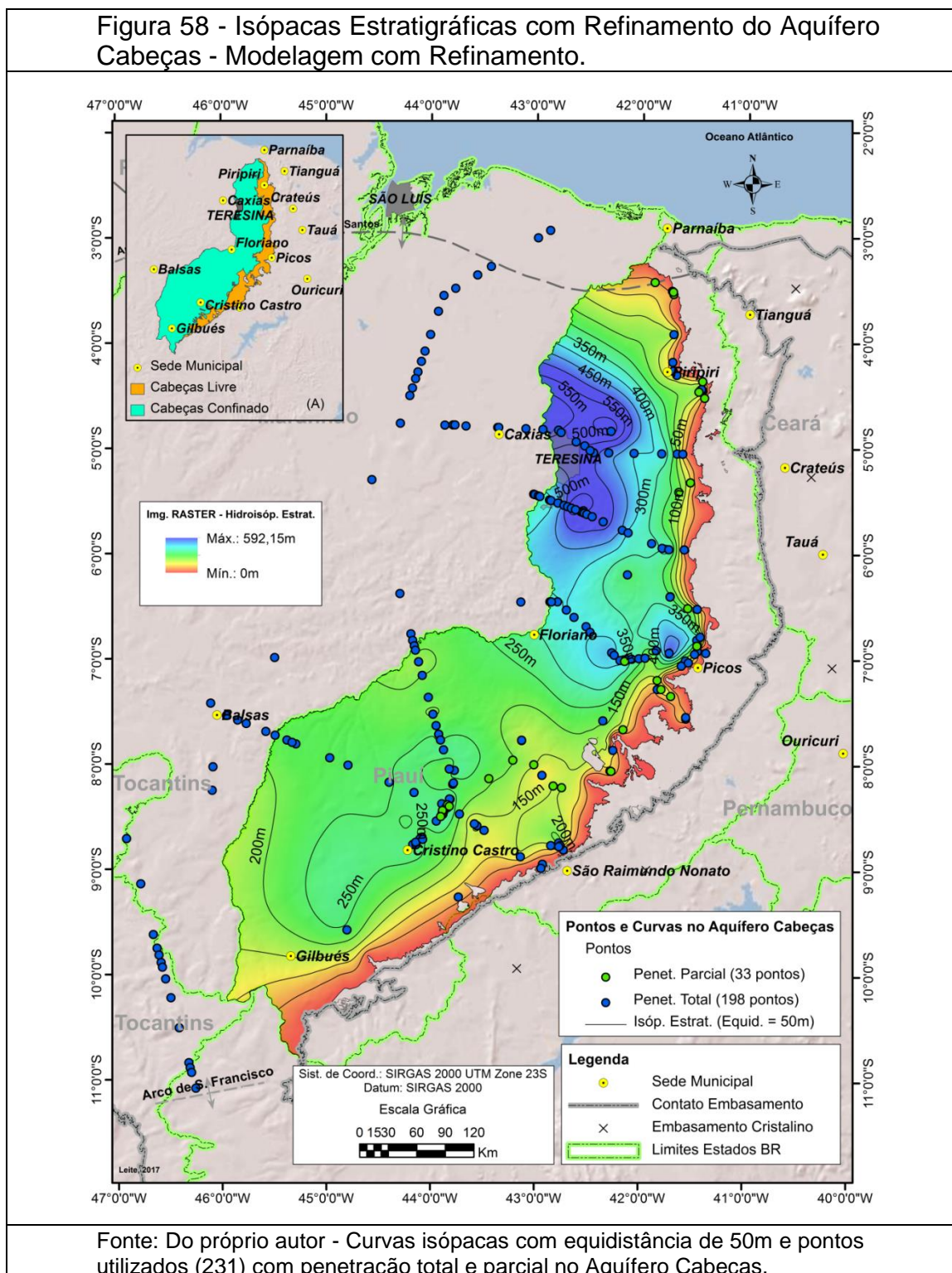
8.1.2.1.2 Com refinamento

A Figura 58 mostra a imagem RASTER gerada na modelagem com refinamento e as curvas de isópacas estratigráficas com equidistância de 50m, na área de pesquisa, e os 231 pontos utilizados (198 pontos com penetração total e 33 pontos com penetração parcial no Aquífero Cabeças – APÊNDICE C). O Quadro “A”,

na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área.

As isópacas apresentaram variação de 0m (no contato com o aquífero Pimenteiras aflorante) até o máximo de 592,15m ao norte de Teresina (Figura 59 - Região A).

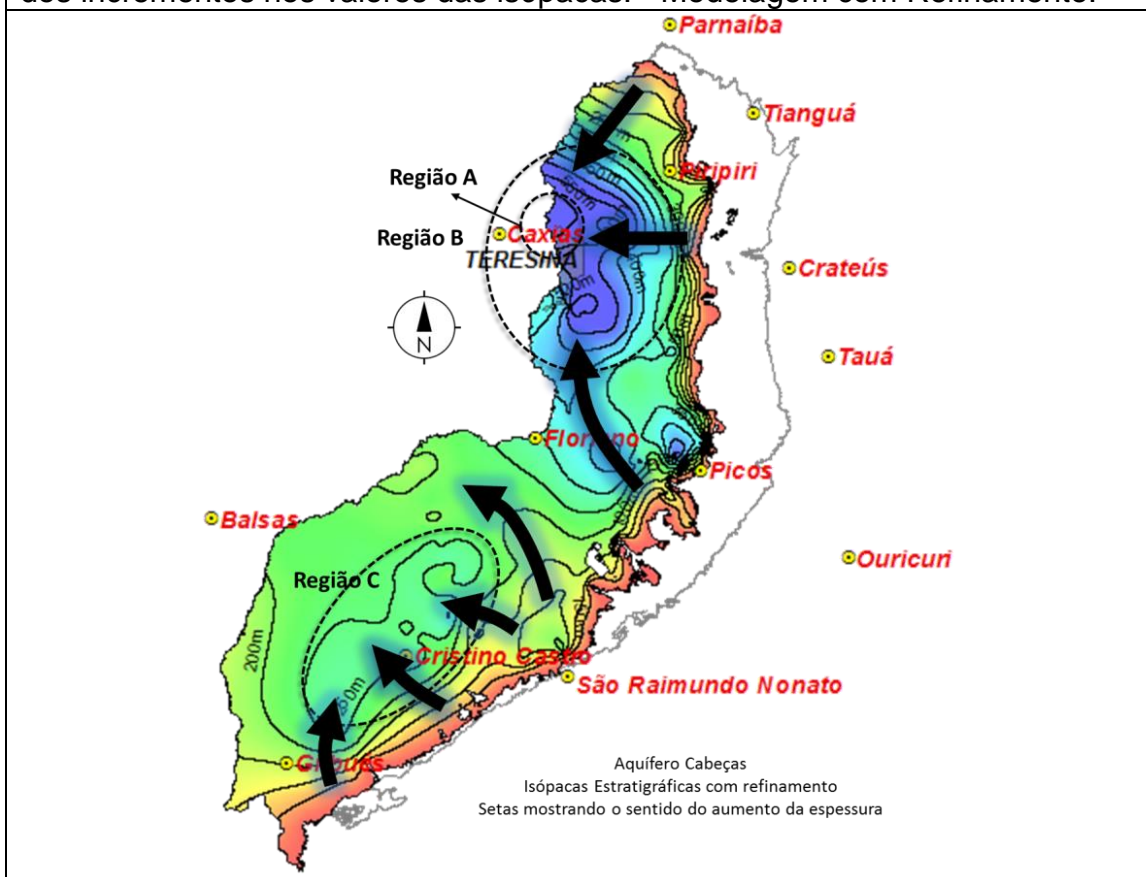
Figura 58 - Isópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Cabeças - Modelagem com Refinamento.



Fonte: Do próprio autor - Curvas isópacas com equidistância de 50m e pontos utilizados (231) com penetração total e parcial no Aquífero Cabeças.

O maior incremento nos seus valores se dá de forma gradual e preferencialmente, na direção de uma principal região (Região B), entretanto, na região sul se destaca também a “Região C”, embora com espessuras bem inferiores, da ordem de 250m.

Figura 59 - Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. - Modelagem com Refinamento.



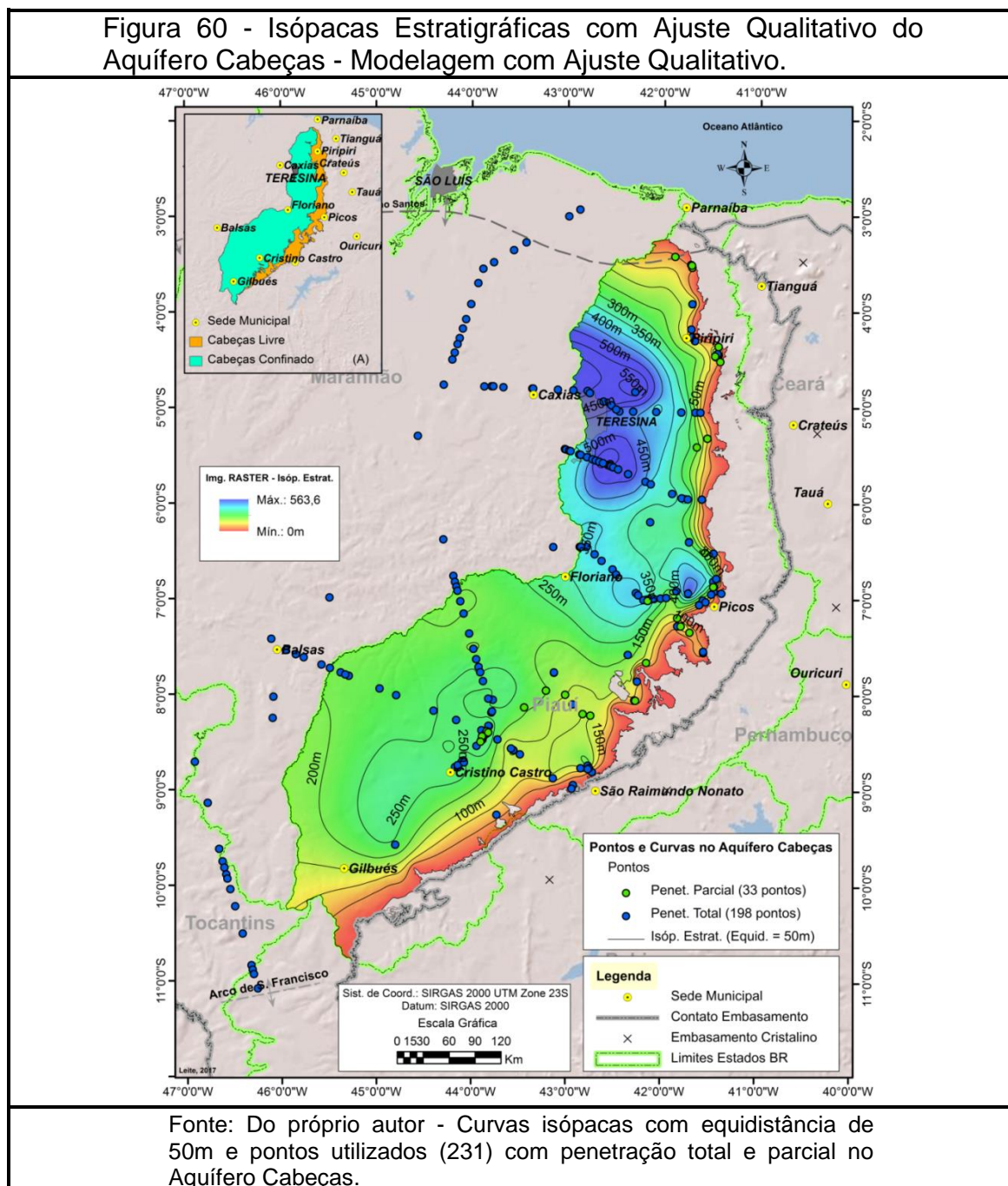
Fonte: Do próprio autor - Região A- Isópaca máxima na área de pesquisa (592,1m). Região B- Área preferencial de incremento das isópacas. Região C- Isópaca máxima no sul da área de pesquisa (250m). Os valores mínimos de isópacas correspondem à região de borda no contato com o aquífero Pimenteiras aflorante. As setas indicam as direções de incremento nos valores de isópacas.

Confrontando estes resultados com aqueles da Modelagem Sem Refinamento, para este mesmo aquífero, constata-se que a inclusão de novos pontos no modelo não influenciaram nas características e comportamentos gerais das isópacas. Esta particularidade do modelo foi discutida no Tópico 8.1.1.1.2.

8.1.2.1.3 Com ajuste

A Figura 60 mostra a imagem RASTER gerada na Modelagem com Ajuste Qualitativo e as curvas de isópacas estratigráficas com equidistância de 50m, na

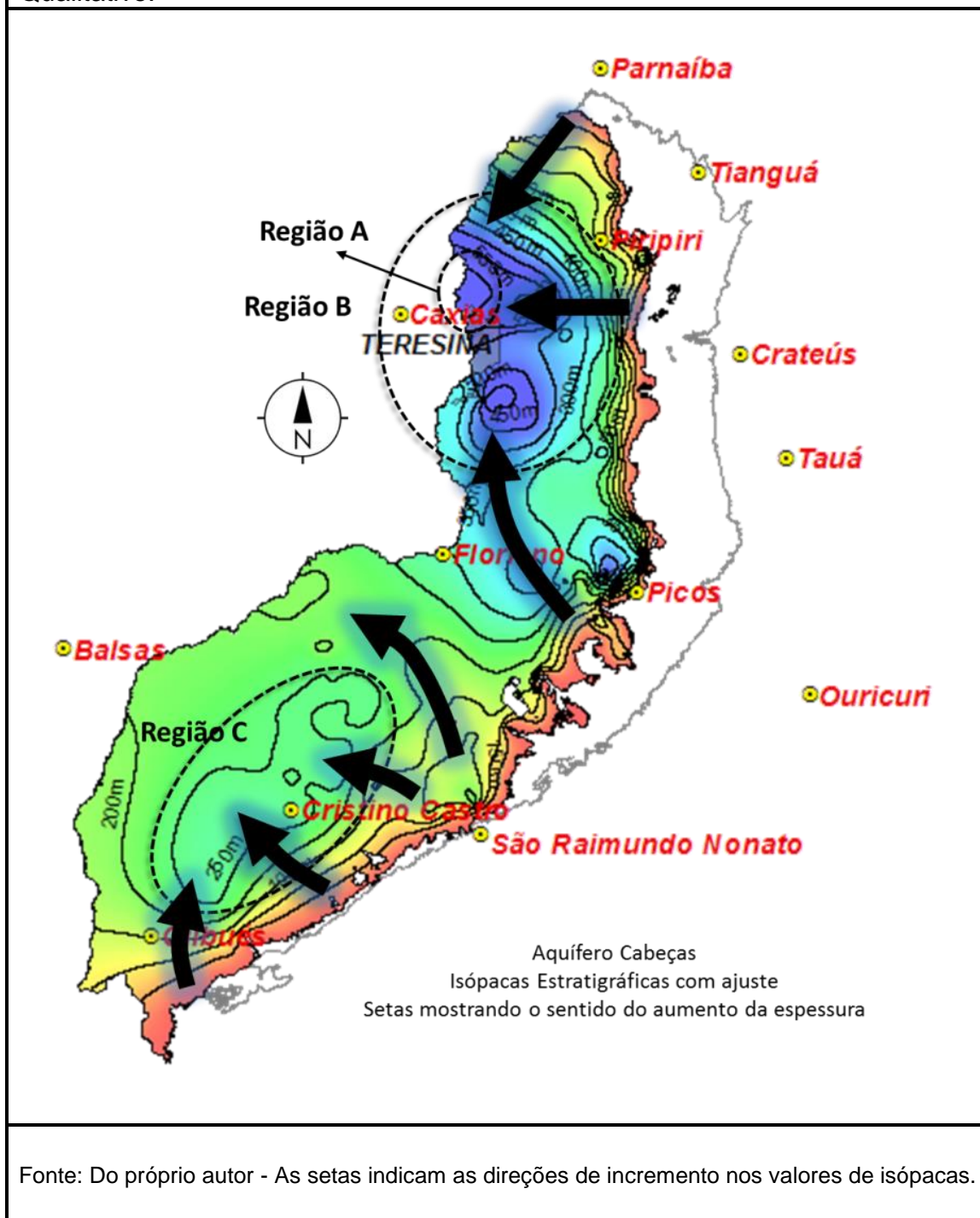
área de pesquisa, e os 231 pontos utilizados (198 pontos com penetração total e 33 pontos com penetração parcial no Aquífero Cabeças). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área.



Como comentado anteriormente, nesta fase são realizados apenas ajustes qualitativos nas curvas, e desta forma não existe alteração no comportamento geral e características das isópacas. A Figura 61 mostra as mesmas

regiões da Figura 59 e os mesmos sentidos de incrementos das isópacas do Aquífero Cabeças.

Figura 61 - Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. - Modelagem com Ajuste Qualitativo.



Fonte: Do próprio autor - As setas indicam as direções de incremento nos valores de isópacas.

A Figura 62 mostra as isópacas estratigráficas ajustadas e a localização de três perfis cortando a área de pesquisa em visualização 2D (em A) e 3D (em B). Os perfis em corte são mostrados, na mesma figura, em “C”, “D” e “E”.

Estes perfis têm mesma localização e direções que os anteriormente já apresentados e discutidos.

O Perfil CAB Iso 1-1' (Figura 62 - C), no sul da área, apresenta valores iniciais de isópacas da ordem de 200m, à NW, de 208m na sede de Baixa Grande do Ribeiro e de 266m na sede de Alvorada do Gurguéia.

O Perfil Cabeças Iso 2-2' (Figura 62-E), no norte da área, apresenta valores iniciais da ordem de 550m à NW, na capital Teresina, de 495m ao norte da sede de Altos e de 288m ao sul da sede de Sigefredo Pacheco.

O Perfil CAB Iso 3-3' (Figura 62-D), no centro da área, inicia à NW com valores da ordem de 348m. Próximo da sede de Francisco Ayres, ao norte, apresenta valores da ordem de 347m enquanto na sede de Oeiras a isópaca é de 301m e na sede de Dom Expedito Lopes é de 221m.

8.1.2.1.4 Classificação

O resultado da classificação aplicada nas isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Cabeças, com o objetivo de gerar os cenários de *Vocação Hidrogeológica*, é mostrado na Figura 63.

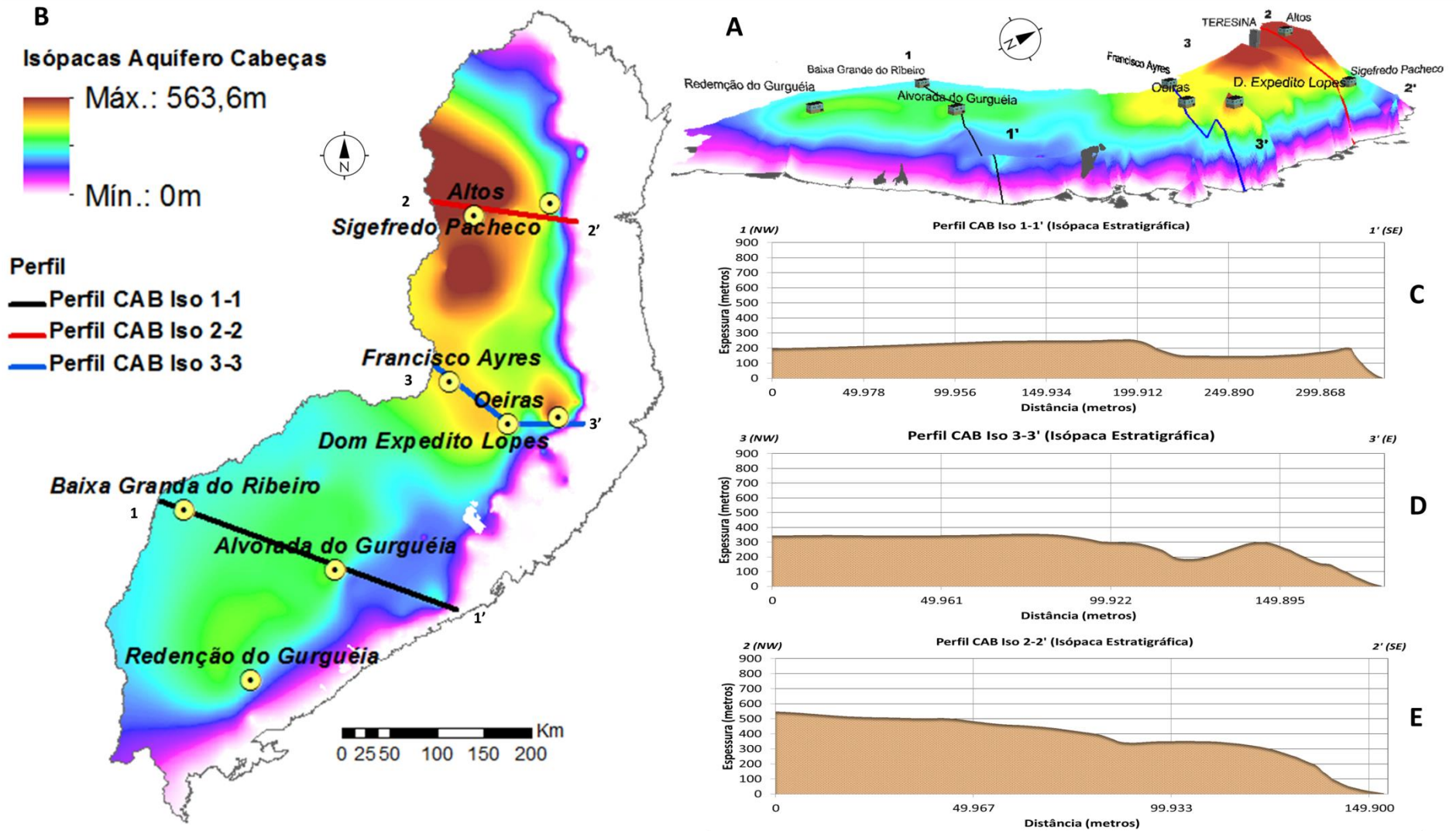
As seis classes e os respectivos intervalos de valores aplicados são mostrados no Quadro 11.

Quadro 11 - Classes aplicadas nas isópacas estratigráficas do Aquífero Cabeças e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo (m)	Classe	Intervalo (m)
B1	0 - <50	A1	200 - <300
B2	50 - <100	A2	300 - <400
B3	100 - <200	A3	400 - 563,6

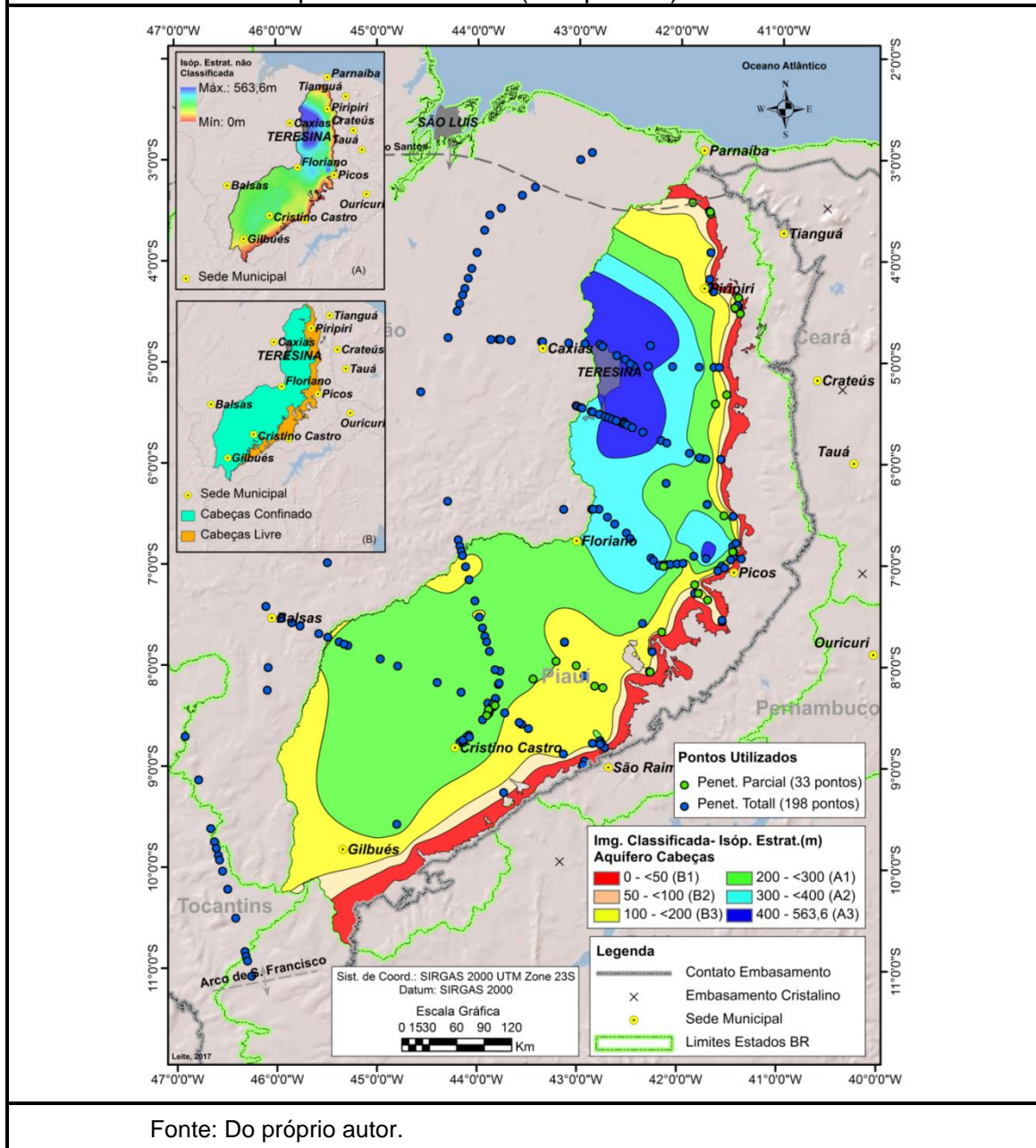
Fonte: Do próprio autor.

Figura 62 - Visualização 2D e 3D das isópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Cabeças e perfis em corte.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 63 - Isópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças classificadas e pontos utilizados (231 pontos).



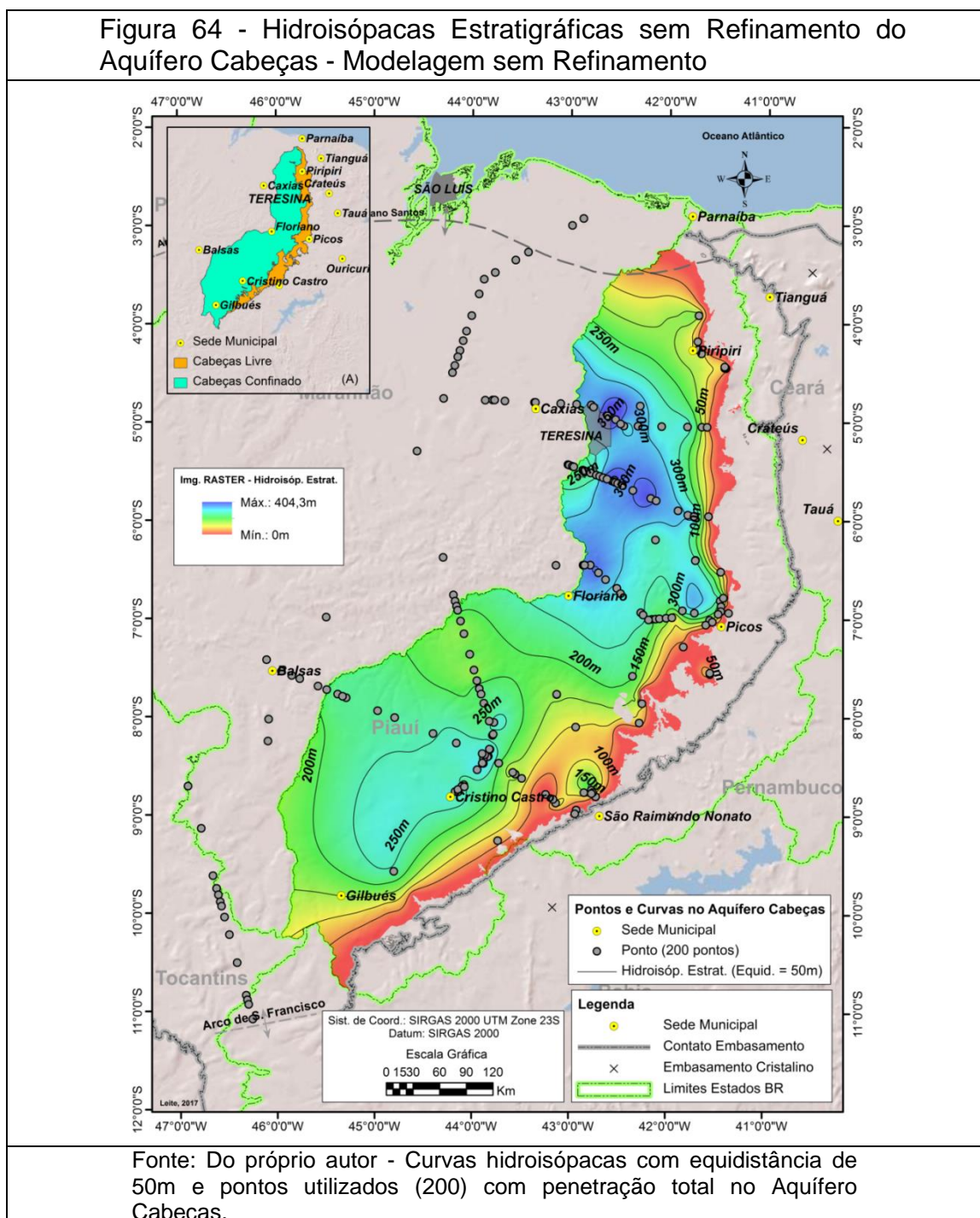
8.1.2.2 Hidroisópacas Estratigráficas

A seguir são apresentados os resultados das modelagens para as Hidroisópacas Estratigráficas.

8.1.2.2.1 Sem refinamento

O resultado da Modelagem Sem Refinamento para o Aquífero Cabeças e as curvas de hidroisópacas estratigráficas com equidistância de 50m, na área de

pesquisa, é mostrado na Figura 64, além dos 200 pontos utilizados (com penetração total no Aquífero Cabeças). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área.

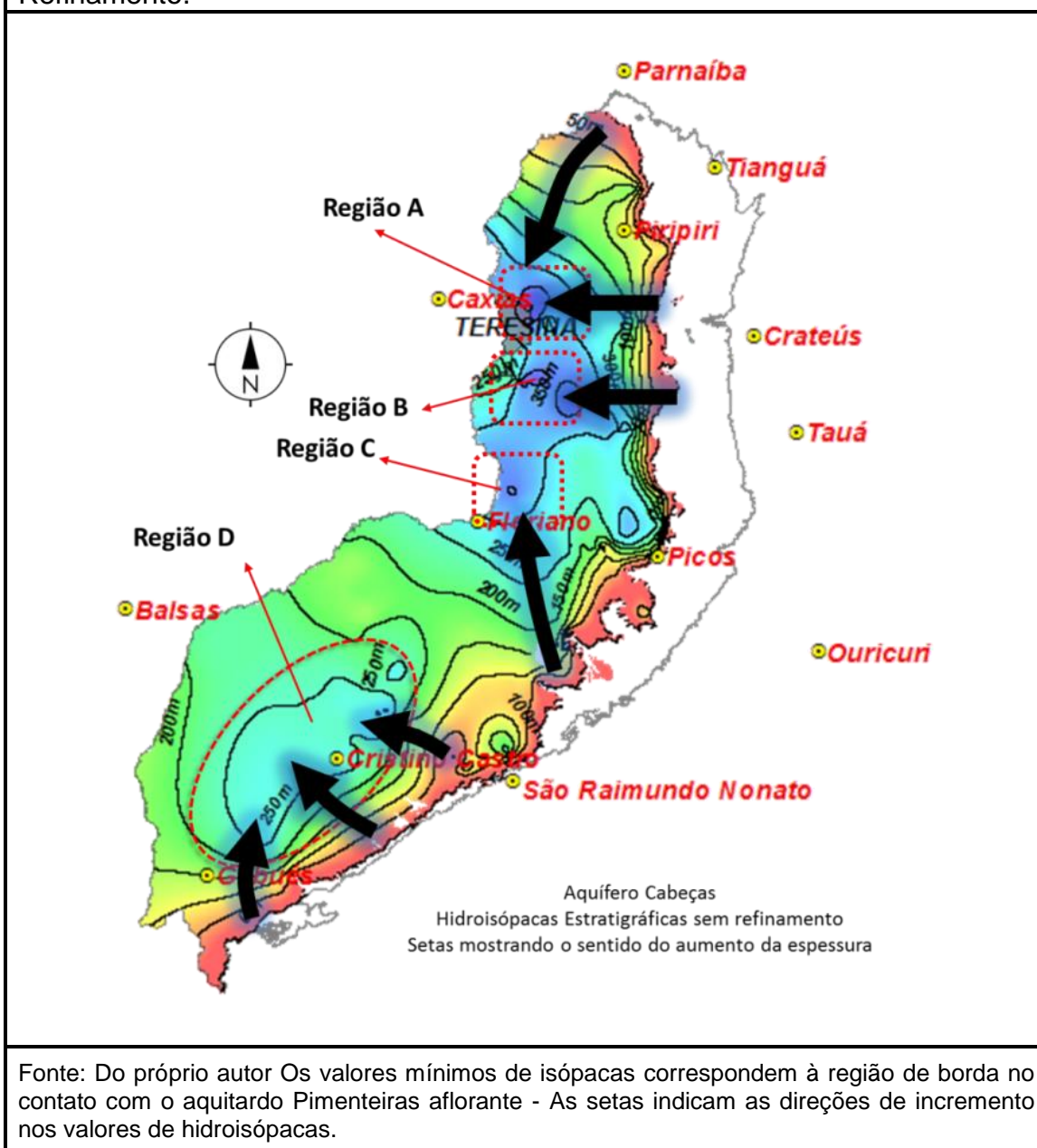


As hidroisópacas apresentaram variação de 0m (contato com o Aquífero Pimenteiras aflorante) até o máximo de 404,3m (Figura 65 - Região A), no norte da área, na região de Teresina.

Os maiores incrementos nas hidroisópacas se dão de forma gradual e preferencialmente, na direção de três principais regiões no norte da área de pesquisa - (a) Região A com máximo de 404,3m; (b) Região B a SE de Teresina com máximo de 370m, e; (c) Região C à NE da sede de Floriano com máximo de 352m.

No centro do sul da área de pesquisa as isópacas máximas estão em torno de 268m (Região D).

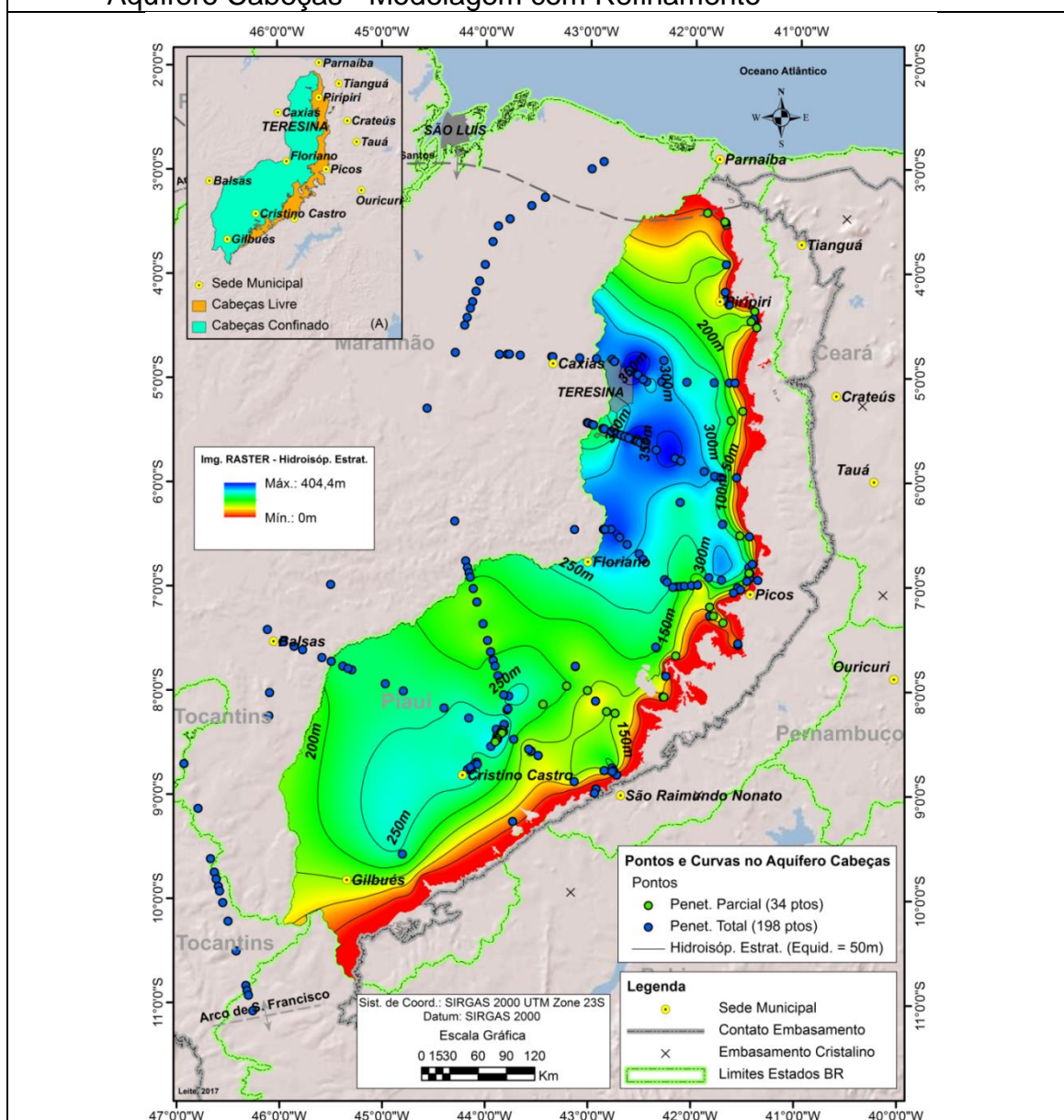
Figura 65 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. - Modelagem sem Refinamento.



8.1.2.2.2 Com refinamento

A Figura 66 mostra a imagem RASTER gerada na Modelagem Com Refinamento e as curvas de hidroisópacas estratigráficas com equidistância de 50m, na área de pesquisa, além dos 232 pontos utilizados (198 pontos com penetração total e 34 pontos com penetração parcial). O Quadro “A”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área.

Figura 66 - Hidroisópacas Estratigráficas com Refinamento do Aquífero Cabeças - Modelagem com Refinamento

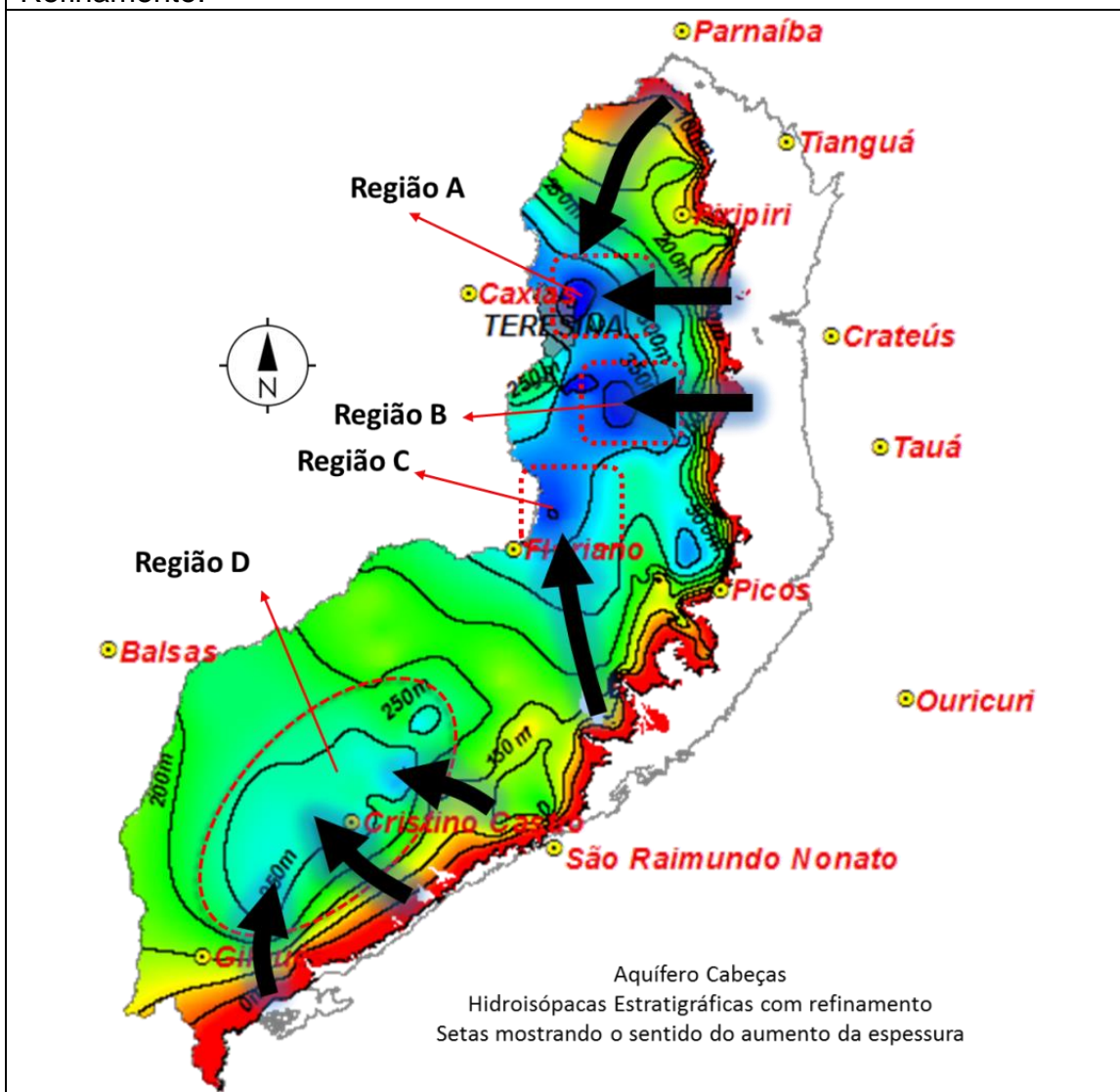


Fonte: Do próprio autor - Curvas hidroisópacas com equidistância de 50m e pontos utilizados (232) com penetração total e parcial no Aquífero Cabeças.

As hidroisópacas apresentaram variação de 0m (contato com o Aquitardo Pimenteiras aflorante) até o máximo de 404,4m (Figura 67 - Região A), no norte da área, na região de Teresina.

Os maiores incrementos nas espessuras se dão de forma gradual e preferencialmente, na direção de três principais regiões no norte da área (Figura 67) - (a) Região A com máximo de 404,4m; (b) Região B a SE de Teresina com máximo de 368m, e; (c) Região C à NE da sede de Floriano com máximo de 352m. No centro do sul da área de pesquisa as isópacas máximas estão em torno de 267m (Região D).

Figura 67 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. - Modelagem com Refinamento.

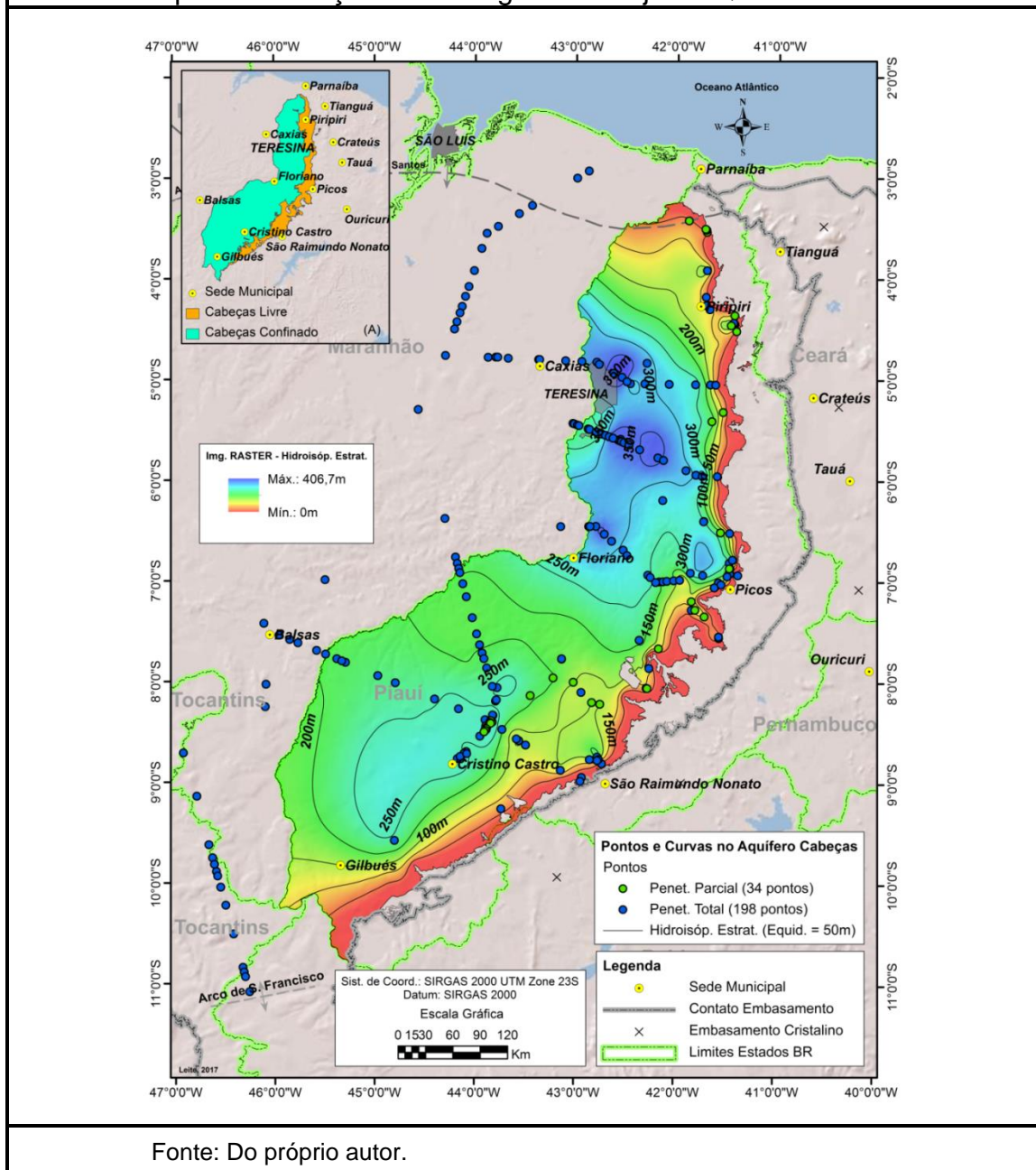


Fonte: Do próprio autor. Os valores mínimos de isópacas correspondem à região de borda no contato com o aquitardo Pimenteiras - As setas indicam as direções de incremento nos valores de hidroisópacas.

8.1.2.2.3 Com ajuste

A Figura 68 mostra a imagem RASTER gerada na Modelagem Com Ajuste Qualitativo e as curvas de hidroisópacas estratigráficas ajustadas com equidistância de 50m, na área de pesquisa, além dos 232 pontos utilizados (198 pontos com penetração total e 34 pontos com penetração parcial). O Quadro A, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área.

Figura 68 - Hidroisópacas Estratigráficas com Ajuste Qualitativo do Aquífero Cabeças - Modelagem com Ajuste Qualitativo.



Fonte: Do próprio autor.

Como já citado em mesmos processamentos anteriores, nesta fase são realizados apenas ajustes nas curvas sem implicação em alterações no comportamento geral das hidroisópacas. A Figura 69 mostra as mesmas regiões da Figura 67 com os mesmos sentidos de incrementos das hidroisópacas do Aquífero Cabeças.

As considerações a respeito dos ajustes das curvas são as mesmas discutidas no Tópico 8.1.1.1.3.

A Figura 70 mostra as hidroisópacas ajustadas e a localização de três perfis cortando a área de pesquisa em visualização 3D (em A) e 2D (em B). Os perfis em corte são mostrados na mesma figura em “C”, “D” e “E”. Estes perfis têm mesmas localizações e direções que os perfis das isópacas na Figura 36.

O Perfil CAB Hiso 1-1’ (Figura 70-C), no sul da área, inicia à NW com hidroisópaca da ordem de 200m, o mesmo valor que na sede de Baixa Grande do ribeiro. Na Região da sede de Alvorada do Gurguéia a hidroisópaca alcança o valor máximo neste perfil, de 242m.

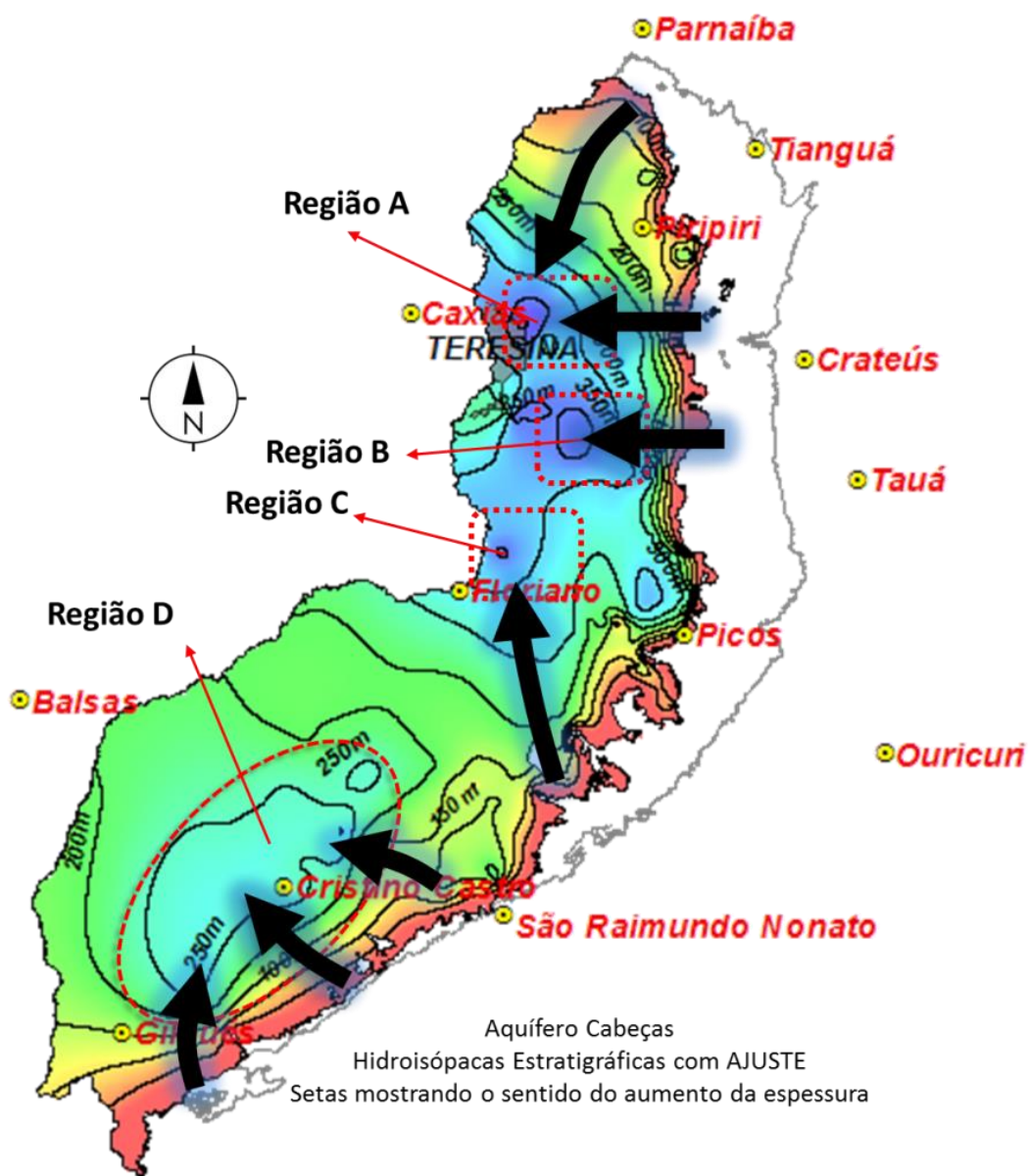
A análise conjunta deste perfil com o Perfil CAB Iso 1-1’ (Figura 71) mostra que não existe influência de rochas vulcânicas nestes perfis.

O Perfil CAB Hiso 2-2’ (Figura 70-E), no norte da área, apresenta valores iniciais da ordem de 328m. ao norte e próximo da sede de Altos apresenta valores da ordem de 338m e de 217m ao sul da sede de Sigefredo Pacheco.

A Figura permite uma avaliação conjunta do Perfil CAB Iso 2-2’ e do Perfil CAB Hiso 2-2’, onde se constata forte influência de rochas vulcânicas no Aquífero Cabeças, pelas diferenças entre os valores das isópacas (em A) e hidroisópacas (em B). Em “C” são mostradas as duas “superfícies” (de isópacas e de hidroisópacas), onde se constata espessuras modeladas de rochas vulcânicas superiores a 200m, no início dos perfis à NW.

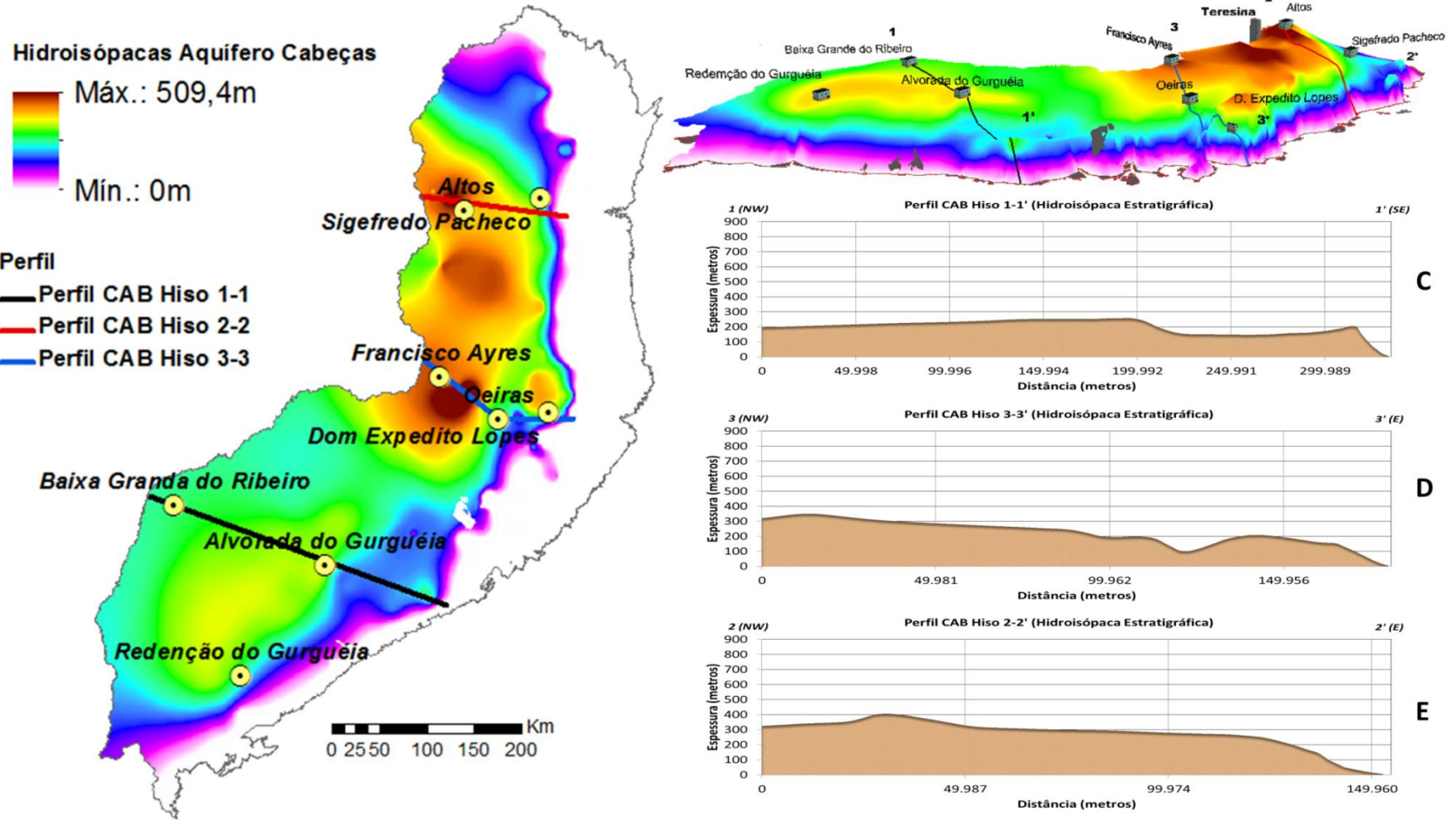
A Figura 73 mostra o perfil geológico interpretado por Góes, Travassos e Nunes (1993, p. 43k), na mesma região do Perfil CAB Hiso 2-2’ e Perfil Cabeças Iso 2-2’, onde se constata a presença de rochas vulcânicas intrusivas no Aquífero Cabeças em toda a extensão do perfil.

Figura 69 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das isópacas. - Modelagem com Ajuste Qualitativo.



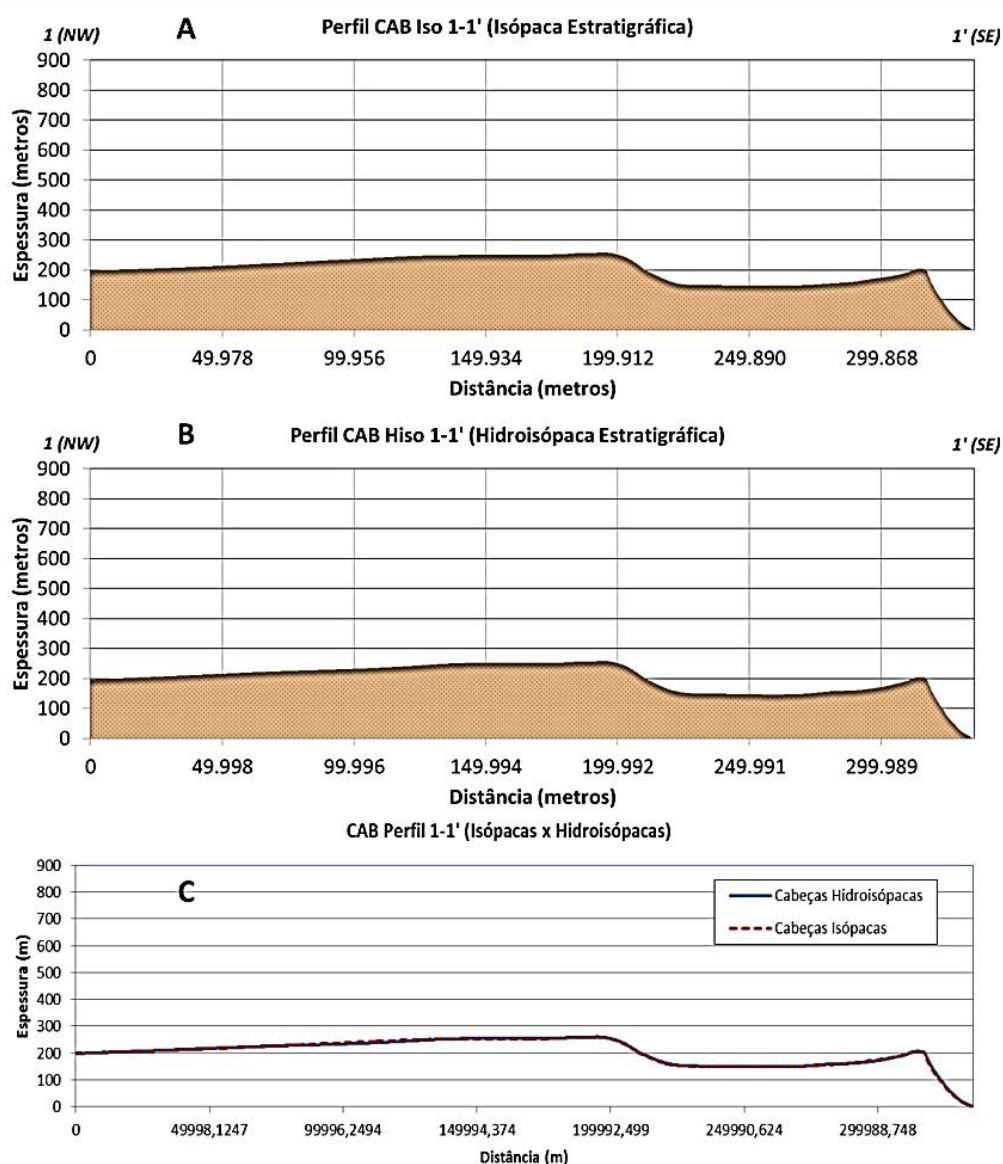
Fonte: Do próprio autor - As setas indicam as direções de incremento nos valores de hidroisópacas.

Figura 70 - Visualização 2D e 3D das hidroisópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Cabeças e perfis em corte



Fonte: Do próprio autor.

Figura 71 - Análise conjunta do (A) Perfil CAB Iso 1-1' de isópacas e do (B) Perfil CAB Hiso 1-1' de hidroisópacas do Aquífero Cabeças. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.



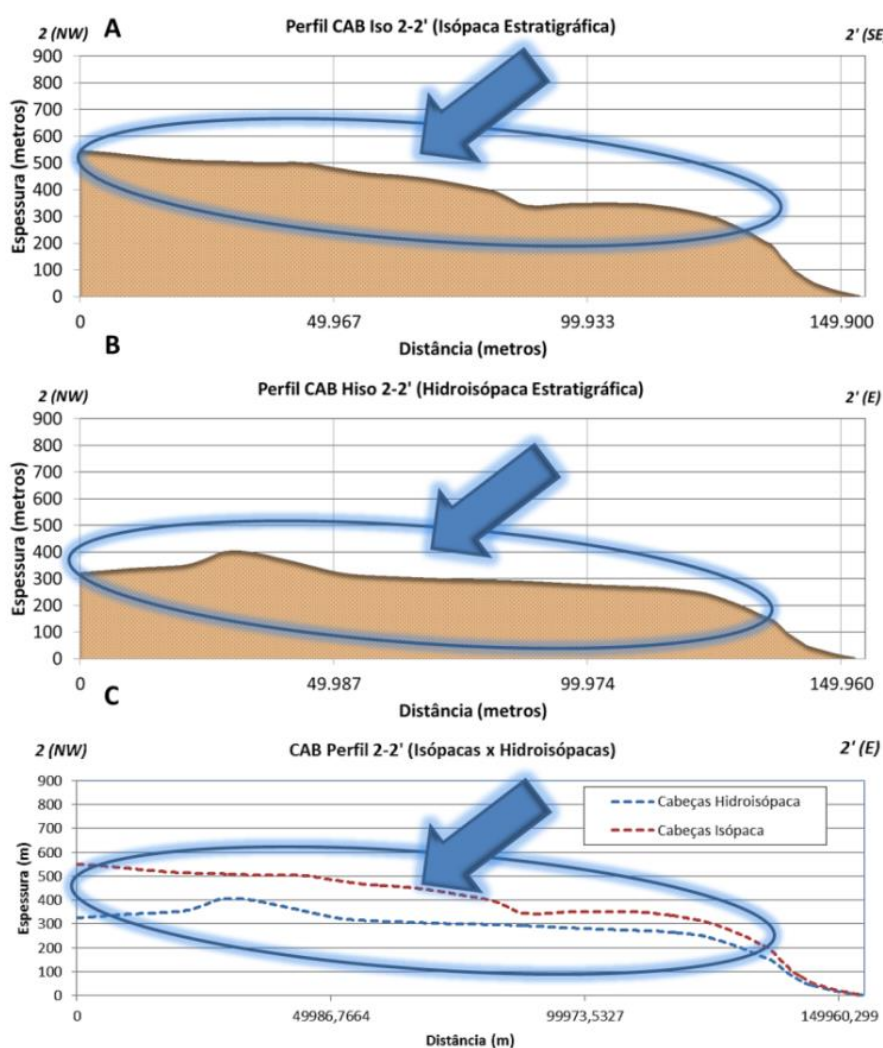
Fonte: Do próprio autor - em (C) constata-se que as isópacas e hidroisópacas apresentam praticamente os mesmos valores indicando que não houve influência de intrusões vulcânicas nestes perfis.

O Perfil CAB Hiso 3-3' (Figura 66-D), no centro da área, inicia à NW com hidroisópaca em torno de 321m e nas proximidades da sede de Francisco Ayres

alcança o valor de 325m. na sede de Oeiras a hidroisópaca é de 195m e nas proximidades da sede de Dom Expedito Lopes é de 179m.

A análise conjunta do Perfil CAB Iso 3-3' (isópaca) e do Perfil CAB Hiso 3-3' (hidroisópaca) (Figura 74) permite constatar a influência de rochas intrusivas vulcânicas, ressaltada pela modelagem de refinamento e posterior ajuste.

Figura 72 - Análise conjunta do (A) Perfil CAB Iso 2-2' de isópacas e do (B) Perfil CAB Hiso 2-2' de hidroisópacas do Aquífero Cabeças. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.



Fonte: Do próprio autor - em (C) verifica-se a forte influência de intrusões vulcânicas nesta região ao se sobrepor as superfícies de isópacas e hidroisópacas dos perfis.

Figura 73 - (A) Localização do Perfil CAB Iso 2-2' e do perfil geológico A-A' de Góes, Travassos e Nunes (1993, p. 23k). (B) perfil geológico A-A' adaptado dos mesmos autores.

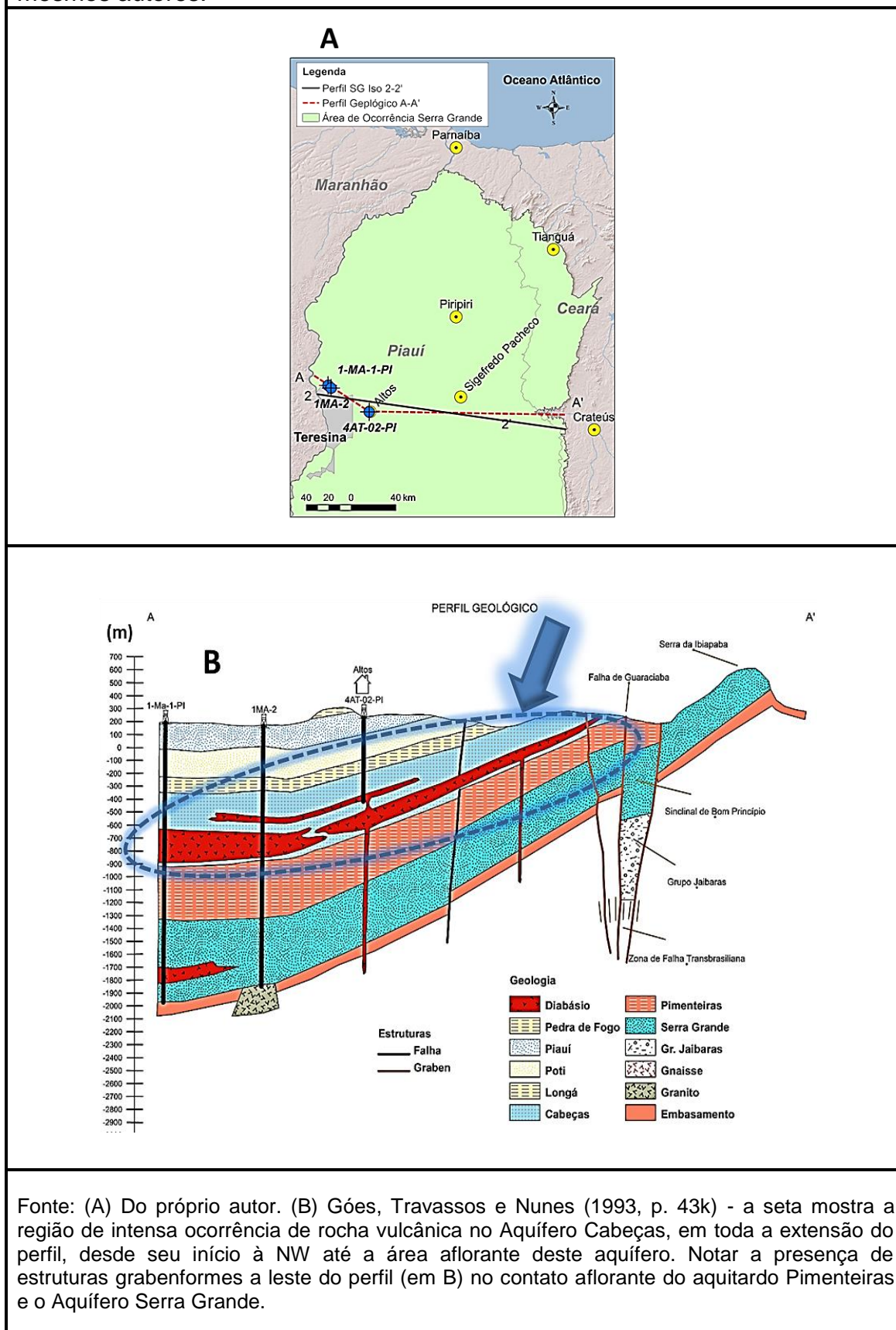
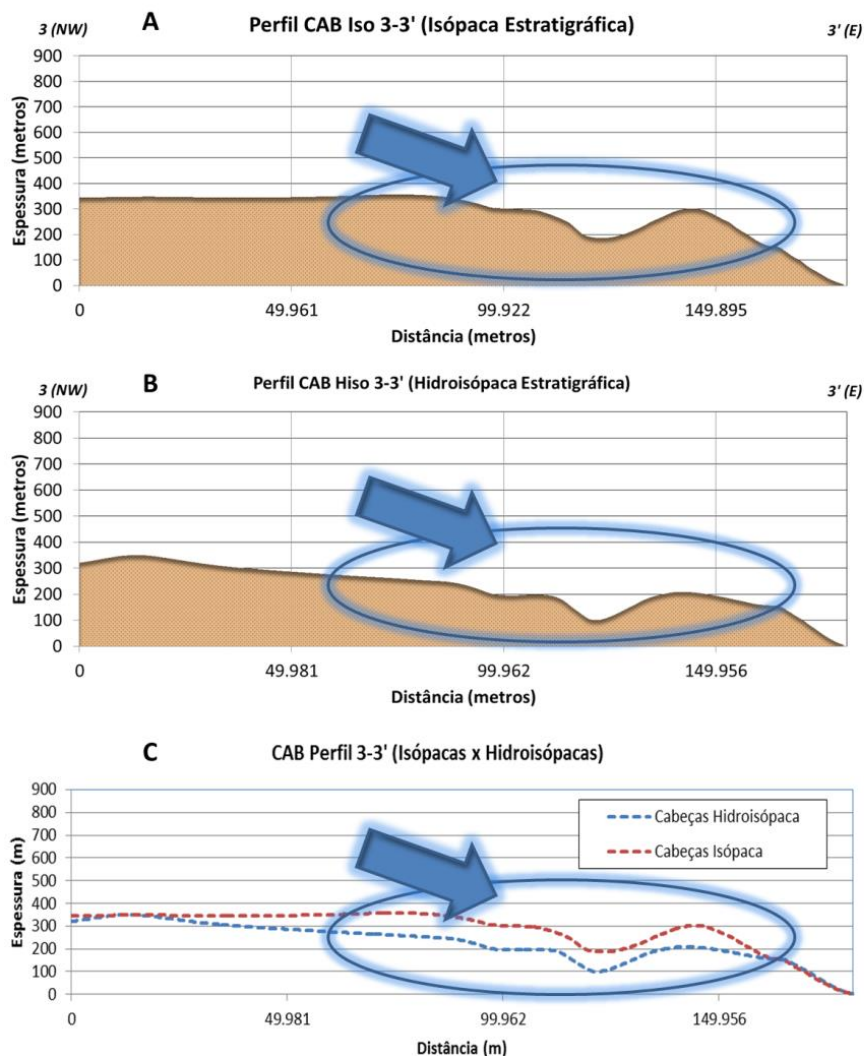


Figura 74 - Análise conjunta do (A) Perfil CAB Iso 3-3' de isópacas e do (B) Perfil CAB Hiso 3-3' de hidroisópacas do Aquífero Cabeças. (C) Curvas sobrepostas de isópacas e hidroisópacas do mesmo aquífero.



Fonte: Do próprio autor.

8.1.2.2.4 Classificação

O resultado da classificação aplicada nas hidroisópacas estratigráficas ajustadas do Aquífero Cabeças, com o objetivo de gerar os cenários de *Vocação Hidrogeológica*, é mostrado na Figura 75.

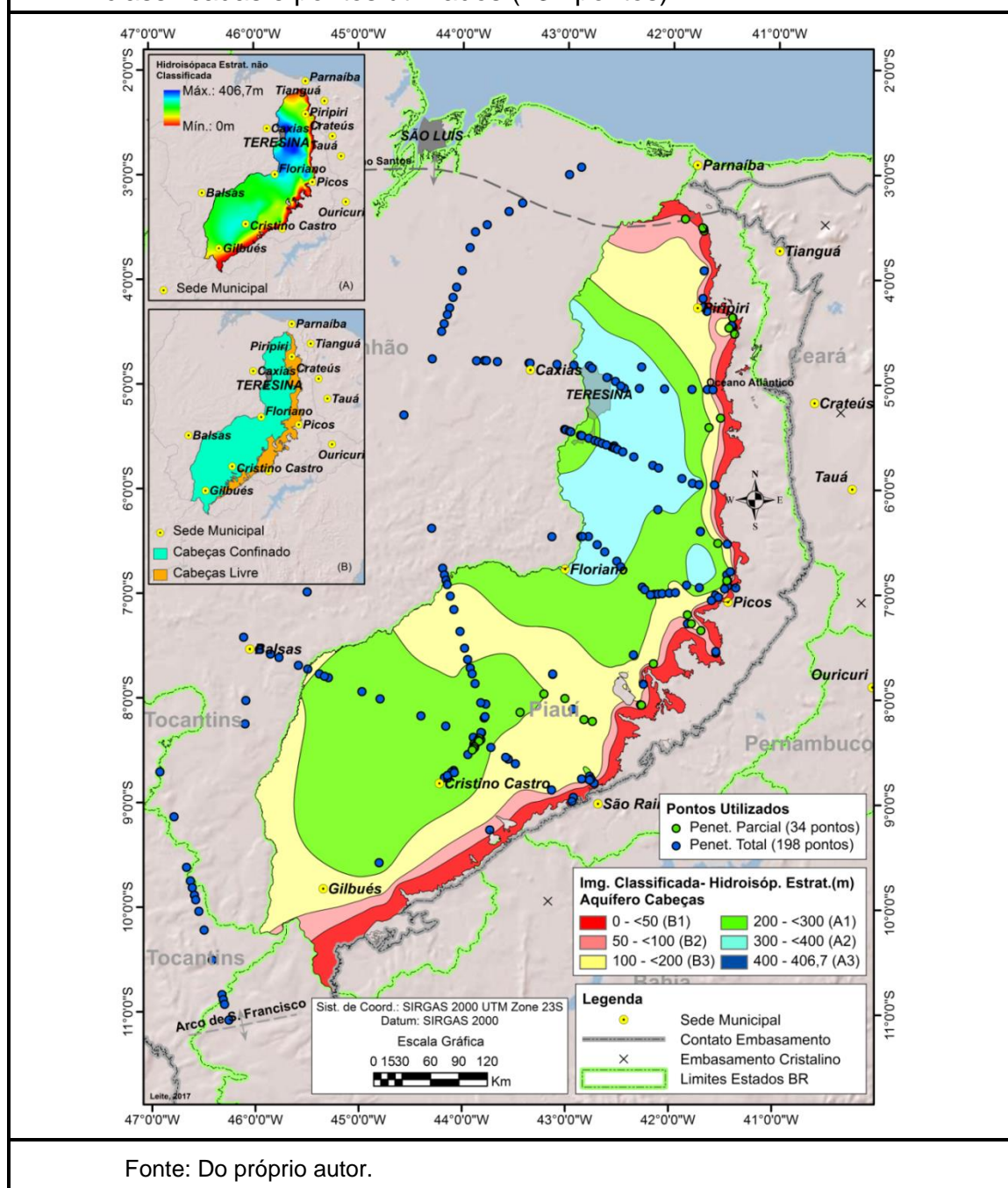
As seis classes e os respectivos intervalos de valores aplicados são mostrados no Quadro 12.

Quadro 12 - Classes aplicadas nas isópacas estratigráficas do Aquífero Cabeças e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo (m)	Classe	Intervalo (m)
B1	0 - <50	A1	200 - <300
B2	50 - <100	A2	300 - <400
B3	100 - <200	A3	400 - 406,7

Fonte: Do próprio autor.

Figura 75 - Hidroisópacas Estratigráficas do Aquífero Cabeças classificadas e pontos utilizados (232 pontos).



8.2 Capacidade específica

Neste tópico são apresentados os resultados das avaliações e classificações das capacidades específicas de poços nos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, considerando as seguintes situações- (a) Apenas os poços totalmente penetrantes no aquífero, e; (b) poços totalmente e parcialmente penetrantes no aquífero.

8.2.1 Aquífero Serra Grande

A seguir são apresentados os resultados para o Aquífero Serra Grande.

8.2.1.1 Poços totalmente penetrantes

A Figura 74 mostra as capacidades específicas classificadas para 21 poços com penetração total no Aquífero Serra Grande. A variação foi de 0,1 a 11,8 [(m³/h)/m] (Figura 74 - Quadro “C”). As classes aplicadas e os respectivos intervalos são apresentados no Quadro 13.

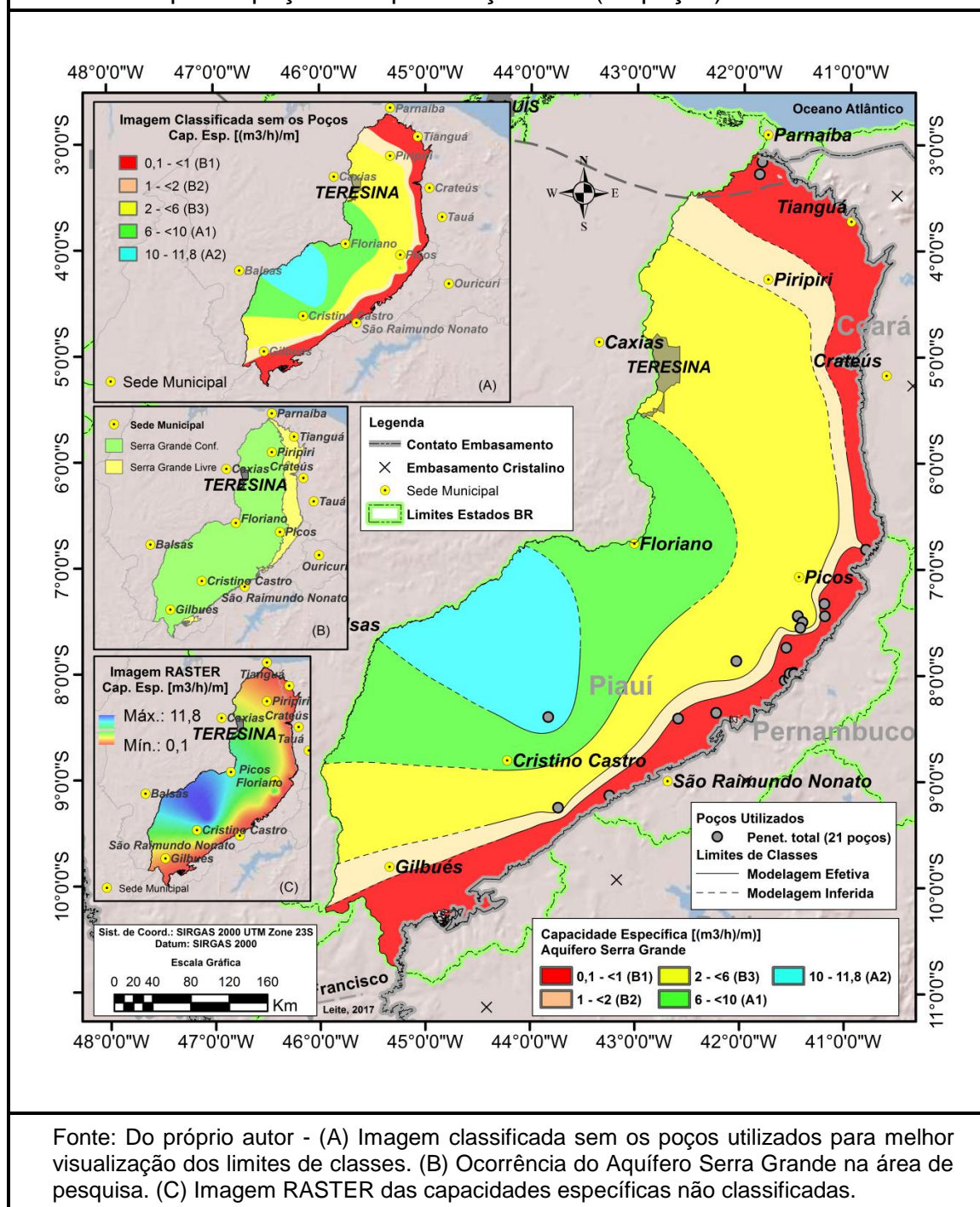
Quadro 13 - Classes aplicadas para as capacidades específicas de poços com penetração total no Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo [(m ³ /h)/m]	Classe	Intervalo [(m ³ /h)/m]
B1	0,1 - <1	A1	6 - <10
B2	1 - <2	A2	10 - <11,8
B3	2 - <6		

Fonte: Do próprio autor.

O Quadro “A” na Figura 76 mostra a mesma imagem classificada das capacidades específicas para o Aquífero Serra Grande sem os poços utilizados, apenas para melhor visualização dos limites entre classes. O Quadro “B”, na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área de pesquisa. O valor máximo de capacidade específica (11,8 [(m³/h)/m]) corresponde ao poço BPp-6 (código SIAGAS 2200017017), do projeto piloto do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), no município de Alvorada do Gurguéia na região do Vale do Gurguéia. De todos os poços construídos naquele vale, para pesquisa de água subterrânea, este foi o único a penetrar totalmente o Aquífero Serra Grande.

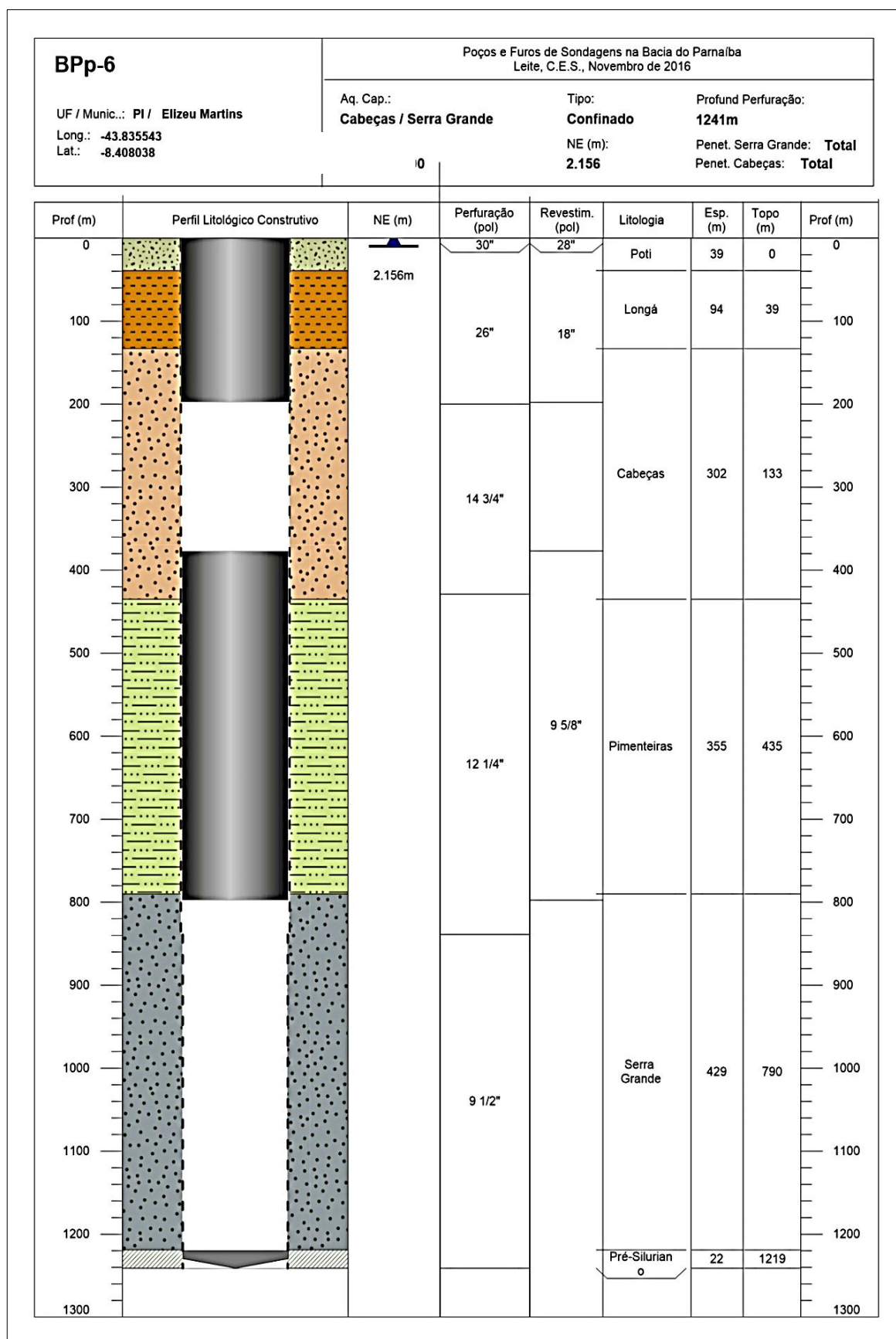
Figura 76 - Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande - Apenas poços com penetração total (21 poços).



Fonte: Do próprio autor - (A) Imagem classificada sem os poços utilizados para melhor visualização dos limites de classes. (B) Ocorrência do Aquífero Serra Grande na área de pesquisa. (C) Imagem RASTER das capacidades específicas não classificadas.

A Figura 77 mostra o perfil litológico - construtivo deste poço segundo Feitosa (1990 p. 304), com isópaca e hidroisópaca do Aquífero Serra Grande de 429m e isópaca e hidroisópaca do Aquífero Cabeças de 302m. Nenhuma ocorrência de intrusão de rocha vulcânica foi encontrada nesta perfuração, o que explica os mesmos valores de isópacas e hidroisópacas para ambos os aquíferos.

Figura 77 - Perfil litológico - construtivo do poço BPP-6 (SIAGAS 2200017017).



Fonte: Banco de dados STRATER do autor e dados originais de Feitosa, 1990.

Os resultados do teste de bombeamento no poço BPp-6 são apresentados no Quadro 14 e na Figura 78 é mostrada sua localização na área de pesquisa.

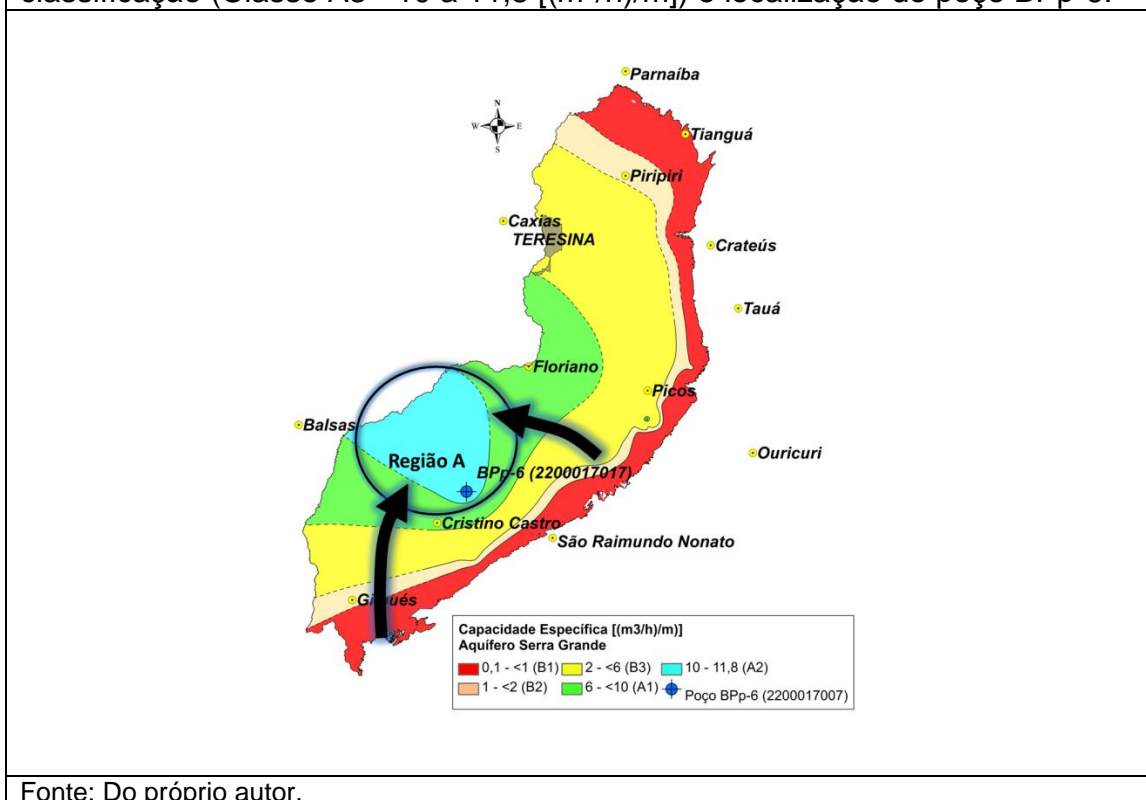
Quadro 14 - Resultados do teste de bombeamento do poço BPp-6.

Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica [(m ³ /h)/m]	Aquífero Captado
2,156	20,050	210	11,73	Serra Grande
Penetração no aquífero	Tempo bombeamento(h)	Método de medida	Início	Término
Total	24	Vertedouro Retangular	11/11/1986	12/11/1986
Executor	Equipamento de Bombeamento			
CPRM	Compressor			

Fonte: Feitosa, 1990.

Considerando a capacidade específica como um índice de produtividade do aquífero, verifica-se uma tendência de maior produtividade do Aquífero Serra Grande no sul da área de pesquisa (Classe A2), na região correspondente ao Vale do Gurguéia - região do poço BPp-6.

Figura 78 - Capacidades específicas classificadas com poços apenas de penetração total para o Aquífero Serra Grande e região de maior índice de classificação (Classe A3 - 10 a 11,8 [(m³/h)/m]) e localização do poço BPp-6.



Fonte: Do próprio autor.

As áreas com tendência a menores valores de capacidades específicas (Classes B1 e B2) correspondem à borda da área de pesquisa, no contato com o embasamento cristalino a leste, o que se justifica pelos menores valores de isópacas e hidroisópacas do Aquífero Serra Grande (ver figuras 59 e 67) e pelas suas características de maior silicificação, principalmente na região da Serra Grande, na parte nordeste da área, no limite com o Estado do Ceará.

Em perfilações óticas executadas pelo autor, em poços no município de Pio IX - PI (próximo ao limite com o Estado do Ceará), foram registradas fraturas no Aquífero Serra Grande em profundidade, caracterizando localmente este aquífero como do tipo fraturado.

Cabe ressaltar que a existência de estruturas grabeniformes, nas regiões das classes B1 e B2 (regiões próximas ao contato com o embasamento - ver figuras 39 e 73 como exemplos), podem, embora não necessariamente, influenciar de forma positiva nos valores de produtividades de poços ali construídos.

8.2.1.2 Poços totalmente e parcialmente penetrantes

A Figura 79 mostra as capacidades específicas classificadas para 479 poços com penetração total (21 poços) e com penetração parcial (458 poços) no Aquífero Serra Grande. A variação foi de 0,1 a 31,6 [(m³/h)/m] (Figura 79 - Quadro "C").

As classes aplicadas e os respectivos intervalos são apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 - Classes aplicadas para as capacidades específicas de poços com penetração total e parcial no Aquífero Serra Grande e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo [(m ³ /h)/m]	Classe	Intervalo [(m ³ /h)/m]
B1	0.1 - <1	A1	6 - <10
B2	1 - <2	A2	10 - <20
B3	2 - <6	A3	20 - <31,6

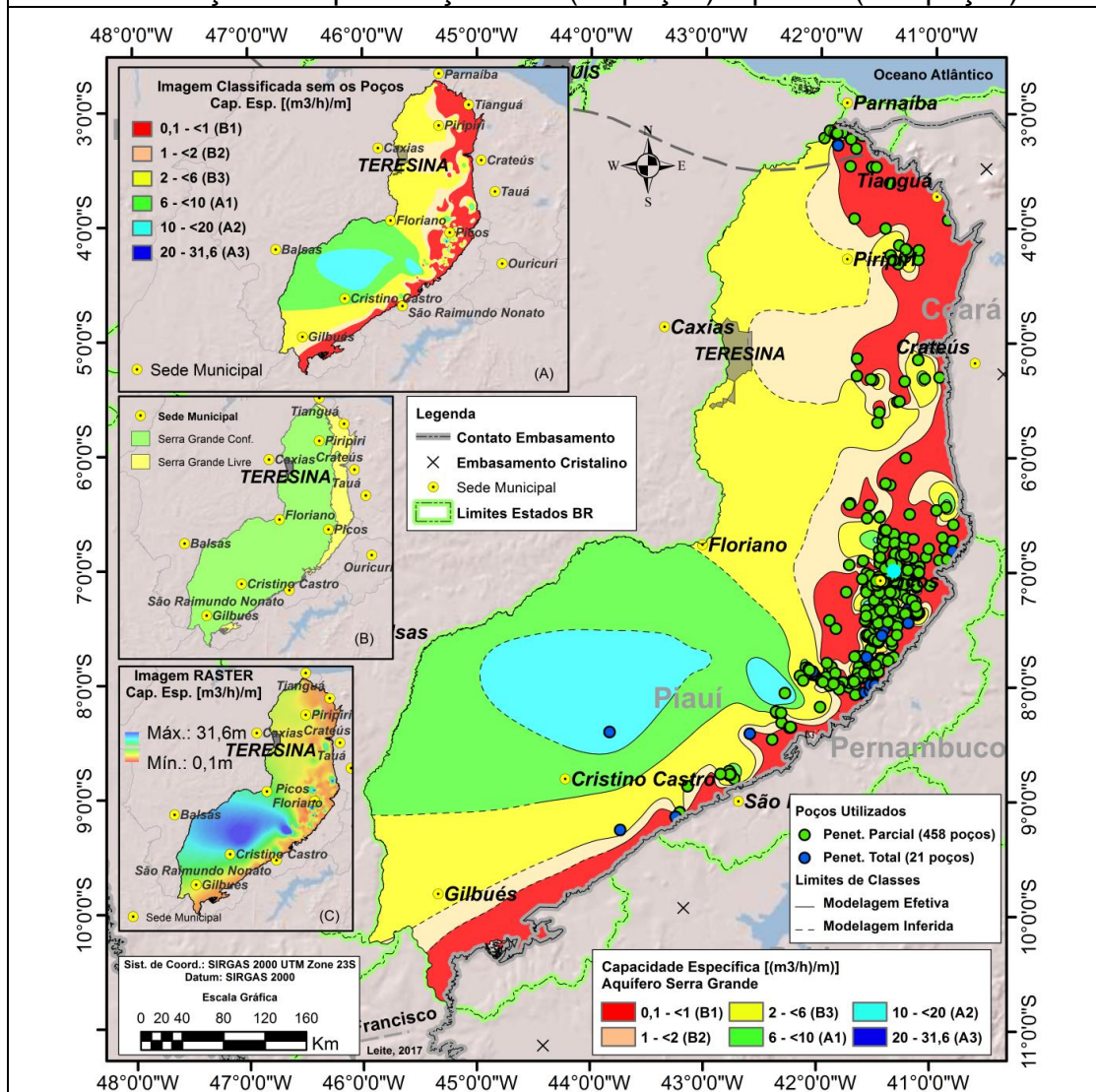
Fonte: Do próprio autor.

O Quadro "A" na Figura 79, mostra a mesma imagem classificada das capacidades específicas para o Aquífero Serra Grande sem os poços utilizados, apenas para melhor visualização dos limites entre classes. O Quadro "B", na mesma

figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área de pesquisa.

Como já comentado, a quase totalidade destes poços não permitiu uma criteriosa análise de suas capacidades específicas informadas. Por este motivo, os 458 poços com penetração parcial (na grande maioria do SIAGAS) são aqui considerados apenas no sentido de avaliação da tendência regional do comportamento destes valores na área de pesquisa e comparativo com as tendências resultantes do emprego apenas dos poços totalmente penetrantes.

Figura 79 - Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande - Poços com penetração total (21 poços) e parcial (458 poços).

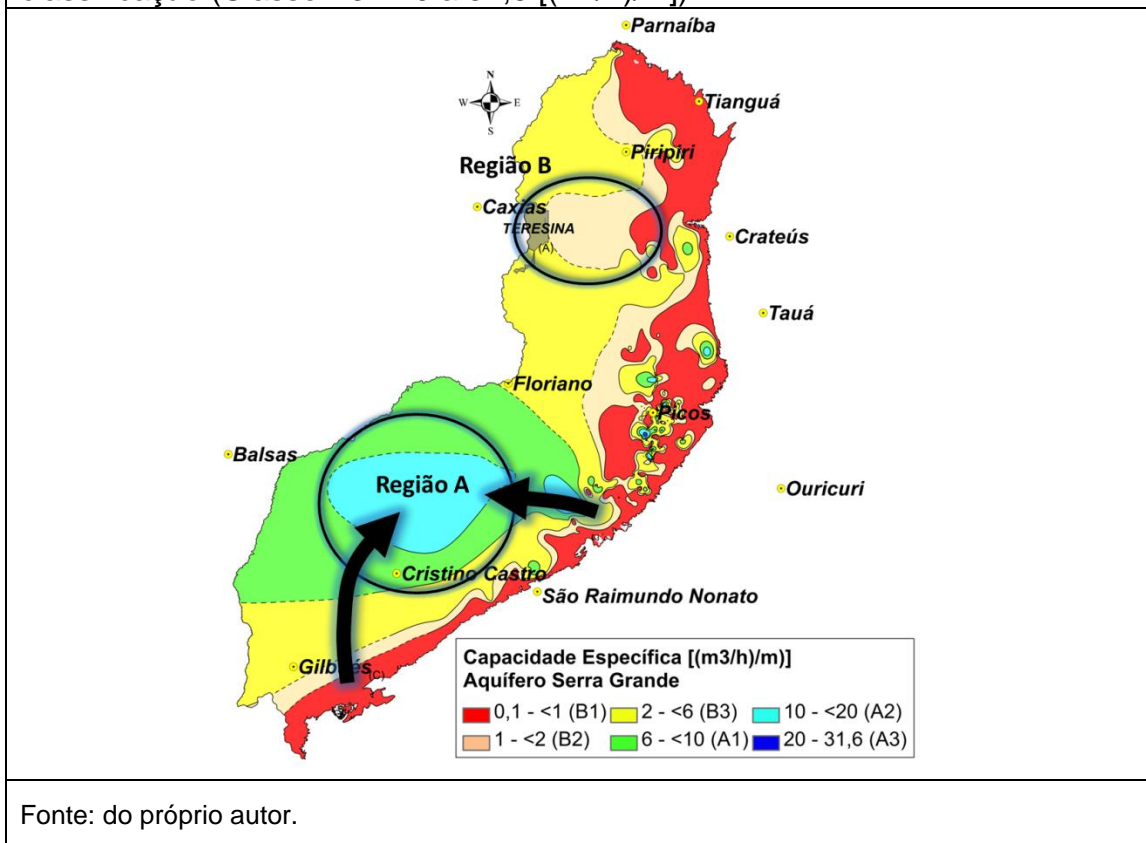


Fonte: Do próprio autor - autor - (A) Imagem classificada sem os poços utilizados para melhor visualização dos limites de classes. (B) Ocorrência do Aquífero Serra Grande na área de pesquisa. (C) Imagem RASTER das capacidades específicas não classificadas.

A partir da análise da Figura 80 pode-se constatar o mesmo comportamento, no sul da área, que o representado na Figura 78 - uma tendência de maior potencialidade produtiva do Aquífero Serra Grande na região do Vale do Guruguéia (Figura 80 - Região A). A região B na Figura 80 é resultado de extrapolação do algoritmo de interpolação e pode ser desconsiderada.

Desta forma, pode-se considerar que as duas situações modeladas apresentaram resultados semelhantes, ou seja, uma maior tendência de potencialidade produtiva do aquífero no sul da área, e que diminui nas regiões de borda, no contato com o embasamento.

Figura 80 - Capacidades específicas classificadas com poços de penetração total e parcial para o Aquífero Serra Grande e região de maior índice de classificação (Classe A3 - 20 a 31,6 [(m³/h)/m]).



8.2.2 Aquífero Cabeças

A seguir são apresentados os resultados para o Aquífero Cabeças. Poços totalmente penetrantes. A Figura 81 mostra o resultado das capacidades específicas classificadas para 45 poços com penetração total no Aquífero Cabeças. A variação

foi de 0,1 a 27,5 [(m³/h)/m] (Figura 79 - Quadro "C"). As classes aplicadas e os respectivos intervalos são apresentados no Quadro 16.

Quadro 16 - Classes aplicadas para as capacidades específicas de poços com penetração total no Aquífero Cabeças e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo [(m ³ /h)/m]	Classe	Intervalo [(m ³ /h)/m]
B1	0,1 - <1	A1	6 - <10
B2	1 - <2	A2	10 - <20
B3	2 - <6	A3	20 - <27,5

Fonte: Do próprio autor.

O Quadro "A" na Figura 81 mostra a mesma imagem classificada das capacidades específicas para o Aquífero Cabeças sem os poços utilizados, apenas para melhor visualização dos limites entre classes. O Quadro "B", na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área de pesquisa.

O valor máximo de capacidade específica - 27,5 [(m³/h)/m] - corresponde ao poço Cpp-6 na colônia do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), no município de Elizeu Martins - PI, no Vale do Gurguéia.

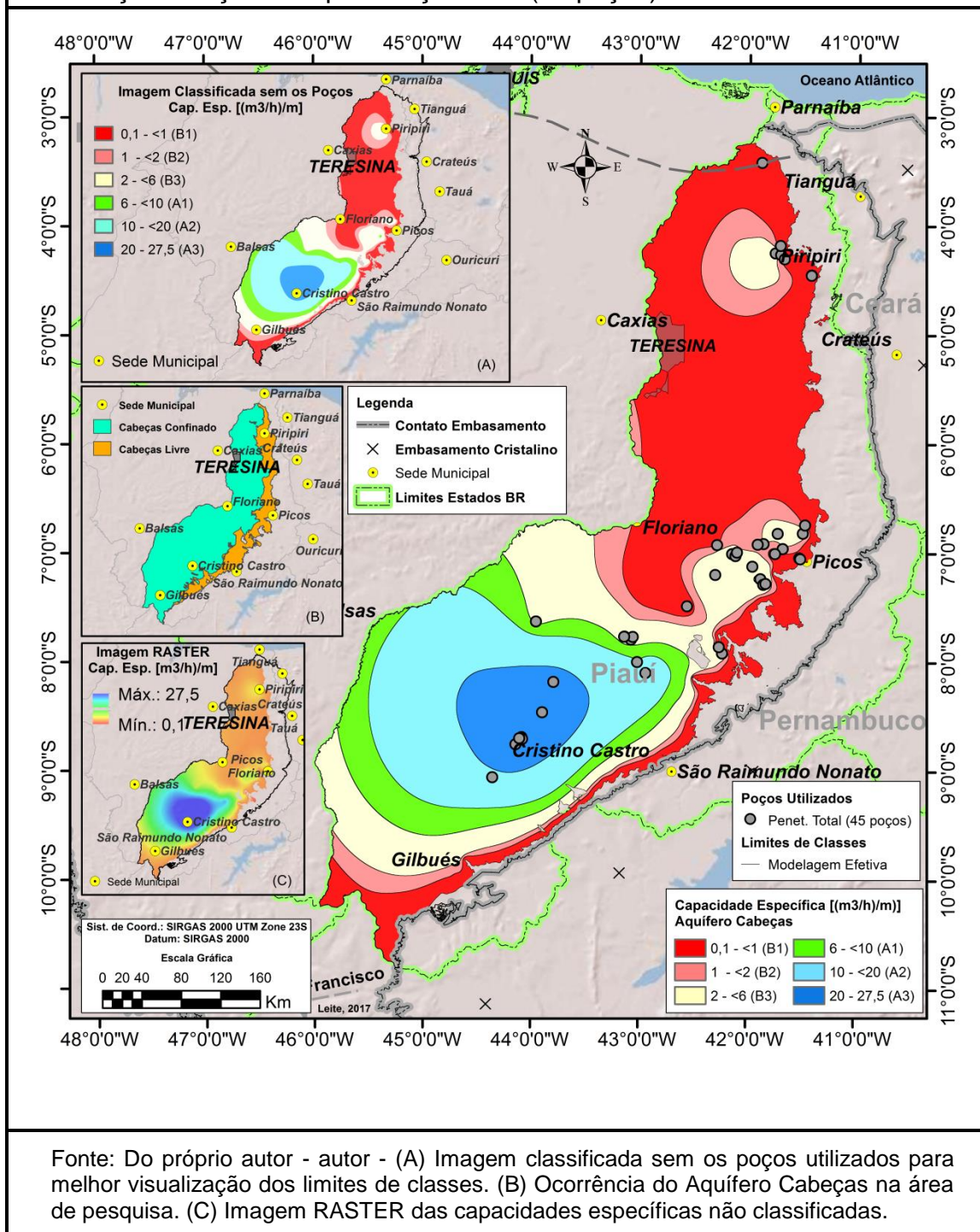
A Figura 82 mostra o perfil litológico-constutivo deste poço com isópaca e hidroisópaca do Aquífero Cabeças de 267m. Nenhuma ocorrência de intrusão vulcânica foi registrada nesta perfuração, o que explica valores idênticos de isópaca e hidroisópaca. Os resultados do teste de bombeamento no poço Cpp-6 são apresentados no Quadro 17 e na Figura 83 é mostrada sua localização na área de pesquisa.

Quadro 17 - Resultados do teste de bombeamento do poço Cpp-6.

Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Capacidade Específica [(m ³ /h)/m]	Aquífero Captado
30,53	46,9	451,2	27,54	Cabeças
Penetração no aquífero	Tempo bombeamento(h)	Método de medida	Início	Término
Total	48	-	02/03/1988	04/03/1988
Executor	Equipamento de Bombeamento			
CPRM	Bomba Submersa			

Fonte: Feitosa, 1990.

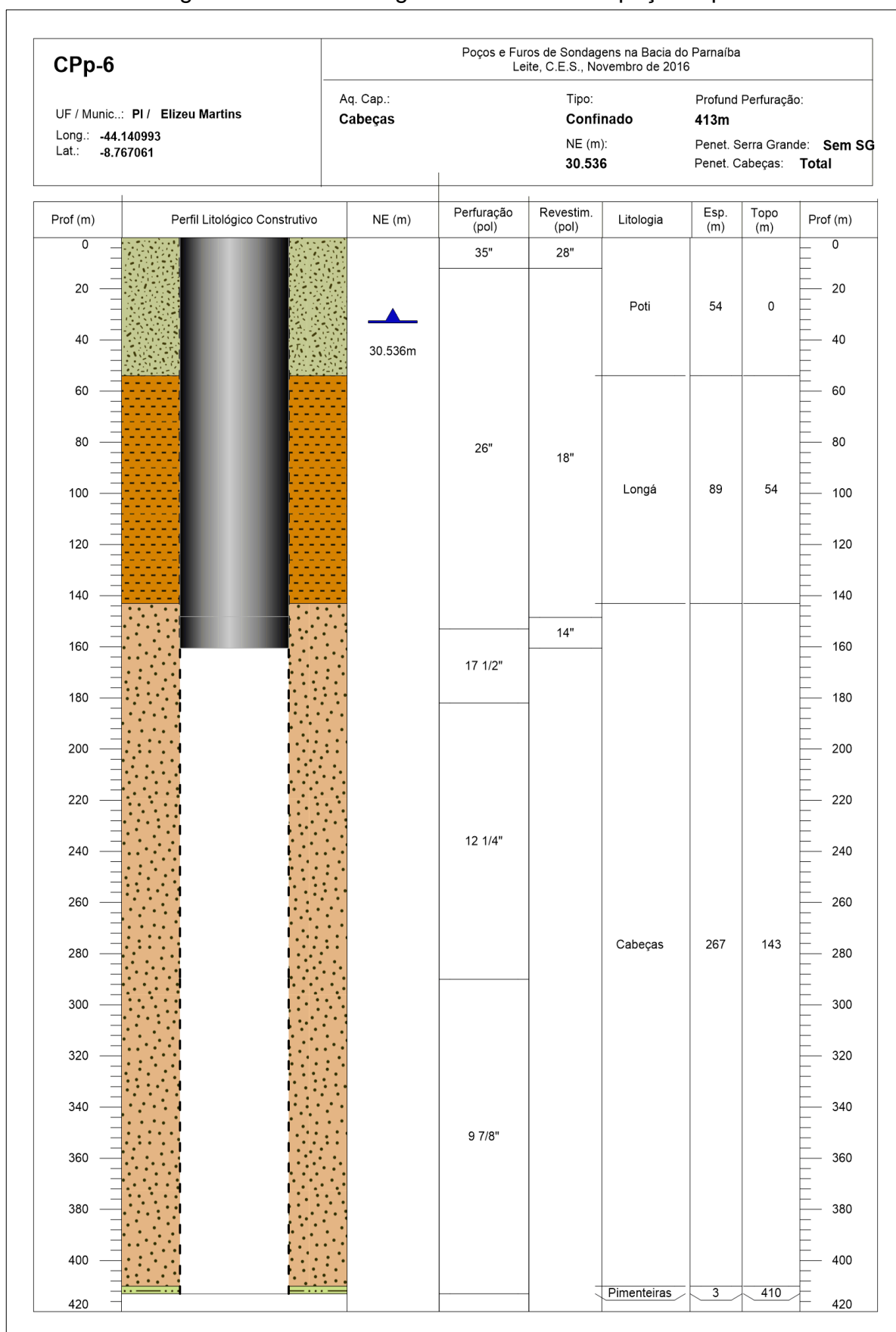
Figura 81 - Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças - Poços com penetração total (45 poços).



Fonte: Do próprio autor - autor - (A) Imagem classificada sem os poços utilizados para melhor visualização dos limites de classes. (B) Ocorrência do Aquífero Cabeças na área de pesquisa. (C) Imagem RASTER das capacidades específicas não classificadas.

Da mesma forma que no Aquífero Serra Grande, a tendência é de uma maior produtividade do Aquífero Cabeças também no sul da área (Figura 81 - Região A). A ausência de poços totalmente penetrantes no Aquífero Cabeças, na Região B (Figura 83) comprometeu uma melhor avaliação nesta área.

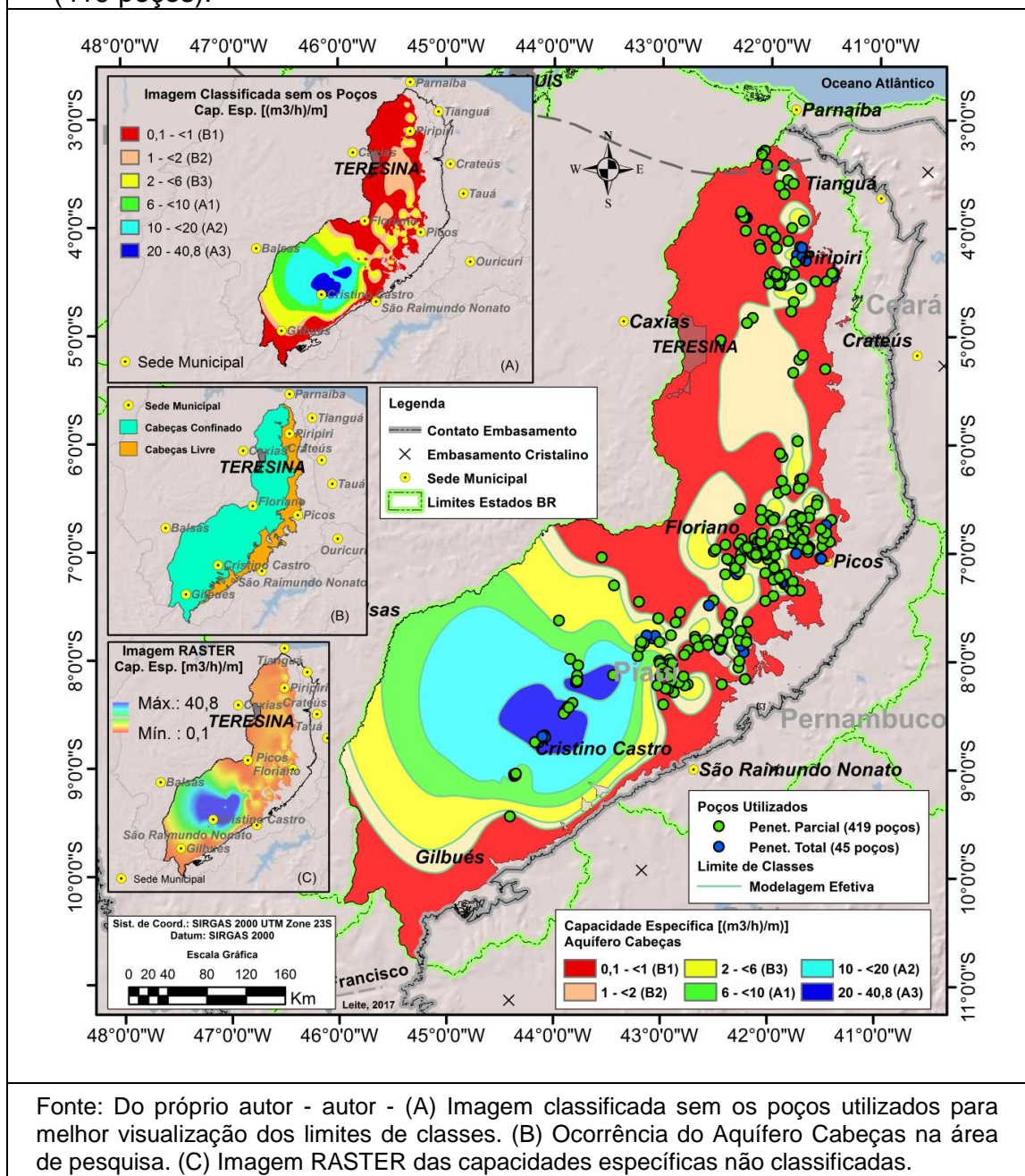
Figura 82 - Perfil litológico - construtivo do poço Cpp-6.



Fonte: Banco de dados STRATER do autor e dados originais de Feitosa, 1990.

O Quadro "A" Figura 84) mostra a mesma imagem classificada da capacidade específica para o Aquífero Cabeças, sem os poços utilizados, apenas para melhor visualização dos limites entre classes. O quadro "B", na mesma figura, mostra as áreas de ocorrência do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área de pesquisa.

Figura 84 - Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças - Poços com penetração total (45 poços) e penetração parcial (419 poços).

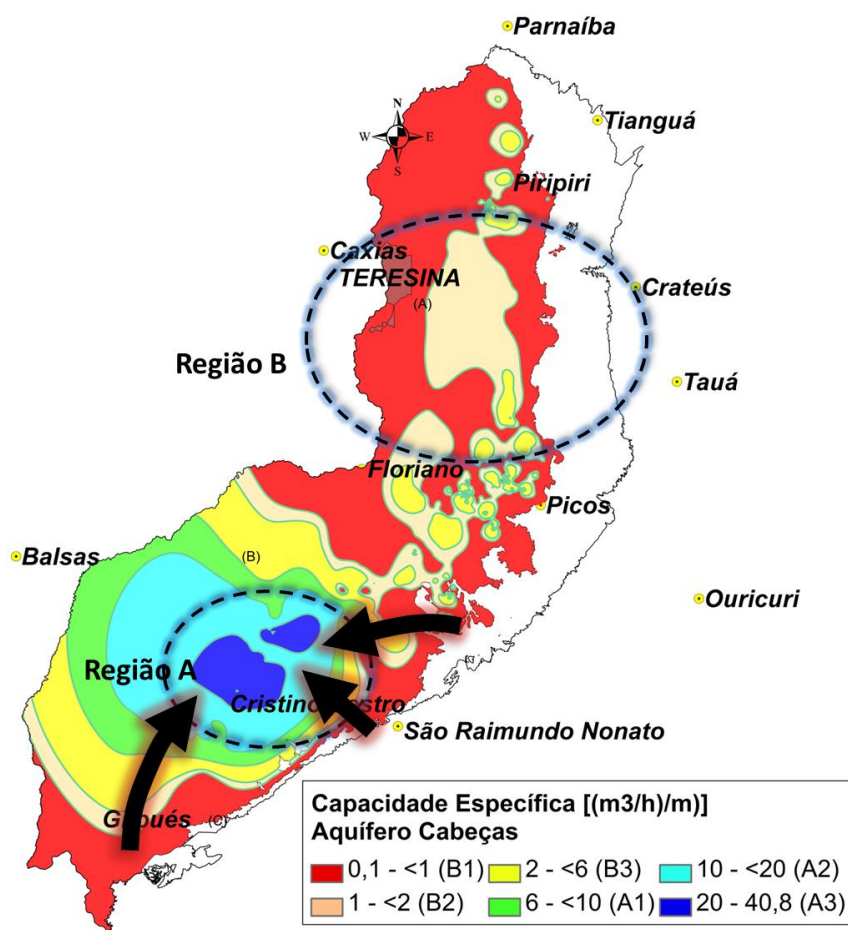


Como já comentado a quase totalidade dos poços, ou cerca de 90%, com penetração parcial são oriundos do SIAGAS, onde não foi possível uma criteriosa

avaliação dos valores informados de capacidade específica. Desta forma, são aqui considerados da mesma forma que para os do Aquífero Serra Grande, no sentido de avaliação da tendência regional do comportamento destes valores na área de pesquisa e comparativo com as tendências resultantes do emprego apenas dos poços totalmente penetrantes.

A tendência de um maior potencial de produtividade, considerando a capacidade específica como referência, também é ressaltada no sul da área quando se incluem na análise os poços parcialmente penetrantes no Aquífero Cabeças (Figura 85 - Região A). A região B, nesta mesma figura, apresentou maior detalhamento em função dos novos poços.

Figura 85 - Capacidades específicas classificadas com poços de penetração total e parcial no Aquífero Cabeças e região de maior índice de classificação (Classe A3 - 20 a 40,8 [(m³/h)/m]).



Fonte: Do próprio autor.

9 CENÁRIOS DE VOCAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Neste Capítulo serão apresentados os cenários de *Vocação Hidrogeológica* construídos para os Aquíferos Serra Grande e Cabeças, considerando as espessuras desses aquíferos - isópacas e hidroisópacas estratigráficas - e a potencialidade de produção representada pelas informações disponíveis de capacidades específicas de poços nestes dois aquíferos.

Os cenários foram construídos levando-se em consideração quatro situações para cada um dos aquíferos-

- (a) Cenário 01 - Isópacas estratigráficas ajustadas classificadas do aquífero x Capacidades específicas classificadas (poços com penetração total e parcial no aquífero).
- (b) Cenário 02 - Isópacas estratigráficas ajustadas classificadas do aquífero x Capacidades específicas classificadas (poços apenas com penetração total no aquífero).
- (c) Cenário 03 - Hidroisópacas estratigráficas ajustadas do aquífero x Capacidades específicas classificadas (poços com penetração total e parcial no aquífero).
- (d) Cenário 4 - Hidroisópacas estratigráficas ajustadas do aquífero x Capacidades específicas classificadas (poços apenas com penetração total no aquífero).

9.1 Aquífero Serra Grande

A seguir são apresentados os cenários construídos para o Aquífero Serra Grande.

9.1.1 Cenário 01

Para construção deste cenário foram considerados-

- (a) Isópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Serra Grande (Figura 40).
- (b) Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande - poços com penetração total e parcial (Figura 79).

O resultado é apresentado na Figura 86, onde se constata a predominância da Classe 04 no sul da área (Região A na Figura 86), coincidente com o Vale do Gurguéia. A Classe 01 domina as bordas, no contato com o embasamento, enquanto a Classe 02 predomina na parte norte e centro e a Classe 03 é pouco representada, apenas de forma muito localizada.

O Quadro “A”, mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Serra Grande (considerando poços com penetração total e parcial). O Quadro “B” mostra as ocorrências do Aquífero Serra Grande, Livre e Confinado, na área de pesquisa e o Quadro “C”, a imagem classificada para as isópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

As informações de capacidades específicas se concentram por todo o centro-leste e nordeste da área, no contato do Aquífero Serra Grande com o embasamento, enquanto apenas um poço, o BPp-6 (SIAGAS 2200017017), com capacidade específica de 11,7 [(m³/h)/m], no município de Alvorada do Gurguéia, se encontra mais para o interior, no centro sul (Figura 86 - Quadro A e Figura 79).

Esta característica se justifica pela grande profundidade do Aquífero Serra Grande nas outras regiões e a opção mais econômica de exploração do sistema aquífero Poti / Piauí.

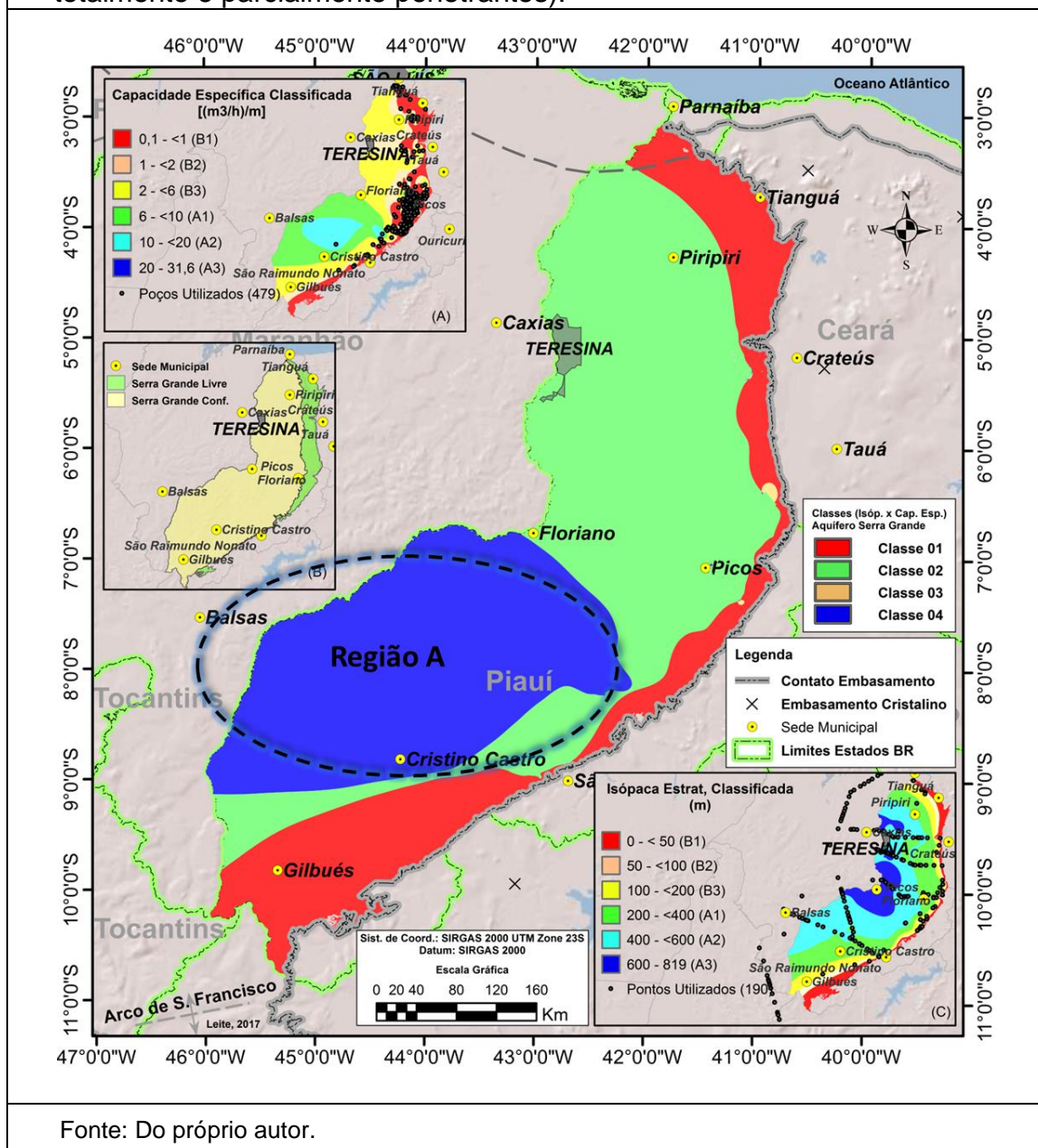
O Cenário se mostrou coerente em toda a margem leste, onde o Aquífero Serra Grande apresenta pequena espessura (Classe B1) (Quadro C) e poços com capacidades específicas no intervalo de 0,1 [(m³/h)/m] a menos que 1 [(m³/h)/m], na classe B1 (Figura 86 - Quadro A e Figura 79), sendo a área melhor classificada o sul-sudoeste, na classe 04 com capacidades específicas predominantes na classe A2 e isópacas predominando na classe A2.

Embora não exista informação de capacidade específica, no restante da área, duas regiões merecem destaque, a de Floriano e o norte de Teresina.

Em ambas, as isópacas foram classificadas como classe A3 (600m a 819m) (Figura 86 - Quadro C e Figura 40), sendo o valor máximo encontrado na primeira. As capacidades específicas foram classificadas pela modelagem como B3 (2 [(m³/h)/m]) a menos de 6 [(m³/h)/m]) (Figura 86 - Quadro e Figura 80).

Diante deste cenário estas duas regiões são merecedoras de atenção e de mais pesquisas de detalhe.

Figura 86 - Cenário 01 - Aquífero Serra Grande - Isópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).



9.1.2 Cenário 02

Para construção deste cenário foram considerados-

- Isópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Serra Grande (Figura 40).
- Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande - apenas poços com penetração total (Figura 76).

O resultado é apresentado na Figura 87, onde se constata a boa representatividade da Classe 04 também no sul da área, da mesma forma que no Cenário 01 anterior. Neste modelo (Cenário 02), esta área foi expandida até a região da sede de Floriano, ao norte (Região B).

A Classe 01 também predomina nas bordas da área, no contato com o embasamento, enquanto a Classe 02 também predomina no norte e ainda com boa representatividade no centro. A Classe 03, com pequenas representações pontuais no Cenário 01, não foi representada neste novo cenário.

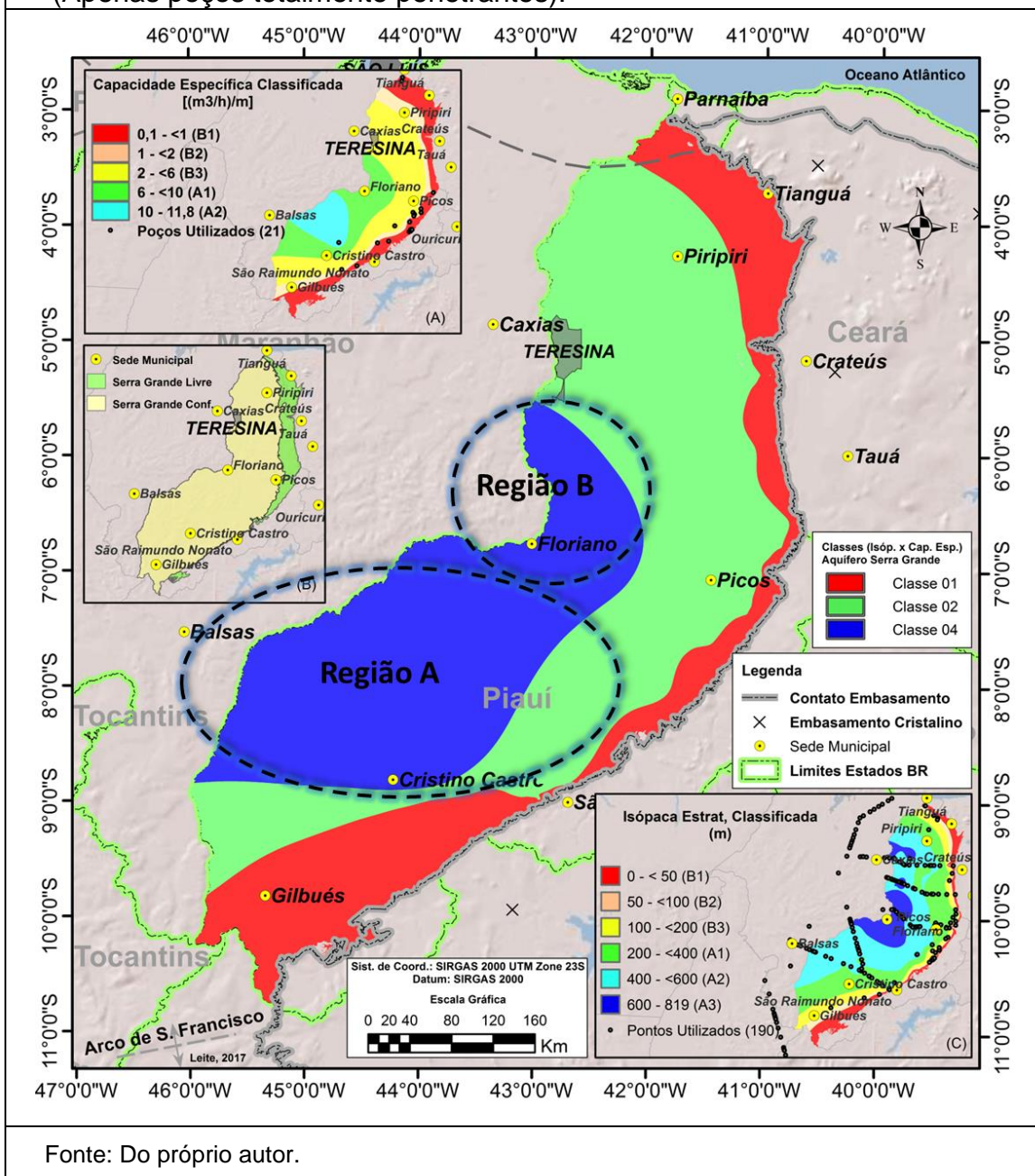
O Quadro “A” mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Serra Grande (considerando poços apenas com penetração total), o Quadro “B” mostra as ocorrências do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área de pesquisa e o Quadro “C”, a imagem classificada para as isópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

Pelo menor número de informações, apenas 21 poços totalmente penetrantes, as informações de capacidades específicas se concentram ainda mais por toda a margem leste da área, no contato do Aquífero Serra Grande com o embasamento, enquanto apenas o mesmo poço BPp-6 (SIAGAS 2200017017), se encontra mais para o interior, no centro sul da área de pesquisa (Figura 87 - Quadro A e Figura 76).

Esta característica se justifica ainda mais pela grande profundidade e espessura do Aquífero Serra Grande nas outras regiões.

O Cenário, Entretanto, também se mostrou coerente em toda a margem leste, onde o Aquífero Serra Grande apresenta pequena espessura (Classe B1 – Figura 87 - Quadro C) e poços com capacidades específicas no intervalo de 0,1 [(m³/h)/m] a menos que 1 [(m³/h)/m] na classe B1 (Figura 87 - Quadro A e Figura 76), sendo as áreas melhores classificadas o sul-sudoeste, na classe 04 com capacidades específicas predominantes na classe A2 e isópacas predominando na classe A2 e o centro-oeste, também na Classe 04 com capacidades específicas predominantes na classe A1 e isópacas predominando na classe A3

Figura 87 - Cenário 02 - Aquífero Serra Grande - Isópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).



Fonte: Do próprio autor.

Embora não exista informação de capacidade específica, na região de Floriano o cenário mostrou uma tendência favorável à exploração do aquífero que, da mesma forma que em Teresina, apresenta Isópacas classificadas como “A3” (600m a 819m) (Figura 87 - Quadro C e Figura 40).

As capacidades específicas foram classificadas, pela modelagem, como B3 (2 $[(m^3/h)/m]$ a menos que 6 $[(m^3/h)/m]$) na região de Teresina e como A1 (6

[[m^3/h]/m] a menos que 10 [[m^3/h]/m]) na região de Floriano (Figura 87- Quadro A e Figura 76).

Diante deste Cenário estas duas regiões também se destacam como merecedoras de mais pesquisas.

9.1.3 Cenário 03

Para construção deste cenário foram considerados-

- (a) Hidroisópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Serra Grande (Figura 45).
- (b) Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande - poços com penetração total e parcial (Figura 76).

O resultado é apresentado na Figura 88, onde se constata a predominância da Classe 04 no sul da área (Área A na mesma Figura).

A Classe 01 domina as bordas da área, no contato com o embasamento, enquanto a Classe 02 predomina na parte norte e centro, e a Classe 03 é pouco representada, apenas de forma muito localizada.

O Quadro "A", mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Serra Grande (considerando poços com penetração total e parcial).

O Quadro "B" mostra as ocorrências do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área de pesquisa e o Quadro "C", a imagem classificada para as hidroisópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

Como no Cenário 01, as informações de capacidades específicas se concentram por todo o centro-leste e nordeste da área, com o mesmo poço, o BPP-6 (SIAGAS 2200017017), sendo a única representação mais ao centro (sul da área) (Figura 88 - Quadro A e Figura 78).

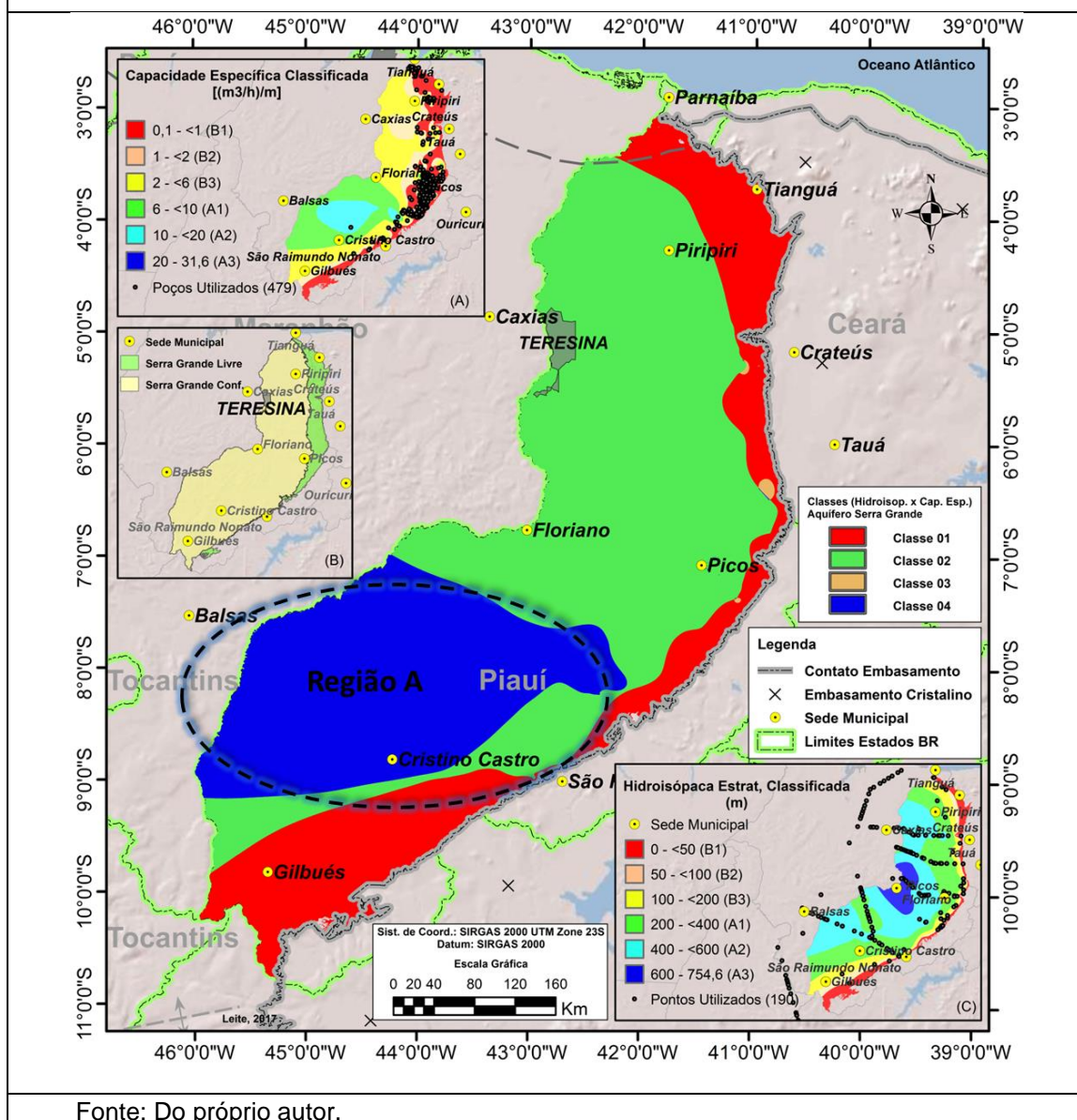
O Cenário se mostrou coerente em toda a margem leste, onde o Aquífero Serra Grande apresenta pequena espessura e poços com capacidades específicas no intervalo de 0,1 [[m^3/h]/m] a menos que 1 [[m^3/h]/m], na classe B1.

Neste Cenário 03 a área melhor classificada (Classe 04) foi estendida mais para o leste na região sul, com hidroisópacas e capacidades específicas na Classe A2.

Classificada como Classe 02, a região de Floriano merece destaque por apresentar hidroisópacas na Classe A3 (600m a 754,6m) (Figura 88 - Quadro C e

Figura 55) e capacidades específicas modeladas nas Classes B3 e A1 (Figura 88 - Quadro A e Figura 79), merecedora de mais pesquisas.

Figura 88 - Cenário 03 - Aquífero Serra Grande - Hidroisópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).



Fonte: Do próprio autor.

9.1.4 Cenário 04

Para construção deste cenário foram considerados:

- (a) Hidroisópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Serra Grande (Figura 45).

(b) Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Serra Grande - apenas poços com penetração total (Figura 76).

O resultado é apresentado na Figura 89, onde se constata a boa representatividade da Classe 04 também no sul da área, da mesma forma que no Cenário 03 anterior. Neste modelo (Cenário 04), esta área foi expandida até a região da sede de Floriano, ao norte (Região B).

A Classe 01 também predomina nas bordas da área, no contato com o embasamento, enquanto a Classe 02 também predomina no norte e com representatividade no centro.

A Classe 03, com pequenas representações pontuais no Cenário 03, não foi representada neste novo cenário.

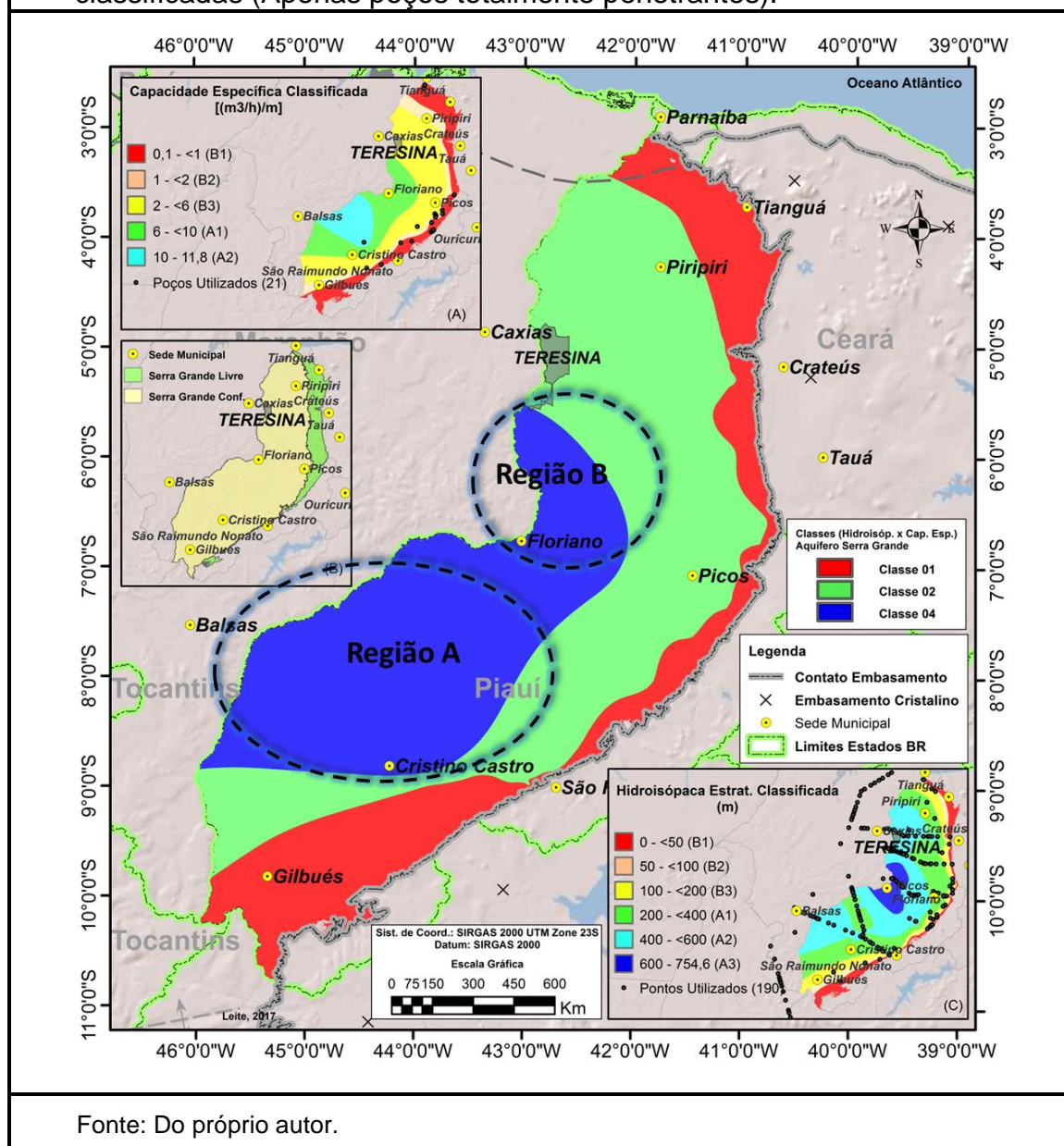
O Quadro "A" mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Serra Grande (considerando poços apenas com penetração total).

O Quadro "B" mostra as ocorrências do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado na área de pesquisa e o Quadro "C", a imagem classificada para as hidroisópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

Como no cenário 02, pelo menor número de informações, apenas 21 poços totalmente penetrantes, as informações de capacidades específicas se concentram ainda mais por toda a margem leste da área, no contato do Aquífero Serra Grande com o embasamento, enquanto apenas o mesmo poço BPP-6 (SIAGAS 2200017017), se encontra mais para o interior, no centro sul da área de pesquisa (Figura 89 - Quadro A e Figura 76).

Este Cenário apresenta as mesmas características que o Cenário 02, sendo a região de Floriano também classificada como A3, embora sem dados de capacidades específicas, sendo merecedora de atenção.

Figura 89 - Cenário 04 - Aquífero Serra Grande - Hidroisópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).



9.2 Aquífero Cabeças

A seguir são apresentados os cenários construídos para o Aquífero Cabeças.

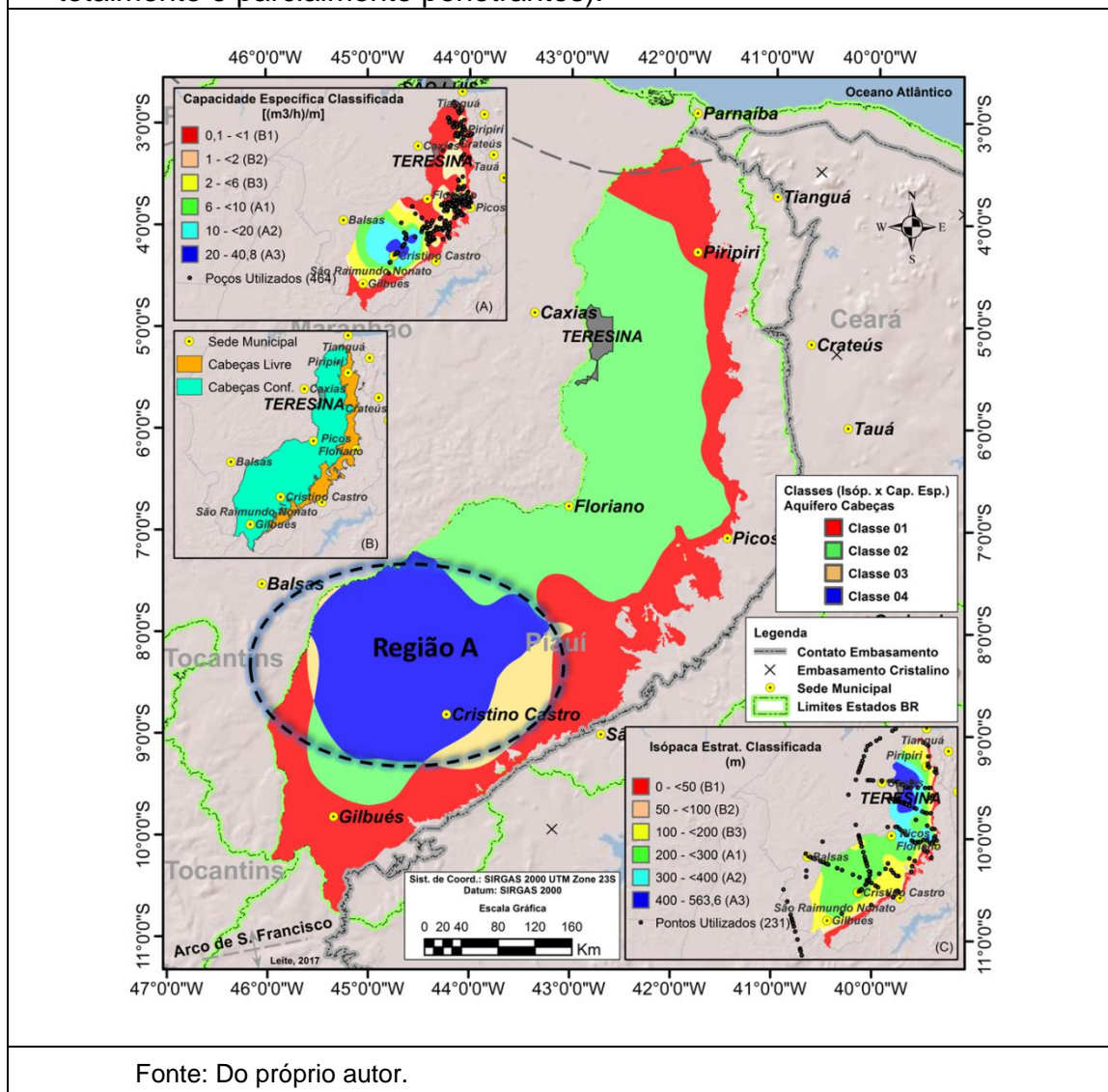
9.2.1 Cenário 01

Para construção deste cenário foram considerados-

- (a) Isópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Cabeças (Figura 60).
- (b) Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças - poços com penetração total e parcial (Figura 84).

O resultado é apresentado na Figura 90, onde se constata a boa representatividade da Classe 04 no sul da área (Área A). A Classe 01 domina as bordas da área, no contato com o embasamento e apresenta ainda boa representatividade no limite sul e na região centro-sul, entre as regiões de Cristino Castro e Floriano.

Figura 90 - Cenário 01 - Aquífero Cabeças - Isópacas Estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).



A Classe 02 predomina na parte norte e central e com pequena representação ao sul, enquanto a Classe 03 é representada no sul da área de forma pouco expressiva. O Quadro “A”, na Figura 90, mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Cabeças (considerando poços com penetração total e parcial), o Quadro “B” mostra as ocorrências do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área de pesquisa e o Quadro “C”, a imagem classificada para as isópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

As informações de capacidades específicas, para o Aquífero Cabeças, são melhores distribuídas na área de pesquisa, que as informações para o Aquífero Serra Grande, embora que ainda mais concentradas a leste que ao oeste da área. Esta característica se justifica pela profundidade do Aquífero Cabeças mais para o oeste da área, em direção ao centro da Bacia do Parnaíba.

O Cenário se mostrou coerente em toda a margem leste, onde o Aquífero Cabeças apresenta pequena espessura (Classe B1) (Figura 90 - Quadro C e Figura 63) e poços com capacidades específicas no intervalo de 0,1 [(m³/h)/m] a menos que 1 [(m³/h)/m], na classe B1 (Figura 90 - Quadro A e Figura 84), sendo a área melhor classificada o sul, na classe 04 com capacidades específicas nas classes A2 e A3 e isópacas predominando na classe A1.

Embora classificada como Classe 02, a Região de Teresina merece destaque por apresentar isópacas na Classe A3 (400m a 563,6m) (Figura 90 - Quadro A e Figura 63), sendo merecedora de atenção. Nesta região a única informação de capacidade específica é oriunda do poço SIAGAS 2200001846, com apenas 0,82 [(m³/h)/m]], entretanto, de penetração parcial e em região de diabásio.

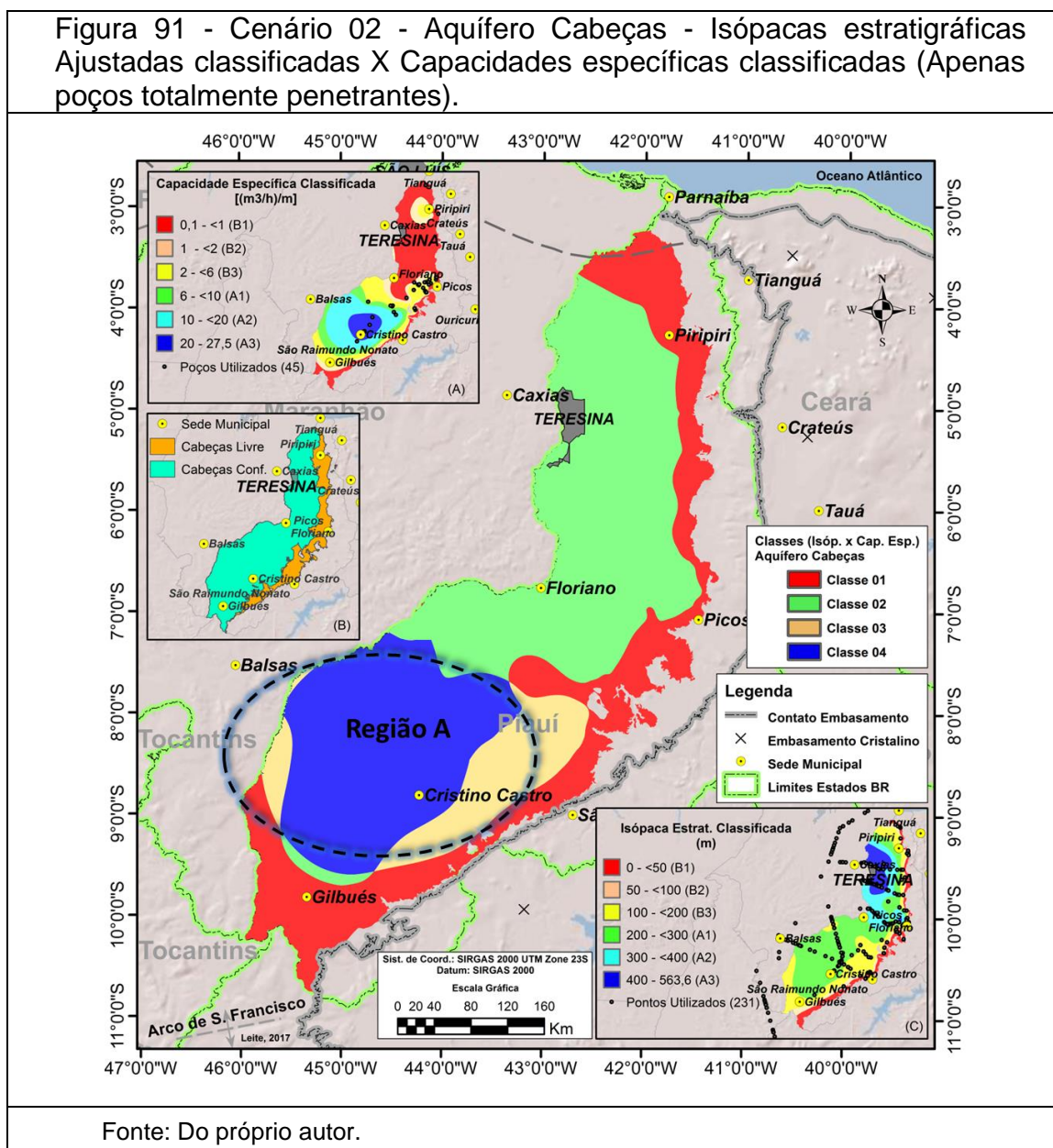
9.2.2 Cenário 02

Para construção deste cenário foram considerados:

- (a) Isópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Cabeças (Figura 60).
- (b) Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças - apenas poços com penetração total (Figura 81).

O resultado é apresentado na Figura 91, onde se constata a boa representatividade da Classe 04 também no sul da área (Região A), da mesma forma que no Cenário 01 anterior.

Figura 91 - Cenário 02 - Aquífero Cabeças - Isópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).



Da mesma forma, a Classe 01 também domina as bordas da área, no contato com o embasamento e no limite sul, enquanto a Classe 02 predomina na parte norte e central, e a Classe 03 é representada, no sul da área, agora de forma pouco mais expressiva.

O Quadro "A" mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Cabeças (considerando poços apenas com penetração

total), o Quadro “B” mostra as ocorrências do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área de pesquisa e o Quadro “C”, a imagem classificada para as isópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

A modelagem deste Cenário foi prejudicada pela quase ausência de poços no norte da área, entretanto, apesar de um número reduzido de informações de capacidade específica (45 poços totalmente penetrantes), observa-se uma distribuição moderada no sul, principalmente por conta dos poços na região do Gurguéia construídos pelos antigos projetos de pesquisa para irrigação no vale (Figura 91 - Quadro A e Figura 81).

A área melhor classificada (Classe 04) é a sul, com isópacas classificadas como A1 (200m a menos que 300m) (Figura 91 - Quadro C e Figura 63) poços com capacidades específicas no intervalo de 20 [(m³/h)/m] a 27,5 [(m³/h)/m] na classe A3 (Figura 91 - Quadro A e Figura 81), Merece destaque a região de Teresina, que, embora sem informação de poços totalmente penetrantes, apresenta isópacas de Classe A3 (400m a 563,6m) e foi aqui classificada como Classe 02.

9.2.3 Cenário 03

Para construção deste cenário foram considerados:

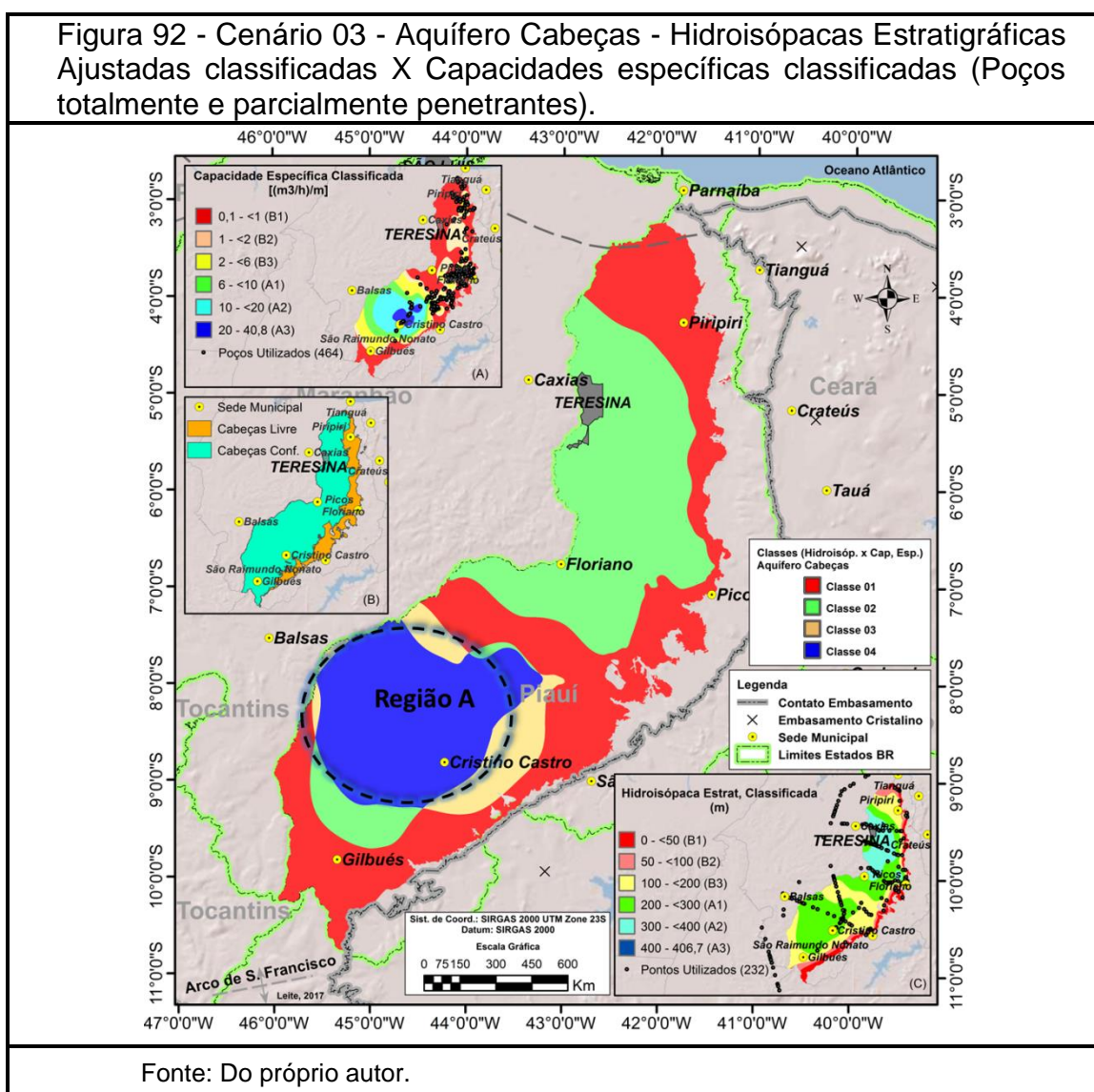
- (a) Hidroisópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Cabeças (Figura 68).
- (b) Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças - poços com penetração total e parcial (Figura 84).

O resultado é apresentado na Figura 92, onde se constata a boa representatividade da Classe 04 no sul da área (Área A). A Classe 01 além de representar toda a borda da área, no contato com o embasamento e no limite sul, é representada por uma faixa NW-SE, acima da Região A, nesta mesma figura, enquanto a Classe 02 predomina na região central e tem boa representatividade na parte norte. A Classe 03 é representada, no sul da área de forma não tão expressiva. O Quadro “A” mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Cabeças (considerando poços com penetração total e parcial).

O Quadro “B” mostra as ocorrências do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área de pesquisa e o Quadro “C”, a imagem classificada para as isópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

Como no Cenário 01 anterior as informações de capacidades específicas, para o Aquífero Cabeças, são melhor distribuídas na área de pesquisa, que as informações para o Aquífero Serra Grande. O resultado desta classificação foi coerente com a do Cenário 01 anterior, sendo a área melhor classificada o sul, na classe 04, com capacidades específicas nas classes A2 e A3 e isópacas predominando na classe A1.

Figura 92 - Cenário 03 - Aquífero Cabeças - Hidroisópacas Estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Poços totalmente e parcialmente penetrantes).



9.2.4 Cenário 04

Para construção deste cenário foram considerados-

- (a) Hidroisópacas estratigráficas ajustadas classificadas do Aquífero Cabeças (Figura 68).
- (b) Capacidades específicas classificadas para o Aquífero Cabeças - apenas poços com penetração total (Figura 81).

O resultado é apresentado na Figura 93, onde se constata a boa representatividade da Classe 04 também no sul da área (Região A), da mesma forma que no Cenário 03 anterior.

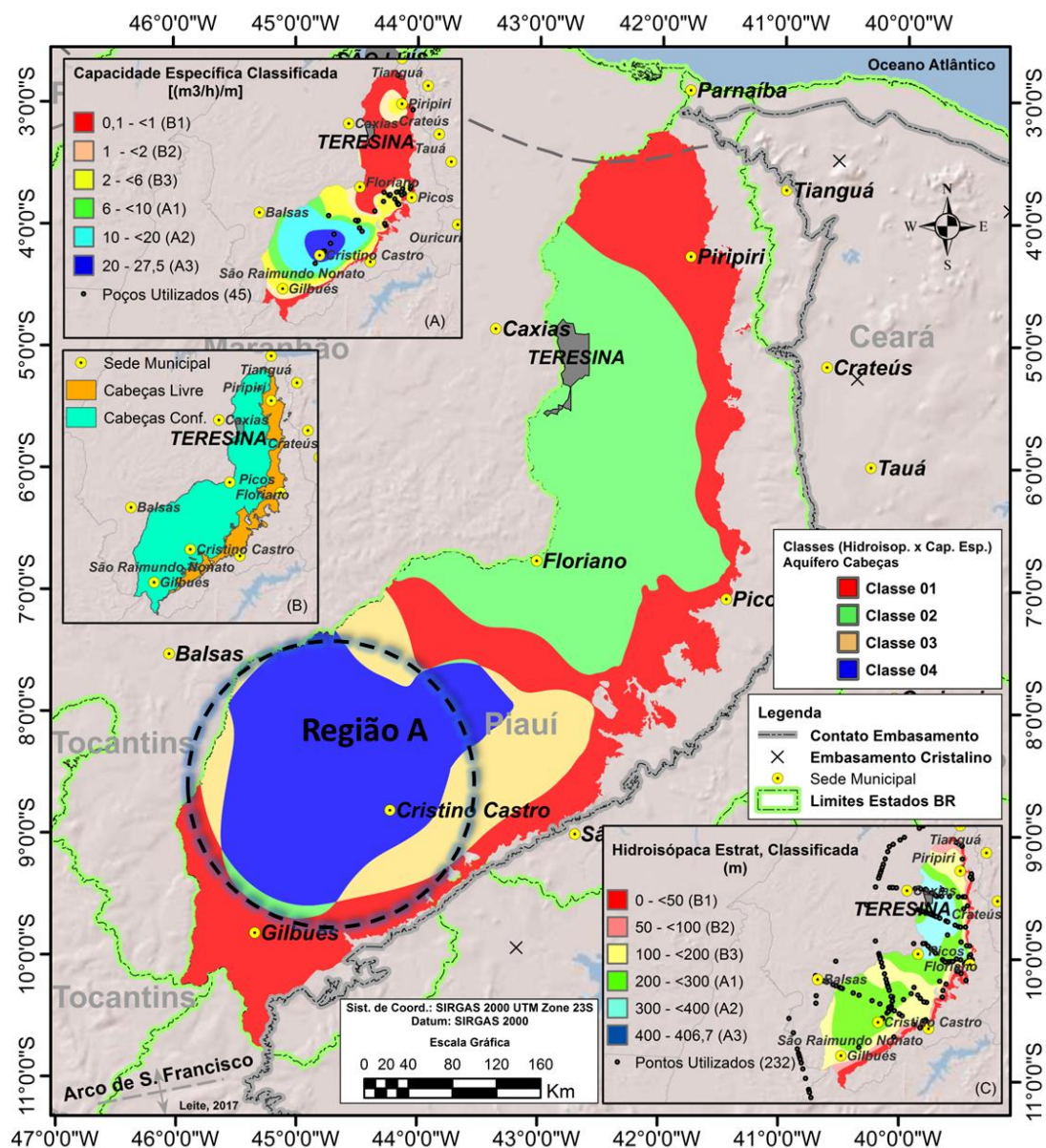
A Classe 01 também domina as bordas da área, no contato com o embasamento e no limite sul, e também é representada por uma faixa NW-SE acima da Região A, nesta mesma figura, enquanto a Classe 02 continua predominando no centro e com boa representatividade no norte.

A Classe 03 é representada, no sul da área, agora de forma mais expressiva.

O Quadro "A", mostra a imagem classificada para as capacidades específicas no Aquífero Cabeças (considerando poços apenas com penetração total), o Quadro "B" mostra as ocorrências do Aquífero Cabeças Livre e Confinado na área de pesquisa e o Quadro "C", a imagem classificada para as hidroisópacas estratigráficas ajustadas deste mesmo aquífero.

Este Cenário apresenta as mesmas características que o Cenário 02, com a região de melhor classificação o sul da área de pesquisa, na Classe 04, com capacidades específicas classificadas como A3 (Figura 93 - Quadro A e Figura 81) e hidroisópacas classificadas como A1 (Figura 93 - Quadro C e Figura 75).

Figura 93 - Cenário 04 - Aquífero Cabeças - Hidroisópacas estratigráficas Ajustadas classificadas X Capacidades específicas classificadas (Apenas poços totalmente penetrantes).



Fonte: Do próprio autor.

10 PROFUNDIDADE DO TOPO DOS AQUÍFEROS SERRA GRANDE E CABEÇAS

Neste Capítulo são apresentados os resultados das modelagens das profundidades do topo dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças Confinados.

10.1 Aquífero Serra Grande

O resultado da modelagem para a profundidade do topo do Aquífero Serra Grande Confinado é mostrado na Figura 94.

Os valores variaram de 0m no contato do Aquífero Serra Grande Livre - Confinado, até o máximo de 1827m, na região entre o sul de Teresina e o norte de Floriano (Região A na Figura 95). Os incrementos nos valores das profundidades se dão de forma gradual em direção ao centro da Bacia do Parnaíba. A Figura 96 mostra a imagem classificada e o Quadro 19 as classes e respectivos intervalos aplicados.

Quadro 19 - Classes aplicadas para as profundidades do Aquífero Serra Grande confinado e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo (m)	Classe	Intervalo (m)
B1	0 - <50	A1	200 - <300
B2	50 - <100	A2	300 - <500
B3	100 - <200	A3	500 - <1000
		A4	1000 - <1822

Fonte: Do próprio autor.

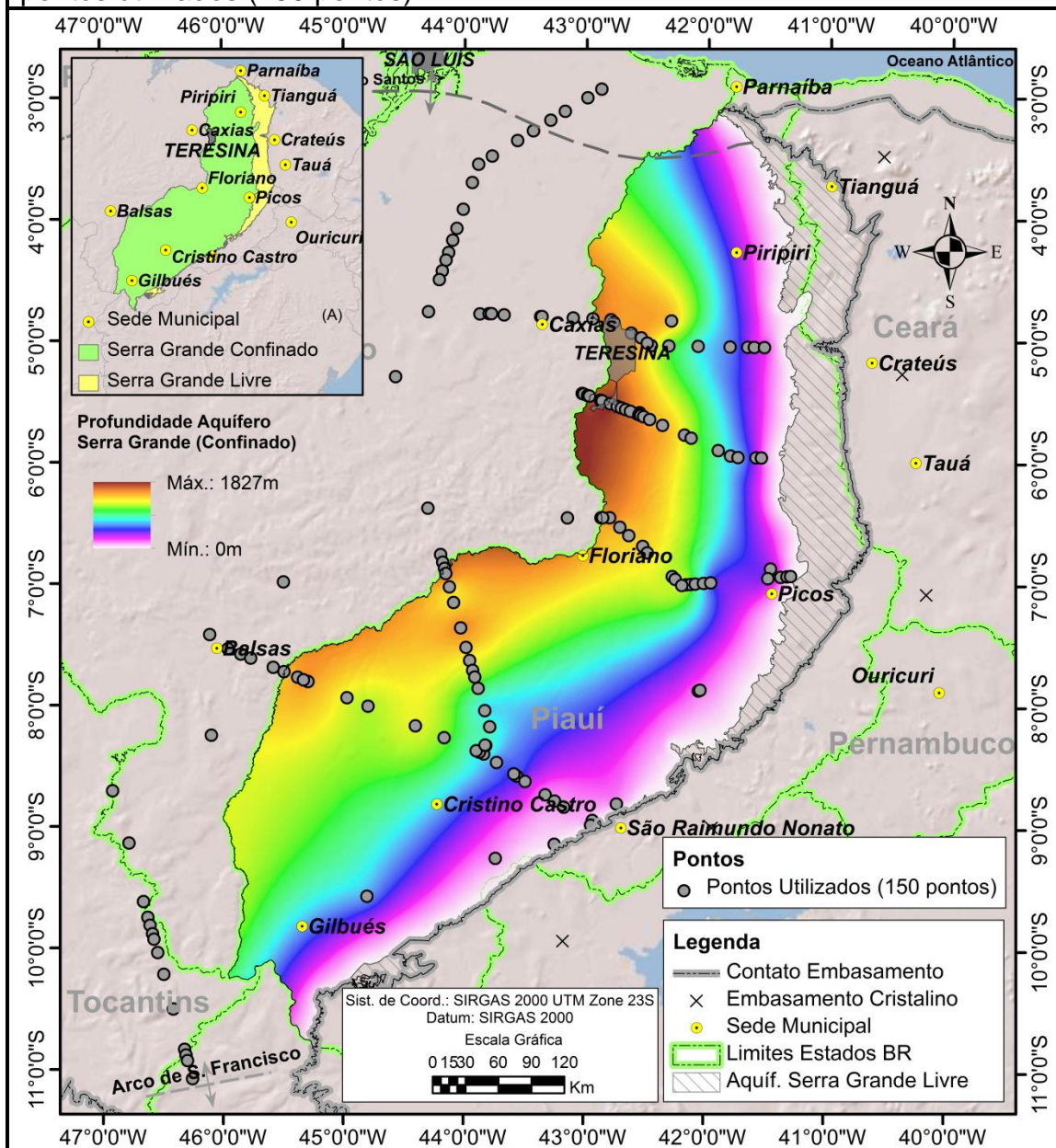
A Figura 97 mostra uma visualização 3D (em A) e 2D (em B) do resultado da modelagem. Na mesma figura, em “B”, são mostradas as localizações de três perfis de profundidades deste aquífero, cujos cortes são apresentados em “C”, “D” e “E”, discutidos a seguir.

O Perfil SG Prof 1-1' (Figura 97-C), no sul da área, inicia à NW com uma profundidade de 1.380m. Na sede de Baixa Grande do Ribeiro este valor alcança 1.420m, enquanto na sede de Alvorada do Gurguéia a profundidade diminui consideravelmente para 755m. O valor máximo no perfil é de 1.484m (ponto “P01” na Figura 97-B e C).

O Perfil SG Prof 2-2' (Figura 97-E), tem seu valor máximo, de 1.566m, no seu início à NW, na região de Teresina, enquanto ao norte da sede de Altos a profundidade é de 1.400m e ao sul da sede de Sigfredo Pacheco é de 497m.

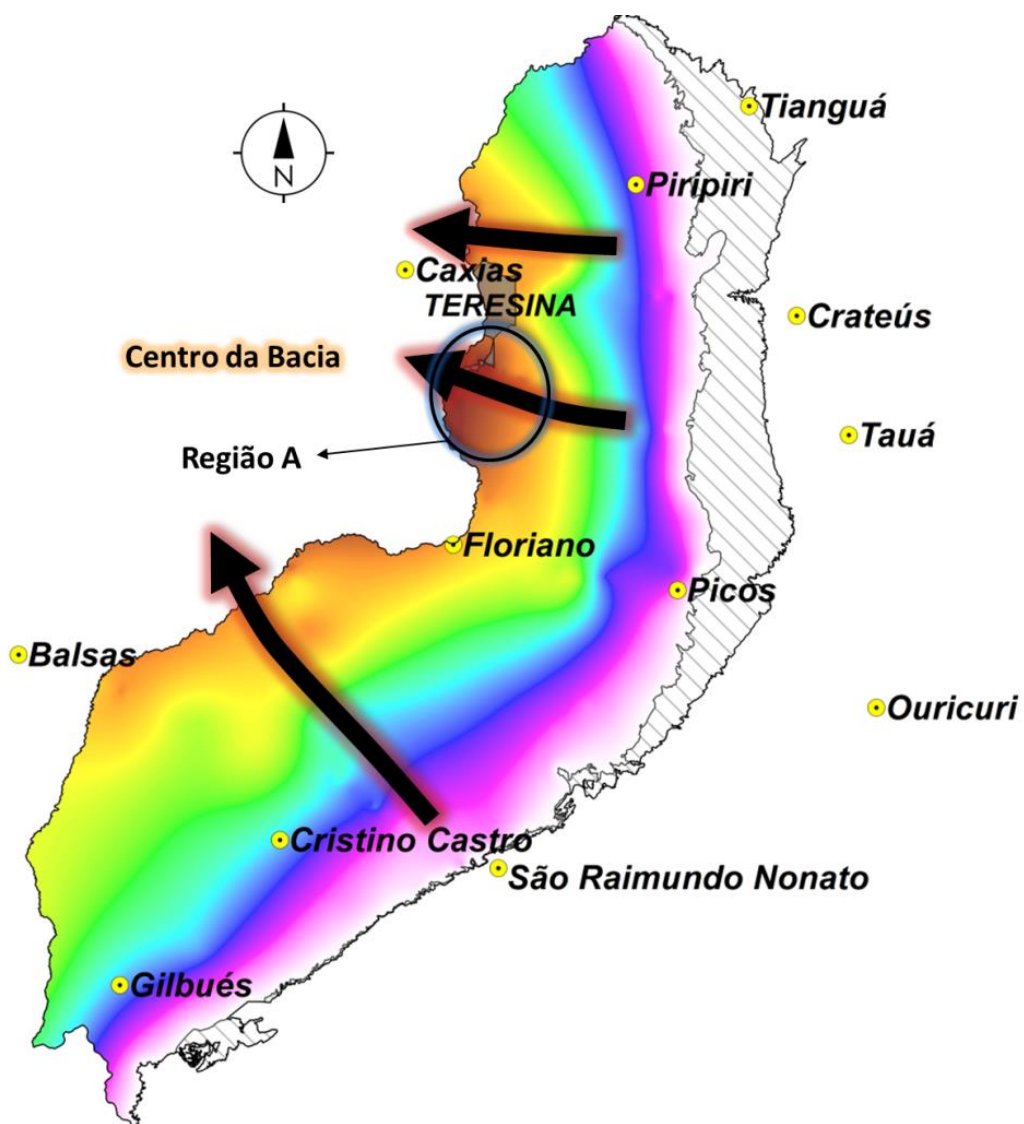
O Perfil SG Prof 3-3' (Figura 97-D), inicia com profundidade de 1452m à NW. Na sede de Francisco Ayres este valor é de 1.362m, reduzindo na sede de Oeiras para 1.031m e na sede de Dom Expedito Lopes, para 390m.

Figura 94 - Profundidades do topo do Aquífero Serra Grande confinado e pontos utilizados (150 pontos)



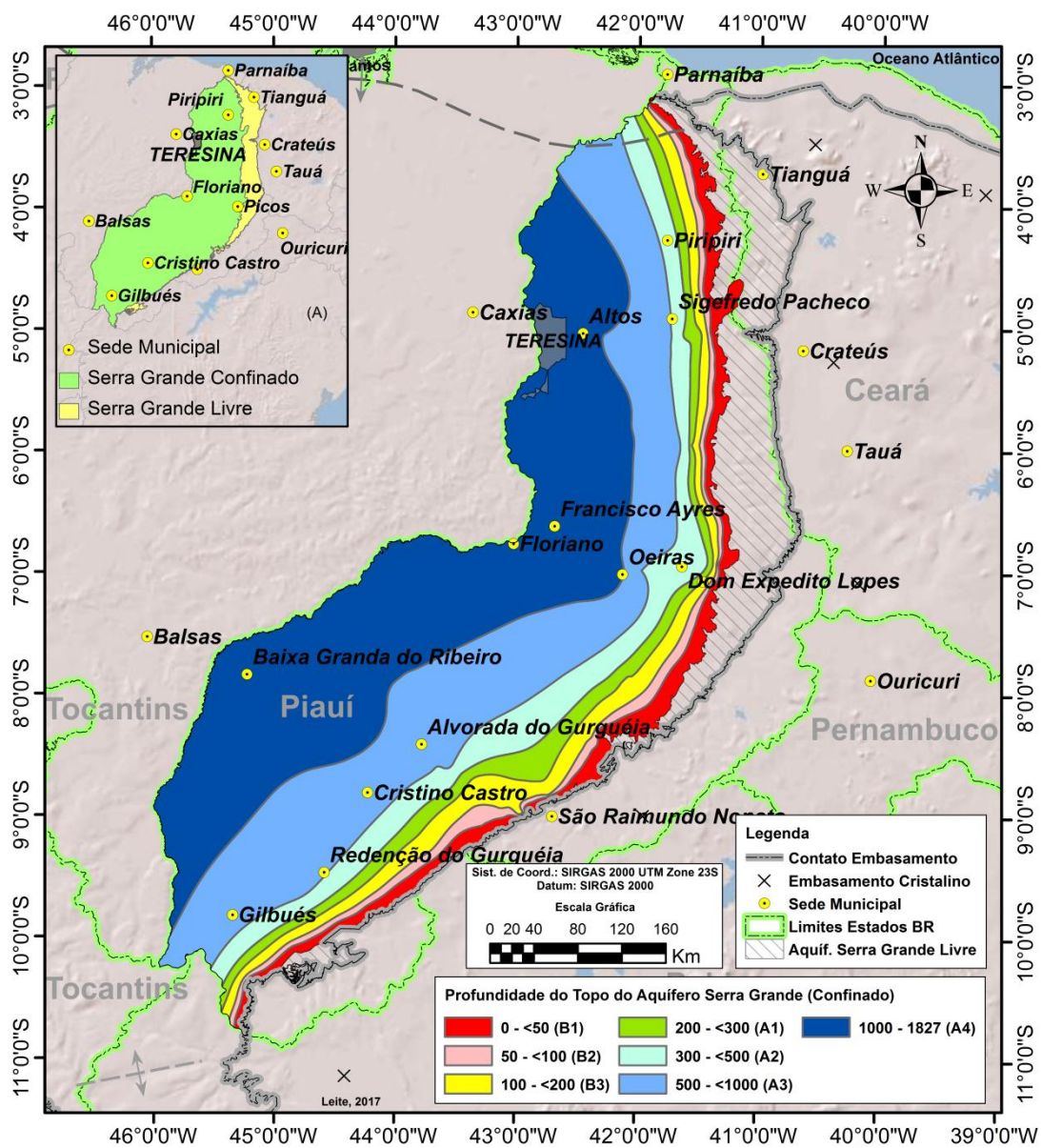
Fonte: Do próprio autor.

Figura 95 - Profundidades do topo do Aquífero Serra Grande - Direções e sentidos dos incrementos nos valores das profundidades.



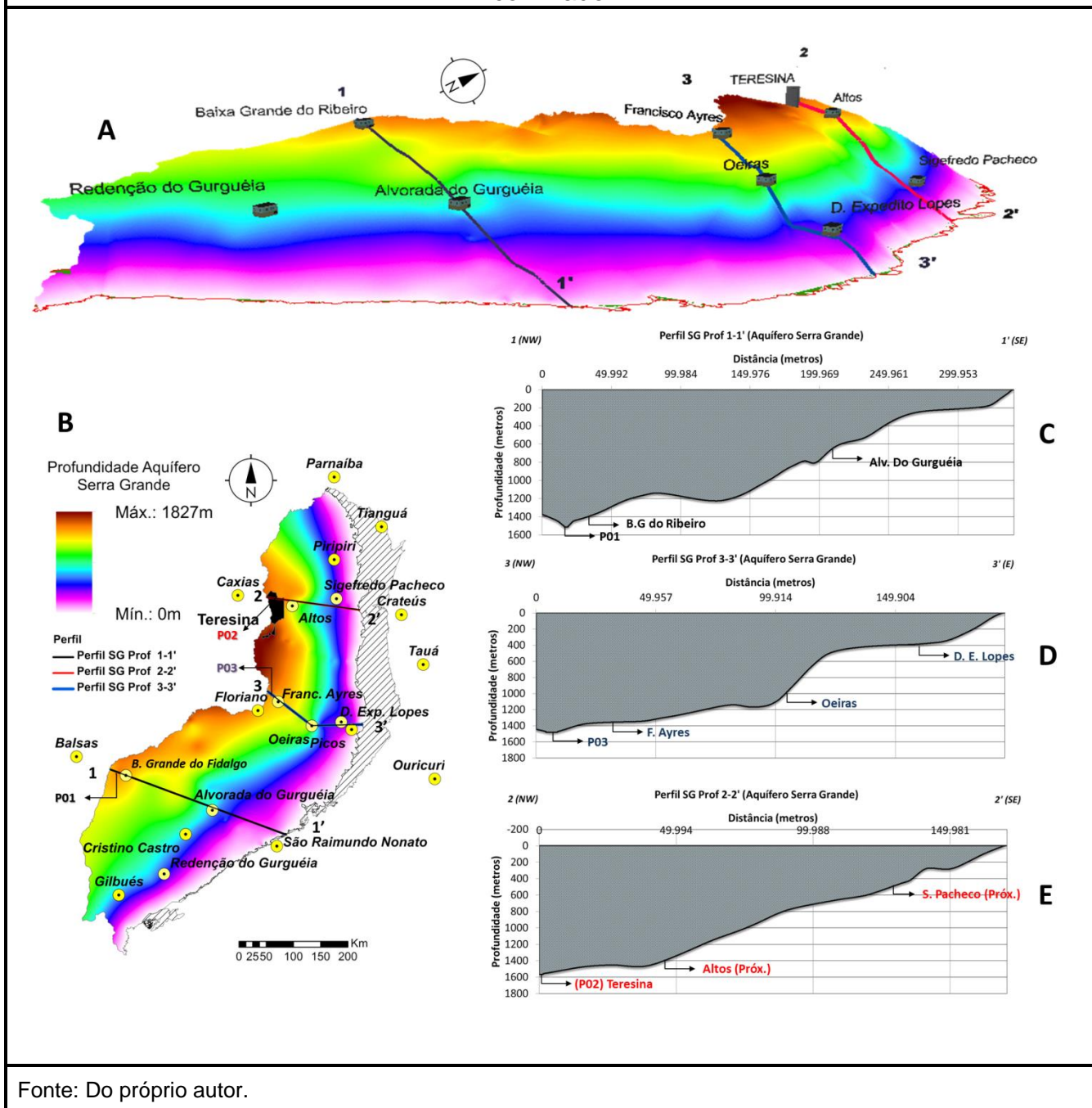
Fonte: Do próprio autor - As setas indicam as direções preferenciais do incremento das profundidades em direção ao centro da Bacia fora da área de pesquisa.

Figura 96 - Profundidades do topo do Aquífero Serra Grande - Classificação



Fonte: Do próprio autor.

Figura 97 - Visualização 2D e 3D das profundidades do topo do Aquífero Serra Grande confinado.



10.2 Aquífero Cabeças

O resultado da modelagem para a profundidade do topo do Aquífero Cabeças Confinado é mostrado na Figura 98.

Os valores variaram de 0m no contato do Aquífero Cabeças Livre - Confinado, até o máximo de 877m, na região entre o sul de Teresina e o norte da

sede de Floriano (Região A na Figura 99) - mesma região de máximo do Aquífero Serra Grande anterior.

Da mesma forma que no Aquífero Serra Grande, os incrementos de profundidade se dão em direção ao centro da Bacia do Parnaíba.

A Figura 100 mostra a imagem classificada e o Quadro 20 as classes e respectivos intervalos aplicados.

Quadro 20 - Classes aplicadas para as profundidades do topo do Aquífero Cabeças confinado e respectivos intervalos.

Classe	Intervalo (m)	Classe	Intervalo (m)
B1	0 - <50	A1	200 - <300
B2	50 - <100	A2	300 - <500
B3	100 - <200	A3	500 - <877

Fonte: Do próprio autor.

A Figura 101 mostra uma visualização 3D (em A) e 2D (em B) do resultado da modelagem. Na mesma figura, em “B”, são mostradas as localizações de três perfis de profundidades deste aquífero, cujos cortes são apresentados em “C”, “D” e “E”, discutidos a seguir.

As localizações destes perfis são as mesmas das mostradas para a modelagem da profundidade do topo do Aquífero Serra Grande (anterior), e para todas as demais modelagens já discutidas anteriormente.

O Perfil CAB Prof 1-1' (Figura 101-C), no sul da área, inicia à NW com um valor de 630m. Na sede de Baixa Grande do Ribeiro este valor diminui um pouco para 623m enquanto na sede de Alvorada do Gurguéia a profundidade do topo do Aquífero Cabeças alcança os 755m. O valor máximo no perfil é de 1.484m (ponto “P01” na Figura 101-B e C).

O Perfil CAB Prof 2-2' (Figura 101-E), inicia com uma profundidade de 565m à NW, na região de Teresina. Ao norte da sede de Altos a profundidade é de 512m - a sede de Sigefredo Pacheco se encontra na área do Aquífero Cabeças livre. A máxima profundidade alcançada neste perfil foi de 570m (ponto “P02” na Figura 101-B e E).

O Perfil CAB Prof 3-3' (Figura 101-D), inicia com profundidade de 422m à NW, enquanto próximo à sede de Francisco Ayres a profundidade é de 367m e nas sedes de Oeiras e Dom Expedito Lopes o Aquífero Cabeças é aflorante. O valor

máximo neste perfil é de 449m (Figura 101-B e D) - na mesma região do máximo do Aquífero Serra Grande no Perfil SG Prof 2-2'.

Figura 98 - Profundidades do Aquífero Cabeças confinado e pontos utilizados (145 pontos).

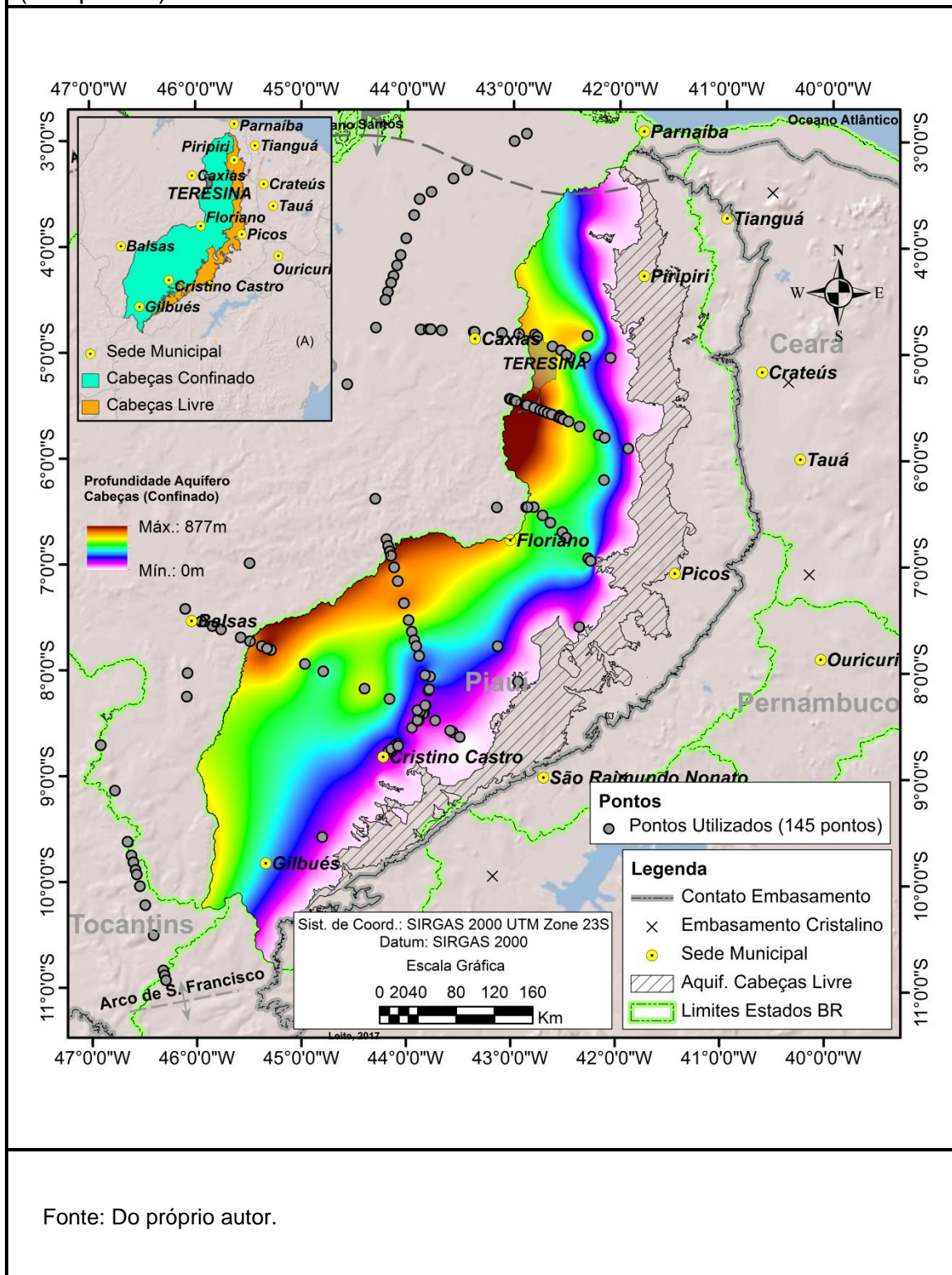
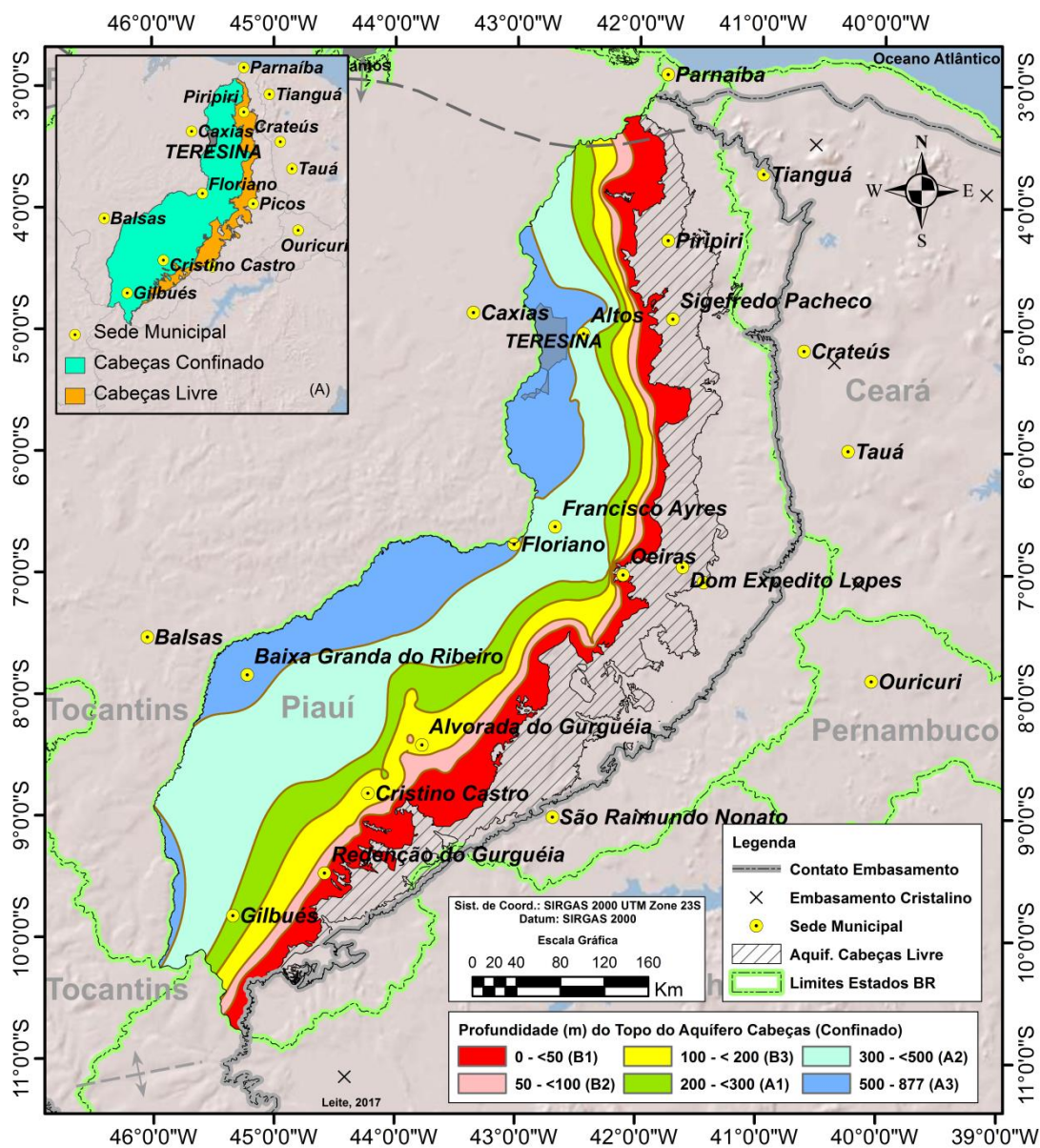
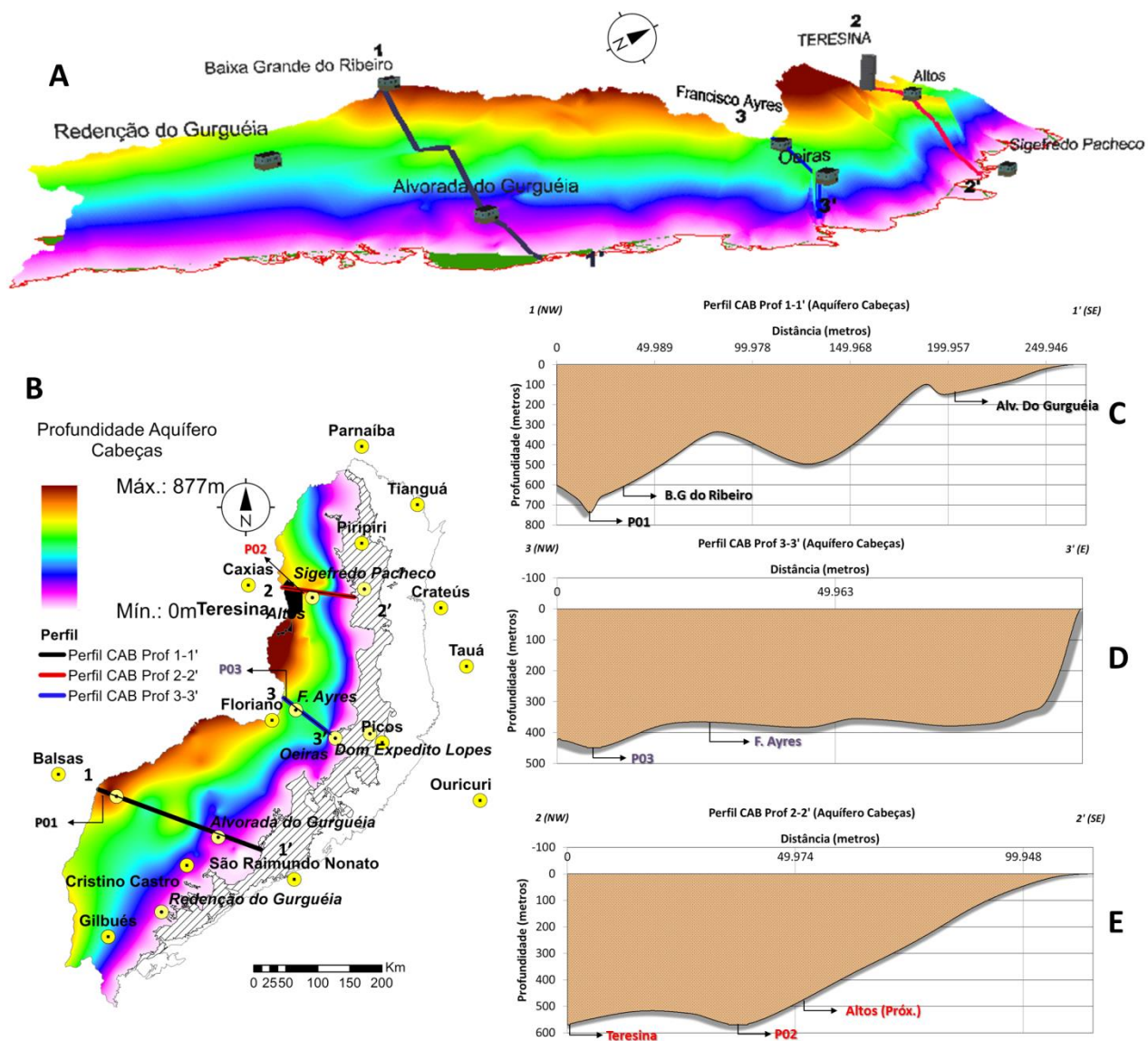


Figura 100 - Profundidades do topo do Aquífero Cabeças - Classificação



Fonte: Do próprio autor.

Figura 101 - Visualização 2D e 3D das profundidades do topo do Aquífero Cabeças confinado.



Fonte: Do próprio autor.

11 VOLUMES DOS AQUÍFEROS SERRA GRANDE E CABEÇAS

Neste Capítulo são apresentados os resultados dos processamentos para cálculos dos volumes dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, tendo como referências as curvas de isópacas e hidroisópacas ajustadas para cada um dos aquíferos.

Também foram consideradas nestes cálculos, as suas áreas confinadas e livres separadamente.

11.1 Aquífero Serra Grande

Os resultados para as isópacas e hidroisópacas do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado são mostrados no Quadro 21.

Quadro 21 - Volumes calculados para as isópacas e hidroisópacas do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado.

Aquífero	Tipo	Espessura	Volume	
			Km ³	Total
Serra Grande	Livre	Isópaca	3.857,40	80.949,45
	Confinado		77.092,05	
	Livre	Hidroisópaca	3.663,94	75.634,16
	Confinado		71.970,23	

Fonte: Do próprio autor.

O volume total de isópacas resultou em 80.949,45 km³, considerando a parte livre (3.857,40km³ ou cerca de 5% do total) e a parte confinada (77.092,05km³ ou cerca de 95% do total) (Figura 102), enquanto o volume total de hidroisópacas resultou em 75.634,16km³, considerando a parte livre (3.663,94km³ ou cerca de 5% do total) e a parte confinada (71.970,23km³ ou cerca de 95% do total) (Figura 103).

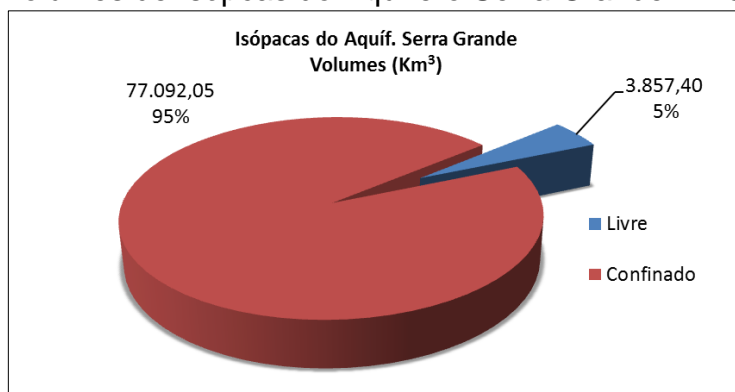
A área total do Aquífero Serra Grande considerada foi de 220.308,54km², sendo 30.018,39km² livre e 190.290,15km² confinado.

O menor valor de volume calculado para as hidroisópacas, em relação às isópacas, reflete o efeito das intrusões vulcânicas neste aquífero.

A diferença (ou redução do volume) entre os volumes totais (isópacas - hidroisópacas), de $5.315,29\text{km}^3$ (6,56%), pode ser considerada como o volume aproximado de rochas não armazenadoras de água. Este volume, calculado a partir dos resultados do MoMaRAQ, seria acrescido em um cálculo de reservas pelo método convencional, resultando em uma superestimação das reservas em cerca de 6,56%.

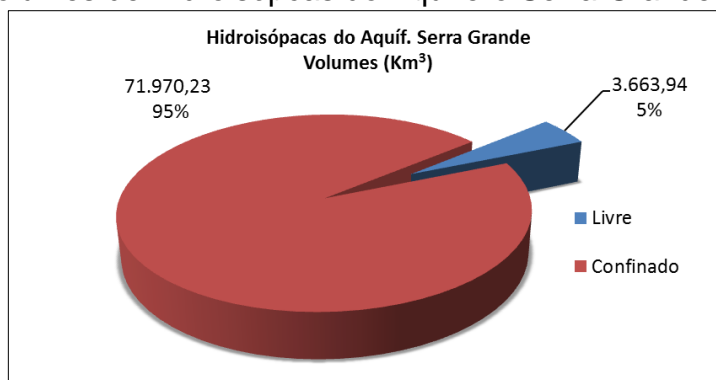
Considerando apenas a porção livre do aquífero, a redução é de $193,47\text{km}^3$ (5,01%), enquanto para a porção confinada é de $5.121,82\text{km}^3$ (6,64%). Os valores semelhantes, entretanto, em termos de percentuais, não indicam uma boa distribuição espacial de intrusões no Aquífero Serra Grande Livre e Confinado, uma vez que estas ocorrências não se apresentam perfeitamente distribuídas na bacia (Figura 24). Para uma melhor avaliação do efeito destas vulcânicas no aquífero devem ser considerados os resultados do MoMaRAQ de forma conjunta as Isópacas e Hidroisópacas Ajustadas do Aquífero Serra Grande (Figura 33 e Figura 45).

Figura 102 - Volumes de Isópacas do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 103 - Volumes de Hidroisópacas do Aquífero Serra Grande Livre e Confinado

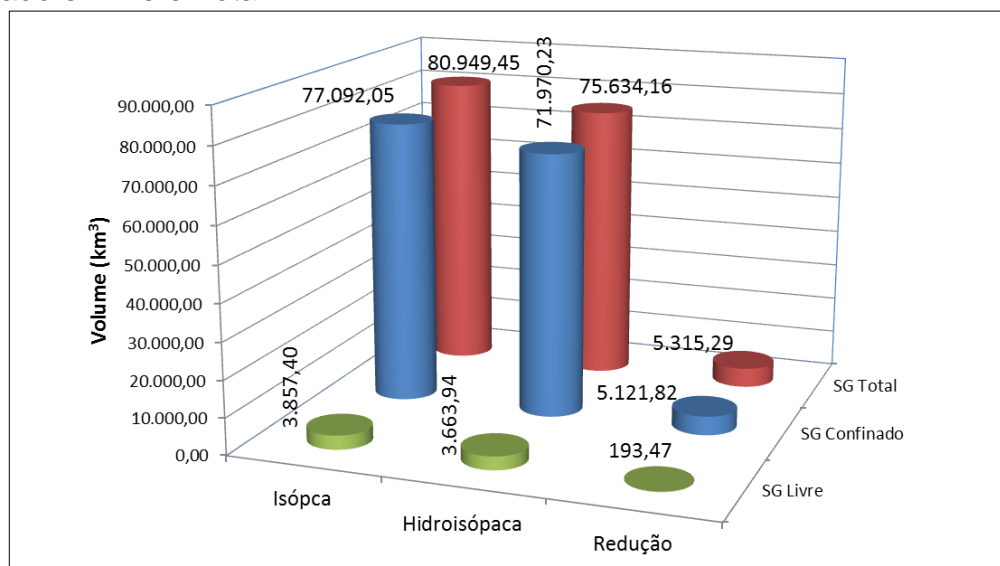


Fonte: Do próprio autor.

Considerando ainda que em cálculos de reservas, só a espessura saturada do aquífero livre é considerada, o impacto de intrusões de materiais não armazenadores de água, em uma superestimação da reserva, é bem maior na região confinada, uma vez que neste caso, além de ser considerada toda a espessura do aquífero, ainda é acrescido o volume de água retido por pressão.

A Figura 104 apresenta, de forma conjunta, os volumes calculados das isópacas e hidroisópacas do Aquífero Serra Grande, Livre e Confinado, além das reduções nestes volumes.

Figura 104 - Isópacas, Hidroisópacas e Redução para o Aquífero Serra Grande Confinado e Livre e Total.



Fonte: Do próprio autor.

11.2 Aquífero Cabeças

Os resultados para as isópacas e hidroisópacas do Aquífero Cabeças Livre e Confinado são mostrados no Quadro 22.

Quadro 22 - Volumes calculados para as isópacas e hidroisópacas do Aquífero Cabeças Livre e Confinado.

Aquífero	Tipo	Espessura	Volume	
			Km ³	Total
Cabeças	Livre	Isópaca	4.721,01	39.423,98
	Confinado		34.702,97	
	Livre	Hidroisópaca	4.139,92	34.355,42
	Confinado		30.215,50	

Fonte: Do próprio autor.

O volume total de isópacas resultou em $39.423,98\text{km}^3$, considerando a parte livre ($4.721,01\text{km}^3$ ou cerca de 12% do total) e a parte confinada ($34.702,97\text{km}^3$ ou cerca de 88% do total) (Figura 105), enquanto o volume total de hidroisópacas resultou em $34.355,42\text{km}^3$, considerando a parte livre ($4.139,92\text{km}^3$ ou cerca de 12%) e a parte confinada ($30.215,50\text{km}^3$ ou cerca de 88%).

A área total do Aquífero Cabeças considerada foi de $174.040,30\text{km}^2$, sendo $36.942,24\text{km}^2$ livre e $137.098,01\text{km}^2$ confinado.

O menor valor de volume calculado para as hidroisópacas, em relação às isópacas, também reflete o efeito das intrusões vulcânicas no aquífero.

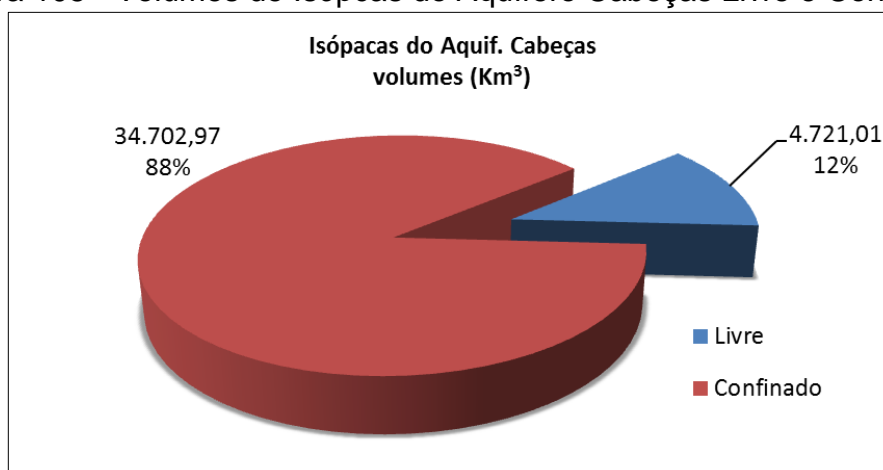
Da mesma forma que o Aquífero Serra Grande, a diferença (ou redução do volume) entre os volumes totais (isópacas - hidroisópacas), de $5.068,56\text{km}^3$ (12,85%), pode ser considerada como o volume aproximado de rochas não armazenadoras de água no Aquífero Cabeças. Este volume, calculado a partir dos resultados do MoMaRAQ, seria acrescido em um cálculo de reservas pelo método convencional, resultando em uma superestimação das reservas em cerca de 12,85%.

Estas maiores reduções percentuais, em relação as do Aquífero Serra Grande, indicam que o Aquífero Cabeças possui maior volume de material não armazenador de água, ou seja, enquanto a superestimação da reserva para o Aquífero Serra Grande seria de 6,56%, para o Aquífero Cabeças seria praticamente o dobro, ou 12,85%.

Considerando apenas a porção livre do aquífero, a redução é de $581,09\text{km}^3$ (12,3%), enquanto para a porção confinada é de $4.487,47\text{km}^3$ (12,9%), o que não implica, pela semelhança dos percentuais, em uma boa distribuição espacial das intrusões de vulcânicas, cabendo a mesma observação feita para o Aquífero Serra Grande, que uma avaliação das regiões mais afetadas deve ser feita com os produtos ajustados do MoMaRAQ - isópacas (Figura 60) e Hidroisópacas (Figura 68) Ajustadas para o Aquífero Cabeças.

A Figura 107 apresenta, de forma conjunta, os volumes calculados das isópacas e hidroisópacas do Aquífero Cabeças, Livre e Confinado, além das reduções nestes volumes.

Figura 105 - Volumes de Isópcas do Aquífero Cabeças Livre e Confinado



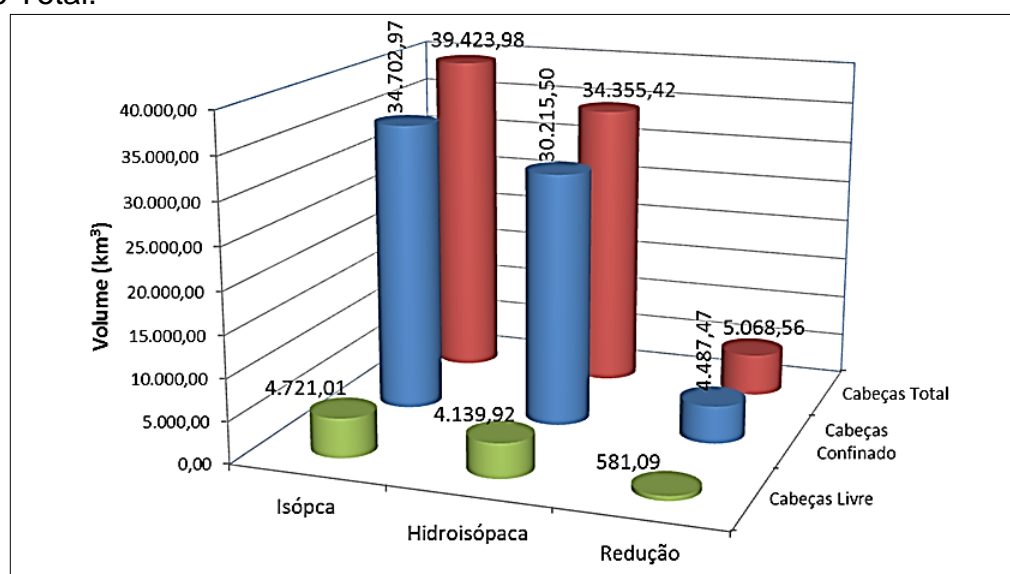
Fonte: Do próprio autor.

Figura 106 - Volumes de Hidroisópcas do Aquífero Cabeças Livre e Confinado



Fonte: Do próprio autor.

Figura 107 - Isópcas, Hidroisópcas e Redução para o Aquífero Cabeças Confinado e Livre e Total.



Fonte: Do próprio autor.

12 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O MoMaRAQ permitiu uma análise integrada das informações e dados referentes aos Aquíferos Serra Grande e Cabeças, possibilitando uma visão regional das suas *Vocações Hidrogeológicas*, através das suas variações de espessuras (isópacas e hidroisópacas) e suas potencialidades, representadas pelas capacidades específicas de poços captando estes aquíferos.

As isópacas e hidroisópacas do Aquífero Serra Grande aumentam de forma gradual, e preferencialmente, na direção de duas principais regiões - de Floriano, com isópacas superiores a 800m e hidroisópacas de 744m, e de Teresina, com isópacas superiores a 600m e hidroisópacas de 530m.

Para o Aquífero Cabeças, enquanto as isópacas aumentam em direção à região de Teresina, alcançando 590m, as hidroisópacas crescem em direção a três regiões na área de pesquisa- (a) Norte de Teresina, com 404,4m; (b) Sul de Teresina, com 368m, e; (c) Floriano, com 352m.

A capacidade específica foi o tema mais prejudicado- (a) Por não haver dados disponíveis suficientes para que fosse feita uma análise mais criteriosa - os dados de testes de bombeamento, e; (b) por conta da pequena quantidade de poços totalmente penetrantes nos Aquíferos Serra Grande (21 poços) e Cabeças (45 poços).

Apesar de não ter sido possível uma avaliação mais criteriosa das informações de capacidades específicas, os resultados das modelagens dos cenários se mostraram satisfatórios, onde, tanto para o Aquífero Serra Grande, como para o Cabeças, o sul da área foi a melhor classificada, coincidindo com a região do Vale do Gurguéia.

Os cenários das regiões centro-oeste e centro-norte, da área de pesquisa, foram prejudicados por não existirem poços que penetrem totalmente os Aquíferos Serra Grande e Cabeças, entretanto, os Cenários 02 e 04, para o Aquífero Serra Grande, apontaram a região de Floriano como de alta *Vocação Hidrogeológica*.

Apesar da região de Teresina ter sido classificada como Classe 02, tanto para o Aquífero Serra Grande, como para o Aquífero Cabeças, esta área merece atenção pelas espessuras modeladas de isópacas e hidroisópacas.

Recomenda-se, portanto, que pesquisas de detalhe sejam executadas nestas regiões, de forma a melhor dimensionar as características destes dois aquíferos, que podem vir a representar reservas estratégicas tanto para abastecimento como para atividades econômicas, a depender da qualidade de suas águas.

As profundidades dos topos dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças aumentam em direção ao centro da bacia, alcançando, na área de pesquisa, o máximo de 1.827m para o Aquífero Serra Grande e 877m para o Aquífero Cabeças, ambos na região entre Teresina e Floriano.

A análise conjunta, das isópacas e hidroisópacas, permitiram avaliar a influência das intrusões de rochas vulcânicas. O volume referente à redução, ou diferença, das isópacas e hidroisópacas, representam o volume do aquífero que não armazena água.

Para o Aquífero Serra Grande este volume de redução foi de 5.315,29km³, ou 6,56% do seu volume total (de isópacas), enquanto para o Aquífero Cabeças, este volume foi de 5.068,56km³, ou 12,85% do seu volume total (de isópacas). O maior valor percentual para o Aquífero Cabeças indica ser este o mais afetado pelas intrusões vulcânicas.

Observa-se que, em um cálculo de reservas onde se considere apenas as espessuras totais (isópacas), os volumes de sedimentos seriam superestimados em 6,56% para o Aquífero Serra Grande e em 12,85% para o Aquífero Cabeças.

Recomenda-se, portanto, que nas pesquisas que envolvam volumes de sedimentos, como cálculo de reservas, sejam avaliadas as ocorrências de materiais impermeáveis no aquífero, uma vez que, dependendo do volume destas ocorrências, poderá haver uma superestimação de volumes de água, acarretando sérios prejuízos e danos ao planejamento.

O modelo e os resultados representam as informações disponíveis até este momento, podendo ser atualizadas, inserindo-se novas informações quando estas se tornarem disponíveis.

A principal dificuldade encontrada na pesquisa foi a coleta de informações, que se encontravam dispersas, na grande maioria das vezes com informações incompletas ou com imperfeições, principalmente no que se refere aos relatórios construtivos dos poços, incluindo resultados dos desenvolvimentos.

Apesar dos esforços da CPRM, em manter organizado um banco de dados de poços (SIAGAS), a nível nacional, muitos órgãos ainda possuem seus próprios bancos e as muitas empresas de construção não apresentam relatórios satisfatórios, inclusive sem presença de hidrogeólogos nas obras.

É recomendável, portanto, a formatação de um “*Banco de Dados Hidrogeológico*”, com a função de organização e armazenamento, não só de dados específicos de obras de captação, mas de todas as informações de interesse à hidrogeologia - incluindo todas as informações de geologia de subsuperfície, tais como perfis geológicos interpretados a partir de dados geofísicos e furos de pesquisa geotécnica, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água**. Resultados por Estado. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbg/v26n1/a05v26n1.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2017.

AGUIAR, R. B. DE. **Caracterização sistemática do aquífero Serra Grande na porção nordeste da bacia sedimentar do Parnaíba**. Tese de doutorado, UFC, Programa de Pós-Graduação em Geologia (DEGEO), Fortaleza, Ceará. 169 pág, 2017.

ARAÚJO, C. C., & MIRANDA, J. L. **Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba - Subprojeto Hidrogeologia**. Recife: CPRM 1979.

CAMPOS, W. M. **Estratigrafia das Bacias Paleozóica e Cretácea do Maranhão**. Boletim Técnico da PETROBRAS, v. 7, n. 2, p. 137-164. 1994.

CAPUTO, M. V. **Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil**. Tese de Doutorado, University of California, Santa Barbara. 1984.

CASTRO, D. L., FUCK, R. A., PHILLIPS, J. D., VIDOTTI, R. M., BEZERRA, F. H., & DANTAS, E. L. **Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data, Brazil**. Tectonophysics, p. 128-145. 2014.

CEPRO. **PIB dos Municípios Piauí 2014**. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/201612/CEPRO14_.pdf, 2016. Acesso em: 31 Jan. 2017.

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto Borda Sudeste da Bacia do Parnaíba**. Teresina, PI, Brasil, 2009.

CPRM. **Projeto Fidalgo II - Relatório Final de Sondagens**. CPRM, 1976.

CPRM. **Projeto Gurguéia II**. CPRM, Sup. Reg. de Recife, 1978.

CPRM. **Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba - Relatório final do poços 4SR-07-PI**. CPRM, 1999.

CPRM. **Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Piauí**. Fortaleza, Ceará, Brasil, 2004.

CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Piauí**. Mapa 1:1.000.000, CPRM, Teresina, 2006.

CUNHA, F. M. **Evolução Paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu Arcabouço Tectônico**. Tese de Mestrado, UFRJ, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 1986.

CUSTÓDIO, E., & LIAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega, S. A, 1983.

DNIT. **Mapa Multimodal - Ceará**. Mapa Escala 1:900.000, DNIT, Diretoria de Planejamento e Pesquisas – DPP, 2013.

DNIT. **Mapa Multimodal - Piauí**. Mapa Escala 1:1.200.000, DNIT, Diretoria de Planejamento e Pesquisas – DPP, 2013.

FEITOSA, F. A. **Estudo Hidrogeológico do Aquífero Cabeças no Médio Vale do Rio Gurgéia / PI**. Dissertação, UFPE, Centro de Tecnologia, Recife, 1990.

FERREIRA, Rogério Valença & DANTAS, Marcelo Eduardo. **Relevo**. In: P. A. Pfaltz, F. S. Torres, & R. d. Brandão, **Geodiversidade do Estado do Piauí** (pp. 47-64). Recife, PE, Brasil: CPRM, 2010.

GODOY, L. P., REZENDE, H. P., SOUZA, P. C., & BARROS, F. R. **Projeto Gurgéia e Fidalgo - Relatório Final de Sondagens**. Recife, PE, Brasil: CPRM, 1974.

GÓES, A. M., SOUZA, J. M., & TEXEIRA, L. B. **Estágio Exploratório e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Parnaíba**. Boletim de Geociências da PETROBRAS, v. 4, n. 1, p. 55-64, jan/mar., PETROBRAS, Rio de Janeiro, 1990.

GÓES, A. M., TRAVASSOS, W. A., & NUNES, K. C. **Projeto Parnaíba - Reavaliação da Bacia e Perspectivas Exploratórias**. Belém: PETROBRAS, 1993.

IBGE. **Estados@ - Piauí**. (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pi>, 2017. Acesso em: 31 Jan. 2017.

IBGE. **Estados@ - Projeção da População 2000-2030 (PI)**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=pi&tema=projecao2013>, 2017. Acesso em: 31 Jan. 2017.

IBGE. **Mapas e Municípios (CE)**. Disponível em: http://cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=ce, 2017. Acesso em: 31 Jan. 2017.

IBGE. **Mapas e Municípios (PI)**. Disponível em: http://cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=pi, 2017. Acesso em: 31 Jan. 2017.

KEGEL, W. **Água Subterrânea no Piauí**. Bol. n. 156, DNPM, Div. Geol. e Min., Rio de Janeiro, 1955.

KEGEL, W. **As Inconformidades na Bacia do Parnaíba e zonas Adjacentes**. Bol. n. 160, DNPM, Div. Geol. e Min., Rio de Janeiro, 1956.

MIRANDA, J. L. **Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: subprojeto de hidrogeologia**. Relatório final. Folha 1 - São Luís NO (Vol. 1). Recife, PE, Brasil: CPRM, 1979.

OLIVEIRA, J. C., & BARROS, F. L. **Projeto Fosfato de São Miguel do Tapuio**. CPRM, Sup. Reg. de Recife. Recife: CPRM, 1976.

SEMAR. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Relatório Síntese, Secretaria dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Piauí, Teresina, 2010.

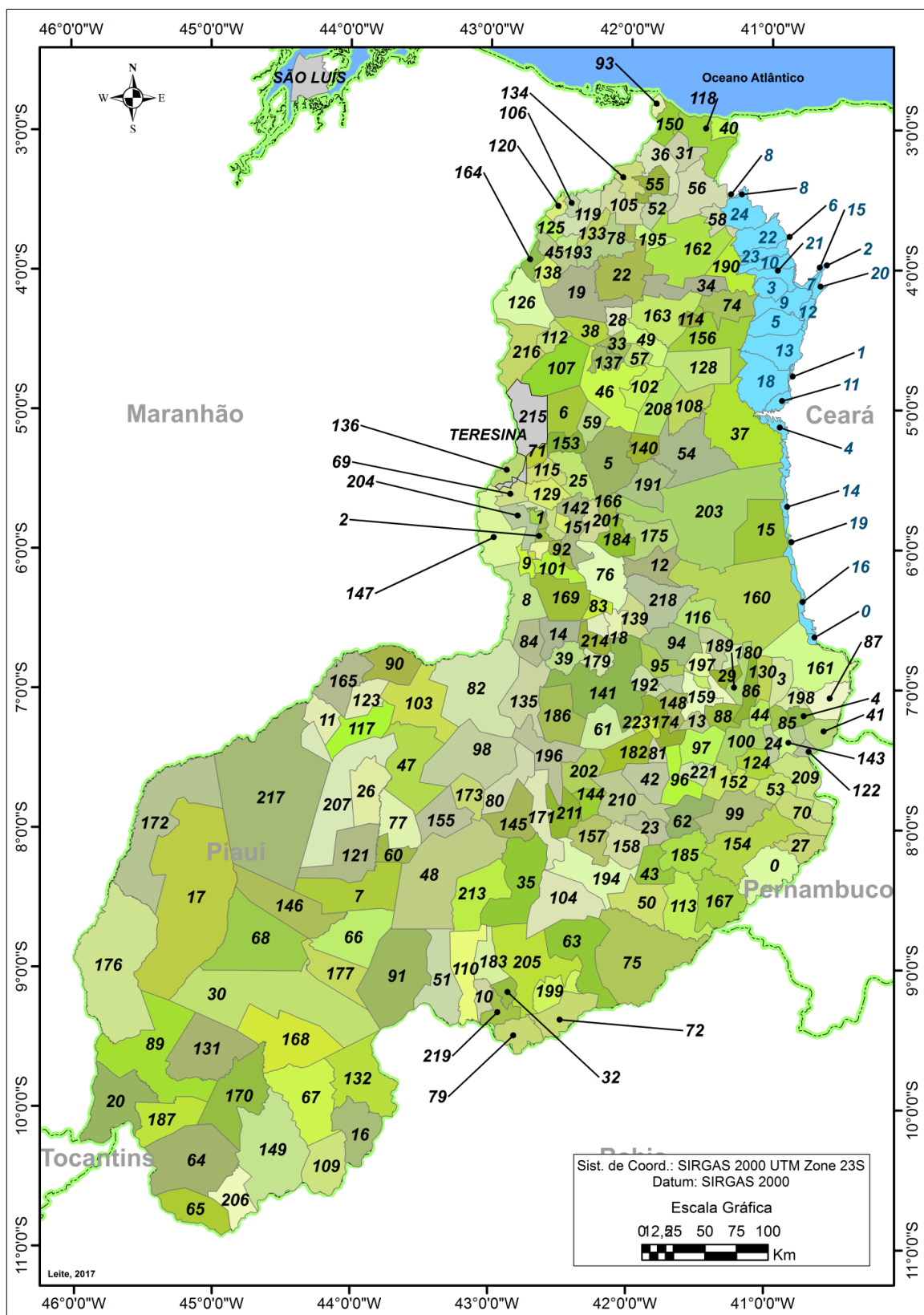
SILVA, F. A. **Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: relatório final**. Folha 22 - Rio São Francisco - SO. (Vol. 1). Recife, PE, Brasil: CPRM, 1979.

SOARES FILHO, A. R. **Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: subprojeto hidrogeologia: relatório final - Folha 07 - Teresina - NO**. Recife, PE, Brasil: CPRM, 1979.

STARTER, Golden Software, I. **Software STRATER**. v. 3.12. Colorado, 2012.

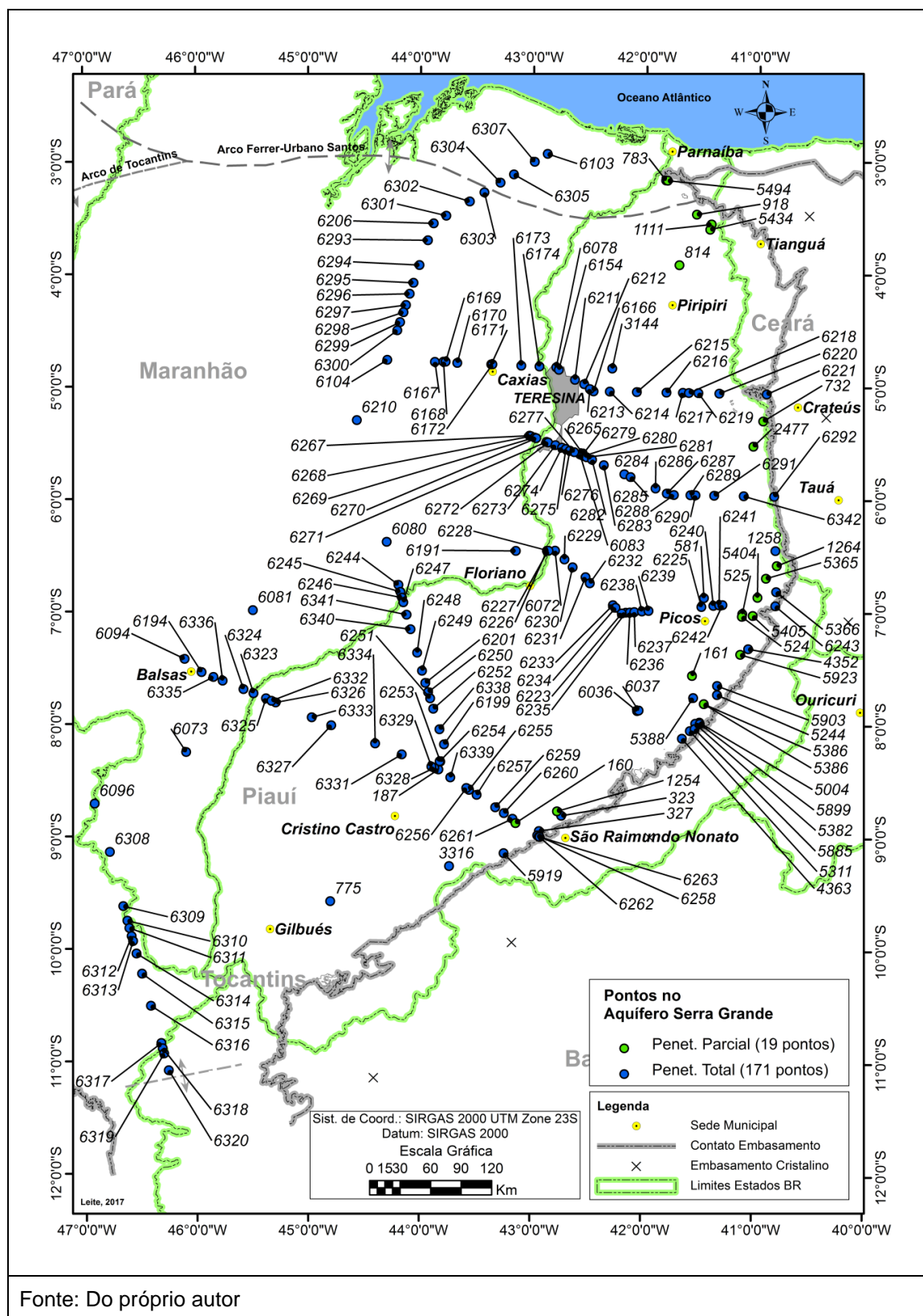
VAZ, P. T., REZENDE, N. G., WANDERLEY FILHO, J. R., & TRAVASSOS, W. A. **Bacia do Parnaíba**. Bol. Geoc. da PETROBRAS, v. 15, n. 2, p. 253-263, mai/nov, 2007.

APÊNDICE A - MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PIAUÍ E DO CEARÁ (ESTES EM AZUL) NA ÁREA DE PESQUISA.



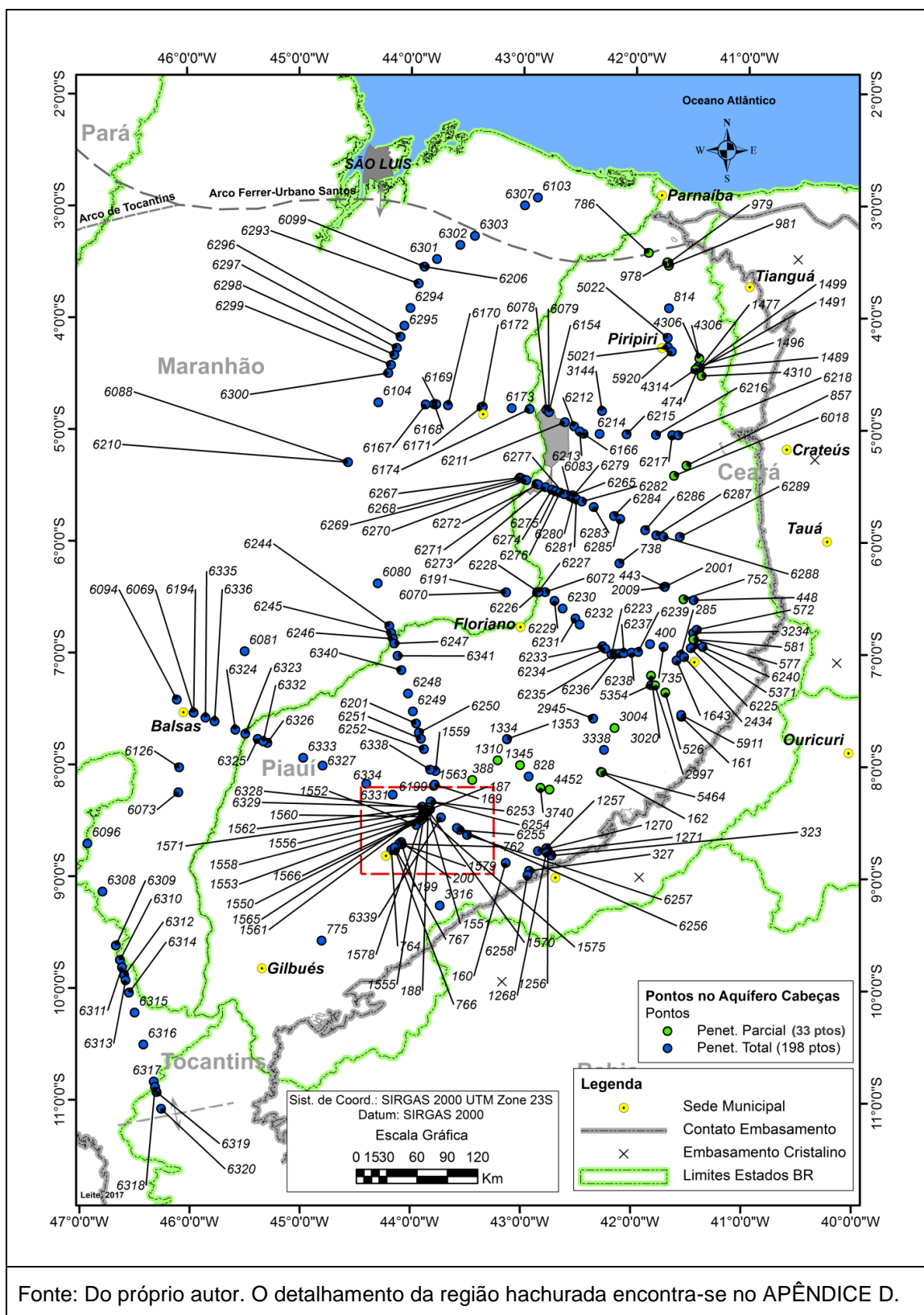
Fonte: Municípios do IBGE (shapefiles) e banco de dados em SIG organizado pelo próprio autor - Ver ANEXO A e ANEXO B para os códigos ID.

APÊNDICE B - PONTOS NA MODELAGEM COM REFINAMENTO¹⁵ PARA AS ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS DO AQUIFERO SERRA GRANDE E CÓDIGOS ID

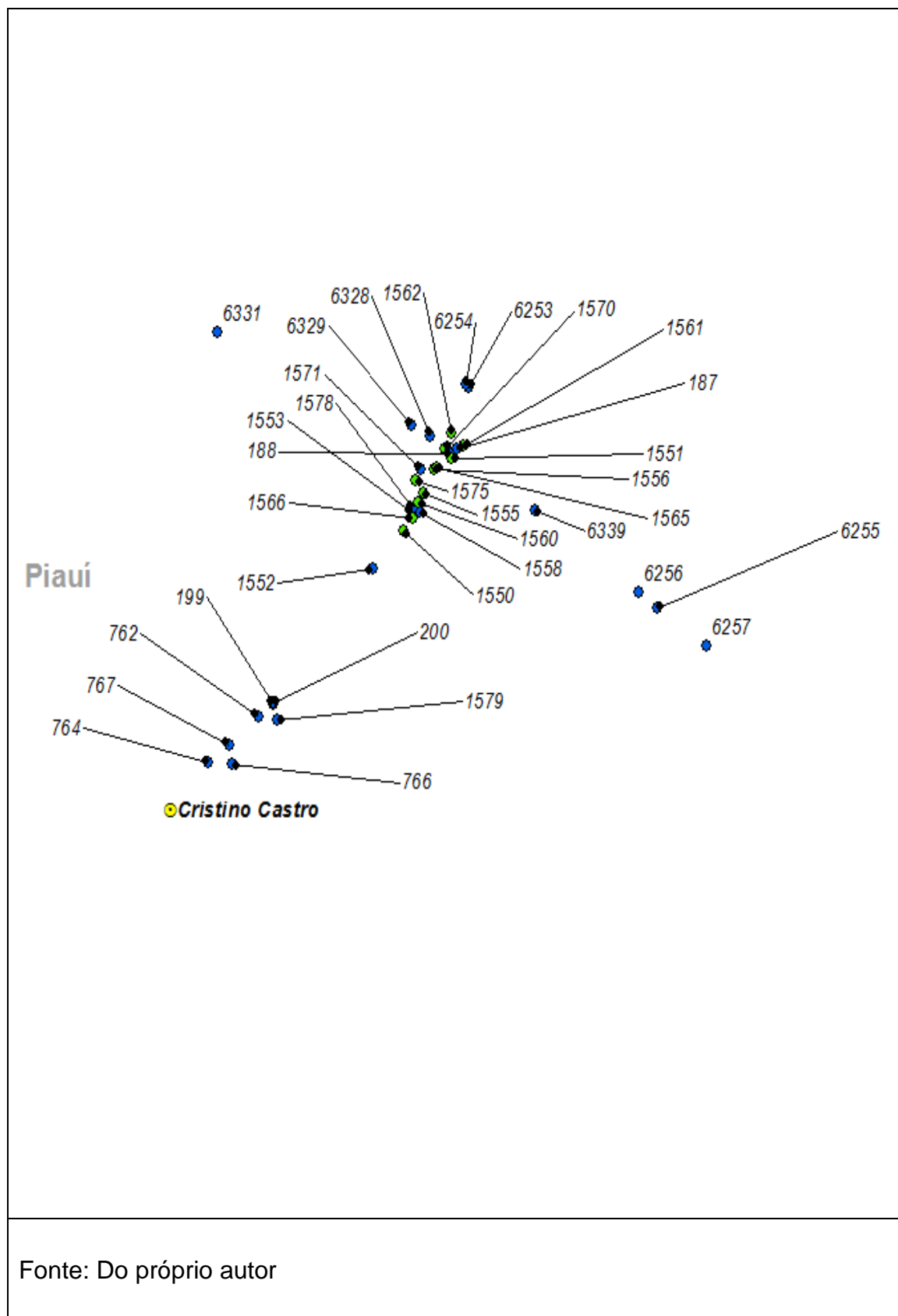


¹⁵ Os pontos utilizados para a Modelagem sem Refinamento são todos os de penetração total. Na Modelagem com Ajuste são preservados todos os pontos da Modelagem com Refinamento.

APÊNDICE C - PONTOS NA MODELAGEM COM REFINAMENTO [] PARA AS ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS DO AQUÍFERO CABEÇAS E CÓDIGOS ID.



APÊNDICE D - DETALHAMENTO DA REGIÃO DO APÊNDICE C



Fonte: Do próprio autor

APÊNDICE E - CÓDIGOS ID DOS PONTOS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA - MOMARAQ - PARA O AQUÍFERO SERRA GRANDE E RESPECTIVOS VALORES DE ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS.

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ¹⁶	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ¹⁷
CPRM-MI-04-13-PI	160	-8,88	-43,15	689	Parcial	282	282	PTub
CPRM-MI-02-13-PI	161	-7,56	-41,58	611	Parcial	409	409	PTub
BPp-6	187	-8,41	-43,84	1241	Total	429	429	PTub
4SR-07-PI	323	-8,82	-42,74	953	Total	791	791	PTub
4SR-06-PI	327	-8,95	-42,94	700	Total	175	175	PTub
2200000221	524	-7,04	-41,14	250	Parcial	250	250	PTub
2200000265	525	-7,01	-41,14	280	Parcial	250	250	PTub
2200000542	581	-6,87	-41,48	600	Total	225	225	PTub
2200001956	732	-5,30	-40,96	205	Parcial	205	205	PTub
2200002181	775	-9,58	-44,80	772	Total	118	118	PTub
2200002492	783	-3,16	-41,83	32	Total	25	25	PTub
2200002798	814	-3,92	-41,71	636	Parcial	254	245	PTub
2200004767	918	-3,47	-41,56	90	Parcial	90	90	PTub
2200006571	1111	-3,55	-41,43	100	Parcial	100	100	PTub
2200011331	1254	-8,78	-42,78	800	Parcial	600	600	PTub
2200011466	1258	-6,45	-40,85	152	Total	136	136	PTub
2200011611	1264	-6,58	-40,83	300	Parcial	300	300	PTub
2200023478	2477	-5,53	-41,05	102	Parcial	102	102	PTub
2200033823	3144	-4,84	-42,30	2177,1	Total	637	537	PP
2200034357	3316	-9,27	-43,74	250	Total	87	87	PTub
2200037601	4352	-7,32	-41,08	180	Total	173	173	PTub
2200037746	4363	-8,12	-41,67	172	Total	84	84	PTub
2200037354	5004	-7,98	-41,51	48	Total	44	44	PTub
2200037613	5244	-7,73	-41,36	122	Total	119	119	PTub
2200037683	5311	-8,06	-41,60	39	Total	15	15	PTub
2200037779	5365	-6,70	-40,93	299	Parcial	299	299	PTub
2200037781	5366	-6,81	-40,84	206	Total	204	204	PTub
2200037802	5382	-7,99	-41,55	123	Total	115	115	PTub
2200037806	5386	-7,81	-41,47	200	Parcial	200	200	PTub
2200037806	5386	-7,81	-41,47	200	Parcial	200	200	PTub
2200037808	5388	-7,76	-41,57	37	Total	36	36	PTub
2200037830	5404	-6,87	-41,00	280	Parcial	280	280	PTub
2200037831	5405	-7,03	-41,04	240	Parcial	240	240	PTub
2200045223	5434	-3,60	-41,44	93	Parcial	93	93	PTub
2200047113	5494	-3,17	-41,82	70	Parcial	70	70	PTub
2200048071	5885	-8,04	-41,55	39	Total	15	15	PTub

Continua...

¹⁶ Penetração no Aquífero Serra Grande.

¹⁷ Tipo de Ponto- PTub – Poço Tubular / PP – Poço PETROBRAS

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ¹⁸	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ¹⁹
2200048112	5899	-7,99	-41,51	90	Total	27	27	PTub
2200048172	5903	-7,65	-41,36	96	Total	87	87	PTub
2200048260	5919	-9,15	-43,25	80	Total	40	40	PTub
2200048264	5923	-7,37	-41,15	200	Parcial	200	200	PTub
4SM-02-PI	6036	-7,88	-42,07	687,6	Total	501	501	PTub
4SM-01-PI	6037	-7,87	-42,05	688,5	Total	482	482	PTub
1-FL-1-PI	6072	-6,46	-42,80	2405	Total	830	755	PP
1-FM-1-PI EPBP	6073	-8,25	-46,09	1824	Total	514	514	PP
1-MA-1-PI	6078	-4,83	-42,80	2177	Total	637	537	PP
1-MD-1-MA EPBP	6080	-6,38	-44,30	2827	Total	787	531	PP
1-MS-1-MA	6081	-6,99	-45,49	2555	Total	490	429	PP
2-NLst-1pi	6083	-5,60	-42,59	2275	Total	705	625	PP
1-TB1-MA	6094	-7,42	-46,10	2128	Total	207	157	PP
1-TM-1-MA	6096	-8,71	-46,91	1690	Total	374	374	PP
2-Sost-1-MA	6103	-2,93	-42,88	1818	Total	98	98	PP
2-CP-1-MA	6104	-4,76	-44,30	3423	Total	795	712,2	PP
1MA-2	6154	-4,85	-42,78	2029,2	Total	520,4	520,4	PAux
4AT-02-PI PG I-I Aprof	6166	-5,04	-42,47	1800	Total	487,7	487,7	PAux
AUX-11-PG- II	6167	-4,78	-43,88	3150	Total	695,9	620,6	PAux
AUX-12-PG- II	6168	-4,78	-43,80	3150	Total	714,7	658	PAux
AUX-12-PG- II-A	6169	-4,78	-43,78	3150	Total	714,7	658	PAux
AUX-13-PG- II	6170	-4,79	-43,68	3000	Total	714,7	658,2	PAux
AUX-14-PG- II	6171	-4,80	-43,38	2750	Total	695,9	639,4	PAux
AUX-14-PG- II-A	6172	-4,80	-43,37	2750	Total	695,9	639,4	PAux
AUX-15-PG- II	6173	-4,81	-43,11	2550	Total	658,3	583,1	PAux
AUX-16-PG- II	6174	-4,82	-42,95	2350	Total	677,2	564,4	PAux
2BGST-1 PG III-III Aprof	6191	-6,46	-43,15	2800	Total	828,5	779	PAux
1-CA-1 PG III-V Aprof	6194	-7,54	-45,95	2300	Total	435,1	356,1	PAux
4-CC-25 PG V-V' Aprof	6199	-8,18	-43,79	1500	Total	425,7	425,7	PAux
4-BT-4 PG V- V' Aprof	6201	-7,64	-43,95	2000	Total	448,5	286,4	PAux

Continua...

¹⁸ Penetração no Aquífero Serra Grande.¹⁹ Tipo de Ponto- PTub – Poço Tubular / PAux – Ponto Auxiliar / PP – Poço PETROBRAS

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ²⁰	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ²¹
2VGST-01 PG II-VI Aprof	6206	-3,55	-43,89	1800	Total	467,5	467,5	PAux
1-PD-1 PG V-V' Aprof	6210	-5,30	-44,57	3300	Total	631,4	631,4	PAux
AUX-21-PG I-I	6211	-4,94	-42,63	2200	Total	500,4	500,4	PAux
AUX-22-PG I-I	6212	-4,98	-42,55	2200	Total	483,8	483,8	PAux
AUX-23-PG I-I	6213	-5,02	-42,50	2000	Total	480,9	480,9	PAux
AUX-24-PG I-I	6214	-5,04	-42,32	1700	Total	470,3	470,3	PAux
AUX-25-PG I-I	6215	-5,05	-42,08	1300	Total	413,4	413,4	PAux
AUX-26-PG I-I	6216	-5,05	-41,82	1200	Total	422,8	422,8	PAux
AUX-27-PG I-I	6217	-5,05	-41,68	1000	Total	381,4	381,4	PAux
AUX-28-PG I-I	6218	-5,05	-41,62	700	Total	335	335	PAux
AUX-29-PG I-I	6219	-5,05	-41,54	1000	Total	523,3	523,3	PAux
AUX-30-PG I-I	6220	-5,06	-41,35	600	Total	370,3	370,3	PAux
AUX-31-PG I-I	6221	-5,06	-40,93	500	Total	0,1	0,1	PAux
FV-1 PG III- III Aprof	6223	-7,01	-42,21	2000	Total	547,5	547,5	PAux
SI-1 PG III- III Aprof	6225	-6,95	-41,50	1000	Total	390	390	PAux
AUX-32 PG-III-III	6226	-6,46	-42,88	2500	Total	830	744	PAux
AUX-33 PG-III-III	6227	-6,46	-42,87	2500	Total	830,8	729,8	PAux
AUX-34 PG-III-III	6228	-6,46	-42,86	2500	Total	841,5	753,5	PAux
AUX-35 PG-III-III	6229	-6,54	-42,72	2500	Total	792	707	PAux
AUX-36 PG-III-III	6230	-6,61	-42,65	2500	Total	831,5	755	PAux
AUX-37 PG-III-III	6231	-6,69	-42,53	2500	Total	824,5	749,5	PAux
AUX-38 PG-III-III	6232	-6,75	-42,49	2500	Total	601,5	537	PAux
AUX-39 PG-III-III	6233	-6,94	-42,29	2000	Total	535,5	535,5	PAux
AUX-40 PG-III-III	6234	-6,96	-42,26	2000	Total	524,5	524,5	PAux

Continua...

²⁰ Penetração no Aquífero Serra Grande.²¹ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ²²	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ²³
AUX-41 PG-III-III	6235	-7,01	-42,17	2000	Total	504	504	PAux
AUX-42 PG-III-III	6236	-7,01	-42,14	2000	Total	509	509	PAux
AUX-43 PG-III-III	6237	-7,00	-42,10	1600	Total	424,5	424,5	PAux
AUX-44 PG-III-III	6238	-7,00	-42,03	1500	Total	511	511	PAux
AUX-45 PG-III-III	6239	-6,99	-41,97	1300	Total	558,5	558,5	PAux
AUX-46 PG-III-III	6240	-6,94	-41,39	800	Total	369	369	PAux
AUX-47 PG-III-III	6241	-6,94	-41,34	600	Total	298	298	PAux
AUX-48 PG-III-III	6242	-6,93	-41,31	500	Total	290,9	290,9	PAux
AUX-49 PG-III-III	6243	-6,94	-40,84	200	Total	0,1	0,1	PAux
AUX-50 PG-V-V'	6244	-6,77	-44,20	3216	Total	667,4	452	PAux
AUX-51 PG-V-V'	6245	-6,83	-44,18	3124	Total	659,2	449,4	PAux
AUX-52 PG-V-V'	6246	-6,88	-44,16	3050	Total	653,8	455,2	PAux
AUX-53 PG-V-V'	6247	-6,92	-44,15	3122	Total	650,4	455	PAux
AUX-54 PG-V-V'	6248	-7,37	-44,03	2600	Total	577,4	415,2	PAux
AUX-55 PG-V-V'	6249	-7,53	-43,98	2400	Total	545,2	363,2	PAux
AUX-56 PG-V-V'	6250	-7,72	-43,93	2450	Total	560,4	422,6	PAux
AUX-57 PG-V-V'	6251	-7,78	-43,91	2400	Total	520	416	PAux
AUX-58 PG-V-V'	6252	-7,87	-43,88	1600	Total	465,8	360,2	PAux
AUX-59 PG-V-V'	6253	-8,34	-43,82	1400	Total	383,4	383,4	PAux
AUX-60 PG-V-V'	6254	-8,34	-43,82	1402	Total	399,6	399,6	PAux
AUX-61 PG-V-V'	6255	-8,59	-43,56	1290	Total	390,8	390,8	PAux
AUX-62 PG-V-V'	6256	-8,57	-43,59	1050	Total	377	377	PAux
AUX-63 PG-V-V'	6257	-8,63	-43,49	880	Total	324,6	324,6	PAux
AUX-64 PG-V-V'	6258	-8,99	-42,95	650	Total	273,8	273,8	PAux

Continua...

²² Penetração no Aquífero Serra Grande.²³ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ²⁴	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ²⁵
AUX-65 PG-V-V'	6259	-8,74	-43,33	901	Total	320	320	PAux
AUX-66 PG-V-V'	6260	-8,79	-43,25	1200	Total	274	274	PAux
AUX-67 PG-V-V'	6261	-8,84	-43,17	1360	Total	251,8	251,8	PAux
AUX-68 PG-V-V'	6262	-9,00	-42,94	1270	Total	250,3	250,3	PAux
AUX-69 PG-V-V'	6263	-9,01	-42,93	200	Total	0,1	0,1	PAux
1NL-02-PI PG II-II Aprof	6265	-5,59	-42,56	2300	Total	712,4	620,9	PAux
AUX-70 PG-II-II'	6267	-5,44	-43,03	2200	Total	295,2	295,2	PAux
AUX-71 PG-II-II'	6268	-5,44	-43,02	2200	Total	293,3	293,3	PAux
AUX-72 PG-II-II'	6269	-5,45	-42,99	2200	Total	325,3	326,3	PAux
AUX-73 PG-II-II'	6270	-5,46	-42,98	2200	Total	341,9	341,9	PAux
AUX-74 PG-II-II'	6271	-5,49	-42,88	2200	Total	351,4	351,4	PAux
AUX-75 PG-II-II'	6272	-5,50	-42,87	2400	Total	464,2	428,8	PAux
AUX-76 PG-II-II'	6273	-5,52	-42,80	2400	Total	503	391,2	PAux
AUX-77 PG-II-II'	6274	-5,54	-42,75	2400	Total	516,6	451,3	PAux
AUX-78 PG-II-II'	6275	-5,55	-42,71	2400	Total	655,5	558,6	PAux
AUX-79 PG-II-II'	6276	-5,57	-42,68	2400	Total	649,2	558,1	PAux
AUX-80 PG-II-II'	6277	-5,58	-42,64	2400	Total	690,8	608,4	PAux
AUX-82 PG-II-II'	6279	-5,61	-42,57	2400	Total	700,3	612,5	PAux
AUX-83 PG-II-II'	6280	-5,62	-42,55	2400	Total	700,6	613,8	PAux
AUX-84 PG-II-II'	6281	-5,63	-42,53	2400	Total	701	605,4	PAux
AUX-85 PG-II-II'	6282	-5,65	-42,48	2200	Total	629,3	554,4	PAux
AUX-86 PG-II-II'	6283	-5,70	-42,37	2200	Total	505,8	439,1	PAux
AUX-87 PG-II-II'	6284	-5,78	-42,19	2000	Total	404	364,8	PAux
AUX-88 PG-II-II'	6285	-5,80	-42,14	1780	Total	393,3	362,3	PAux

Continua...

²⁴ Penetração no Aquífero Serra Grande.²⁵ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ²⁶	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ²⁷
AUX-89 PG-II-II'	6286	-5,90	-41,91	2522	Total	385,2	346,6	PAux
AUX-90 PG-II-II'	6287	-5,95	-41,81	1231	Total	418	379,8	PAux
AUX-91 PG-II-II'	6288	-5,96	-41,75	1200	Total	309,1	273,5	PAux
AUX-92 PG-II-II'	6289	-5,96	-41,60	1000	Total	304,5	304,5	PAux
AUX-93 PG-II-II'	6290	-5,96	-41,56	600	Total	295,3	295,3	PAux
AUX-94 PG-II-II'	6291	-5,96	-41,39	400	Total	288,7	288,7	PAux
AUX-95 PG-II-II'	6292	-5,97	-40,86	200	Total	0,1	0,1	PAux
AUX-96 PG-V-V	6293	-3,70	-43,94	3350	Total	714,9	671,6	PAux
AUX-97 PG-V-V	6294	-3,92	-44,01	3000	Total	629,8	616	PAux
AUX-98 PG-V-V	6295	-4,08	-44,07	2600	Total	566,7	566,7	PAux
AUX-99 PG-V-V	6296	-4,18	-44,10	2360	Total	523,5	523,5	PAux
AUX-100 PG-V-V	6297	-4,28	-44,13	2200	Total	459,8	459,8	PAux
AUX-101 PG-V-V	6298	-4,34	-44,15	2000	Total	435,6	435,6	PAux
AUX-102 PG-V-V	6299	-4,43	-44,18	1900	Total	388,5	388,5	PAux
AUX-103 PG-V-V	6300	-4,50	-44,21	1800	Total	385	385	PAux
AUX-104 PG-II-VI	6301	-3,48	-43,78	1800	Total	400,8	400,8	PAux
AUX-105 PG-II-VI	6302	-3,35	-43,57	1750	Total	389,5	389,5	PAux
AUX-106 PG-II-VI	6303	-3,27	-43,44	1690	Total	333,9	333,9	PAux
AUX-107 PG-II-VI	6304	-3,19	-43,30	1300	Total	256	256	PAux
AUX-108 PG-II-VI	6305	-3,11	-43,18	1300	Total	256	256	PAux
AUX-110 PG-II-VI	6307	-3,00	-42,99	2200	Total	178,1	178,1	PAux
AUX-111 PG-IV-IV	6308	-9,14	-46,77	1650	Total	358,6	358,6	PAux
AUX-112 PG-IV-IV	6309	-9,62	-46,66	1850	Total	334,2	334,2	PAux
AUX-113 PG-IV-IV	6310	-9,75	-46,62	2000	Total	336,9	336,9	PAux

Continua...

²⁶ Penetração no Aquífero Serra Grande.

²⁷ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ²⁸	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ²⁹
AUX-114 PG-IV-IV	6311	-9,82	-46,60	2205	Total	313,9	313,9	PAux
AUX-115 PG-IV-IV	6312	-9,89	-46,58	2200	Total	259,7	259,7	PAux
AUX-116 PG-IV-IV	6313	-9,93	-46,57	2000	Total	228,6	228,6	PAux
AUX-117 PG-IV-IV	6314	-10,04	-46,54	1900	Total	206,3	206,3	PAux
AUX-118 PG-IV-IV	6315	-10,22	-46,49	1650	Total	191,8	191,8	PAux
AUX-119 PG-IV-IV	6316	-10,51	-46,41	1500	Total	122,5	122,5	PAux
AUX-120 PG-IV-IV	6317	-10,84	-46,32	1200	Total	64	64	PAux
AUX-121 PG-IV-IV	6318	-10,89	-46,31	1150	Total	50,8	50,8	PAux
AUX-122 PG-IV-IV	6319	-10,93	-46,30	1200	Total	47	47	PAux
AUX-123 PG-IV-IV	6320	-11,08	-46,25	1022	Total	0,6	0,6	PAux
AUX-100-PG III-V	6323	-7,73	-45,49	2000	Total	484,5	484,5	PAux
AUX-101-PG III-V	6324	-7,70	-45,58	2100	Total	479,1	479,1	PAux
AUX-102-PG III-V	6325	-7,78	-45,38	2100	Total	464,3	464,3	PAux
AUX-103-PG III-V	6326	-7,81	-45,29	2000	Total	427	427	PAux
AUX-104-PG III-V	6327	-8,02	-44,79	1800	Total	499	499	PAux
AUX-105-PG III-V	6328	-8,39	-43,87	1300	Total	418	418	PAux
AUX-106-PG III-V	6329	-8,38	-43,90	1300	Total	418	418	PAux
AUX-108-PG III-V	6331	-8,28	-44,16	1600	Total	416,1	416,1	PAux
AUX-109-PG III-V	6332	-7,80	-45,33	2100	Total	444,8	444,8	PAux
AUX-110-PG III-V	6333	-7,95	-44,97	1800	Total	420,2	420,2	PAux
AUX-111-PG III-V	6334	-8,18	-44,40	1800	Total	405	405	PAux
AUX-112-PG III-V	6335	-7,59	-45,84	2800	Total	472,8	395,3	PAux
AUX-113-PG III-V	6336	-7,62	-45,76	2200	Total	471,2	396,1	PAux
AUX-126-PG V-V	6338	-8,05	-43,83	1200	Total	370	322,9	PAux

Continua...

²⁸ Penetração no Aquífero Serra Grande.²⁹ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ³⁰	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ³¹
AUX-127- PG V-V	6339	-8,48	-43,73	1100	Total	329	329	PAux
AUX-128- PG V-V	6340	-7,16	-44,09	2150	Total	487,2	338,5	PAux
AUX-129- PG V-V	6341	-7,03	-44,12	2000	Total	513,2	378,4	PAux
AUX-130- PG II-II'	6342	-5,97	-41,13	1200	Total	242,2	242,2	PAux

Fonte: Do próprio autor.

³⁰ Penetração no Aquífero Serra Grande.

³¹ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar.

APÊNDICE F - CÓDIGOS ID DOS PONTOS UTILIZADOS NA MODELAGEM MATEMÁTICA - MOMARAQ - PARA O AQUÍFERO CABEÇAS E RESPECTIVOS VALORES DE ISÓPACAS E HIDROISÓPACAS ESTRATIGRÁFICAS.

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ³²	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ³³
CPRM-MI-04-13-PI	160	-8,88	-43,15	689	Total	136	136	PTub
CPRM-MI-02-13-PI	161	-7,56	-41,58	611	Total	106	76	PTub
CPRM-MI-03-13-PI	162	-8,06	-42,30	673	Total	80	80	PTub
APz-4	169	-8,18	-43,79	450	Total	230	230	PTub
BPP-6	187	-8,41	-43,84	1241	Total	302	302	PTub
BPP-7	188	-8,41	-43,84	422	Total	296	296	PTub
CPp-14	199	-8,70	-44,09	436	Total	217	217	PTub
CPz-14	200	-8,70	-44,09	451	Total	216	216	PTub
4ps-14-PI	285	-7,01	-41,59	750	Total	153	153	PTub
4SR-07-PI	323	-8,82	-42,74	953	Total	45	45	PTub
4SR-06-PI	327	-8,95	-42,94	700	Total	6	6	PTub
4CB-04-PI	388	-8,14	-43,45	600	Parcial	209	209	PTub
4SJV-02-PI	400	-6,92	-41,86	282	Total	277	277	PTub
4VL-06-PI	443	-6,41	-41,74	734	Total	273	273	PTub
4LGS-01-PI	448	-6,52	-41,48	640	Total	201	150	PTub
4PD-01-PI	474	-4,45	-41,45	752	Total	244	93	PTub
220000293	526	-7,35	-41,72	98	Parcial	98	98	PTub
220000526	572	-6,79	-41,45	648	Total	298	298	PTub
220000537	577	-6,87	-41,47	650	Total	192	192	PTub
220000542	581	-6,87	-41,48	600	Parcial	200	200	PTub
2200001974	735	-6,94	-41,74	800	Total	462	282	PTub
2200001983	738	-6,20	-42,14	598	Total	252	252	PTub
2200002062	752	-6,52	-41,57	225	Parcial	225	225	PTub
2200002118	762	-8,72	-44,11	441	Total	267	267	PTub
2200002120	764	-8,77	-44,17	417	Total	265	265	PTub
2200002123	766	-8,77	-44,14	413	Total	267	267	PTub
2200002124	767	-8,75	-44,15	415	Total	263	263	PTub
2200002181	775	-9,58	-44,80	772	Total	240	240	PTub
2200002507	786	-3,42	-41,89	73	Parcial	63	63	PTub
2200002798	814	-3,92	-41,71	636	Total	174	174	PTub
2200002896	828	-8,11	-42,94	132	Total	99,05	99,05	PTub
2200002970	857	-5,32	-41,55	90	Parcial	90	90	PTub
2200002970	857	-5,32	-41,55	90	Parcial	90	90	PTub
2200006220	978	-3,51	-41,73	50	Parcial	50	50	PTub
2200006221	979	-3,51	-41,72	50	Parcial	50	50	PTub

Continua...

³² Penetração no Aquífero Cabeças.

³³ Tipo de Ponto- PTub – Poço Tubular

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ³⁴	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ³⁵
2200006224	981	-3,54	-41,71	60	Parcial	60	60	PTub
2200011368	1256	-8,77	-42,77	600	Total	101	101	PTub
2200011409	1257	-8,75	-42,78	720	Total	221	221	PTub
2200011836	1268	-8,78	-42,78	700	Total	144	144	PTub
2200011895	1270	-8,78	-42,86	650	Total	135	135	PTub
2200011904	1271	-8,78	-42,77	650	Total	144	144	PTub
2200014051	1310	-7,97	-43,22	330	Parcial	204	204	PTub
2200014223	1334	-7,78	-43,14	420	Total	165	165	PTub
2200014313	1345	-8,01	-43,02	304,2	Parcial	155	155	PTub
2200014463	1353	-7,77	-43,14	423	Total	149	149	PTub
2200015392	1477	-4,45	-41,44	79,5	Total	78	78	PTub
2200015531	1489	-4,45	-41,44	78	Total	75	75	PTub
2200015537	1491	-4,45	-41,44	91,5	Total	78	78	PTub
2200015572	1496	-4,44	-41,45	752	Total	244	93	PTub
2200015611	1499	-4,45	-41,44	75	Total	70	70	PTub
2200016478	1550	-8,50	-43,91	395	Parcial	293	293	PTub
2200016496	1551	-8,42	-43,84	392	Parcial	300	300	PTub
2200016524	1552	-8,55	-43,95	1000	Total	287	287	PTub
2200016562	1553	-8,48	-43,90	390	Total	282	282	PTub
2200016607	1555	-8,46	-43,88	393	Parcial	293	293	PTub
2200016649	1556	-8,43	-43,87	396	Parcial	300	300	PTub
2200016814	1558	-8,48	-43,89	410	Total	292	292	PTub
2200016836	1559	-8,06	-43,78	597	Total	285	285	PTub
2200016849	1560	-8,47	-43,89	385	Parcial	292,2	292,2	PTub
2200016887	1561	-8,40	-43,83	383	Parcial	262	262	PTub
2200016889	1562	-8,39	-43,84	390	Parcial	296	296	PTub
2200016896	1563	-8,20	-43,79	416	Total	245	245	PTub
2200016912	1565	-8,43	-43,86	390	Parcial	300	300	PTub
2200016975	1566	-8,49	-43,90	395	Parcial	291	291	PTub
2200017057	1570	-8,41	-43,85	388	Parcial	298	298	PTub
2200017098	1571	-8,43	-43,89	1000	Total	244	244	PTub
2200017178	1575	-8,45	-43,89	370	Parcial	278	278	PTub
2200017213	1578	-8,48	-43,90	390	Total	290	290	PTub
2200017233	1579	-8,72	-44,08	425	Total	251	251	PTub
2200017577	1643	-7,06	-41,63	709	Total	105	105	PTub
2200019940	2001	-6,40	-41,73	765	Total	273	273	PTub
2200020216	2009	-6,41	-41,74	734	Total	226	226	PTub
2200022244	2434	-7,03	-41,56	555	Total	144	144	PTub
2200031802	2945	-7,59	-42,37	900	Total	210	210	PTub
2200032307	2997	-7,29	-41,82	170	Parcial	170	170	PTub

Continua...

³⁴ Penetração no Aquífero Cabeças.³⁵ Tipo de Ponto- PTub – Poço Tubular

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ³⁶	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ³⁷
2200032354	3004	-7,67	-42,18	120	Parcial	120	120	PTub
2200032467	3020	-7,20	-41,85	130	Parcial	130	130	PTub
2200033823	3144	-4,84	-42,30	2177,1	Total	573	318	PP
2200034171	3234	-6,82	-41,48	710	Total	390	228	PTub
2200034357	3316	-9,27	-43,74	250	Total	72	72	PTub
2200034559	3338	-7,87	-42,27	126	Total	110	110	PTub
2200035183	3740	-8,21	-42,84	150	Parcial	150	150	PTub
2200036077	4306	-4,36	-41,44	153	Parcial	153	153	PTub
2200036077	4306	-4,36	-41,44	153	Parcial	153	153	PTub
2200036083	4310	-4,52	-41,42	102	Parcial	102	102	PTub
2200036087	4314	-4,46	-41,47	200	Parcial	200	200	PTub
2200036764	4452	-8,22	-42,76	150	Parcial	150	150	PTub
2200037376	5021	-4,26	-41,72	95	Total	80	80	PTub
2200037377	5022	-4,18	-41,72	100	Total	80	80	PTub
2200037765	5354	-7,29	-41,85	100	Total	29	29	PTub
2200037788	5371	-6,92	-41,47	180	Total	54	54	PTub
2200046857	5464	-8,07	-42,29	103	Parcial	103	103	PTub
2200048245	5911	-7,55	-41,58	611	Total	106	106	PTub
2200048261	5920	-4,30	-41,68	180	Total	120	120	PTub
2200048736	6018	-5,41	-41,66	220	Parcial	220	220	PTub
1-CA-1-MA	6069	-7,54	-45,95	1936	Total	223	113	PP
2-BGst-1-MA	6070	-6,46	-43,15	2020	Total	310	310	PP
1-FL-1-PI	6072	-6,46	-42,80	2405	Total	347	347	PP
1-FM-1-PI EPBP	6073	-8,25	-46,09	1824	Total	112	112	PP
1-MA-1-PI	6078	-4,83	-42,80	2177	Total	573	318	PP
1-MA-2-PI	6079	-4,85	-42,78	2029	Total	528	288	PP
1-MD-1-MA EPBP	6080	-6,38	-44,30	2827	Total	182	182	PP
1-MS-1-MA	6081	-6,99	-45,49	2555	Total	164	164	PP
2-NLst-1pi	6083	-5,60	-42,59	2275	Total	486	321	PP
1-PD-1-MA	6088	-5,30	-44,57	2844	Total	120	120	PP
1-TB1-MA	6094	-7,42	-46,10	2128	Total	115	115	PP
1-TM-1-MA	6096	-8,71	-46,91	1690	Total	132	132	PP
2-VGst-1-MA	6099	-3,55	-43,89	1647	Total	295	135	PP
2-Sost-1-MA	6103	-2,93	-42,88	1818	Total	124	124	PP
2-CP-1-MA	6104	-4,76	-44,30	3423	Total	340	340	PP
1-RB-1-MA	6126	-8,03	-46,08	1836	Total	100	100	PP
1MA-2	6154	-4,85	-42,78	2029,2	Total	536,5	310,1	PAux
4AT-02-PI PG I-I Aprof	6166	-5,04	-42,47	1800	Total	471,9	283,2	PAux
AUX-11-PG-II	6167	-4,78	-43,88	3150	Total	526,6	338,5	PAux

Continua...

³⁶ Penetração no Aquífero Cabeças.³⁷ Tipo de Ponto- PTub – Poço Tubular / PAux – Ponto Auxiliar / PP – Poço PETROBRAS

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ³⁸	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ³⁹
AUX-12-PG-II	6168	-4,78	-43,80	3150	Total	526,7	357,5	PAux
AUX-12-PG-II-A	6169	-4,78	-43,78	3150	Total	526,7	357,5	PAux
AUX-13-PG-II	6170	-4,79	-43,68	3000	Total	526,7	432,7	PAux
AUX-14-PG-II	6171	-4,80	-43,38	2750	Total	545,4	507,5	PAux
AUX-14-PG-II-A	6172	-4,80	-43,37	2750	Total	545,5	507,5	PAux
AUX-15-PG-II	6173	-4,81	-43,11	2550	Total	564	413,6	PAux
AUX-16-PG-II	6174	-4,82	-42,95	2350	Total	582	318,5	PAux
2BGST-1 PG III-III Aprof	6191	-6,46	-43,15	2800	Total	307	307	PAux
1-CA-1 PG III-V Aprof	6194	-7,54	-45,95	2300	Total	232,7	188,7	PAux
4-CC-25 PG V-V' Aprof	6199	-8,18	-43,79	1500	Total	230	230	PAux
4-BT-4 PG V-V' Aprof	6201	-7,64	-43,95	2000	Total	238,9	171,9	PAux
2VGST-01 PG II-VI Aprof	6206	-3,55	-43,89	1800	Total	62,3	45,3	PAux
1-PD-1 PG V-V' Aprof	6210	-5,30	-44,57	3300	Total	277,65	248,6	PAux
AUX-21-PG I-I	6211	-4,94	-42,63	2200	Total	503,7	402,6	PAux
AUX-22-PG I-I	6212	-4,98	-42,55	2200	Total	496,3	386,3	PAux
AUX-23-PG I-I	6213	-5,02	-42,50	2000	Total	489,5	341,2	PAux
AUX-24-PG I-I	6214	-5,04	-42,32	1700	Total	418	319,5	PAux
AUX-25-PG I-I	6215	-5,05	-42,08	1300	Total	354,8	263,2	PAux
AUX-26-PG I-I	6216	-5,05	-41,82	1200	Total	339,5	268,3	PAux
AUX-27-PG I-I	6217	-5,05	-41,68	1000	Total	243,2	176,7	PAux
AUX-28-PG I-I	6218	-5,05	-41,62	700	Total	45,8	45,8	PAux
FV-1 PG III-III Aprof	6223	-7,01	-42,21	2000	Total	348	237,5	PAux
SI-1 PG III-III Aprof	6225	-6,95	-41,50	1000	Total	198,5	198,5	PAux
AUX-32 PG-III-III	6226	-6,46	-42,88	2500	Total	334,5	334,5	PAux
AUX-33 PG-III-III	6227	-6,46	-42,87	2500	Total	338,9	338,9	PAux
AUX-34 PG-III-III	6228	-6,46	-42,86	2500	Total	350	350	PAux
AUX-35 PG-III-III	6229	-6,54	-42,72	2500	Total	350	350	PAux
AUX-36 PG-III-III	6230	-6,61	-42,65	2500	Total	334,5	314	PAux
AUX-37 PG-III-III	6231	-6,69	-42,53	2500	Total	340	296	PAux
AUX-38 PG-III-III	6232	-6,75	-42,49	2500	Total	346,5	280,37	PAux
AUX-39 PG-III-III	6233	-6,94	-42,29	2000	Total	371	259	PAux
AUX-40 PG-III-III	6234	-6,96	-42,26	2000	Total	346,5	256,5	PAux
AUX-41 PG-III-III	6235	-7,01	-42,17	2000	Total	303	210,5	PAux
AUX-42 PG-III-III	6236	-7,01	-42,14	2000	Total	295	185	PAux
AUX-43 PG-III-III	6237	-7,00	-42,10	1600	Total	299	204,5	PAux

Continua...

³⁸ Penetração no Aquífero Cabeças.³⁹ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar.

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ⁴⁰	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ⁴¹
AUX-44 PG-III-III	6238	-7,00	-42,03	1500	Total	297,4	208,4	PAux
AUX-45 PG-III-III	6239	-6,99	-41,97	1300	Total	171	86,5	PAux
AUX-46 PG-III-III	6240	-6,94	-41,39	800	Total	0,1	0,1	PAux
AUX-50 PG-V-V'	6244	-6,77	-44,20	3216	Total	207,8	207,6	PAux
AUX-51 PG-V-V'	6245	-6,83	-44,18	3124	Total	209	209	PAux
AUX-52 PG-V-V'	6246	-6,88	-44,16	3050	Total	203,8	203,8	PAux
AUX-53 PG-V-V'	6247	-6,92	-44,15	3122	Total	205,2	205,2	PAux
AUX-54 PG-V-V'	6248	-7,37	-44,03	2600	Total	224,4	183,4	PAux
AUX-55 PG-V-V'	6249	-7,53	-43,98	2400	Total	192	158,8	PAux
AUX-56 PG-V-V'	6250	-7,72	-43,93	2450	Total	249	223,6	PAux
AUX-57 PG-V-V'	6251	-7,78	-43,91	2400	Total	246,4	212,8	PAux
AUX-58 PG-V-V'	6252	-7,87	-43,88	1600	Total	279,2	212,6	PAux
AUX-59 PG-V-V'	6253	-8,34	-43,82	1400	Total	271,4	271,4	PAux
AUX-60 PG-V-V'	6254	-8,34	-43,82	1402	Total	281,2	281,2	PAux
AUX-61 PG-V-V'	6255	-8,59	-43,56	1290	Total	161,6	161,6	PAux
AUX-62 PG-V-V'	6256	-8,57	-43,59	1050	Total	125,7	125,7	PAux
AUX-63 PG-V-V'	6257	-8,63	-43,49	880	Total	130,5	130,5	PAux
AUX-64 PG-V-V'	6258	-8,99	-42,95	650	Total	0,1	0,1	PAux
1NL-02-PI PG II-II Aprof	6265	-5,59	-42,56	2300	Total	536,7	389,8	PAux
AUX-70 PG-II-II'	6267	-5,44	-43,03	2200	Total	311,1	227,1	PAux
AUX-71 PG-II-II'	6268	-5,44	-43,02	2200	Total	329,3	219,9	PAux
AUX-72 PG-II-II'	6269	-5,45	-42,99	2200	Total	331,8	233,6	PAux
AUX-73 PG-II-II'	6270	-5,46	-42,98	2200	Total	333	219,6	PAux
AUX-74 PG-II-II'	6271	-5,49	-42,88	2200	Total	333,8	220,8	PAux
AUX-75 PG-II-II'	6272	-5,50	-42,87	2400	Total	360,3	249,1	PAux
AUX-76 PG-II-II'	6273	-5,52	-42,80	2400	Total	372,9	238,4	PAux
AUX-77 PG-II-II'	6274	-5,54	-42,75	2400	Total	378,1	234,9	PAux
AUX-78 PG-II-II'	6275	-5,55	-42,71	2400	Total	520	254,8	PAux
AUX-79 PG-II-II'	6276	-5,57	-42,68	2400	Total	525,2	372,4	PAux
AUX-80 PG-II-II'	6277	-5,58	-42,64	2400	Total	523	362,7	PAux
AUX-82 PG-II-II'	6279	-5,61	-42,57	2400	Total	486	325,1	PAux
AUX-83 PG-II-II'	6280	-5,62	-42,55	2400	Total	483,2	328,1	PAux
AUX-84 PG-II-II'	6281	-5,63	-42,53	2400	Total	479,6	328,9	PAux
AUX-85 PG-II-II'	6282	-5,65	-42,48	2200	Total	466,4	330,2	PAux
AUX-86 PG-II-II'	6283	-5,70	-42,37	2200	Total	465	349	PAux
AUX-87 PG-II-II'	6284	-5,78	-42,19	2000	Total	395,6	367,3	PAux
AUX-88 PG-II-II'	6285	-5,80	-42,14	1780	Total	338,1	338,1	PAux
AUX-89 PG-II-II'	6286	-5,90	-41,91	2522	Total	310,9	310,9	PAux
AUX-90 PG-II-II'	6287	-5,95	-41,81	1231	Total	298,7	298,7	PAux

Continua...

⁴⁰ Penetração no Aquífero Cabeças.⁴¹ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar.

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ⁴²	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ⁴³
UX-91 PG-II-II'	6288	-5,96	-41,75	1200	Total	316,4	316,4	PAux
AUX-92 PG-II-II'	6289	-5,96	-41,60	1000	Total	44,3	44,3	PAux
AUX-96 PG-V-V	6293	-3,70	-43,94	3350	Total	422,5	361,6	PAux
AUX-97 PG-V-V	6294	-3,92	-44,01	3000	Total	448	401	PAux
AUX-98 PG-V-V	6295	-4,08	-44,07	2600	Total	481,4	356,2	PAux
AUX-99 PG-V-V	6296	-4,18	-44,10	2360	Total	485,2	401,9	PAux
AUX-100 PG-V-V	6297	-4,28	-44,13	2200	Total	474,2	376,3	PAux
AUX-101 PG-V-V	6298	-4,34	-44,15	2000	Total	465,6	356,1	PAux
AUX-102 PG-V-V	6299	-4,43	-44,18	1900	Total	436,5	292,9	PAux
AUX-103 PG-V-V	6300	-4,50	-44,21	1800	Total	379	239,4	PAux
AUX-104 PG-II-VI	6301	-3,48	-43,78	1800	Total	111,3	67,3	PAux
AUX-105 PG-II-VI	6302	-3,35	-43,57	1750	Total	100,1	66,7	PAux
AUX-106 PG-II-VI	6303	-3,27	-43,44	1690	Total	77,9	55,6	PAux
AUX-110 PG-II-VI	6307	-3,00	-42,99	2200	Total	200,3	89	PAux
AUX-111 PG-IV-IV	6308	-9,14	-46,77	1650	Total	116,3	116,3	PAux
AUX-112 PG-IV-IV	6309	-9,62	-46,66	1850	Total	105,8	105,8	PAux
AUX-113 PG-IV-IV	6310	-9,75	-46,62	2000	Total	113,4	113,4	PAux
AUX-114 PG-IV-IV	6311	-9,82	-46,60	2205	Total	138,6	138,6	PAux
AUX-115 PG-IV-IV	6312	-9,89	-46,58	2200	Total	155,8	155,8	PAux
AUX-116 PG-IV-IV	6313	-9,93	-46,57	2000	Total	161,8	161,8	PAux
AUX-117 PG-IV-IV	6314	-10,04	-46,54	1900	Total	140,2	140,2	PAux
AUX-118 PG-IV-IV	6315	-10,22	-46,49	1650	Total	134,8	134,8	PAux
AUX-119 PG-IV-IV	6316	-10,51	-46,41	1500	Total	115,8	115,8	PAux
AUX-120 PG-IV-IV	6317	-10,84	-46,32	1200	Total	95,9	95,9	PAux
AUX-121 PG-IV-IV	6318	-10,89	-46,31	1150	Total	94,5	94,5	PAux
AUX-122 PG-IV-IV	6319	-10,93	-46,30	1200	Total	99,1	99,1	PAux
AUX-123 PG-IV-IV	6320	-11,08	-46,25	1022	Total	0,5	0,5	PAux
AUX-100-PG III-V	6323	-7,73	-45,49	2000	Total	220,2	220,2	PAux
AUX-101-PG III-V	6324	-7,70	-45,58	2100	Total	224,8	224,8	PAux
AUX-102-PG III-V	6325	-7,78	-45,38	2100	Total	226,4	226,4	PAux
AUX-103-PG III-V	6326	-7,81	-45,29	2000	Total	231,3	231,3	PAux
AUX-104-PG III-V	6327	-8,02	-44,79	1800	Total	238,3	238,3	PAux

continua...

⁴² Penetração no Aquífero Cabeças.⁴³ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar.

Continuação...

Ponto	ID	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Penetração ⁴⁴	Isópaca (m)	Hidroisópaca (m)	Tipo ⁴⁵
AUX-105-PG III-V	6328	-8,39	-43,87	1300	Total	271,1	271,1	PAux
AUX-106-PG III-V	6329	-8,38	-43,90	1300	Total	271,1	271,1	PAux
AUX-108-PG III-V	6331	-8,28	-44,16	1600	Total	265,2	265,2	PAux
AUX-109-PG III-V	6332	-7,80	-45,33	2100	Total	232,8	232,8	PAux
AUX-110-PG III-V	6333	-7,95	-44,97	1800	Total	230,4	230,4	PAux
AUX-111-PG III-V	6334	-8,18	-44,40	1800	Total	246,3	246,3	PAux
AUX-112-PG III-V	6335	-7,59	-45,84	2800	Total	232,8	127,3	PAux
AUX-113-PG III-V	6336	-7,62	-45,76	2200	Total	241,1	147,3	PAux
AUX-126-PG V-V	6338	-8,05	-43,83	1200	Total	206,4	206,4	PAux
AUX-127-PG V-V	6339	-8,48	-43,73	1100	Total	203,7	203,7	PAux
AUX-128-PG V-V	6340	-7,16	-44,09	2150	Total	198,9	162,1	PAux
AUX-129-PG V-V	6341	-7,03	-44,12	2000	Total	173	173	PAux

Fonte: Do próprio autor.

⁴⁴ Penetração no Aquífero Cabeças.

⁴⁵ Tipo de Ponto- PAux – Ponto Auxiliar.

ANEXOS

ANEXO A - CÓDIGOS ID E MUNICÍPIOS DO PIAUÍ NA ÁREA DE PESQUISA

ID	Município	Cód. IBGE	ID	Município	Cód. IBGE
0	ACAUÃ	2200053	114	LAGOA DE SÃO FRANCISCO	2205573
1	AGRICOLÂNDIA	2200103	113	LAGOA DO BARRO DO PIAUÍ	2205565
2	ÁGUA BRANCA	2200202	115	LAGOA DO PIAUÍ	2205581
3	ALAGOINHA DO PIAUÍ	2200251	116	LAGOA DO SÍTIO	2205599
4	ALEGRETE DO PIAUÍ	2200277	111	LAGOINHA DO PIAUÍ	2205540
5	ALTO LONGÁ	2200301	117	LANDRI SALES	2205607
6	ALTOS	2200400	118	LUÍS CORREIA	2205706
7	ALVORADA DO GURGUÉIA	2200459	119	LUZILÂNDIA	2205805
8	AMARANTE	2200509	120	MADEIRO	2205854
9	ANGICAL DO PIAUÍ	2200608	121	MANOEL EMÍDIO	2205904
10	ANÍSIO DE ABREU	2200707	122	MARCOLÂNDIA	2205953
11	ANTÔNIO ALMEIDA	2200806	123	MARCOS PARENTE	2206001
12	AROAZES	2200905	124	MASSAPÊ DO PIAUÍ	2206050
13	AROEIRAS DO ITAIM	2200954	125	MATIAS OLÍMPIO	2206100
14	ARRAIAL	2201002	126	MIGUEL ALVES	2206209
15	ASSUNÇÃO DO PIAUÍ	2201051	127	MIGUEL LEÃO	2206308
16	AVELINO LOPES	2201101	128	MILTON BRANDÃO	2206357
17	BAIXA GRANDE DO RIBEIRO	2201150	129	MONSENHOR GIL	2206407
18	BARRA D'ALCÂNTARA	2201176	130	MONSENHOR HIPÓLITO	2206506
19	BARRAS	2201200	131	MONTE ALEGRE DO PIAUÍ	2206605
20	BARREIRAS DO PIAUÍ	2201309	132	MORRO CABEÇA NO TEMPO	2206654
21	BARRO DURO	2201408	133	MORRO DO CHAPÉU DO PIAUÍ	2206670
22	BATALHA	2201507	134	MURICI DOS PORTELAS	2206696
23	BELA VISTA DO PIAUÍ	2201556	135	NAZARÉ DO PIAUÍ	2206704
24	BELÉM DO PIAUÍ	2201572	136	NAZÁRIA	2206720
25	BENEDITINOS	2201606	137	NOSSA SENHORA DE NAZARÉ	2206753
26	BERTOLÍNIA	2201705	138	NOSSA SENHORA DOS REMÉDIOS	2206803
27	BETÂNIA DO PIAUÍ	2201739	158	NOVA SANTA RITA	2207959
28	BOA HORA	2201770	139	NOVO ORIENTE DO PIAUÍ	2206902
29	BOCAINA	2201804	140	NOVO SANTO ANTÔNIO	2206951
30	BOM JESUS	2201903	141	OEIRAS	2207009
31	BOM PRINCÍPIO DO PIAUÍ	2201919	142	OLHO D'ÁGUA DO PIAUÍ	2207108
32	BONFIM DO PIAUÍ	2201929	143	PADRE MARCOS	2207207
33	BOQUEIRÃO DO PIAUÍ	2201945	144	PAES LANDIM	2207306
34	BRASILEIRA	2201960	145	PAJEÚ DO PIAUÍ	2207355
35	BREJO DO PIAUÍ	2201988	146	PALMEIRA DO PIAUÍ	2207405
36	BURITI DOS LOPES	2202000	147	PALMEIRAIS	2207504
37	BURITI DOS MONTES	2202026	148	PAQUETÁ	2207553
38	CABECEIRAS DO PIAUÍ	2202059	149	PARNAGUÁ	2207603
39	CAJAZEIRAS DO PIAUÍ	2202075	150	PARNAÍBA	2207702
40	CAJUEIRO DA PRAIA	2202083	151	PASSAGEM FRANCA DO PIAUÍ	2207751

Continua...

Continuação...

ID	Município	Cód. IBGE	ID	Município	Cód. IBGE
41	CALDEIRÃO GRANDE DO PIAUÍ	2202091	152	PATOS DO PIAUÍ	2207777
42	CAMPINAS DO PIAUÍ	2202109	153	PAU D'ARCO DO PIAUÍ	2207793
43	CAMPO ALEGRE DO FIDALGO	2202117	154	PAULISTANA	2207801
44	CAMPO GRANDE DO PIAUÍ	2202133	155	PAVUSSU	2207850
45	CAMPO LARGO DO PIAUÍ	2202174	156	PEDRO II	2207900
46	CAMPO MAIOR	2202208	157	PEDRO LAURENTINO	2207934
47	CANAVIEIRA	2202251	159	PICOS	2208007
48	CANTO DO BURITI	2202307	160	PIMENTEIRAS	2208106
49	CAPITÃO DE CAMPOS	2202406	161	PIO IX	2208205
50	CAPITÃO GERVÁSIO OLIVEIRA	2202455	162	PIRACURUCA	2208304
51	CARACOL	2202505	163	PIRIPIRI	2208403
52	CARAÚBAS DO PIAUÍ	2202539	164	PORTO	2208502
53	CARIDADE DO PIAUÍ	2202554	165	PORTO ALEGRE DO PIAUÍ	2208551
54	CASTELO DO PIAUÍ	2202604	166	PRATA DO PIAUÍ	2208601
55	CAXINGÓ	2202653	167	QUEIMADA NOVA	2208650
56	COCAL	2202703	168	REDENÇÃO DO GURGUÉIA	2208700
57	COCAL DE TELHA	2202711	169	REGENERAÇÃO	2208809
58	COCAL DOS ALVES	2202729	170	RIACHO FRIO	2208858
59	COIVARAS	2202737	171	RIBEIRA DO PIAUÍ	2208874
60	COLÔNIA DO GURGUÉIA	2202752	172	RIBEIRO GONÇALVES	2208908
61	COLÔNIA DO PIAUÍ	2202778	173	RIO GRANDE DO PIAUÍ	2209005
62	CONCEIÇÃO DO CANINDÉ	2202802	174	SANTA CRUZ DO PIAUÍ	2209104
63	CORONEL JOSÉ DIAS	2202851	175	SANTA CRUZ DOS MILAGRES	2209153
64	CORRENTE	2202901	176	SANTA FILOMENA	2209203
65	CRISTALÂNDIA DO PIAUÍ	2203008	177	SANTA LUZ	2209302
66	CRISTINO CASTRO	2203107	179	SANTA ROSA DO PIAUÍ	2209377
67	CURIMATÁ	2203206	178	SANTANA DO PIAUÍ	2209351
68	CURRAIS	2203230	180	SANTO ANTÔNIO DE LISBOA	2209401
70	CURRAL NOVO DO PIAUÍ	2203271	181	SANTO ANTÔNIO DOS MILAGRES	2209450
69	CURRALINHOS	2203255	182	SANTO INÁCIO DO PIAUÍ	2209500
71	DEMerval LOBÃO	2203305	183	SÃO BRAZ DO PIAUÍ	2209559
72	DIRCEU ARCOVERDE	2203354	184	SÃO FÉLIX DO PIAUÍ	2209609
73	DOM EXPEDITO LOPES	2203404	185	SÃO FRANCISCO DE ASSIS DO PIAUÍ	2209658
75	DOM INOCÊNCIO	2203453	186	SÃO FRANCISCO DO PIAUÍ	2209708
74	DOMINGOS MOURÃO	2203420	187	SÃO GONÇALO DO GURGUÉIA	2209757
76	ELESBÃO VELOSO	2203503	188	SÃO GONÇALO DO PIAUÍ	2209807
77	ELISEU MARTINS	2203602	189	SÃO JOÃO DA CANABRAVA	2209856
78	ESPERANTINA	2203701	190	SÃO JOÃO DA FRONTEIRA	2209872
79	FARTURA DO PIAUÍ	2203750	191	SÃO JOÃO DA SERRA	2209906
80	FLORES DO PIAUÍ	2203800	192	SÃO JOÃO DA VARJOTA	2209955
81	FLORESTA DO PIAUÍ	2203859	193	SÃO JOÃO DO ARRAIAL	2209971
82	FLORIANO	2203909	194	SÃO JOÃO DO PIAUÍ	2210003
83	FRANCINÓPOLIS	2204006	195	SÃO JOSÉ DO DIVINO	2210052

Continua...

Continuação...

ID	Município	Cód. IBGE	ID	Município	Cód. IBGE
84	FRANCISCO AYRES	2204105	196	SÃO JOSÉ DO PEIXE	2210102
85	FRANCISCO MACEDO	2204154	197	SÃO JOSÉ DO PIAUÍ	2210201
86	FRANCISCO SANTOS	2204204	198	SÃO JULIÃO	2210300
87	FRONTEIRAS	2204303	199	SÃO LOURENÇO DO PIAUÍ	2210359
88	GEMINIANO	2204352	200	SÃO LUIS DO PIAUÍ	2210375
89	GILBUÉS	2204402	201	SÃO MIGUEL DA BAIXA GRANDE	2210383
90	GUADALUPE	2204501	202	SÃO MIGUEL DO FIDALGO	2210391
91	GUARIBAS	2204550	203	SÃO MIGUEL DO TAPUIO	2210409
92	HUGO NAPOLEÃO	2204600	204	SÃO PEDRO DO PIAUÍ	2210508
93	ILHA GRANDE	2204659	205	SÃO RAIMUNDO NONATO	2210607
94	INHUMA	2204709	206	SEBASTIÃO BARROS	2210623
95	IPIRANGA DO PIAUÍ	2204808	207	SEBASTIÃO LEAL	2210631
96	ISAÍAS COELHO	2204907	208	SIGEFREDO PACHECO	2210656
97	ITAINÓPOLIS	2205003	209	SIMÕES	2210706
98	ITAUEIRA	2205102	210	SIMPLÍCIO MENDES	2210805
99	JACOBINA DO PIAUÍ	2205151	211	SOCORRO DO PIAUÍ	2210904
100	JAICÓS	2205201	212	SUSSUAPARA	2210938
101	JARDIM DO MULATO	2205250	213	TAMBORIL DO PIAUÍ	2210953
102	JATOBÁ DO PIAUÍ	2205276	214	TANQUE DO PIAUÍ	2210979
103	JERUMENHA	2205300	215	TERESINA	2211001
104	JOÃO COSTA	2205359	216	UNIÃO	2211100
105	JOAQUIM PIRES	2205409	217	URUÇUÍ	2211209
106	JOCA MARQUES	2205458	218	VALENÇA DO PIAUÍ	2211308
107	JOSÉ DE FREITAS	2205508	219	VÁRZEA BRANCA	2211357
108	JUAZEIRO DO PIAUÍ	2205516	220	VÁRZEA GRANDE	2211407
109	JÚLIO BORGES	2205524	221	VERA MENDES	2211506
110	JUREMA	2205532	222	VILA NOVA DO PIAUÍ	2211605
112	LAGOA ALEGRE	2205557	223	WALL FERRAZ	2211704

Fonte: IBGE

ANEXO B - CÓDIGOS ID E MUNICÍPIOS DO CEARÁ NA ÁREA DE PESQUISA

ID	Município	Cód. IBGE	ID	Município	Cód. IBGE
0	AIUABA	2300408	13	IPUEIRAS	2305902
1	ARARENDÁ	2301257	14	NOVO ORIENTE	2309409
2	CARIRÉ	2303105	15	PACUJÁ	2309904
3	CARNAUBAL	2303402	16	PARAMBU	2310308
4	CRATEÚS	2304103	17	PIRES FERREIRA	2310951
5	CROATÁ	2304236	18	PORANGA	2311009
6	FRECHEIRINHA	2304509	19	QUITERIANÓPOLIS	2311264
7	GRAÇA	2304657	20	RERIUTABA	2311702
8	GRANJA	2304707	21	SÃO BENEDITO	2312304
9	GUARACIABA DO NORTE	2305001	22	TIANGUÁ	2313401
10	IBIAPINA	2305308	23	UBAJARA	2313609
11	IPAPORANGA	2305654	24	VIÇOSA DO CEARÁ	2314102
12	IPU	2305803			

Fonte: IBGE