

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DISPONIBILIDADE E GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL  
DO AQÜÍFERO SERRA GRANDE NO MUNICÍPIO DE  
PICOS – PIAUÍ**

Claudio Luiz Rebello Vidal

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

**TESE DE DOUTORAMENTO**

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO  
2003

**Aos meus pais**

## AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de deixar registrado seu eterno agradecimento a todos aqueles que, de um modo ou de outro, contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, ao Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças por sua orientação e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho, e também pelas longas discussões sobre gerenciamento de recursos hídricos.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, pela oportunidade de realização deste estudo e infra-estrutura fornecida. E, em especial, aos Profs. Drs. Ricardo Hirata, Uriel Duarte e Raphael Hipólito pelos ensinamentos transmitidos.

À CPRM – O Serviço Geológico do Brasil, na pessoa do seu Presidente, Geol. Agamenon Sérgio Lucas Dantas, pela liberação para elaboração dos estudos.

À CPRM, Residência de Teresina, na pessoa do Eng<sup>o</sup> Antonio Fernando Duarte Santos e do Geol. Antonio Reinaldo Soares Filho, pelo apoio técnico e material.

À CPRM, Superintendência de São Paulo, na pessoa dos Geols. José Carlos Garcia, Armando Takahashi e Lauro Pizzatto, pelo apoio técnico e infra-estrutura.

À CPRM, Escritório do Rio de Janeiro, na pessoa dos Eng<sup>os</sup> Frederico Claudio Peixinho e José Emilio Carvalho, pela infra-estrutura, apoio técnico e compreensão.

À AGESPISA – Águas e Esgoto do Piauí S.A., regional de Picos, na pessoa do Geol. Francisco José, pelo apoio e fornecimento dos dados dos poços produtores.

Aos funcionários do Instituto de Geologia da Universidade de São Paulo e da CPRM que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

Aos amigos que me apoiaram e incentivaram em todos os momentos de realização dos estudos, mesmo nos mais críticos, quando na sua fase de conclusão.

A amiga Maria Anisia de Castro Pereira pela paciência, apoio e discussões em todas as etapas do trabalho.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe, Regina Rebello Vidal, pelo amor, apoio moral e financeiro nas fases mais difíceis do trabalho.

Ao meu pai e amigo Ivan de Azeredo Vidal, que com sua inteligência e bondade, tanto me ensinou nesta vida.

Em especial, um eterno agradecimento a minha esposa e amiga, Estelle Bally, pelas discussões, críticas, revisão de texto, incentivo, paciência e amor na fase final de elaboração do trabalho.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ANEXOS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivo</b>	<b>4</b>
<b>3. Justificativa</b>	<b>5</b>
<b>4. Disponibilidade dos sistemas aquíferos</b>	<b>7</b>
4.1 Limite físico	8
4.1.1 Princípio clássico	8
4.1.2 Princípio moderno	11
4.2 Limite econômico	16
<b>5. Gerenciamento sustentável dos recursos hídricos subterrâneos</b>	<b>19</b>
5.1. Definições	19
5.2. Programas de gerenciamento	20
5.3. Planejamento e desenvolvimento	24
5.4. Gerenciamento no Brasil e o caso do Piauí	27
<b>6. Caracterização do município de Picos</b>	<b>30</b>
6.1. Generalidades	30
6.1.1. Localização	30
6.1.2. Aspectos climáticos	31
6.1.3. Rede hidrográfica	33
6.2. Geologia	33
6.2.1. Regional	34
6.2.2. Local	37
6.2.2.1. Formação Serra Grande	39
6.2.2.2. Formação Pimenteiras	41
6.2.2.3. Formação Cabeças	42

6.2.2.4. Aluviões	43
6.3. Hidrogeologia	44
6.3.1. Aquífero Serra Grande	45
6.3.2. Outras Unidades Produtoras	47
6.4. Qualidade das águas subterrâneas	48
<b>7. Metodologia</b>	<b>50</b>
7.1. Levantamento dos dados disponíveis	54
7.2. Estudos hidrogeológicos anteriores	56
7.3. Definição das unidades hidroestratigráficas	58
7.4. Determinação dos parâmetros hidráulicos	59
7.5. Elaboração do balanço hídrico	61
7.6. Modelamento matemático	62
7.7. Análise do fluxo da água subterrânea e do nível potenciométrico	68
7.8. Avaliação da disponibilidade hídrica	69
7.8.1. Pelo limite físico	69
7.8.2. Pelo limite econômico	69
<b>8. Modelo conceitual das águas subterrâneas</b>	<b>71</b>
8.1. Unidades hidroestratigráficas	71
8.1.1. Aquífero sedimentar inferior	71
8.1.2. Aquífero sedimentar superior	72
8.2. Parâmetros hidráulicos	74
8.2.1. Pelos dados dos testes de bombeamento	74
8.2.2. Pelos valores da capacidade específica	77
8.3. Poços produtores	81
8.4. Balanço hídrico	86
8.5. Fluxo da água subterrânea e nível potenciométrico	90
<b>9. Uso dos recursos hídricos no município de Picos</b>	<b>97</b>
9.1. Histórico	97
9.2. Quadro atual	98
9.3. Relevância da concessionária pública	105
9.4. Disponibilidade atual	110
9.4.1. Disponibilidade física	110
9.4.2. Custo de produção da água subterrânea	112

9.5. Previsão dos cenários futuros	117
<b>10. Modelo matemático das águas subterrâneas</b>	<b>121</b>
10.1. Definição do simulador matemático	121
10.2. Discretização da área modelada	121
10.3. Definição das camadas e seus parâmetros hidrogeológicos	123
10.4. Inserção das condições Iniciais e de contorno	126
10.5. Poços produtores	127
10.6. Calibração	128
10.7. Análise de sensibilidade	131
10.8. Simulação da zona de captura e do rebaixamento do nível potenciométrico	132
10.8.1. Parâmetros utilizados	132
10.8.2. Resultados obtidos	134
10.9. Limitações do modelo construído e avaliação dos resultados	141
<b>11. Disponibilidade futura do aquífero Serra Grande</b>	<b>143</b>
11.1. Disponibilidade física	143
11.2. Disponibilidade econômica	146
<b>12. Gerenciamento sustentável do aquífero Serra Grande</b>	<b>151</b>
12.1. Uso racional e conservação dos recursos disponíveis	153
12.2. Regime de produção dos poços existentes	155
12.3. Alternativas para locação de novos poços produtores	157
<b>13. Considerações finais</b>	<b>159</b>
<b>14. Conclusões e recomendações</b>	<b>162</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>166</b>
<b>Anexos</b>	<b>171</b>

**LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS**

	Página
Figura 4.1. Diagrama ilustrativo do balanço hídrico de um sistema de água subterrânea para as condições pré (A) e pós-desenvolvimento (B)	12
Figura 4.2. Relação entre a fonte de alimentação de um poço e o tempo de bombeamento (Alley et al., 1999)	12
Figura 6.1. Localização do município de Picos	30
Figura 6.2. Mapa geológico simplificado do município de Picos	38
Figura 6.3. Corte geológico entre os municípios de Picos e Jaicós	40
Figura 6.4. Afloramento da formação Serra Grande	41
Figura 6.5. Afloramento da formação Pimenteiras	42
Figura 6.6. Afloramento da formação Cabeças	43
Figura 6.7. Aluvião do rio Guaribas	44
Figura 6.8. Zona de recarga do aquífero Serra Grande	46
Figura 7.1 – Mapa da área estudada	51
Figura 7.2. Metodologia utilizada na elaboração do trabalho	53
Figura 7.3. Metodologia utilizada no modelamento matemático	67
Figura 8.1. Contato entre os membros Picos e Itaim da formação Pimenteiras	73
Figura 8.2. Interpretação do teste de vazão do poço AG015C pelo método de Theis	75
Figura 8.3. Interpretação do teste de vazão do poço AG012L pelo método de Hantush	75
Figura 8.4. Interpretação do teste de vazão do poço AG014L pelo método de Cooper & Jacob	76
Figura 8.5. Mapa de distribuição da transmissividade	80
Figura 8.6. Mapa de localização dos poços produtores	82
Figura 8.7. Perfil construtivo típico dos poços produtores	83
Figura 8.8. Mapa Potenciométrico de 1958 a 1969	91

Figura 8.9. Mapa Potenciométrico de 1970 a 1979	92
Figura 8.10. Mapa Potenciométrico de 1980 a 1989	93
Figura 8.11. Mapa Potenciométrico de 1990 a 2001	94
Gráfico 9.1. Percentual do volume produzido na área estudada em 2001, por classe de proprietário	100
Gráfico 9.2. Percentual do volume produzido na zona urbana do município de Picos em 2001, por classe de proprietário	102
Figura 10.1. Correlação entre as coordenadas da área estudada e do modelo matemático	122
Figura 10.2. Malha do modelo matemático	123
Figura 10.3. Localização dos 154 poços produtores utilizados no modelamento	127
Figura 10.4. Correlação carga hidráulica calculada pelo modelo x carga hidráulica observada	129
Figura 10.5. Mapa potenciométrico elaborado pelo modelo matemático	130
Figura 10.6. Localização dos 16 poços <i>virtuais</i> inseridos no modelo matemático	133
Figura 10.7. Zona de captura dos poços produtores	135
Figura 10.8. Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2016, obtidos pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da <i>gestão da oferta</i>	136
Figura 10.9. Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2051, obtidos pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da <i>gestão da oferta</i>	137
Figura 10.10. Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2016, obtidos pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da <i>gestão da demanda</i>	139
Figura 10.11. Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2051, obtidos pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da <i>gestão da demanda</i>	140
Figura 12.1. Poço produtor da AGESPISA (AG012L), sem proteção sanitária	152
Figura 12.2. Lixão da cidade de Geminiano, localizado na zona de recarga do aquífero Serra Grande	152



**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 6.1. Dados climáticos do município de Picos (modificado de Soares F <sup>o</sup> ,1993)	32
Tabela 8.1. Parâmetros hidráulicos obtidos com a interpretação dos testes de bombeamento pelos métodos de Theis, Hantush e Cooper & Jacob	76
Tabela 8.2. Transmissividade calculada a partir da capacidade específica dos poços	78
Tabela 8.3. Coeficiente de correlação entre a transmissividade dos poços calculada pelos testes de bombeamento e pela capacidade específica	79
Tabela 8.4. Parâmetros hidrodinâmicos dos poços produtores	84
Tabela 8.5. Dados pluviométricos de municípios da Micro-Região de Picos	87
Tabela 8.6. Recarga estimada do aquífero Serra Grande na área estudada e na zona urbana de Picos	89
Tabela 8.7. Evolução do nível potenciométrico dos poços operados pela AGESPISA	95
Tabela 8.8. Rebaixamento do nível estático em poços distantes da sede municipal	96
Tabela 9.1. Classe de proprietários e condições dos poços na área estudada	99
Tabela 9.2. Volume de água subterrânea produzida na área estudada em 2001, por classe de proprietário	100
Tabela 9.3. Poços ativos e volume produzido na zona urbana de Picos em 2001, por classe de proprietário	101
Tabela 9.4. Correlação entre volume produzido e disponibilidade hídrica	103
Tabela 9.5. Déficit do sistema Serra Grande em Picos no ano de 2001	103
Tabela 9.6. Correlação entre volume produzido, déficit hídrico acumulado e e rebaixamento do nível do aquífero Serra Grande na zona urbana de Picos, desde 1958	104
Tabela 9.7. Volume diário e mensal produzido pelos poços ativos da AGESPISA	106
Tabela 9.8. Capacidade instalada dos poços operados pela AGESPISA	107

Tabela 9.9. Volume explorado pela AGESPISA por zona da cidade	107
Tabela 9.10. Correlação entre dados de teste de vazão e capacidade das unidades de bombeio dos poços da AGESPISA	108
Tabela 9.11. Estimativa do volume anual a ser explorado pela <i>gestão da oferta</i>	117
Tabela 9.12. Estimativa do volume total a ser explorado a partir de 2002, pela <i>gestão da oferta</i>	118
Tabela 9.13. Estimativa do déficit hídrico pela <i>gestão da oferta</i>	118
Tabela 9.14. Estimativa do volume anual a ser explorado pela <i>gestão da demanda</i>	119
Tabela 9.15. Estimativa do volume total a ser explorado a partir de 2002, pela <i>gestão da demanda</i>	119
Tabela 9.16. Estimativa do déficit hídrico pela <i>gestão da demanda</i>	120
Tabela 10.1. Intervalo de valores de coeficiente de armazenamento específico ( $S_s$ ) (modificado de Domenico, 1972)	124
Tabela 10.2. Intervalo de valores da porosidade total ( $\eta$ ) e porosidade efetiva ( $S_y$ ) em rochas sedimentares (modificado de Morris & Johnson 1967)	125
Tabela 10.3. Parâmetros hidráulicos adotados no modelo matemático	125
Tabela 10.4. Parâmetros de avaliação do modelo matemático calibrado	128
Tabela 10.5. Resultados da análise de sensibilidade do modelo matemático construído	131
Tabela 10.6. Esquema de operação dos poços da AGESPISA utilizado para simulação do modelo de <i>gestão da demanda</i>	133
Tabela 10.7. Previsão de rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande na zona central urbana do município de Picos, a partir do ano de 2002, por modelo de exploração	138
Tabela 10.8. Previsão de rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande desde 1958 e da taxa anual de rebaixamento, na zona central urbana do município de Picos, por modelo de exploração	138
Tabela 11.1. Estimativa do volume necessário para suprir o déficit hídrico no período 2002 – 2051, por modelo de exploração	143

Tabela 11.2. Estimativa do volume a ser liberado pela diminuição da carga hidráulica do aquífero Serra Grande a partir de 2002, por modelo de exploração	144
Tabela 11.3. Estimativa do volume a ser incorporado pelo aquífero Serra Grande a partir de 2002, por modelo de exploração	145
Tabela 11.4. Previsão do custo de produção e preço de venda da água no município de Picos, em 2016 e 2051 (valores de agosto de 2002), e o aumento real em relação ao ano de 2001	150

**LISTA DE ANEXOS**

	Página
Anexo 1. Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo	172
Anexo 2. Relação dos poços produtores utilizados no modelo matemático	183
Anexo 3. Estimativa do volume total de água produzido e do déficit hídrico na área estudada e na zona urbana do município de Picos, entre 1958 e 2001	189
Anexo 4. Estimativa do volume de água a ser explorado, recarga e déficit hídrico a partir de 2002, de acordo com o aumento da população da zona urbana, pelo modelo de exploração da <i>gestão da oferta</i>	191
Anexo 5. Estimativa do volume de água a ser explorado, recarga e déficit hídrico a partir de 2002, de acordo com o aumento da população da zona urbana, pelo modelo de exploração da <i>gestão da demanda</i>	193

## RESUMO

Este trabalho objetivou determinar a disponibilidade do aquífero Serra Grande e estabelecer as diretrizes para o seu gerenciamento sustentável no município de Picos, localizado no sudeste do Estado do Piauí. Principal sistema de água subterrânea da região, este aquífero é o único com capacidade para atender as demandas futuras da população. Porém, a falta de regras básicas na exploração dos seus recursos poderá comprometer sua sustentabilidade.

O desenvolvimento deste estudo teve início com a elaboração do modelo conceitual da área e a análise das condições de uso dos recursos hídricos. Nesta etapa, verificando-se que os conceitos hidrogeológicos vigentes consideravam apenas o limite físico do sistema para definir sua disponibilidade, foi estabelecido um novo princípio para determinação do volume de recursos que pode ser explorado de um aquífero, denominado de *princípio sustentável*, tendo como base os fatores econômicos envolvidos na sua exploração.

Para determinação da disponibilidade física e econômica do aquífero Serra Grande, primeiramente, foi estimado o déficit hídrico acumulado desde o início da exploração do sistema, estabelecida sua relação com a posição do nível potenciométrico e calculado o custo atual de produção da água. Em seguida, foram traçados dois cenários futuros para a exploração dos recursos hídricos no município, representando os modelos de *gestão da oferta* e *gestão da demanda*, para o período de 15 e 50 anos. Posteriormente, foi construído um modelo matemático para representar o sistema de subsuperfície, no qual foi simulada a evolução futura do nível d'água. Com base nos valores obtidos, foi estimado o volume de água a ser produzido do armazenamento, a quantidade de recursos que deverão ser incorporados ao sistema e o custo futuro de produção. Os resultados mostraram que o aquífero precisará incorporar um volume significativo de recursos, que talvez não esteja disponível na região estudada, e que a elevação real do custo da água poderá comprometer a capacidade de pagamento da população para dispor destes recursos.

Verificada esta situação, foram definidas as medidas que precisam ser implementadas para o gerenciamento sustentável do aquífero estudado, de modo a garantir o abastecimento futuro do município e da região.

Com a elaboração deste trabalho, concluiu-se que o aquífero Serra Grande não é "intensamente explorado" em Picos, porém é mal explorado atualmente, o que deverá provocar prejuízos na exploração futura dos seus recursos.

## ABSTRACT

This work's goals were to determinate the availability of the Serra Grande aquifer and to establish the governess for its sustainable management in the municipality of Picos, located on the southeast of Piauí State. This aquifer, the region's most important groundwater system, has an unique capacity of fulfilling the population's future demand. However, the absence of basic rules for the exploitation of its resources would compromise its sustainability.

The study began with the development of the conceptual model of the area and the analyses of the water resources use. During this step, after verify that the hydrological actual concepts only observe the physical limit of the system to define its availability, it was established a new principle to determinate the volume of resources that can be exploited from an aquifer, named *sustainable principle*, based on the economical factors involved in its exploitation.

In order to determine the physical and economical availability of the Serra Grande aquifer, first, it was estimated the water deficit accumulated since the begging exploitation of the system, established its relationship with the potentiometric level and was calculated the present cost of water production. Later on, two hypothetical scenarios concerning future exploration of water resources were drawn, representing the models of *supply* and *demand management*, for a period of 15 and 50 years. Furthermore, a mathematic model was built to represent the subsurface system, which was simulated the evolution of the water level. Based on the values found, it was estimated the amount of water that should be produced from storage, the quantity of resources that have to be incorporated to the system and the future production cost. Moreover, the results showed that the aquifer will need to incorporate a meaningful quantity of resources, that may be not available in the studied region, and that the real increase of the cost of the water would compromise the payment capacity of the population to dispose those resources.

After verify this situation, it was defined the actions that must be taken for the sustainable management of the studied aquifer, to guarantee the future water supply of the municipality and the region.

In conclusion, this work confirmed that the Serra Grande aquifer is not "overexploited" in Picos, instead, it is not being correctly exploited, which will negatively affect the future exploitation of its resources.

## 1. Introdução

---

As transformações demográficas no mundo em geral, com o incremento das áreas agriculturáveis e da produção industrial, demandaram o crescimento exponencial da exploração dos recursos hídricos. Como resultado deste processo, foi altamente incentivada a procura por mananciais de água que proporcionassem a melhor relação custo-benefício na sua exploração, na qual se sobressaiu o uso das reservas localizadas no subsolo da Terra.

Em muitas regiões, as águas subterrâneas foram, são e continuarão a ser fundamentais para o desenvolvimento sócio-econômico, o que as transformam num bem estratégico a ser racionalmente explorado, de modo a assegurar sua disponibilidade futura.

Para tal, é necessário o desenvolvimento de um processo sistemático de organização, análise e compatibilização dos usos múltiplos dos recursos hídricos, dentro de uma visão prospectiva do problema, de modo a garantir a utilização racional, a disponibilidade e a qualidade das águas (Rebouças, 2000).

Assim sendo, o uso das águas subterrâneas demanda o estabelecimento de programas gerenciais de planejamento, uso e monitoramento desses recursos, tendo como base o acompanhamento e a avaliação constante das ações propostas e dos resultados obtidos com a sua aplicação.

Entretanto, na grande maioria dos casos, tanto no nível internacional quanto nacional, verifica-se que a exploração dos sistemas aquíferos está vinculada à falta de regras básicas de planejamento e gestão do uso dos recursos disponíveis, que podem causar efeitos negativos indesejáveis, na sua quantidade e/ou qualidade.

A elaboração e a implantação de programas de gerenciamento, porém, requer o desenvolvimento de estudos que possibilitem o entendimento do comportamento dinâmico dos sistemas físicos de subsuperfície e permitam a previsão de cenários futuros e diversos para o uso dos recursos hídricos.

Isto se deve ao fato de que a quantificação do fluxo de um sistema aquífero e do transporte de contaminantes nas suas águas, a partir da análise do seu comportamento, determina o grau de planejamento, gestão, proteção e recuperação que se pode estabelecer para o sistema.

Algumas décadas atrás, esta análise era realizada exclusivamente a partir de informações pontuais obtidas em trabalhos de campo, através de mapeamentos geológicos e poços de pesquisa.

Porém a caracterização dos sistemas de fluxo subterrâneo e de transporte de contaminantes por esta metodologia, apesar de direta e normalmente consistente, requer na maioria dos casos custos e prazos elevados e podem não ser suficientes para apoiar programas gerenciais, devido à complexidade dos próprios sistemas, à dificuldade de acesso às informações e às baixas velocidades de deslocamento das águas em subsuperfície.

O reconhecimento de que o uso racional dos recursos hídricos depende de um gerenciamento eficiente e integrado demandou que os estudos e as soluções para superar seus problemas de gerenciamento e produção se tornassem cada vez mais complexos, exigindo o uso de técnicas mais modernas para investigação dos sistemas.

Atualmente, apesar do reconhecimento da água como um bem econômico finito, o Brasil ainda apresenta um déficit significativo entre a exploração dos sistemas hídricos e o estabelecimento de programas de uso e monitoramento baseados em estudos dos próprios sistemas.

No Nordeste semi-árido do Brasil, carente de águas superficiais, verifica-se que a utilização dos recursos hídricos subterrâneos vem sendo feita normalmente sem o desenvolvimento de estudos hidrológicos e hidrogeológicos mais específicos, o que impossibilita a elaboração de programas gerenciais de natureza conservativa.

Visando preencher essas lacunas, este trabalho foi concebido de modo a desenvolver uma metodologia capaz de subsidiar a definição de diretrizes para o uso das águas subterrâneas, principalmente em áreas deficitárias de recursos hídricos superficiais, fornecendo alternativas para o gerenciamento sustentável dos recursos existentes.

Dentro desta visão, procurou-se conhecer e analisar as características de um sistema aquífero sedimentar desta região, no caso o aquífero Serra Grande no município de Picos, no Estado do Piauí, determinar a sua disponibilidade e gerar informações que pudessem garantir a sustentabilidade da sua exploração, de modo a assegurar o atendimento da demanda, atual e futura, da população abastecida por este manancial.



Para auxiliar na determinação de dados importantes para estabelecimento do programa de gerenciamento deste sistema, foi construído um modelo matemático tridimensional para representar as condições atuais de fluxo e de exploração das águas subterrâneas na área de interesse, que possibilitasse fazer um prognóstico do comportamento futuro do sistema.

De modo a facilitar o desenvolvimento e a apresentação, o estudo foi dividido em três partes. Na primeira delas foi feita uma abordagem sobre disponibilidade de sistemas aquíferos, gerenciamento sustentável de recursos hídricos subterrâneos, com um breve relato da atual situação do gerenciamento no Brasil e no Estado do Piauí, e relatadas as principais características do município estudado e a metodologia utilizada na elaboração do trabalho

Na segunda parte deste estudo foi feita a caracterização das águas subterrâneas na área de interesse e o modelamento matemático do aquífero Serra Grande, com seus resultados e limitações.

Na última parte do trabalho estão apresentados os resultados obtidos sobre a disponibilidade futura do aquífero estudado e as diretrizes e recomendações para o gerenciamento dos recursos hídricos no município de Picos.

## 2. Objetivo

---

Partindo da premissa que é de fundamental importância a definição de regras básicas para a exploração dos recursos hídricos de uma região, o objetivo principal deste estudo foi a elaboração de um programa de gerenciamento sustentável para o aquífero Serra Grande na cidade de Picos, no sudeste piauiense.

A realização deste objetivo demandava que fosse determinada a quantidade de água subterrânea disponível a ser gerenciada na área estudada. Entretanto, verificando-se que nenhum dos conceitos hidrogeológicos vigentes considerava os custos financeiros envolvidos na exploração do recurso, foi necessário o desenvolvimento de uma metodologia que avaliasse a influência de tais fatores na definição do volume explorável do aquífero Serra Grande.

Com isso, o presente trabalho visa também apresentar um novo princípio e estabelecer uma nova metodologia para determinação da disponibilidade dos sistemas aquíferos, considerando os fatores econômicos que envolvem a exploração dos recursos hídricos.

Preliminarmente, este estudo procura estabelecer as diretrizes básicas para o planejamento, uso e monitoramento dos recursos do aquífero Serra Grande, visando o aproveitamento ótimo deste importante manancial subterrâneo da região sudeste do Piauí, tendo como base suas características geológicas e hidrogeológicas.

Complementarmente, objetiva disponibilizar um estudo que subsidie ações gerenciais de natureza pública na região e sirva de modelo para programas de mesma natureza, a serem desenvolvidos em áreas onde se deseje garantir a sustentabilidade dos recursos subterrâneos existentes.

### 3. Justificativa

---

A seleção do município de Picos, localizado dentro da região denominada polígono das secas, como meta para a elaboração de um programa de gerenciamento de recursos hídricos, foi feita com base no levantamento dos pontos d'água da cidade, realizado em 1993 e disponibilizado em 1994, que cadastrou 484 poços produtores de água subterrânea.

Com uma população de cerca de 69.000 habitantes (IBGE, 2001) e área de aproximadamente 820 km<sup>2</sup>, Picos é carente de recursos hídricos superficiais, sendo totalmente abastecido por águas subterrâneas, quase que exclusivamente provenientes do aquífero Serra Grande (98%) (Soares F<sup>o</sup>, 1993).

Na análise dos dados disponibilizados no cadastro, constatou-se que a partir do início da década de 80 havia ocorrido um crescimento acelerado no ritmo de construção de poços e uma concentração desordenada de mais de 320 destas obras numa área de 15 km ao redor da sede municipal.

Constatou-se também que os poços com os maiores diâmetros, profundidades e capacidades produtivas estão sendo perfurados dentro da zona central urbana desde a década de 70, acarretando um bombeamento elevado de água nesta região.

Verificou-se ainda que a cada novo poço perfurado em qualquer área do município, o nível potenciométrico era encontrado numa profundidade cada vez maior, o que poderia estar representando uma depleção da superfície potenciométrica do aquífero Serra Grande em toda a região, acentuada nas proximidades da sede municipal e bastante preocupante na sua zona urbana.

Este modelo de exploração das águas subterrâneas na região já indicava que ações gerenciais deveriam ser implantadas de modo a se evitar, se ainda não ocorreram, danos irreversíveis ao aproveitamento futuro destes recursos. Porém, além da perfuração descontrolada e da concentração de poços, foi também constatado que outro problema importante ocorria no município. Verificou-se que a água, talvez devido à cultura de ser um bem inesgotável em face de sua aparente abundância, estava sendo utilizada sem que nenhuma política gerencial de recursos hídricos estivesse sendo exercida. Como decorrência, o volume disponibilizado para a população, da ordem de 430 L/hab/d, situava-se em patamares bastante elevados para as características do município, fato que poderia estar demonstrando perdas na distribuição e/ou más condições de aproveitamento dos recursos.

A união desses fatores mostrou a necessidade de se estabelecer um programa de planejamento e uso sustentável para os recursos hídricos disponíveis na região, baseado em estudos específicos de avaliação do referido sistema aquífero e seu comportamento com relação às condições de exploração das suas águas.

O levantamento e a análise dos estudos hidrogeológicos existentes para esta área, capazes de subsidiar um programa desta natureza, constatou a carência de trabalhos que possibilitassem um conhecimento mais aprofundado dos parâmetros hidráulicos e das condições hidrogeológicas que regem atualmente o comportamento do aquífero Serra Grande.

Nesta análise, verificou-se que enquanto os estudos mais antigos reportam-se a dados anteriores ao início da exploração maciça do aquífero (Kegel, 1953, 1956, 1961; Cruz & França, 1967), os trabalhos mais recentes projetavam sua potencialidade hídrica com base em dados estatísticos, sem considerar as características do sistema físico de subsuperfície (Soares F<sup>o</sup>, 1993; Branco et al., 1994).

Esta constatação reforçou a idéia de que um estudo mais específico precisava ser desenvolvido, de modo a permitir o conhecimento dos aquíferos da região, em especial do aquífero Serra Grande, sua relação com o ciclo hidrológico e com o atual regime de exploração das águas subterrâneas, o que possibilitaria a determinação dos parâmetros que regem atualmente o referido sistema.

#### 4. Disponibilidade dos sistemas aquíferos

---

O desenvolvimento econômico sustentável em regiões áridas e semi-áridas baseia-se fortemente na quantidade de água subterrânea disponível para o abastecimento hídrico de um determinado núcleo populacional ou de um certo empreendimento agrícola ou industrial.

Em muitos casos, como na área estudada, os recursos hídricos existentes nestas regiões podem se apresentar inicialmente como limitado, em função do volume de água explorado ser maior do que o seu fluxo para a zona de extração, fato que pode inibir o planejamento do futuro regional e o seu desenvolvimento econômico. Entretanto, Bredehoeft et al. (1982 apud Bredehoeft, 1997) consideram que a exploração do sistema altera as condições iniciais e precisam ser avaliadas.

Conseqüentemente, um dos primeiros e principais objetivos na elaboração de um programa de gerenciamento sustentável de um sistema aquífero é a determinação da quantidade de água que pode ser extraída do manancial, sem comprometer seu uso futuro, ou seja, a determinação da disponibilidade hídrica deste sistema.

Dentro deste contexto, era primordial a determinação do volume de água subterrânea disponível para exploração na área de interesse, de modo a resolver as duas questões básicas identificadas na elaboração deste estudo:

1. Pode o aquífero Serra Grande ser rotulado de "intensamente explorado" por ser sua taxa de recarga menor do que a taxa de bombeamento atual dos poços produtores?
2. Quais seriam os efeitos quantitativos, qualitativos e econômicos em face ao rebaixamento verificado no nível potenciométrico do aquífero?

Para responder a estas questões, foi realizado um levantamento bibliográfico específico que demonstrou a evolução constante dos conceitos de gerenciamento de recursos hídricos ao longo do tempo, principalmente na relação entre a quantidade de água de um sistema e a parcela disponível para exploração.

Entretanto, demonstrou também que mesmo os conceitos mais atuais limitavam a disponibilidade dos sistemas com base apenas em fatores físicos, não considerando os fatores econômicos envolvidos na sua exploração.

Assim, visando preencher esta lacuna, este capítulo apresenta os parâmetros que definem os limites físicos e econômicos de um aquífero, e estabelece um novo princípio para determinação da disponibilidade de um sistema hídrico.

#### **4.1. Limite Físico**

Desde os primeiros estudos hidrogeológicos (Lee, 1915; Meinzer, 1923)\*, na determinação da quantidade disponível de água que pode ser explorada de um manancial, de modo a preservá-lo, se trabalha com a hipótese que existe um fator físico que limitaria o volume para utilização pelo homem.

Conceitualmente, os estudos podem ser separados de acordo com o princípio utilizado para definição do limite físico que determina a disponibilidade ou descarga explorável (*safe yield*) de um aquífero. De modo a apresentar os dois conceitos mais difundidos, denominou-se ao mais antigo de clássico e ao mais recente de moderno.

##### **4.1.1. Princípio Clássico**

O *princípio clássico* para determinação da disponibilidade de um sistema aquífero estabelece que o limite físico da descarga explorável do sistema é definido pelo balanço hídrico da área, elaborado para a fase anterior ao seu desenvolvimento.

Por este conceito, a utilização de um sistema aquífero só é sustentável, em longo prazo, quando a quantidade de água que entra no sistema pela recarga natural (influxos) não é excedida pela quantidade bombeada pelos poços e não ocorre extração da água anteriormente armazenada no sistema.

A equação que estabelece o volume a ser explorado de um aquífero de acordo com este princípio, num determinado período de tempo, de modo sustentável, é dada simplesmente por:

$$V \leq I \quad (4.1)$$

onde

V = volume a ser explorado [ $L^3/T$ ]

I = influxos do sistema [ $L^3/T$ ]

Conseqüentemente, dentro desta visão clássica, acredita-se que um aquífero esteja submetido a um regime de superexploração (overexploited) naquelas situações onde o volume bombeado seja maior que a infiltração e ocorra qualquer alteração no volume armazenado anteriormente no sistema.

O problema na aplicação deste conceito decorre da metodologia para elaboração do balanço hídrico, que considera apenas as condições naturais do aquífero, isto é, aquelas verificadas antes da sua utilização pelo homem, quando o sistema ainda se encontrava em equilíbrio.

Segundo Theis (1940 apud Custódio & Llamas, 1975), a descarga explotável de uma bacia de água subterrânea não é a sua recarga de longo prazo, estabelecida sobre condições naturais. Nestas condições, um sistema aquífero está em estado de equilíbrio dinâmico, sendo a quantidade de água que entra no sistema (influxos ou recarga) aproximadamente igual a que sai (defluxo ou descarga), num determinado período de tempo. Em conseqüência a este estado de equilíbrio, o volume armazenado é constante ou varia sobre certa condição média em resposta as variações sazonais e a superfície potenciométrica é estável. Porém, a ocorrência de qualquer descarga artificial (via poços produtores) resulta no desequilíbrio do sistema.

Ainda segundo o autor, quando um poço começa a bombear água de um aquífero, esta é retirada do armazenamento próximo ao poço e por drenagem vertical. O crescimento do cone de rebaixamento induz a produção de água armazenada em outras áreas, porém as taxas naturais de recarga e descarga do aquífero permanecerão inalteradas até que o cone alcance uma das duas áreas. Alcançando a área de descarga, o gradiente potenciométrico na direção da área é rebaixado e o defluxo de água do sistema reduzido proporcionalmente. Se o cone atingir a zona de recarga, pode induzir um influxo adicional da água que era anteriormente rejeitada.

Em qualquer situação, o cone de rebaixamento continua a crescer e os níveis d'água continuam a cair até que tenha reduzido a descarga natural ou incrementado a recarga de modo a contrabalançar o volume de água retirado pelo bombeamento. Somente quando isso ocorre, após um certo período de tempo, é que se alcança uma nova condição de equilíbrio dinâmico.

Em outras palavras, no início do bombeamento e até que seja estabelecido um novo equilíbrio, toda a água extraída dos poços é proveniente do armazenamento e, conseqüentemente, ocorre o rebaixamento dos níveis d'água do aquífero.

O reconhecimento de que o limite da disponibilidade de um aquífero determinado pelo balanço hídrico pré-desenvolvimento era extremamente rígido e acarreta a imposição de um valor relativamente baixo para a quantidade de água a ser explorada, possibilitou o surgimento de uma variante ao *princípio clássico*, na qual é considerado o volume armazenado no sistema. Esta variante também utiliza as condições impostas pela recarga da área estudada no cálculo da disponibilidade hídrica, porém permite a utilização de uma parcela da água armazenada anteriormente no aquífero, em adição ao volume definido por aquele fator.

A partir deste conceito, a disponibilidade de um sistema aquífero é definida como o volume máximo que pode ser extraído, incluindo, eventualmente, uma parcela do armazenamento, com descarga constante, durante um determinado período de tempo, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem (Costa, 1998).

Basicamente, a aplicação desta variante consiste em determinar a recarga natural do aquífero e estabelecer a quantidade de água a ser retirada do sistema, a partir de um percentual considerado seguro do volume total armazenado, e o período de tempo em que deverá ocorrer a exploração. Com isso, a equação utilizada para calcular o volume a ser explorado de um aquífero ( $V$ ) é representada por:

$$V = I + \frac{\Delta S}{t} \quad (4.2)$$

onde

$I$  = influxos do sistema [ $L^3/T$ ]

$\Delta S$  = parcela do volume armazenado no sistema a ser utilizada [ $L^3$ ]

$t$  = período de utilização [T]

O problema da aplicação da variante do princípio clássico decorre das incertezas do cálculo do volume armazenado no sistema e das variáveis consideradas no estabelecimento do percentual dito seguro de utilização e também do uso do balanço hídrico elaborado para as condições de equilíbrio.

Vale salientar que, atualmente, tanto o *princípio clássico* quanto sua variante não são mais utilizados na determinação do limite físico da disponibilidade dos sistemas aquíferos, pois simplificam os fenômenos de subsuperfície.



#### 4.1.2. Princípio Moderno

O uso do balanço pré-desenvolvimento, como determinante do volume de exploração de um aquífero, passou a ser contestado a partir da verificação de que o limite físico de um aquífero não pode ser estabelecido simplesmente pela relação entre a descarga natural e a taxa de bombeamento enquanto um novo equilíbrio dinâmico não fosse alcançado.

Verificou-se que mesmo quando o estudo do balanço hídrico representava satisfatoriamente o regime de fluxo de um aquífero, este não era um método adequado para estabelecimento do volume disponível para exploração, porque não considerava as respostas do sistema face ao seu desenvolvimento. Verificou-se também que era necessário analisar estas respostas no balanço hídrico e os novos componentes de fluxo subterrâneo.

Em 1982, Bredehoeft et al. (apud Bredehoeft, 1997) classificaram o *princípio clássico* como "O Mito do Balanço Hídrico", porque significava uma simplificação das informações necessárias ao entendimento dos efeitos do desenvolvimento do sistema aquífero no próprio sistema. Segundo os autores, as atividades humanas modificam o fluxo de água subterrânea e alteram as componentes do balanço hídrico, que precisam ser mais bem avaliadas em qualquer decisão gerencial de uso do sistema.

A partir destas constatações, os estudos hidrogeológicos passaram a considerar que o balanço hídrico pré-desenvolvimento por si só seria um fator limitado de decisão e não deveria ser utilizado como parâmetro exclusivo na determinação da quantidade de água que pode ser extraída de um aquífero (Engelen & Jones, 1986).

Trabalhos mais recentes (Alley et al., 1999; Rivera, 2000; Bredehoeft, 2002) mostram que existe um limite superior ao imposto pelo balanço hídrico, para a exploração de um sistema de água subterrânea, porém de difícil determinação.

Segundo Alley et al. (1999), existem fatores decorrentes do desenvolvimento do sistema a se considerar na determinação da disponibilidade de um aquífero. Sob estas novas condições, um volume maior de água subterrânea pode ser extraído, proporcionado pela entrada de mais água no sistema, saída de menos água do sistema e retirada de água armazenada no sistema ou pela combinação destes três fatores. A figura 4.1 representa as alterações que o bombeamento provoca nas condições do balanço hídrico de um sistema.

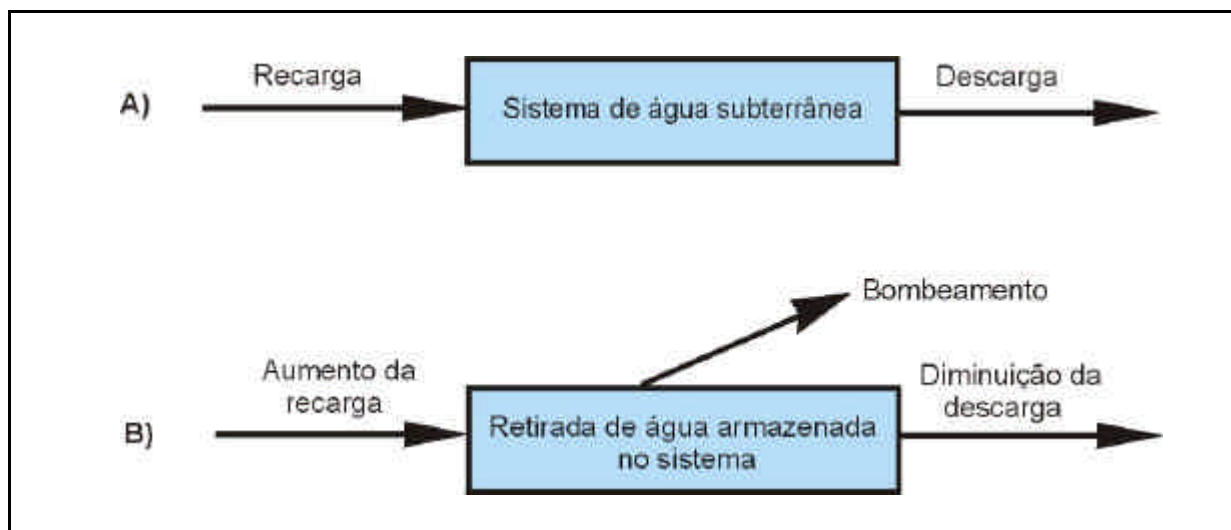


Figura 4.1 – Diagrama ilustrativo do balanço hídrico de um sistema de água subterrânea para as condições pré (A) e pós-desenvolvimento (B)

Ainda segundo o autor, a principal fonte de alimentação de um poço produtor muda em função do tempo de bombeamento, da água subterrânea armazenada no sistema para a água de uma corrente de fluxo, sendo que a escala de tempo em que isso ocorre depende das características hidráulicas do aquífero e da distância entre o poço e a corrente (figura 4.2).

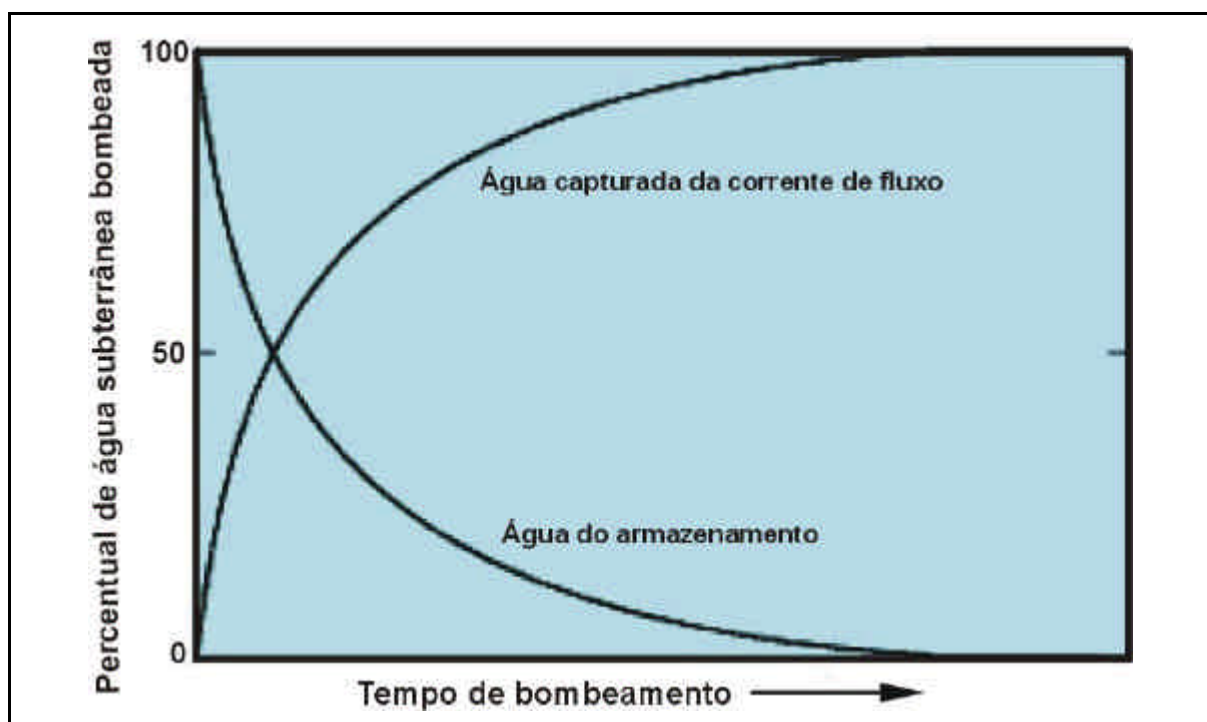


Figura 4.2 – Relação entre a fonte de alimentação de um poço e o tempo de bombeamento (Alley et al., 1999)

Para Rivera (2000), a exploração de um aquífero implica em alterações na equação clássica do balanço hídrico e que a sua análise deve incorporar outras componentes de fluxo, derivadas do desenvolvimento do sistema, antes que se possa classificar um aquífero como “superexplorado”. Neste trabalho, o autor apresenta uma expressão mais técnica para cálculo do balanço hídrico nas situações pré e pós-desenvolvimento, em aquíferos confinados com fluxo predominantemente horizontal.

Para a fase anterior ao bombeamento, onde os influxos menos os defluxos é igual à mudança no armazenamento, para um dado intervalo de tempo, a equação geral do balanço é dada por:

$$I_L - D_L = \pm A \Delta h S \quad (4.3)$$

onde

$I_L$  = influxos laterais do sistema [ $L^3/T$ ]

$D_L$  = defluxos laterais do sistema [ $L^3/T$ ]

$A \Delta h S$  = variação volumétrica do armazenamento [ $L^3/T$ ]

$A$  = área do balanço [ $L^2$ ]

$\Delta h$  = variação da carga hidráulica [ $L/T$ ]

$S$  = coeficiente de armazenamento [ $L^3 L^{-2} L^{-1}$ ]

Segundo ainda o mesmo autor, para a fase posterior ao início do bombeamento, a equação do balanço hídrico passa a ser expressa por:

$$I_L + I_D + I_A = V - A \Delta h S \quad (4.4)$$

onde

$I_L$  = influxos laterais do sistema [ $L^3/T$ ]

$I_D$  = influxo descendente [ $L^3/T$ ]

$I_A$  = influxo ascendente [ $L^3/T$ ]

$V$  = volume abstraído do sistema [ $L^3/T$ ]

$A \Delta h S$  = variação volumétrica do armazenamento [ $L^3/T$ ]

Por esta equação, pode-se verificar que a descarga explotável de um aquífero aumenta em função da variação do influxo lateral e do coeficiente de armazenamento. em resposta ao desenvolvimento do sistema.

Incremento do influxo lateral pode indicar que um influxo adicional de água está sendo induzido dentro da área de exploração, o que aumentaria a disponibilidade do aquífero. Mudança nas condições de confinamento significa que o valor do coeficiente de armazenamento se modificou e que mais água também pode estar disponível por unidade de rebaixamento.

Segundo Bredehoeft (2002), a disponibilidade de um aquífero não depende do balanço hídrico pré-desenvolvimento nem do volume de recursos armazenados, mas sim da sua capacidade dinâmica em capturar ou incorporar água ao seu próprio sistema. Para o autor, o volume de água incorporado pelo sistema é que determina sua disponibilidade e a taxa na qual isso ocorre, denominada de taxa de captura, é que define a taxa de bombeamento sustentável do aquífero.

Com base nestes conceitos, o *principio moderno* de disponibilidade hídrica estabelece que o limite da descarga explotável de um sistema aquífero é determinado pelos novos componentes de fluxo subterrâneo incorporados pelo seu desenvolvimento. Sendo assim, a disponibilidade é definida pela recarga natural do sistema (influxos) e pelo aumento da própria recarga (incremento dos influxos), diminuição da descarga natural (redução dos defluxos) e remoção de uma parcela da água armazenada, sendo a equação que rege o volume de água que pode ser bombeada do aquífero ( $V$ ) é dada por:

$$V = I + \Delta I + \Delta D + \Delta S \quad (4.5)$$

onde

$I$  = influxos do sistema [ $L^3/T$ ]

$\Delta I$  = volume adicionado aos influxos do sistema [ $L^3/T$ ]

$\Delta D$  = volume abstraído dos defluxos do sistema [ $L^3/T$ ]

$\Delta S$  = volume de água abstraído do armazenamento do sistema [ $L^3/T$ ]

A aplicação deste conceito consiste, basicamente, em determinar e quantificar a existência de componentes significativos de fluxo de água subterrânea em termos das novas condições do balanço hídrico, em resposta ao desenvolvimento do sistema.

Além da análise mais específica destes novos componentes de fluxo envolvidos na equação do balanço hídrico da área, é fundamental também avaliar as respostas deste frente às mudanças no sistema de fluxo pela extração de água dos poços, as alterações no padrão de recarga pela irrigação e desenvolvimento urbano, a mudança na vegetação e a qualquer outra atividade relacionada com os recursos hídricos.

Apesar da acuidade desta metodologia na determinação da disponibilidade de um sistema, a sua aplicação apresenta dois problemas. O primeiro deles é que a definição do limite físico de um aquífero é bastante complexa, envolvendo a relação de inúmeros parâmetros hidrológicos, hidrodinâmicos e sócio-econômicos, fato que demanda uma quantidade considerável de informações, de recursos financeiros elevados e um longo período de tempo.

O outro problema do uso deste princípio é que a sua aplicação exclusiva na determinação do volume a ser explorado pode acarretar prejuízos futuros consideráveis à região e/ou ao próprio sistema. Resumidamente, se o volume estabelecido for baixo, pode inibir o desenvolvimento econômico da região, enquanto que se for alto, pode permitir a exploração insustentável do manancial.

## 4.2. Limite Econômico

Avaliando os problemas decorrentes da aplicação do limite físico e os dados levantados para os níveis d'água na zona urbana do município de Picos, verificou-se que era necessário estabelecer uma relação entre disponibilidade e sustentabilidade de um aquífero com a evolução do seu nível potenciométrico.

Após a análise dos diversos aspectos envolvidos na utilização dos sistemas aquíferos, constatou-se que era possível caracterizar a influência desta evolução na disponibilidade hídrica relacionando a quantidade de água passível de exploração dentro do sistema com os fatores econômicos envolvidos na sua produção.

De modo a formalizar essa relação, foi estabelecido um novo princípio, denominado de *sustentável*, e desenvolvida uma nova metodologia para determinação da descarga explotável dos aquíferos, tendo como conceito fundamental à existência de um limite econômico para utilização desses mananciais.

Tal conceito está baseado no fato de que o atendimento da necessidade hídrica de uma região exige o planejamento, construção, operação e manutenção de um sistema de produção, que demanda investimentos econômicos e financeiros, o que faz com que toda e qualquer água tenha um custo para sua exploração.

A relação deste custo com o nível potenciométrico do aquífero foi estabelecida a partir do princípio de Theis (1940 apud Custódio & Llamas, 1975) de que o desenvolvimento de um sistema provoca a evolução do seu cone de rebaixamento, até que seja encontrado um novo equilíbrio para o sistema.

Sabendo-se que níveis d'água mais baixos significam poços mais profundos e bombas mais potentes, instaladas a maiores profundidades, verifica-se que o rebaixamento do nível de um aquífero implica em elevação dos custos de perfuração e de aquisição, operação e manutenção da unidade de bombeio, o que significa recursos hídricos cada vez mais caros.

A evolução deste nível para valores superiores ao estabelecido como limítrofe para um determinado aquífero pode acarretar a elevação do custo de produção da sua água para patamares que podem inviabilizar a sua exploração, mesmo que as populações tenham capacidade de pagamento e estejam dispostas a pagar um preço mais elevado pelos recursos.

Pode-se afirmar assim que realmente existe um limite econômico para cada aquífero, anterior ao seu limite físico, imposto pelo nível potenciométrico, que determina a sua disponibilidade e sustentabilidade.

O *princípio sustentável*, definido a partir desta afirmação, estabelece que o limite determinante do volume que pode ser bombeado de um sistema é o custo da água subterrânea e a sua evolução ao longo do tempo, ou seja, que a utilização de um aquífero só é sustentável enquanto a quantidade de água explorada não acarretar a elevação futura do seu custo de produção para patamares que inviabilize a sua oferta, a longo prazo.

A determinação da disponibilidade de um aquífero pelo limite econômico consiste, basicamente, na definição do custo atual da água produzida e nas suas projeções para os períodos futuros, considerando o nível potenciométrico atual e a sua evolução futura. Ao final, é determinado o preço de venda futura da água e feita uma comparação entre este preço e o valor máximo que o usuário teria capacidade de desembolsar para dispor do recurso.

A primeira parte da metodologia envolve o cálculo do custo da água subterrânea bombeada, considerandos os diversos parâmetros relacionados à sua produção, dentre os quais destacam-se o volume produzido e os custos de construção e operação das obras, de aquisição do equipamento de bombeio e da energia elétrica.

Como a produção de recursos hídricos implica em investimentos ao longo do tempo, também é necessária a utilização de elementos de matemática financeira, tais como valor presente e futuro, taxa de juros, regime de capitalização e fator de recuperação do capital (amortização), para que seja possível calcular o referido custo num tempo qualquer.

Estabelecido com base na vida útil dos poços, na quantidade de água bombeada e, principalmente, nos recursos financeiros investidos nas obras de captação, o custo da água representa a relação entre o custo de produção e o volume total explorado.

O valor do custo total de produção representa o somatório do custo de cada um dos fatores envolvidos na exploração do recurso hídrico subterrâneo, para um determinado período de tempo, cuja equação é representada resumidamente por:

$$C_{TP} = A_P + A_B + C_{EE} + C_{OM} \quad (4.6)$$

onde

$C_{TP}$  = Custo total de produção [\$/T]

$A_P$  = Amortização do custo de perfuração do poço ao longo da sua vida útil [\$/T]

$A_B$  = Amortização do custo de aquisição do equipamento de bombeio [\$/T]

$C_{EE}$  = Custo da energia elétrica [\$/T]

$C_{OM}$  = Custo de operação e manutenção do poço produtor [\$/T]

O custo de produção da água é estabelecido através da relação entre o custo total calculado para produção do recurso e o volume produzido no mesmo período de tempo, cuja equação é representada por:

$$C_{PA} = \frac{C_{TP}}{Q_T} \quad (4.7)$$

onde

$C_{PA}$  = Custo de produção da água [\$/L<sup>3</sup>]

$C_{TP}$  = Custo total de produção [\$/T]

$Q_T$  = Volume total produzido [L<sup>3</sup>/T]

A segunda parte desta metodologia consiste em calcular o custo da água no tempo futuro desejado, a partir das mesmas equações apresentadas acima, estabelecendo porém novas condições para a produção do recurso. A base destas condições é a projeção da situação futura do nível potenciométrico do aquífero, considerando sua evolução em decorrência da exploração do sistema.

Deve-se ressaltar que é de fundamental importância projetar de maneira criteriosa a posição futura do nível d'água pois está definirá a capacidade e a profundidade das unidades de bombeio e o perfil construtivo dos novos poços.

A parte final da metodologia consiste em estimar o valor do preço futuro de venda da água, em função da evolução do custo de produção, e analisar as condições sócio-econômicas da região e a capacidade em suportar esta elevação de preço.

A partir do princípio estabelecido e considerando os conceitos modernos de gerenciamento de recursos hídricos, pode-se definir a disponibilidade de um sistema aquífero como sendo o volume de água que pode ser explorado econômica e legalmente, em bases sustentáveis, sem provocar efeitos indesejáveis ao próprio sistema ou afetar a qualidade final desta água.



## 5. Gerenciamento sustentável dos recursos hídricos subterrâneos

---

### 5.1. Definições

O fornecimento de água em condições apreciáveis de utilização deve ser uma preocupação de toda a sociedade moderna. A distribuição dos seres humanos na superfície da Terra, com suas agriculturas e suas indústrias, mostra que sempre existiram e continuarão a existir áreas onde a água seja um recurso limitado.

De modo a se contornar essa limitação e atender a demanda hídrica, atual e futura, das populações, são necessários cada vez mais suplementos adicionais na quantidade de água ofertada ou a otimização do uso dos recursos disponíveis.

Segundo Rebouças (2000), atualmente, mais importante talvez do que a escassez na ocorrência do recurso hídrico, de superfície ou subterrâneo, seja o gerenciamento do seu uso

É preciso, portanto, se definir o que significa gerenciar um sistema qualquer, gerenciar recursos hídricos e, mais especificamente, gerenciar recursos hídricos subterrâneos de modo sustentável.

Segundo Bear & Verruijt (1987), o gerenciamento de um sistema qualquer significa tomar decisões, ou seja, dar valor numérico as variáveis de decisão, objetivando a transformação do estado de um sistema. Gerenciar, portanto, é a escolha da política que conduzirá a realização de uma determinada meta ou várias metas simultaneamente

Assim sendo, define-se gerenciamento de recursos hídricos como o estabelecimento da política e das ações que visem garantir água as populações, na quantidade e na qualidade exigida, a qualquer tempo em qualquer local.

Na maioria dos casos, gerenciar recursos hídricos subterrâneos significa avaliar o potencial de um aquífero, de modo a se viabilizar sua exploração, visando atender uma determinada demanda, podendo ser esta atual e/ou futura.

O termo Sustentabilidade pode ser definido em geral como sendo a condição de uso racional dos recursos naturais a longo prazo. O conceito de uso sustentável de um recurso foi estabelecido no encontro da Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizado em 1984, como sendo aquele que visa atender às necessidades da geração presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender às próprias necessidades.

Segundo Martinez & Braga (1995), gerenciamento sustentável é o processo no qual os recursos financeiros, o aporte tecnológico e político-institucional são utilizados de forma integrada, de modo a satisfazer as necessidades da sociedade atuar, sem no entanto comprometer o atendimento das necessidades das futuras gerações.

Utilizando estes conceitos, define-se gerenciamento sustentável de recursos hídricos como sendo o processo de desenvolvimento e uso das águas de uma maneira que possam ser mantidos por tempo indeterminado, sem causar inaceitáveis conseqüências ambientais, econômicas e sociais, considerando-a como parte do contexto do sistema hidrológico.

Pode-se definir assim que um programa de gerenciamento sustentável para os recursos hídricos subterrâneos é aquele que objetive o uso racional, o aproveitamento, a recuperação, a conservação e a proteção das águas subterrâneas, visando assegurar o atendimento das demandas hídricas das populações, no tempo presente e futuro.

A partir deste último conceito, pode-se afirmar que o gerenciamento sustentável se faz necessário para suprir a deficiência de recursos hídricos em uma região ou para se evitar ou solucionar problemas e riscos criados pela sua incorreta utilização.

## **5.2. Programas de Gerenciamento**

Historicamente, o gerenciamento dos recursos hídricos tem sido caracterizado por modelos do tipo *gestão da oferta*, ou seja, aqueles onde as soluções propostas, quando da escassez dos recursos, visam atender a demanda simplesmente aumentando o volume de água ofertada com novas obras de infra-estrutura.

Atualmente, porém, não é mais possível se atender o incremento das demandas hídricas das populações exclusivamente pelo incremento do volume de água, devido ao valor crescente do seu custo de produção, fazendo-se necessário à mudança dessa cultura gerencial.

O paradigma que hoje se apresenta e, portanto, com que se deve trabalhar dentro de um programa sustentável de gerenciamento de recursos hídricos é o da *gestão da demanda*, ou seja, aquele que objetive a racionalização das necessidades de água por parte das populações.

Sendo assim, torna-se prioritária a elaboração de programas que visem assegurar a oferta temporal e espacial de água, a partir da integração de

procedimentos de planejamento e administração de demanda, isto é, que seja feita a avaliação das mais variadas alternativas para solução dos problemas de atendimento hídrico da população (Custódio & Gurguí, 1989).

É fundamental, então, que em áreas onde os recursos hídricos e financeiros são escassos, como a região Nordeste do Brasil, que antes da implementação de medidas de aumento da capacidade dos sistemas de abastecimento sejam estabelecidas ações visando o gerenciamento da demanda.

Para que isso aconteça, é preciso que ocorram mudanças fundamentais na elaboração dos programas gestores, visando seu aperfeiçoamento, dentre as quais destacam-se aquelas a serem feitas nas bases filosóficas sobre as quais se elaboram os atuais planos e as que utilizem o conhecimento adquirido com as experiências hidrológicas como base para uma política de planos e níveis reguladores.

Estas mudanças e reordenações devem ocorrer também nos níveis estruturais dos programas, buscando novas proposições legais que permitam uma gestão adequada dos mananciais cada região.

Impõe-se então, como tarefa prioritária, a união de esforços da sociedade para a reorientação dos programas político-administrativos, a partir da alteração dos critérios de avaliação das demandas por água, tendo como base os aspectos hidrogeológicos e sócio-econômicos da região.

Segundo Lanna (1996), impõe-se também prioritariamente a descriminalização de assuntos importantes a serem considerados nos programas e a proposição de prioridades, através de leis mais eficazes para cada caso e para proporcionar uma melhor avaliação dos recursos hídricos e suas demandas, criando-se diretrizes de planejamento, gestão e recuperação dos mesmos

Atualmente, portanto, faz-se necessário uma melhor avaliação da demanda hídrica, de modo a satisfazer os aspectos sócio-econômicos da região, priorizando-se as áreas onde as águas subterrâneas sejam mais valiosas. E preciso também que sejam enfatizados os estudos hidrogeológicos e analisados mais criteriosamente os resultados obtidos, com vistas a se alcançar o uso ótimo dos recursos disponíveis.

Considerando que gerenciar a demanda, de modo sustentável, significa a implantação de ações, de natureza técnica e regulatória, que visem a controlar e diminuir o consumo, através de medidas que influenciam o comportamento dos usuários, garantindo o mesmo nível de serviço, um programa de gerenciamento para as águas subterrâneas deve ser constituído por três pilares:

- a. **Técnico:** que reúna os instrumentos para sua elaboração e execução;
- b. **Político:** que estabeleça suas diretrizes gerais;
- c. **Jurídico:** que estabeleça a sua organização legal e institucional.

Deste modo, os programas atuais devem ser elaborados visando definir as ações técnicas, políticas e jurídicas que possam assegurar o atendimento da demanda, a partir da garantia da sustentabilidade dos recursos, bem como os instrumentos necessários a sua implementação.

Na parte técnica, a primeira medida a ser definida e executada deve ser o levantamento e o cadastramento das principais fontes de abastecimento e do uso da água subterrânea na área de interesse. Para Kendy (2003), uma criteriosa contabilidade de toda a água consumida – passado, presente e futuro – é essencial para o gerenciamento do uso do recurso hídrico e da terra. Neste aspecto, é necessário que sejam definidas também as ações que possibilitem a atualização permanente das informações obtidas.

Apos a elaboração do cadastro, devem ser definidas as ações que possam assegurar a proteção dos mananciais e o uso sustentável da água, dentre as quais destacam-se: a delimitação das zonas de recarga dos aquíferos e das zonas críticas para uso do recurso; a determinação da oferta e da demanda hídrica; a otimização dos parâmetros de produção; e a utilização de técnicas adequadas de perfuração e manutenção de poços produtores.

Em seguida, devem também ser estabelecidas as medidas complementares ao programa, a fim de diminuir o uso dos recursos e preservação as reservas disponíveis, tais como: criação de mecanismos para utilização combinada do recurso hídrico de superfície e subterrâneo; a mudança dos métodos de irrigação das culturas agrícolas ou mesmo a mudança das próprias culturas; a construção de instalações de recargas artificiais, sempre que possível; etc.

Além destas, podem ser implementadas medidas que visem o desenvolvimento de técnicas para redução da evaporação e para utilização de águas poluídas e o reuso e que incentivem a realização de estudos científicos para aumentar o grau de conhecimento da água subterrânea.

É importante ressaltar que a opção pelo uso múltiplo e reuso dos recursos hídricos transformou-se numa realidade, imposta pelo desenvolvimento econômico. Deve-se considerar ainda que, dentro desta visão, a capacidade final do sistema num programa de gestão não necessariamente será igual à soma das capacidades individuais, como se cada uma delas atendesse a um único uso.

Dentre as medidas consideradas políticas, a primeira deve ser a criação ou definição de um órgão responsável pelo uso e conservação dos recursos hídricos, naquelas regiões administrativas onde isso não estiver definido.

As ações jurídicas devem ser tomadas somente após o levantamento e análise das leis e normas já existentes em relação às águas subterrâneas, complementando-as no que for necessário, de modo a respaldar as ações técnicas e políticas.

Os dados levantados durante a elaboração deste trabalho mostraram que nos países desenvolvidos, além de medidas técnicas, legais e administrativas, foi necessário também o uso de mecanismos de mercado, os chamados *instrumentos econômicos*, para que fosse atingido o equilíbrio entre a disponibilidade de água e a sua utilização.

De um modo geral, a adoção destes instrumentos possibilita o aumento da flexibilidade, da eficiência e a relação eficácia/custo das políticas ambientais. Quando os usuários dos recursos são obrigados a pagar por este serviço, este passa a ser considerado na avaliação de custos e benefícios dos agentes econômicos.

Dentre os instrumentos econômicos disponíveis para o gerenciamento de recursos hídricos, o mais utilizado é o estabelecimento de taxas e as tarifas, considerando-as como o *preço de utilização do meio ambiente*, relativas ao uso da água como bem público e a emissão de poluentes.

Convém ressaltar que não é realista acreditar que a implantação de programas gestores possa proteger os recursos da má exploração ou da contaminação, que estes possam ser totalmente adequados aos níveis seguros de consumo ou pensar que todo o programa de gerenciamento seja totalmente perfeito ou inalterável. Haverá sempre incertezas, seja pela falta de dados, pela escassa investigação detalhada ou pela heterogeneidade dos dados hidrogeológicos (LeGrand & Rosen, 1992).

Concluindo, sabe-se que o planejamento e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos apresenta períodos de grande interesse e outros de total descaso, sendo os primeiros normalmente relacionados a problemas de uso e/ou contaminação dos aquíferos, com ações que expressam mais uma reação do que prevenção.

Portanto, os programas gestores para as águas subterrâneas não devem ser elaborados para um período de execução muito curto, com o medo da defasagem, nem tão longo que se converta em pura especulação. O ideal são planos para períodos de 10 a 15 anos que contenham diretrizes remodeláveis para o futuro, com alguma flexibilidade para que possam contemplar casos não-previstos ou injunções políticas, pois, quanto mais rígidos forem os planos, mais vulneráveis eles serão (Vidal, 1997).

### **5.3. Planejamento e Desenvolvimento**

O gerenciamento hídrico sustentável exige o planejamento e o desenvolvimento de ações que visem atender as demandas das diversas atividades humanas, obedecendo a avaliação da quantidade necessária e na qualidade de intenção do uso.

Para Mather (1984), a metodologia utilizada para elaboração de um programa gestor para o uso ótimo das águas subterrâneas inclui uma complexa integração de decisões, baseadas em duas questões fundamentais: o que, prioritariamente, tem que ser planejado e gerenciado e, segundo, qual o grau de gerenciamento e proteção que o recurso requer. As respostas a estas questões definirão, no programa, o tipo e a política de gerenciamento e a estratégia de implantação.

Segundo Roussel (1995 apud Bourlon & Berthon, 1997), a elaboração de um programa gerencial para recursos hídricos deve ser baseado em quatro funções:

- a. **Gerenciamento Administrativo:** saber quem faz o que, poder para reprimir os abusos e separar a função fomento dos usos da regulação dos mesmos;
- b. **Planificação das Intervenções:** planificar com base no diagnóstico da situação atual dos recursos, considerando o uso dos solos e dispor de instância de tomada de decisão e acompanhamento;
- c. **Financiamento das Intervenções:** dispor de um circuito econômico estável que permita compromissos financeiros de longo prazo;
- d. **Definição das responsabilidades ao nível de gestão dos usos:** saber quem possui, é responsável e opera as instalações.

Como norma, o gerenciamento de recursos hídricos só deve ser implementado quando a qualidade do mesmo se apresenta condizente com o uso pleiteado, sendo necessária à avaliação preliminar deste parâmetro.

Conceitualmente, a determinação da qualidade da água é um trabalho de maior complexidade do que avaliar a sua quantidade, pois envolve além das características físicas, químicas, biológicas e a interação da água com o solo, com a rocha e com a fase gasosa da zona não saturada, as mudanças induzidas pelo homem no sistema de fluxo e na introdução de novas substâncias.

Estando a qualidade de acordo com o uso, inicia-se a fase de planejamento do programa gestor, parte principal da sua elaboração, com a análise criteriosa dos modelos de produção, utilização e conservação dos recursos disponíveis, considerando que estas ações, mesmo legais, podem causar problemas à sua sustentabilidade.

Portanto, já nesta etapa, é preciso que sejam considerados os aspectos legais, econômicos e políticos envolvidos no uso dos recursos a serem gerenciados, de modo a se evitar prejuízos futuros indesejáveis ao sistema (Vidal, 1997).

O planejamento implica na realização de uma análise geológica e hidrogeológica detalhada, abrangendo estratégias apropriadas, com base em análises estatísticas, e utilizando testes de sondagem e de controle rotineiro de produção, aliado aos de uso e ocupação do solo. O desenvolvimento e a operacionalização do programa dependem da exatidão das informações levantadas e analisadas durante esta fase dos trabalhos.

Sendo assim, é fundamental que a elaboração de programas de gerenciamento para as águas subterrâneas envolva a análise do sistema hidrológico e hidrogeológico da área de interesse, e o estudo das demandas, das questões ecológicas locais e do desenvolvimento social da região, abrangendo as características físicas, demográficas e econômicas da população existente.

Faz-se necessária, portanto, a realização de experimentos e a utilização de dados hidrogeológicos nesta fase do programa, quando devem ser priorizadas as áreas carentes de recursos hídricos e enfatizados os estudos que visem a maior eficiência no uso das águas subterrâneas.

Conseqüentemente, o embasamento técnico dos programas dessa natureza deve englobar todas as áreas de conhecimento que possam relacionar as particularidades do recurso hídrico com o meio físico, com as características sócio-econômicas da região e com os condicionantes de natureza política e legal.

Esta visão global do uso dos recursos hídricos exige que participem da fase de planejamento, além de geólogos, hidrólogos e hidrogeólogos, técnicos de todas as áreas envolvidas no problema, de modo a se assegurar à avaliação de todas as alternativas.

A metodologia utilizada no desenvolvimento de um programa direcionado ao gerenciamento de recursos hídricos é constituída por várias ações seqüenciais, com objetivo de garantir o uso ótimo e sustentável das águas subterrâneas, dentre as quais destacam-se:

1. Delimitar a área geográfica de abrangência dos problemas de água subterrânea, relacionados os tipos de problemas e seus efeitos, principalmente quanto ao fluxo, a produção e a vulnerabilidade;
2. Analisar os planos de ocupação do solo e suas demandas, nas condições atuais e futuras, e as leis e normas existentes em relação às águas subterrâneas;
3. Listar as alternativas de desenvolvimento e gerenciamento capazes de suprir as demandas hídricas dos modelos de ocupação do solo;
4. Elaborar programas preliminares, com as respectivas estimativas de custos e benefícios e fazer a análise custo/benefício de cada programa;
5. Fazer simulações para cada componente dos programas, analisando a relação custo/benefício de cada um deles, a fim de obter alternativas dentro de um mesmo programa;
6. Determinar o programa ótimo, ou seja, aquele que resolve todo o problema;, definir o tempo, as bases, o projeto financeiro e as técnicas envolvidas.

Na fase de desenvolvimento, é importante também definir as suas técnicas de suporte do programa, incluindo-se nestas as ações regulamentadoras e as não-regulamentadoras. Segundo Lanna (1996), as ações regulamentadoras são as que impõem penalidades legais aos usuários do recurso, enquanto que as não-regulamentadoras são aquelas relacionadas aos programas de racionalização do uso das águas, a coordenação governamental e as técnicas de gerenciamento para as áreas de agricultura, abastecimento urbano e mineração.



#### **5.4. Gerenciamento no Brasil e o caso do Piauí**

Dispondo de um volume de água armazenado no subsolo de aproximadamente 58.000 km<sup>3</sup> e cerca de 257.790 m<sup>3</sup>/s escoando pelos rios (16% do potencial de superfície do planeta), o Brasil adota a bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e gestão dos seus recursos hídricos, conforme estabelecem a Constituição Federal de 1988 e a Lei Federal nº 9.433 de 1997.

Segundo Lanna (1996), existe uma diferença conceitual entre o gerenciamento de recursos hídricos e por bacia hidrográfica. Enquanto o primeiro visa gerenciar um único recurso (a água), harmonizando as demandas e a disponibilidade hídrica dentro de uma bacia, o segundo é um processo de negociação social, sustentado por conhecimentos científicos e tecnológicos, que visa a compatibilização das demandas e das oportunidades de desenvolvimento da sociedade com o potencial existente e futuro do meio ambiente, na sua unidade espacial de intervenção, no longo prazo.

A política brasileira para os recursos hídricos, de acordo com Lei nº 9.433/97, objetiva organizar o planejamento e a gestão, em âmbito nacional, estabelecendo os princípios básicos que devem nortear o gerenciamento desses recursos.

É importante que se abra aqui um parêntese para se fazer uma análise histórica do sistema jurídico-institucional brasileiro no tocante aos recursos hídricos subterrâneos e a sua gestão.

Considerado como marco legal do gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil, o denominado Código de Águas (Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934) restringiu às águas subterrâneas ao seu Título IV, onde foi conferido a estas o caráter de bem imóvel e estabelecido que o seu uso deveria obedecer aos regulamentos administrativos, estabelecidos por quem exercesse o seu domínio.

A próxima lei a se pronunciar sobre as estas águas é a Lei Federal 7.841, de agosto de 1945, que estabeleceu normas para o aproveitamento das águas minerais e ficou conhecida como Código das Águas Minerais. Esta lei contemplava a parte das águas subterrâneas que tinha valor econômico, distinguindo-as das restantes por uma possível “ação medicamentosa”, decorrente de “características físicas ou químicas”.

Neste código, apesar de mantido o caráter privado das águas subterrâneas, estabelecia normas regulatórias a sua exploração, que visavam preservar a qualidade e os direitos de propriedade da exploração comercial, e a fiscalização e monitoramento da exploração dessas águas.

O Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, conhecido como Código de Mineração, pouco avançou em matéria de água subterrânea, porém persistiu na intenção de regulamentar em separado a exploração das águas subterrâneas das ditas minerais, isto é, mantendo a distinção de acordo com o uso. Este decreto transferia as normas de exploração e controle das águas para uma lei específica, que porém nunca foi sancionada.

Analisando estas duas últimas leis, verifica-se que as águas subterrâneas contempladas pelo Código de Águas Minerais passaram a ser incluídas no Código de Mineração como jazidas minerais, significando uma propriedade distinta do solo, e que a sua captação e seu uso ficariam sujeitos a normas estabelecidas por lei especial.

A promulgação da nova Constituição Federal, em 1988, é considerada como um segundo marco legal para as águas subterrâneas, pois ao conferi-las o caráter de bem público de propriedade dos Estados e Distrito Federal (Artigo 26, parágrafo I), modificou seu status e estabeleceu um novo regime de propriedade.

É preciso atentar para o fato de que este caráter deveria consolidar um novo regime jurídico para todas as águas subterrâneas, inclusive para as águas minerais, devido ao fato de que o texto constitucional distingue claramente recursos minerais de subsolo de água subterrânea (Molinas & Vieira, 1997). Porém, isto não ocorreu.

Pela Constituição Federal vigente, cabe à União fixar as normas gerais para os recursos hídricos do país e, na ausência dessas, aos Estados e ao Distrito Federal legislar a fim de atender às suas peculiaridades. A constituição permite também que os municípios, quando se tratar de interesse local, suplementem a legislação federal e estadual no que couber.

Em janeiro de 1997, com a promulgação da Lei nº 9433, foi estabelecida a nova política nacional de recursos hídricos que definiu os princípios que deveriam balizar o gerenciamento desses recursos, dentre os quais se destacaram a adoção da bacia hidrográfica como modelo de gestão descentralizada e participativa, o estabelecimento do uso múltiplo para a água e o reconhecimento do recurso como um bem finito, vulnerável e de valor econômico

A lei estabeleceu também o arranjo institucional para a gestão compartilhada do uso da água, criando entre outros organismos os comitês de bacias hidrográficas com competência para solucionar divergências provenientes do uso, controle ou proteção dos recursos hídricos, para avaliar o plano de utilização, aproveitamento, controle,

proteção e recuperação dos recursos, e para propor o enquadramento dos corpos de água em classes de uso preponderante.

Convém ressaltar, que a análise feita no arcabouço jurídico brasileiro mostra que Lei Federal 9433/97, bem como toda a legislação, tanto a vigente quanto as anteriores, apresenta sérias deficiências nas suas normas estruturais e reguladoras, no que diz respeito às águas subterrâneas.

Deve-se ressaltar também que mesmo antes da Constituição de 1988, alguns estados já legislavam sobre uso e monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos, como por exemplo São Paulo, que com o estabelecimento da Lei Estadual nº 6.134, em 02/06/88, que dispõe sobre a preservação dos mananciais naturais de água subterrânea, transformou-se num dos pioneiros a se debruçar sobre este tema.

A partir da promulgação da constituição, quando foi estabelecido que os recursos hídricos são bens dos estados e definida a competência destes para legislar sobre gerenciamento, outorgas e fiscalização, começaram a surgir leis estaduais dispendo sobre política e sistema de gerenciamento. Dentro desse novo quadro, destacaram-se os estados do Ceará, Minas Gerais e Pernambuco.

No tocante ao estado do Piauí, mesmo com parte do seu território inserido no denominado polígono das secas, dispendo de poucos recursos hídricos superficiais e contando quase que exclusivamente com as águas subterrâneas para o abastecimento público, até meados de 2000 não existia nenhuma lei, política ou programa estadual que visasse a preservação dos sistemas aquíferos ou que gerenciasse o uso e o monitoramento das suas águas.

Ao promulgar a Lei Estadual nº 5.165, em 17 de agosto de 2000, que estabelece a política de recursos hídricos do estado e institui o seu sistema de gerenciamento, o Piauí também avançou nessa matéria. Porém, como se encontrava ainda em fase de regulamentação até fevereiro de 2003, esta lei não trouxe nenhum benefício para os recursos hídricos e não apresentava resultados práticos na implementação de programas de preservação e gerenciamento das águas subterrâneas no estado.

## 6. Caracterização do Município de Picos

### 6.1. Generalidades

#### 6.1.1. Localização

O município de Picos, situado na porção centro-leste do estado do Piauí, está localizado a uma distância de 315 quilômetros a sudeste da capital piauiense, Teresina, sendo servido pelas rodovias federais BR-020, BR-230 e BR-407 e por rodovias estaduais e municipais.

Compreendido entre as coordenadas  $06^{\circ}50'$  e  $07^{\circ}20'$  de latitude Sul e  $41^{\circ}10'$  e  $41^{\circ}40'$  de longitude Oeste (221 e 247 km E e 9.195 e 9.230 km N), numa cota topográfica de 226 metros acima do nível do mar, Picos encontra-se limitado ao norte pelos municípios de Ipiranga do Piauí, São José do Piauí e Bocaina; ao sul, pelo de Itainópolis; a leste, pelos de Francisco Santos, Geminiano e Santo Antônio de Lisboa e a oeste, pelos de Santa Cruz do Piauí e Dom Expedito Lopes (figura 6.1).

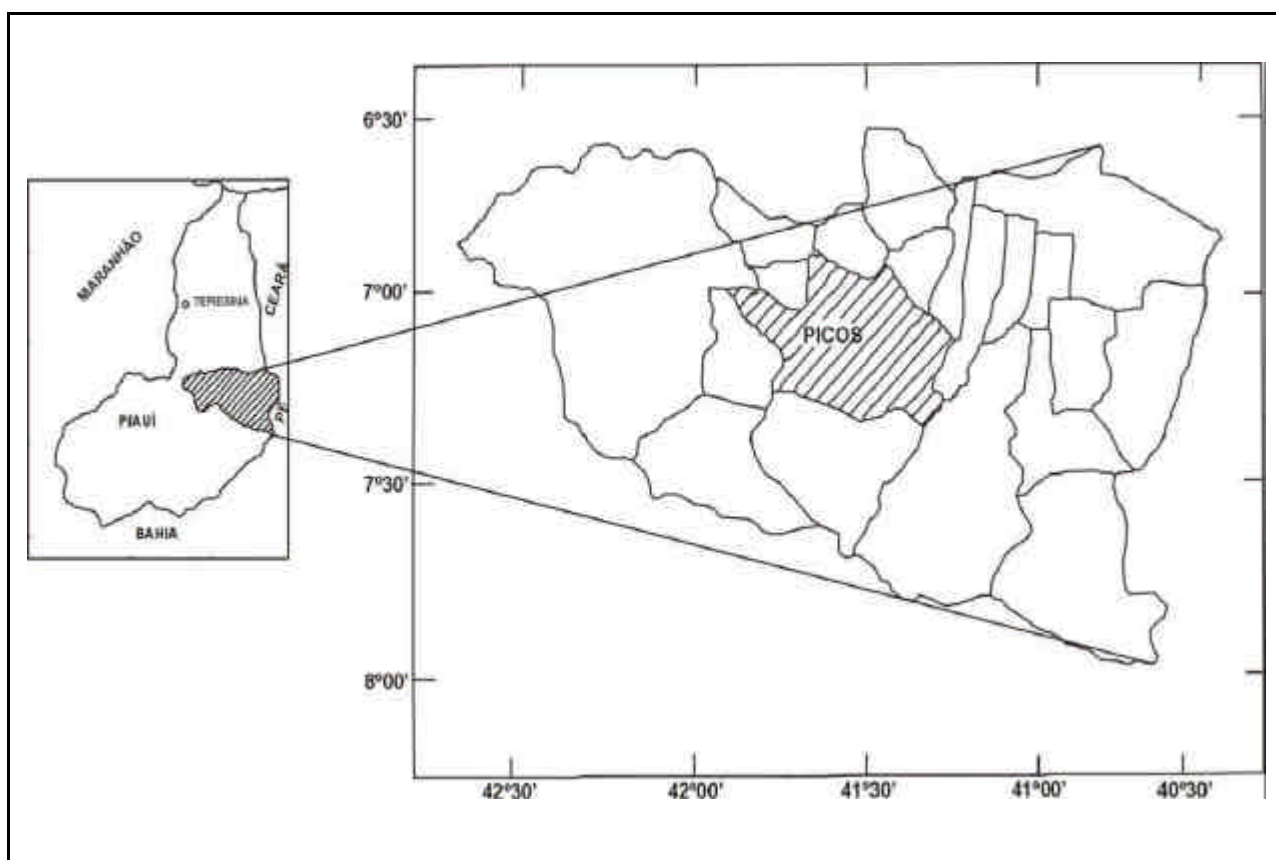


Figura 6.1 – Localização do município de Picos

### **6.1.2. Aspectos Climáticos**

O clima no município é definido como seco e semi-árido, típico do polígono das secas e com características bem definidas: insuficiência de precipitações, temperaturas elevadas e forte evaporação.

Dos elementos relativos ao clima, cujos dados encontram-se resumidos na tabela 6.1, podem ser destacados:

- e. **Pluviometria:** a menor altura anual de precipitação registrada no município foi de 200,0 mm no ano de 1953 e a maior foi de 1.433,9 mm em 1985, com média de 689,2 mm, para o período de 1911 a 1985 (Sudene, 1990);
- f. **Temperatura:** a variação térmica anual na região é muito pequena, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes e o mês de julho como o mais frio. A média das temperaturas máximas varia entre 32 e 34 °C, ficando a das mínimas entre 19 e 21 °C. A temperatura média anual é de 26,6 °C;
- g. **Umidade Relativa:** numa escala mensal, em geral, a umidade é inferior a 70% , excluindo-se os quatro primeiros meses do ano.
- h. **Evaporação e Evapotranspiração:** como consequência das altas temperaturas e da grande insolação, é muito intensa. Os índices anuais de evaporação potencial encontram entre os mais altos do país, indicando os meses de setembro e outubro como os de maiores intensidade e o de fevereiro como o de menor intensidade. A evapotranspiração apresenta valores mínimos nos meses de fevereiro a abril e máximos nos meses de agosto a novembro.

Analisando-se esses dados, pode-se verificar que existe uma relação entre os índices de umidade relativa do ar e de evaporação potencial na região, pois os índices mais elevados de evaporação são encontrados quando a umidade do ar apresenta valores percentuais mais baixos, ocorrendo o inverso quando a umidade é alta.

TABELA 6.1 - DADOS CLIMÁTICOS DO MUNICÍPIO DE PICOS

Mês	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Valores Calculados		Valores Observados		
			Umidade Relativa (%)	EP <sup>(1)</sup> (mm)	EP <sup>(2)</sup> (mm)	EP <sup>(3)</sup> (mm)	ETP <sup>(3)</sup> (mm)
Janeiro	27,5	117,3	70,5	187,2	141,3	203,4	178,4
Fevereiro	26,6	142,7	78,5	162,0	99,7	165,3	156,0
Março	26,7	189,5	77,5	165,4	89,3	165,9	170,0
Abril	26,4	82,9	73,5	172,4	99,6	168,5	162,4
Mai	27,0	19,9	64,0	202,5	147,1	190,5	163,7
Junho	26,3	5,9	59,0	214,0	182,2	216,3	156,0
Julho	26,2	1,4	56,0	224,6	236,1	254,3	161,2
Agosto	26,9	1,2	48,5	266,2	286,8	299,1	165,8
Setembro	29,0	3,7	44,5	312,8	300,9	315,6	170,9
Outubro	29,7	16,9	44,0	324,0	315,9	311,9	185,4
Novembro	29,7	45,9	47,5	300,1	252,0	267,6	183,0
Dezembro	29,1	80,7	59,5	234,8	201,1	238,6	185,8
<b>Ano</b>	<b>26,6</b>	<b>689,2</b>	<b>60,2</b>	<b>2.766,0</b>	<b>2.352,0</b>	<b>2.797,0</b>	<b>2.038,6</b>

(Modificado de Soares F<sup>o</sup>, 1993)

EP = Evaporação potencial

ETP = Evapotranspiração potencial

(1) calculado pelo método de Hargreaves

(2) método de Piché

(3) método de tanque tipo A

### **6.1.3. Rede Hidrográfica**

O principal elemento da rede hidrográfica é o rio Guaribas, apesar de seu caráter intermitente, haja vista que na maior parte do ano, excetuando-se o período de chuvas na região, o seu fluxo deixa de ser contínuo.

Este rio adentra o município na sua porção nordeste, vindo da cidade de Bocaina, correndo no sentido NE-SW. Após atravessar toda a sede municipal, segue em direção ao sudoeste, indo desaguar no Itaim, outro importante rio da região, próximo ao município de Santa Cruz do Piauí. A sua rede de drenagem é classificada como do tipo dendrítica, possuindo trajeto bastante sinuoso, formando grandes curvas e meandros. Seus afluentes da margem direita, na sua maioria obseqüentes, descem pela frente das cuestas e, em conseqüência da grande diferença de nível, no período chuvoso suas águas correm com relativa violência, juntando balseiros e escavando profundamente seus leitos, formando boqueirões. Os afluentes da margem esquerda, todos conseqüentes, desenvolvem também acentuado processo erosivo.

O rio Itaim, também intermitente, cruza pequena porção do município, com direção SE-NW, próximo ao extremo sudoeste dos limites municipais.

Os rios Guaribas e Itaim desenvolvem cursos sinuosos em meio a vales largos, caracterizados por extensas planícies aluviais, por vezes circulando ocasionais elevações topográficas relictas. A altitude destes vales varia de um máximo aproximado de 215 metros nas várzeas do rio Guaribas, no extremo norte da sede municipal, a um mínimo de 195 metros, já próximo do limite com o município de Santa Cruz do Piauí.

## **6.2. Geologia**

O município de Picos está situado na porção marginal da Bacia Sedimentar do Parnaíba, também conhecida como Bacia do Meio-Norte ou do Maranhão, a uma distância aproximada de 60 quilômetros do contato leste do embasamento cristalino.

Localizada na parte ocidental do nordeste do Brasil, com uma área de cerca de 600.000 Km<sup>2</sup>, esta bacia cobre a maior parte dos estados do Piauí e Maranhão e parte dos estados do Ceará, Goiás, Pará e Bahia, configurando-se como a principal do tipo sedimentar da região.

Limitada na sua maior parte pelos meridianos 41° e 49° de longitude oeste e os paralelos 3° e 10° de latitude sul, está situada entre as faixas de dobramentos marginais aos Crátons do Amazonas, de São Luís e de São Francisco.

### **6.2.1. Regional**

Definida como do tipo intracratônica e de idade paleozóica, a Bacia do Parnaíba está assentada sobre metassedimentos da crosta continental, formados ou reativados no proterozóico superior por eventos tectono-termiais do ciclo Brasileiro, aflorantes nos terrenos adjacentes às suas bordas leste, sudeste, sudoeste e oeste.

Instalada na parte ocidental da região nordeste da Plataforma Sul-Americana, antes denominada de Plataforma Brasileira, o arcabouço geológico desta bacia está intimamente associado à trama tectono-estrutural herdada do pré-cambriano, principalmente à estruturação das faixas de dobramentos e lineamentos estruturais formados e/ou reativados durante o Ciclo Brasileiro

Segundo Cunha (1986), o seu desenvolvimento foi comandado por condições tectonicamente estáveis que propiciaram a deposição de uma coluna sedimentar simples e relativamente pouco espessa. Entretanto, em virtude das seções sedimentares serem predominantemente arenosas e apresentarem pouco fósseis, existem dificuldades para a caracterização de suas unidades litoestratigráficas e a subdivisão da coluna estratigráfica é constantemente questionada e muitas propostas foram e continuam sendo formuladas.

Neste trabalho, a coluna adotada para a bacia do Parnaíba foi definida com base na revisão estratigráfica efetuada por Mesner & Wooldridge (1964), apesar das modificações posteriores das unidades litoestruturais basais, propostas por Rodrigues (1967), Aguiar (1969), Carozzi et al. (1975), Quadros (1982), Caputo & Lima (1984) e Cunha (1986). Como estas modificações não estão totalmente aceitas, preferiu-se adotar a coluna estratigráfica tradicional.

Apresentando mais de 3.200 metros de espessura sedimentar, na maioria clásticos, depositados durante cinco grandes ciclos, a bacia do Parnaíba é constituída principalmente por sedimentos paleozóicos, com predominância de clásticos de origem continentais, representados por arenitos, siltitos e folhelhos. Estes sedimentos encontram-se recobertos por clásticos dos outros dois ciclos, de idades mesozóica e cenozóica respectivamente, cuja espessura pode atingir até 500 metros.



O primeiro ciclo deposicional teve início no siluriano inferior, com a subsidência da bacia e a deposição da formação Serra Grande, diretamente sobre as rochas do embasamento cristalino ou sobre rochas do Grupo Jaibaras. A sedimentação, ocorrida durante todo o período siluriano e concentrada principalmente ao longo do Lineamento Transbrasiliano, teve início com clásticos grosseiros transportados e depositados em ambientes continentais por sistema de rios. Nesta fase, poderiam ter existido eventuais comunicações marinhas, explicando porque clásticos continentais essencialmente arenosos estariam interdigitados por folhelhos e siltitos marinhos.

Após a deposição destes sedimentos, a região foi soerguida, propiciando a discordância encontrada entre o siluriano e o devoniano. À volta da subsidência da região no devoniano inferior caracterizaria o início do segundo ciclo. Inicialmente, a sedimentação ficou concentrada na porção correspondente à metade ocidental da atual bacia e orientada segundo um eixo deposicional E-W, não coincidente com os lineamentos que controlaram a deposição da formação Serra Grande.

A continuação da subsidência da bacia, durante os ciclos transgressivos, possibilitou a invasão das águas oceânicas através de ligações posicionadas atualmente nas regiões nordeste e noroeste, fazendo com que os eixos deposicionais voltassem a coincidir com os dois grandes lineamentos descritos anteriormente, principalmente ao longo do Lineamento Transbrasiliano, onde são encontradas as maiores espessuras sedimentares (Cunha, 1986).

Em todo o período, a sedimentação desenvolveu-se pela alternância de regressões e transgressões, atuando sob condições de climas temperado e úmido. Depositados nos ciclos regressivos, o membro Itaim da formação Pimenteiras e a formação Cabeças são constituídos por clásticos arenosos, sendo que esta última recebeu uma forte contribuição de sedimentos de origem glacial, por ter sido depositada em ambiente de plataformas rasas, dominada por marés. As maiores transgressões favoreceram o desenvolvimento de ambientes marinhos pouco profundos, onde foram depositados os folhelhos e siltitos do membro Picos da formação Pimenteiras e a formação Longá.

A passagem do devoniano para o mississipiano registra o início de um novo soerguimento epirogênico da bacia, a evacuação das águas marinhas do seu interior e possivelmente a restrição das comunicações com regiões situadas à leste e a nordeste. Estes eventos fizeram com que a deposição da formação Poti, sobreposta a Longá e constituída por clásticos deltáicos e continentais, ocorresse em diferentes ambientes. A

princípio, a sedimentação foi em ambiente marinho pouco profundo, porém, à medida que a água do mar era evacuada, a deposição passou sucessivamente a ser em plataformas rasas dominadas pelas marés, em ambientes litorâneos, em ambientes deltáicos e finalmente em ambientes continentais.

O término da deposição dos clásticos da formação Poti marca o final deste ciclo, com os depósitos continentais e deltáicos da parte superior da formação denunciando o início do soerguimento e a subsequente perda de identidade marinha da bacia, associado à mudança para deposições em climas áridos (Cunha, 1986).

O terceiro ciclo deposicional inicia-se no fim do mississipiano, quando o soerguimento da bacia atingiu seu ponto máximo, ficando totalmente exposta e sendo em seguida erodida, dando origem a uma ampla superfície de discordância. Neste ciclo, foram depositadas as formações Piauí (eo-pensilvaniano), Pedra de Fogo (permiano) e Motuca (permo-triássica), em ambientes predominantemente continentais e sob severas condições de aridez porque, coincidentemente, o clima da região sofreu mudanças radicais, passando de temperados e úmidos para quentes e áridos.

Os sedimentos deste ciclo mostram a presença de evaporitos, sugerindo que a deposição ocorreu em ambiente de mar remanescente, com episódicas ligações marinhas e sob clima quente e semi-árido. Estas comunicações marinhas renunciaram o soerguimento do Arco de Tocantins e a deposição da formação Motuca, no final do permiano e início do triássico, caracteriza o final deste ciclo.

No quarto ciclo deposicional, iniciado no triássico e terminado no jurássico, a sedimentação foi bastante incipiente e ocorreu principalmente na porção norte da bacia, quando foram depositadas as formações Sambaíba, Pastos Bons e Corda, constituídas por sedimentos característicos de ambientes continentais fluviais e eólicos. Este ciclo é marcado por manifestações vulcânicas que afetaram a bacia e que resultaram em derrames basálticos e intrusões de diques e soleiras de diabásio, depositadas sobre as formações depositadas nos ciclos anteriores.

O quinto e último ciclo ocorreu durante o período cretáceo, manifestando-se também apenas na porção mais ao norte da bacia. Este ciclo compreende as formações Sardinha, Grajaú, Codó e Itapecuru, depositadas em ambientes distintos, sendo a formação Codó em ambiente lagunar com fases evaporíticas e ligações marinhas breves, enquanto a última em ambientes litorâneos, constituída por clásticos de ordem complexa.

Assim sendo, a coluna estratigráfica da bacia do Parnaíba na região estudada compreende, na sua parte superior, os clásticos da formação Serra Grande, depositados talvez entre o ordoviciano ou eo-siluriano e o devoniano inferior. Constituída por arenitos de cores claras, mal selecionados, freqüentemente conglomeráticos e com estratificação cruzada, de folhelhos escuros, estudos recentes redefiniram a unidade Serra Grande como sendo um grupo, subdividido pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós (Carozzi et al., 1975; Quadros, 1982; Caputo & Lima, 1984). Porém, como esta redefinição não está totalmente aceita, considerou-se esta unidade como uma formação, conforme estabeleceram Mesner & Wooldridge em 1964.

Recobrimo concordantemente a Serra Grande, a formação Pimenteiras, de idade devoniana inferior, seria constituída por dois membros distintos: o inferior, arenoso, denominado Itaim, e o superior, rico em folhelhos, denominado Picos (Kegel, 1953; Mesner & Wooldridge, 1964). Aguiar (1969) restringiu à formação as seções de folhelhos escuros do membro superior, enquanto o membro inferior foi elevado à categoria de formação por Carozzi et al. (1975). Este trabalho, devido às controvérsias existentes, também considerou esta unidade como uma formação.

A coluna compreende ainda a formação Cabeças de idade meso-devoniana, que recobre concordantemente a Pimenteiras. Depositada sob influência glacial, indicada pelos diamictitos e pelos afloramentos com estrias associados a seus, é constituída, principalmente, de arenitos de granulação média a grossa, onde bancos espessos de arenitos resistentes formam escarpas e alternam-se com outros de menor resistência e espessura. Subordinadamente aparecem siltitos e raramente folhelhos.

### **6.2.2. Local**

A superfície do município de Picos é na sua totalidade constituída geologicamente por rochas pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba, conforme mostra o mapa geológico simplificado da área, apresentado na figura 6.2.

As unidades litoestratigráficas da região são representadas pelas formações Serra Grande, Pimenteiras, Cabeças, coberturas triássico-quadernárias e aluviões, com todo o pacote assentado discordantemente sobre as rochas cristalinas da bacia ou sobre os clásticos cambro-ordovicianos do Grupo Jaibaras, que também repousam discordantemente sobre o embasamento cristalino (Lima & Leite, 1978).

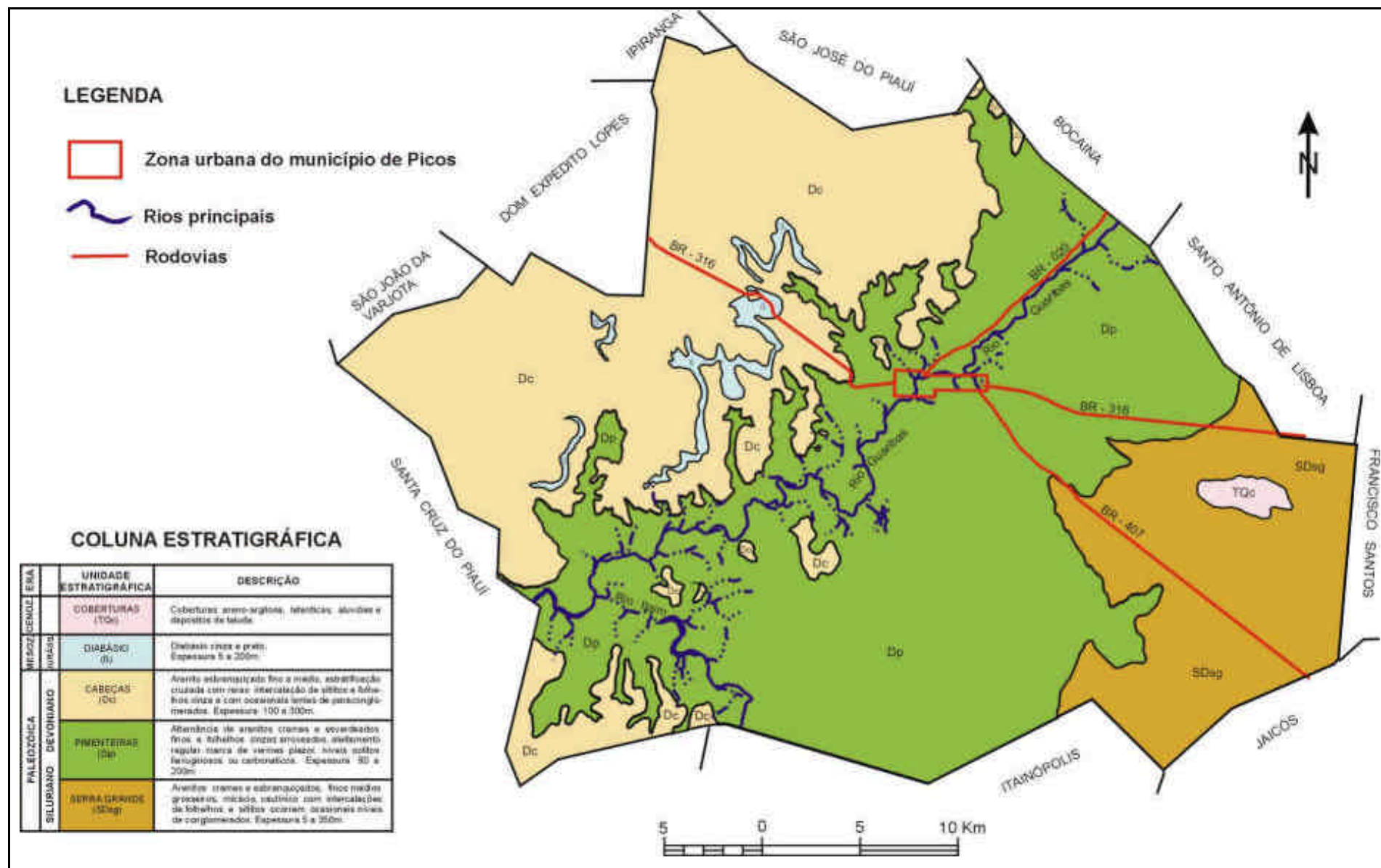


Figura 6.2 – Mapa geológico simplificado do município de Picos

Cortando essa seqüência estratigráfica e intrudida na formação Cabeças, afloram a oeste e a noroeste da sede municipal, rochas básicas (diabásio), que se fazem presentes em forma de diques e “sills”.

A estrutura é homogênea e monoclinal com seus estratos mergulhando suavemente (aproximadamente 10 m/km) para noroeste, rumo ao centro da bacia. Suaves sinclinais também foram mapeados ao sul da sede municipal.

A sede do município está edificada no vale do rio Guaribas, sobre os sedimentos aflorantes da porção superior da formação Pimenteiras, próximo do seu contato com a formação Cabeças. Para ilustrar, a figura 6.3 apresenta um corte geológico entre as cidades de Picos e Jaicós, representando a estratigrafia da área estudada.

O relevo da região apresenta-se essencialmente modelado em rochas sedimentares argilo-arenosas e arenosas, com topografia suavemente ondulada a plana, dissecada em formas tabulares, vales e testemunhos, caracterizando quatro aspectos geomorfológicos distintos: zonas de chapadas, zona de testemunhos, zona de dissecação e aluviões. As formas abruptas do relevo na região central e centro-ocidental do município são evidências de um relevo ainda jovem.

#### **6.2.2.1. Formação Serra Grande**

Dentro da área definida para este estudo, a formação Serra Grande só ocorre em subsuperfície, com sua zona de afloramento ocorrendo a partir de uma faixa distante 15 quilômetros da cidade de Picos, de direção NE-SW (figura 6.4).

É constituída por espessos bancos de arenitos, de coloração branca a bege, com granulação média e grosseira, por vezes conglomerática, e ocorrências subordinadas de níveis de arenitos siltsos ou siltitos, apresentando estratos com cimento quartzoso, por vezes conglomeráticos, com diagênese geralmente muito forte e com estratificação cruzada, intercalados por níveis de arenitos siltsos e siltitos.

A espessura exata desses sedimentos na região ainda não foi definida, pois nenhuma perfuração ultrapassou toda a sua extensão. Com base em estudos geofísicos e nos dados do poço mais profundo da região, que atravessou um total de 328 metros desta unidade sem atingir o seu contato inferior, acredita-se que a espessura da formação na área possa alcançar mais de 350 metros.

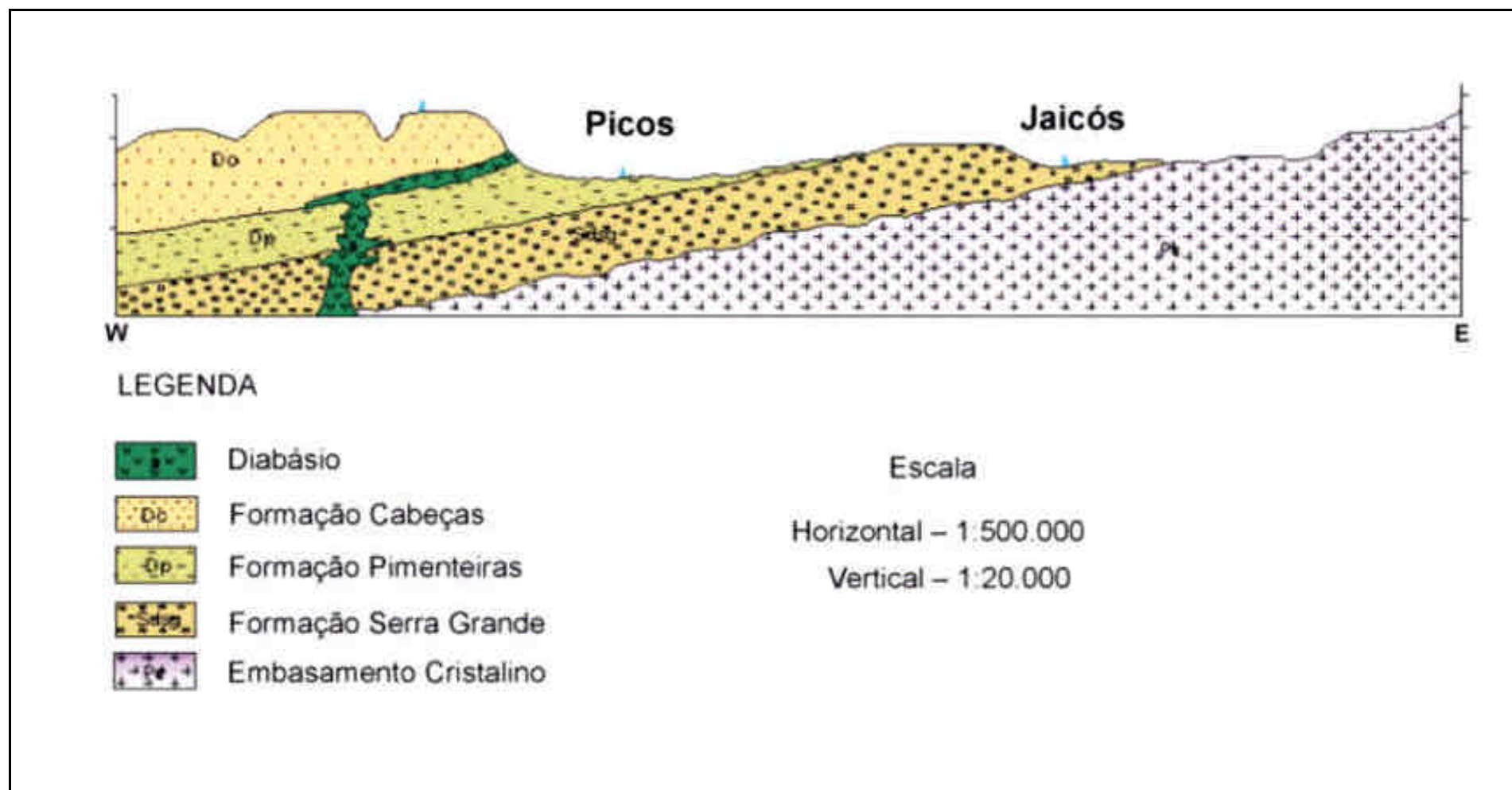


Figura 6.3 – Corte geológico entre os municípios de Picos e Jaicós



Figura 6.4 – Afloramento da formação Serra Grande

#### **6.2.2.2. Formação Pimenteiras**

Sobreposta à formação Serra Grande e posicionada no eo-devoniano, a unidade Pimenteiras aflora em toda a região central e leste do município, ocupando a maior área dentre as formações presentes.

Os afloramentos típicos do membro Itaim ocorrem à leste da sede municipal, a partir da linha NE-SW de contato com a formação Serra Grande e nas localidades de Malhada Grande e Samambaia, e nos bairros Conduru, Junco, Pantanal e Paraibinha. O membro Picos apresenta afloramentos, também na direção NE-SW, a partir das localidades de Angical, Morro do Quebra-Pescoço, Riacho da Baixa Grande e Torrões, e nos bairros Catavento e São José (Soares F<sup>o</sup>, 1979).

Tendo espessura conhecida na região de cerca de 246 metros, encontra-se recoberta pela formação Cabeças, com limite de contato topograficamente delimitado por uma linha de escarpas, bastantes dissecadas e às vezes irregulares.

Litologicamente, é constituída por uma alternância de níveis de folhelhos e siltitos, intercalados subordinadamente por finos níveis de arenitos de granulação muito fina a siltosa, de cores bastante variadas, predominando na sua porção inferior níveis mais arenosos. Esta variação litológica distingue os dois membros da formação: o Itaim, inferior, arenoso, e o Picos, superior, argiloso.

O membro Itaim é constituído, predominantemente, por arenito finos de coloração acinzentada, de origem marinha, e, subsidiariamente, por folhelhos escuros. Recentemente, estudos admitem que este membro está assentado discordantemente sobre a formação Serra Grande (Soares F<sup>o</sup>, 1993).

O membro superior Picos, de idade eo-devoniana, é constituído por uma seqüência de arenitos de granulação média (às vezes com pequenos seixos de quartzo), de cor amarela ou avermelhada, e folhelhos sílticos, de cor cinzenta a arroxeadada. A espessura máxima para os dois membros é de cerca de 750 metros.

A abundância de óxido e hidróxidos de ferro, onde se concentram concreções lateríticas, fato marcante da região, caracteriza a coloração predominantemente avermelhada das rochas da formação, conforme mostra a figura 6.5.



Figura 6.5 – Afloramento da formação Pimenteiras

### **6.2.2.3. Formação Cabeças**

Ocupando toda região noroeste e parte da centro-oeste do município, a formação Cabeças está representada localmente por sua porção basal arenosa.

De idade neo-devoniana, ocorre aflorando a partir da linha de contato com a formação Pimenteiras, a qual recobre concordantemente, com direção geral NE-SW.



Apresenta-se constituída por uma seqüência de níveis de arenitos de granulações fina, média e grosseira, por vezes conglomerática, de colorações amarela, esbranquiçada e cinza, estratificados em bancos homogêneos ou do tipo estratificação cruzada, sobrepostos por espessos bancos de arenitos médios e grosseiros de colorações cinza, branca e amarela, intercalados por finos níveis de siltitos e folhelhos de coloração cinza, amarronzada e avermelhada (figura 6.6).



Figura 6.6 – Afloramento da formação Cabeças

#### **6.2.2.4. Aluviões**

Os depósitos quaternários nos domínios do município são representados pelas aluviões que ocorrem nos vales dos rios Guaribas e Itaim e nos vales dos principais afluentes desses dois rios. Litologicamente são constituídas por areias finas e/ou grossas inconsolidadas de estrutura homogênea intercaladas por níveis argilosos e, localmente, por cascalhos e seixos quando constituindo terraços aluvionais.

A sua distribuição não é uniforme, podendo sua largura variar de 300 metros até quase 2 quilômetros, já próximo do município de Bocaina, enquanto que a sua espessura pode variar de 1 a 10 metros. Exemplificando, próximo a sede municipal, a espessura das aluviões do Rio Guaribas atinge cerca de 5 metros (figura 6.7).



Figura 6.7 – Aluvião do rio Guaribas

### **6.3. Hidrogeologia**

A região de Picos, devido à disposição estratigráfica dos sedimentos da Bacia do Parnaíba, apresenta uma seqüência de aquíferos superpostos, formada pelos sistemas Serra Grande e Cabeças, intercalados pelo aquífero Pimenteiras, que também se comporta como um aquífero, em certas situações, e pelas aluviões.

A análise dos referidos sistemas, visando a definição das potencialidades hídricas de cada um deles, destaca o aquífero Serra Grande como o principal sistema aquífero da região e de toda a Bacia do Parnaíba. Mostra também que é o único aquífero em condições de atender as demandas hídricas da região, não apresentando qualquer restrição do ponto de vista quantitativo e qualitativo para implantação e/ou ampliação de sistemas de abastecimento de água na zona urbana e em grande parte das comunidades rurais, sendo capaz inclusive de atender projetos de irrigação, em determinadas áreas do município, a partir de um programa de planejamento, uso e monitoramento dos seus recursos.

Segundo Soares <sup>F</sup> (1993), as áreas de melhor favorabilidade e produtividade para exploração de água subterrânea na região, estão localizadas ao longo do vale do rio Guaribas, desde o seu limite com o município de Bocaína até próximo de sua confluência com o rio Itaim, e no vale do riacho São João, entre sua confluência com o rio Guaribas até próximo da localidade de Varginha.

Porém, as análises do sistema hidrogeológico feitas pelo autor e por Branco et al. (1994), com base em métodos puramente estatísticos, não permitiram respostas precisas sobre a variação encontrada na produtividade dos poços da região, principalmente no tocante ao parâmetro capacidade específica. Isto devesse ao fato de que estas análises foram feitas apenas com base nos resultados levantados, não considerando sua relação com os diferentes perfis construtivos das obras, o que pode ter influenciado nas conclusões apresentadas.

A recarga dos aquíferos ocorre através da infiltração direta das precipitações pluviométricas nas zonas de afloramento de cada unidade e das contribuições dos rios Guaribas, Itaim e de seus afluentes. Atualmente, porém, a contribuição do rio Guaribas e dos seus tributários apresenta-se bastante comprometida devido aos breves períodos chuvosos registrados nos últimos anos na região e à construção de uma barragem no município de Bocaina. A união destes fatores faz com que os mesmos só sejam perenes durante poucos meses no ano, normalmente de abril a julho.

### **6.3.1. Aquífero Serra Grande**

O sistema aquífero Serra Grande é o mais importante e o mais explorado manancial de recursos hídricos da região sudeste do Piauí. Com cerca de 72% do total de poços produtores de água subterrânea de Picos, este aquífero fornece quase a totalidade da água consumida no município.

Na região estudada, o Serra Grande apresenta características de um aquífero confinado drenante, encontrando-se recoberto pela formação Pimenteiras, em toda a área estudada, e também pela unidade Cabeças, na porção oeste do município, sempre em contato com os sedimentos arenosos do membro Itaim da primeira.

Próximo à zona de afloramento e de recarga da formação, na porção mais ocidental da bacia, numa distância de 15 quilômetros a leste da sede da cidade de Picos, o aquífero se comporta como livre. Anteriormente, parte dessa zona pertencia ao município de Picos, mas hoje se encontra politicamente emancipada. (figura 6.8).

Segundo Kegel (1956), o fato de apresentar características de aquífero confinado estimula pressões artesianas crescentes, progressivamente à medida que se avança para noroeste, rumo ao centro da bacia. Os poços perfurados nas partes topográficas mais baixas do município, correspondentes aos vales do rio Guaribas e dos seus afluentes, onde se inclui a área urbana de Picos, apresentavam surgência.



Figura 6.8 – Zona de recarga do aquífero Serra Grande

Destacavam-se também como promissoras para perfuração de poços jorrantes, as zonas mais rebaixadas ao sul da sede municipal, já próximas ao município de Itainópolis. Atualmente, devido ao rebaixamento da superfície potenciométrica, esses jorros dificilmente ainda são verificados na região.

Os valores de transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K) obtidos indicam que o aquífero Serra Grande possui boa permeabilidade e com condições de apresentar elevada produtividade. O coeficiente de armazenamento (S) calculado indica que esta unidade tem uma excelente capacidade de armazenar água, em seus espessos pacotes de arenito de alta porosidade. (ver item 9.2).

Segundo Soares F<sup>o</sup> (1993), as suas condições de exploração podem ser consideradas como excelentes, principalmente nas áreas aflorantes da formação Pimenteiras, encravadas entre as chapadas do leste e do oeste.

A recarga do aquífero ocorre, principalmente, através da infiltração direta das precipitações pluviométricas na zona de afloramento da formação, situada na borda leste da bacia, e, complementarmente, pelas águas provenientes do membro superior do aquífero Pimenteiras, o Itaim, a partir da infiltração vertical descendente. Segundo Verhagen et al. (1991), o volume estimado para esta contribuição situa-se entre 3 e 10 mm/ ano, com o melhor valor sendo da ordem de 7 mm/ano.

### **6.3.2 Outras Unidades Produtoras**

Estão reunidos neste item os dados referentes ao sistema hidrogeológico encontrado no município, constituído pelo aquítarde Pimenteiras, pelo aquífero Cabeças e pelas aluviões dos principais rios da região.

A formação Pimenteiras, devido a sua litologia essencialmente argilosa, possui baixa permeabilidade e funciona, principalmente, como um horizonte impermeável, responsável pelo confinamento do aquífero Serra Grande e serve como substrato da formação Cabeças. Todavia, níveis arenosos de pouca espessura ocorrem intercalados, acumulam água e constituem importantes horizontes aquíferos.

De um modo geral, os poços perfurados em seus domínios apresentam resultados insatisfatórios, com baixa produtividade e com água geralmente salobra, e objetivam, prioritariamente, atravessar uma pequena extensão do aquífero Serra Grande. O nível estático destes poços apresenta variações sazonais, com rebaixamento, às vezes acentuados, durante o período de ausência das chuvas.

A recarga direta desta unidade, a partir da infiltração das águas provenientes das chuvas e dos rios, é bastante reduzida devido ao baixo índice pluviométrico registrado na região e a natureza predominantemente argilosa do material da sua área de afloramento. A principal contribuição é subministrada pela infiltração vertical ascendente proveniente da camada inferior, a Serra Grande, que segundo estimativa de Verhagen et al. (1991) forneceria cerca de 70 mm/ano de água para esta formação.

O aquífero Cabeças, reconhecidamente um dos mais importantes da Bacia do Parnaíba, está representado apenas por sua porção mais inferior, que corresponde à zona de recarga deste sistema regional. Ocorre aflorando à oeste do rio Guaribas, no contato com a formação Pimenteiras, sendo caracterizado por uma linha de escarpas de direção NE-SW, que marcam o início de extensos chapadões.

No município de Picos, dois fatores influenciam negativamente a produção de água desta formação. O primeiro fator seria o posicionamento morfológico da unidade, que não favorece o seu aproveitamento. Outro fator seria a presença de "sills" e diques de diabásio, que ocorrem intrudidos nesta formação. Localizadas a oeste e noroeste da cidade de Picos, estas rochas prejudicariam a circulação e a qualidade das águas por constituírem corpos impermeáveis, por vezes extensos, que funcionam como verdadeiras barreiras subterrâneas. De um modo geral, os poços perfurados próximos a estes corpos, principalmente os localizados à oeste, apresentam-se secos.

Na região existem pequenas fontes produzindo água a partir desta unidade, sendo as de maior destaque situadas na fazenda Angical e na localidade de Olho d'água da Bica. As fontes de menor importância são encontradas nos sopés das chapadas e no contato com a formação Pimenteiras, ou com os diques de diabásio.

As aluviões dos rios Guaribas e Itaim e do riacho São João são formadoras de limitados depósitos individualizados de água subterrânea, alimentados durante o inverno pelas águas superficiais temporárias dos seus cursos de água e, durante o verão, pelas raras fontes existentes próximas dos seus leitos. Esta unidade ocorre preferencialmente no vale do rio Guaribas e em menor escala em seus afluentes, acumulando consideráveis volumes de água, aproveitadas de modo exclusivo por poços tipo cacimba. A sua fragilidade consiste na pouca profundidade da superfície freática, o que faz com que fique exposta aos rigores da forte evapotranspiração registrada na região, fato que provoca a diminuição da espessura saturada durante os períodos de prolongadas estiagens.

#### **6.4. Qualidade das águas subterrâneas**

A classificação da qualidade das águas subterrâneas da área estudada foi elaborada a partir dos dados de 41 análises físico-químicas, disponibilizadas por Soares F<sup>o</sup> (1993), que coletou 80 amostras de água de poços da região de Picos.

Segundo os resultados dessas análises, as principais características apresentadas pelas as águas do município são:

- a. **Salinidade:** os valores do resíduo seco variam de 55,5 mg/L a 2.740,5 mg/L, com a grande maioria das amostras apresentando valores abaixo de 500 mg/L e apenas 2 ultrapassando este limite. No geral, as águas são classificadas de salinidade boa a passável, de acordo com o método de Schoeller (1955 apud Soares F<sup>o</sup> 1993), porém na pequena região ao sul do município, onde os valores ficaram acima dos 1.000 mg/L, são de potabilidade medíocre;
- b. **pH:** os valores variam de um mínimo de 5,30 até um máximo de 8,60. Das amostras estudadas, quase 50% apresentam valores compreendidos 7 e 8, sendo consideradas neutras; 40% são de águas ligeiramente alcalinas a alcalinas, com pH entre 8 e 8,60 e apenas 10% apresentam pH menor do que 7, consideradas como águas ligeiramente ácidas a ácidas;

- c. **Dureza:** os valores de título hidrotimétrico das águas estão compreendidos entre um máximo de 126,60 °F a um mínimo de 3,00 °F. Do total analisado, cerca de 80% das amostras apresentaram valor superior a 12 °F, sendo classificadas como águas duras e muito duras. As amostras restantes foram classificadas como águas muito moles e moles.

Os dados levantados mostram que nas regiões central, leste e oeste de Picos ocorrem águas hidrogeno-carbonatadas magnesianas, cálcicas e subordinadamente sódicas, e que ao sul predominam águas sulfatadas de cálcio ou magnésio, com teores de resíduo seco elevados.

As águas hidrogeno-carbonatadas mistas predominam numa extensa faixa na região central do município, correspondendo aproximadamente à zona de ocorrência da formação Pimenteiras, contígua a grande parte da porção territorial norte, enquanto que as águas cloretadas e cloretadas hidrogeno-carbonatadas, dos tipos mista, sódica e magnésiana cálcica, ocorrem numa pequena porção à noroeste da sede municipal.

No geral, as águas da região de interesse são classificadas quimicamente como de boa qualidade para o consumo humano, com potabilidade de boa a passável. Na área ao sul do município, onde os teores de resíduo seco são superiores a 1000 mg/L e a potabilidade é classificada como de medíocre a má, as águas são aceitas pela população local e utilizadas para dessedentação animal, devido à inexistência de um recurso de melhor qualidade.

Na classificação para usos na irrigação, as águas subterrâneas do município são definidas como de salinidade fraca, média e fracamente sódicas, podendo ser utilizadas sem grande risco de salinização do solo, excetuando-se a área de predominância das águas sulfatadas, ao sul da sede municipal.

Deve-se ressaltar que, apesar do trabalho visar principalmente a determinação da qualidade para atendimento do consumo humano, não foi possível analisar os aspectos bacteriológicos das águas, por não haver estudos dessa natureza disponíveis no município. Porém, é bastante provável que a qualidade das águas do aquífero Serra Grande estejam preservadas, devido às características litológicas e a espessura da formação que o recobre, mesmo com a concentração de poços nas áreas povoadas, sem rede de saneamento público.

## 7. Metodologia

---

Está descrita neste capítulo, a metodologia utilizada para elaboração do trabalho, que consistiu basicamente no desenvolvimento de quatro etapas seqüenciais:

- d. Levantamento e interpretação dos dados geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos da região de Picos;
- e. Elaboração do modelo conceitual da área estudada;
- f. Modelamento matemático tridimensional da área de interesse;
- g. Avaliação da disponibilidade hídrica do aquífero Serra Grande.

Este estudo foi elaborado principalmente a partir de dados já existentes para a região, consistindo-os e organizando-os, de modo a facilitar a execução das etapas seguintes, e complementarmente por informações essenciais ao trabalho, levantadas em algumas etapas de campo, que não estavam disponibilizadas.

Numa primeira etapa, os estudos hidrogeológicos desenvolvidos anteriormente na região foram resgatados e ordenados, de modo a se gerar uma história bibliográfica para área de interesse e facilitar o direcionamento de novos trabalhos que objetivem também o monitoramento e a proteção das águas subterrâneas.

Na segunda etapa do trabalho, visando o conhecimento da hidrogeologia local e a construção do modelo conceitual, foi definida preliminarmente a coluna hidroestratigráfica da área, utilizando-se os perfis litológicos dos poços perfurados no município pela CPRM – O Serviço Geológico do Brasil, associados com os estudos e mapas geológicos existentes para a região.

A partir do início desta etapa, devido à extensão do município de Picos e, principalmente, a quantidade de poços, o volume de água bombeada e o rebaixamento do nível potenciométrico verificado na zona urbana, foi delimitada uma área de maior interesse para ser estudada. Foi estabelecido como limites às coordenadas 07°00' e 07°09' de latitude Sul e 41°22' e 41°30' de longitude Oeste (224 e 240 km E e 9.210 e 9.225 km N), com uma superfície de 240 km<sup>2</sup> (figura 7.1).



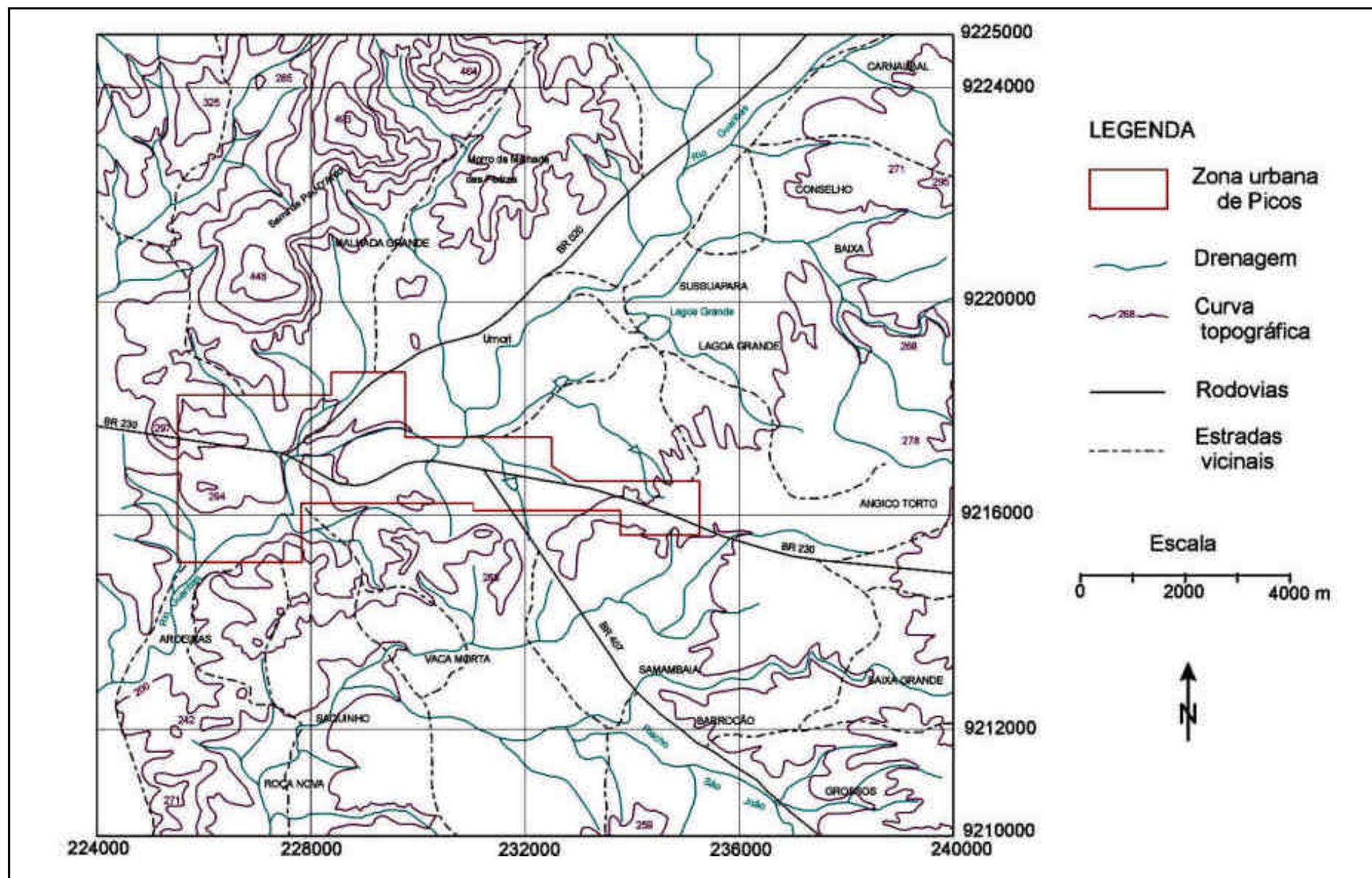


Figura 7.1 – Mapa da área estudada

Posteriormente, esta área foi dividida em duas zonas de exploração de água subterrânea, considerando a localização dos poços produtores em relação à sede municipal. Na primeira zona produtora, denominada *Urbana*, estão os poços perfurados no centro da cidade, nos bairros vizinhos e na periferia. Na segunda zona, que recebeu denominação de *Rural*, encontram-se os poços perfurados em povoados, comunidades e pequenas propriedades do município, localizados fora do núcleo urbano, porém inseridos na área definida acima.

Em seguida, de modo a se melhor verificar a situação de exploração na zona urbana, a mesma foi dividida em três subzonas. A primeira delas, denominada Central, engloba o Centro da Cidade e os bairros de Aerolândia, Bomba, Canto da Várzea, Morro do Abraão e São José. Na segunda, denominada de subzona Leste, estão inseridos os bairros do Catavento, Conduru, Junco e Paraibinha. A terceira subzona, a Nordeste, abrange os bairros de Ipueira, Pantanal e Umari.

O fluxo da água subterrânea e a evolução do rebaixamento dos níveis d'água dos poços foram avaliados com a elaboração de mapas potenciométricos, a partir dos dados cadastrados quando da perfuração das obras. A definição do volume de recarga dos aquíferos foi feita com base na área de afloramento e espessura das formações que ocorrem na região e nos dados de pluviometria e fluviometria disponíveis.

Os parâmetros transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento foram obtidos com a interpretação dos dados de teste de bombeamento disponibilizados no cadastro de poços do município.

Com a disponibilização destas informações, foi possível conceituar a ocorrência da água subterrânea na região, exigência para elaboração da etapa de modelamento matemático tridimensional. Na terceira fase do trabalho, foi construído um modelo matemático simplificado representativo dos aquíferos existentes na área estudada e das suas condições de uso, para permitir a avaliação do nível potenciométrico encontrado e a simulação da sua evolução futura em função do regime de exploração.

A etapa final consistiu em avaliar a disponibilidade do aquífero Serra Grande em atender as demandas e foram estabelecidas as diretrizes do programa de gerenciamento.

O resumo da metodologia utilizada para desenvolvimento e elaboração deste trabalho está apresentado na Figura 7.2.

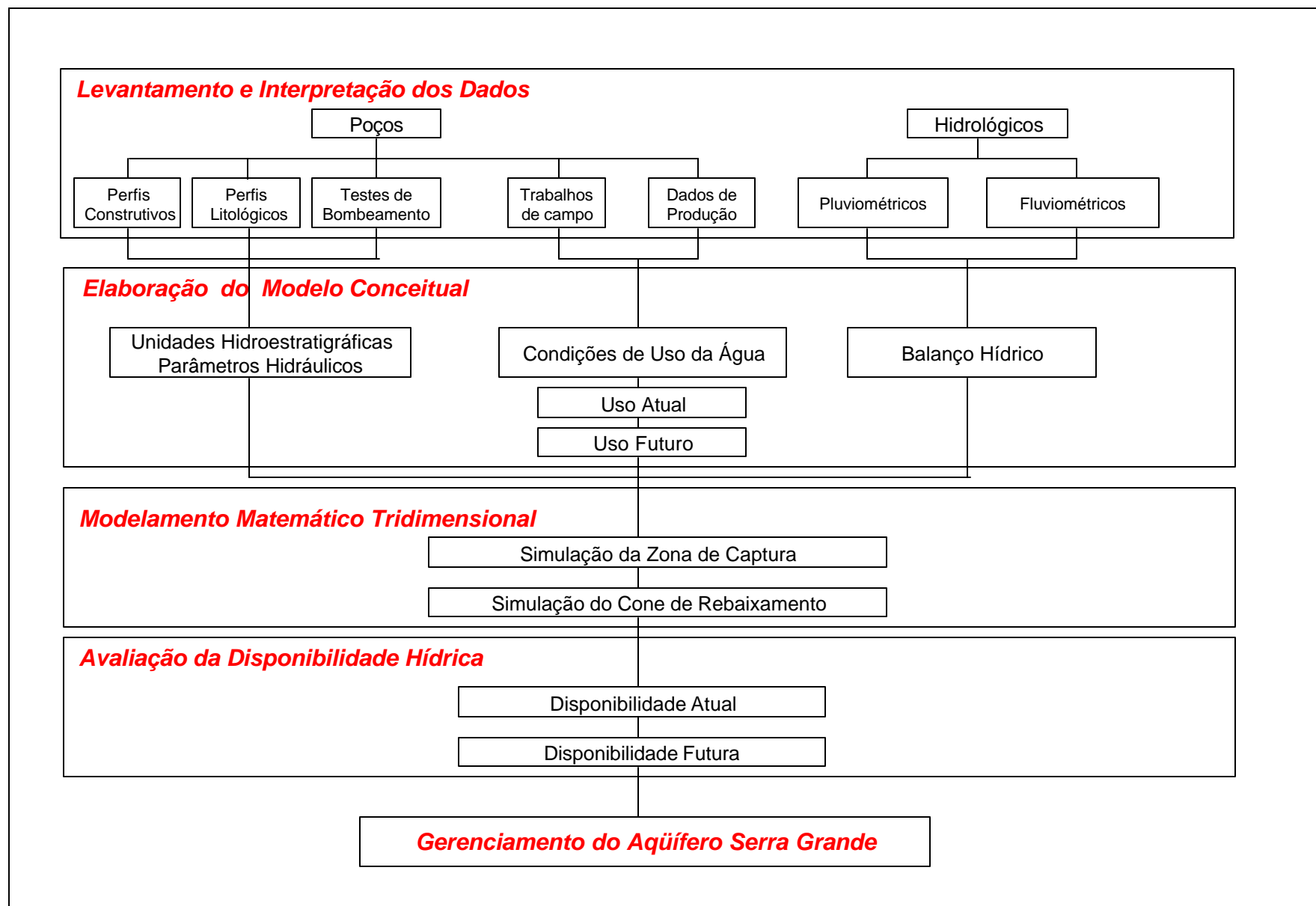


Figura 7.2 – Metodologia utilizada na elaboração do trabalho

### **7.1. Levantamento dos dados disponíveis**

A elaboração e a aplicação de um programa de gerenciamento sustentável para as águas subterrâneas requer o levantamento e a sistematização de dados referentes ao sistema que as contém. Quando existentes, estas informações encontram-se normalmente armazenadas em diferentes bancos de dados, necessitando um trabalho prévio de organização e compatibilização para que as mesmas possam ser utilizadas.

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados, principalmente, os dados disponíveis dos poços produtores de água existentes no município, os obtidos anteriormente em estudos hidrogeológicos na área de interesse ou em viagens de campo ao município, analisando-os com auxílio das informações geológicas e hidrológicas disponíveis para a região estudada.

Para levantamento dos dados geológicos foram pesquisados os estudos e os mapeamentos disponíveis para a Bacia do Parnaíba, cujo resultado levou a adoção da coluna estratigráfica proposta por Mesner & Wooldridge (1964) como base para elaboração deste trabalho. A geologia da área foi complementada com dados mais recentes, disponibilizados por Cunha (1986).

O gerenciamento do abastecimento público da cidade de Picos é feito pela concessionária Águas e Esgoto do Piauí S.A. (AGESPISA), que colaborou de modo informal com este estudo, facilitando o acesso às informações dos seus poços e sobre as condições de distribuição e atendimento da demanda hídrica da cidade.

O cadastro de pontos d'água do município, realizado pela CPRM no ano de 1991 e disponibilizado em 1993, que registrou a existência de 484 poços produtores, concentrados, principalmente, na sede municipal ou nas suas proximidades, foi utilizado como ponto de partida para elaboração do presente estudo.

A partir do referido cadastro, foram determinados os poços localizados dentro da área de interesse e adicionados mais 4 poços perfurados na região após este levantamento que possuíam informações confiáveis, totalizando os 355 poços produtores tomados como base para a cidade de Picos (anexo 1).

A seleção dos poços que seriam utilizados no modelamento, foi feita a partir da análise das informações cadastradas, de acordo com a metodologia descrita a seguir.

Primeiramente, foram excluídos todos os poços que não tinham nenhum dado registrado no cadastro, aqueles cujos dados não permitiam se definir a formação produtora e também aqueles que não produziam água a partir ou com contribuição do aquífero Serra Grande. Foram eliminados 132 poços, de acordo com estes critérios.

Dos poços restantes, que produziam exclusivamente do aquífero Serra Grande ou conjuntamente com a formação Pimenteiras, foram excluídos outros 57 poços que não possuíam registro de ano de perfuração ou de nível estático.

Trabalhos de campo, realizados após esta primeira seleção, para levantamento de informações que não estavam disponibilizadas, tais como coordenada geográfica, cota topográfica e dados sócio-econômicos do município, definiram os 154 poços que foram utilizados no modelamento matemático do aquífero Serra Grande. Estes poços foram ordenados cronologicamente pela data de perfuração e numerados (anexo 2).

A numeração dos poços foi definida a partir do ano de perfuração, da classe do proprietário (item 6.4.2) e sua localização dentro de uma das duas zonas produtoras de água. A classe definiu o prefixo de cada um deles, sendo utilizado para os poços da AGESPISA as letras AG, para os poços públicos o prefixo PP e para as indústrias estabelecido PI. Os poços de propriedade de Clubes, Colégios, Estabelecimentos Comerciais e Órgãos Públicos receberam o prefixo PO, e aos poços classificados como particulares foi adicionado o prefixo PA.

A localização do poço na zona produtora determinou o sufixo que cada um deles recebeu. Os poços situados na porção urbana do município receberam seu sufixo de acordo com a subzona em que foram perfurados. Os poços localizados na subzona Central receberam o sufixo C, os na subzona Leste o sufixo L e os localizados na Nordeste receberam a terminação N. Os poços perfurados dentro da zona de produção denominada de Rural receberam o sufixo R.

Este trabalho dedicou especial atenção a AGESPISA, devido ao elevado volume de água subterrânea bombeado pela empresa no município. Foi levantado que a mesma operava, em 2000, 15 poços produtores na cidade e que outros 3 já haviam sido abandonados desde o início dos trabalhos da empresa na área estudada.

Infelizmente, os poços produtores da referida empresa não puderam ser monitorados da forma mais recomendável para geração de dados para este trabalho, haja vista que os mesmos não possuem equipamentos para medição de vazão e de nível d'água. Devido a este fato, a AGESPISA dispõe de poucos e defasados dados de níveis estático e dinâmico dos seus poços, demonstrando uma falta de preocupação

com estes importantes parâmetros produtivos. Exemplificando, os dados mais atualizados, anteriores a este estudo, eram referentes ao ano de 1985, época em que foram realizados os últimos testes de bombeamento.

Os valores de produção de cada poço foram obtidos a partir da capacidade da unidade de bombeio instalada e do monitoramento do seu tempo de funcionamento durante o mês. O regime de produção é contínuo, 24 horas por dia durante todo o ano, excetuando-se apenas alguns poucos poços que são desligados a noite no período das chuvas (entre os meses de maio e junho) ou. paradas por problemas operacionais

Como o bombeamento é ininterrupto e os poços não possuem medidores de nível dinâmico, foi possível se fazer no máximo duas medições do nível estático em cada um deles, uma em julho de 2000 e outra em agosto de 2001.

## **7.2. Estudos hidrogeológicos anteriores**

A pesquisa bibliográfica, realizada para levantamento dos estudos hidrogeológicos desenvolvidos anteriormente na região, mostrou que apenas alguns poucos trabalhos foram executados na área e que os mesmos apresentavam dados defasados quanto à demanda hídrica ou utilizavam metodologia não apropriada para auxiliar no gerenciamento das águas subterrâneas no município de Picos.

O primeiro estudo encontrado foi o realizado por Kegel, em 1953, anterior ao início da exploração dos recursos hídricos subterrâneos na região, o qual recomendava a exploração do aquífero Serra Grande, através da perfuração de poços com profundidade de 150 metros, de modo a se atender o crescimento da demanda hídrica do município. Imaginava ele ser esta a principal armazenadora de água na região e ter grande probabilidade de conter pressão artesianas.

O trabalho seguinte, executado também por Kegel, em 1961, confirma a capacidade artesianas do referido aquífero, apesar dos poços perfurados na cidade terem atingido apenas a profundidade de 120 metros e atravessado uma pequena porção da parte superior da formação produtora. Recomendava neste estudo que deveria ser perfurado um poço que atingisse o embasamento cristalino, atravessando toda a extensão do referido aquífero, fato que até a presente data não foi realizado.

Os estudos desenvolvidos por Cruz & França, em 1967 e 1970, foram os primeiros a analisar o rebaixamento da superfície potenciométrica na região, apresentado dados bastante consistentes quanto ao regime de exploração ao qual começava a ser submetido o aquífero Serra Grande.

Os dados disponibilizados nesses trabalhos foram muito úteis na elaboração do estudo agora executado, principalmente para o conhecimento das condições iniciais de uso das águas subterrâneas na cidade de Picos, porém encontram-se atualmente defasados devido ao crescimento menor da demanda hídrica em comparação ao projetado pelos referidos autores. Exemplificando, a previsão feita para o ano de 1980, com base nos dados históricos de demanda e volume explorado, era de que o rebaixamento do nível potenciométrico na zona urbana do município seria da ordem de 78 metros, porém os dados de campo, levantados em 2001, mostraram um rebaixamento de cerca de 30 metros.

Outro estudo importante para levantamento de dados da região, foi desenvolvido por Verhagen et al., em 1991, para avaliação da recarga de aquíferos em regiões áridas e semi-áridas, com um capítulo sobre o estado do Piauí. Foram utilizadas técnicas de análise hidrológica por isótopos, especialmente  $\delta^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ , para se estimar a taxa de infiltração e a direção do fluxo subterrâneo das águas na região.

Nesse trabalho, também há referência ao artesianismo da formação Serra Grande, explicado resumidamente pela pequena diferença de potencial entre as águas desta formação e as do aquífero Cabeças, fato que possibilita um fluxo vertical, ascendente e descendente, entre as duas formações, através do aquífero Pimenteiras.

Os últimos trabalhos realizados na região foram executados por Soares F<sup>o</sup>, em 1993, e Branco et al., em 1994, disponibilizando os dados levantados durante o cadastramento de poços do município e apresentando algumas propostas para exploração e o gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis.

A análise desses dois trabalhos mostra que os resultados foram apresentados com base em dados tratados utilizando-se apenas métodos puramente estatísticos, como o de contorno por triangulação de Delaunay ou por superfície de tendência polinomial, não considerando os parâmetros hidráulicos e o sistema de fluxo dos aquíferos e o atual regime de exploração dos poços produtores.

### **7.3. Definição das unidades hidroestratigráficas**

A definição das principais unidades hidroestratigráficas da área de estudo foi feita a partir da análise dos mapas geológicos e hidrogeológicos disponíveis e dos estudos executados anteriormente na região.

A partir do mapa geológico do Piauí, elaborado pela CPRM, e do trabalho de Soares <sup>Fº</sup> (1993), foi possível definir o aquífero Serra Grande como a mais importante unidade produtora da região e considerar a existência de um outro aquífero sedimentar na área, devido as diferentes constituições litológicas do aquífero Pimenteiras.

A diferenciação das unidades produtoras em subsuperfície e a confecção das seções geológicas e dos mapas de contorno estrutural da base da formação aflorante foram realizadas com o auxílio dos perfis litológicos dos poços do município.

A inexistência de perfis geofísicos dos poços da região, não permitiu que se fosse feita uma melhor distinção entre os sedimentos encontrados nas duas unidades, como também uma correlação com os perfis litológicos quando da elaboração das seções e dos mapas acima citados.

### **7.4. Determinação dos parâmetros hidráulicos**

A determinação dos parâmetros hidráulicos do aquífero Serra Grande foi feita a partir da interpretação dos resultados obtidos nos testes de bombeamento executados em alguns dos poços produtores do município.

Após a perfuração e a completação de um poço produtor de água subterrânea, deve ser sempre executado um teste desta natureza para possibilitar um maior conhecimento das condições hidrodinâmicas do aquífero a ser explorado ou simplesmente da capacidade produtiva do próprio poço.

A diferenciação entre os tipos de testes, a que um poço pode ser submetido, é feita de acordo com os dados estabelecidos para serem levantados durante a sua execução, fator que determina os resultados encontrados (Kruseman & Ridder, 1979).

Os testes executados com o objetivo de caracterização do meio físico de subsuperfície são denominados de *teste de aquífero* e visam a determinação das características hidrodinâmicas de um meio poroso, tais como transmissividade (T), condutividade hidráulica (k) e coeficiente de armazenamento (S).



Este tipo de teste consiste, basicamente, no bombeamento de um poço numa vazão constante  $Q$  e no acompanhamento da evolução do rebaixamento em um (ou mais) poço de observação situado a uma distância radial  $r$  qualquer do poço bombeado.

Outro tipo de teste de bombeamento realizado em um poço é aquele que visa exclusivamente definir sua capacidade produtiva, a partir da determinação das perdas de cargas totais que ocorre durante o seu bombeamento ( $BQ + CQ^n$ ), de modo a se dimensionar a sua unidade de bombeio, sendo denominado de *teste do poço, de produção ou de vazão*.

A execução deste tipo de teste consiste na realização do bombeamento do poço e o registro da evolução dos rebaixamentos no próprio poço. O bombeamento deve ser realizado em três ou mais etapas, sendo que em cada uma delas a vazão deve ser mantida constante e aumentada de modo que  $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_x$  (onde  $Q_x$  é a vazão da etapa  $x$  de bombeamento).

Na maioria dos poços perfurados para água subterrânea é efetuado simplesmente um teste de vazão devido a dois fatores. O primeiro e principal deles é que a quase totalidade dos poços visa o abastecimento e não o estudo hidrogeológico da área onde foi construído. O segundo fator é o custo mais elevado que um teste de aquífero acarreta, o que inibe a sua realização.

Neste estudo, devido à impossibilidade de realização de teste de aquífero na formação produtora e a disponibilidade de dados consistentes de testes de vazão, executados pela CPRM em 10 poços perfurados pela empresa na região, de acordo com as normas exigidas, foram utilizadas apenas estas informações para determinação dos parâmetros do aquífero Serra Grande.

Segundo Kruseman & Ridder (1979), apesar de não serem os mais precisos, os dados levantados num teste de vazão também podem ser utilizados para a determinação das características hidrodinâmicas de um aquífero, assumindo-se o próprio poço bombeado como ponto de observação.

De modo a se melhor interpretar os resultados obtidos nos referidos testes e se determinar valores consistentes para os parâmetros hidráulicos do Serra Grande, foram utilizadas duas metodologias diferentes e os valores obtidos no final foram comparados de modo a estabelecer uma correlação entre os resultados.

Na primeira, a determinação da transmissividade, condutividade hidráulica e do coeficiente de armazenamento das unidades hidroestratigráficas foi feita a partir da interpretação dos resultados obtidos em testes de bombeamento executados em poços produtores da área estudada, com auxílio de um aplicativo matemático. As informações levantadas foram interpretadas pelo programa AQUIFER TEST, co-desenvolvido por Thomas Röhrich e pela Waterloo Hydrogeologic Inc., que possibilita a inserção dos dados de forma rápida e permite a interpretação do teste por diferentes métodos, dentre os quais Theis, Cooper & Jacob e Hantush, selecionados para este estudo.

Na segunda análise, os dados de capacidade específica (Q/s) dos poços foram utilizados para determinação dos valores de transmissividade e condutividade hidráulica da área estudada, através de uma equação analítica conforme a metodologia apresentada por Iritani et al. em 2000.

Os valores obtidos para os parâmetros hidráulicos do aquífero, pelas duas metodologias, foram então correlacionados, de modo linear e logarítmico, para se verificar as possíveis discrepâncias entre os dois métodos, e comparados com os valores apresentados em outros estudos para a mesma região.

Estas análises permitiram também estabelecer uma equação relacionando os valores de capacidade específica dos poços com os valores de transmissividade obtidos na interpretação dos testes, o que possibilitou um maior número de dados para elaboração do mapa de isotransmissividade da área estudada.

### **7.5. Elaboração do balanço hídrico**

O estabelecimento de um programa de gerenciamento para os recursos hídricos de um sistema requer o conhecimento e a avaliação dos componentes do ciclo hidrológico para elaboração do balanço hídrico da região estudada.

Segundo Fetter (2001), a avaliação quantitativa do ciclo hidrológico, que congrega processos diversificados de transporte e armazenamento, é realizada através da *equação geral do balanço hídrico*. Estabelecida a partir do princípio da conservação da massa ou da continuidade, segundo o qual, num sistema qualquer, a diferença entre as entradas e as saídas é igual à variação do armazenamento dentro do próprio sistema, esta equação é dada por:

$$P = E_s + E_v + T_r + I + E_{vt} + I_t \quad (7.1)$$

onde

$P$  = precipitação pluviométrica (chuva)

$E_s$  = escoamento superficial ou deflúvio ou runoff

$E_v$  = evaporação ou vaporização da água no solo

$T_r$  = transpiração das plantas

$I$  = Infiltração

$E_{vt}$  = evaporação transversal

$I_t$  = Interceptação das plantas

Assim sendo, para quantificação dos componentes do ciclo hidrológico é fundamental o estabelecimento de uma unidade de área onde seja possível considerar a precipitação pluviométrica como a única entrada de água. De modo a atender essa exigência e também por permite a quantificação do volume de saída, os estudos hidrológicos adotam a bacia hidrográfica como unidade de trabalho (Simmens, 1987).

Após analisar as características da área de interesse, verificou-se que a bacia do rio Guaribas, a única que poderia ser selecionada, não atendia aos pressupostos exigidos, principalmente, por não existirem dados de escoamento básico ou total do rio e de seus afluentes, e por não haver coincidência entre a superfície freática e a bacia.

Por causa disto, neste estudo não foi possível determinar o volume de água proveniente do aquífero Serra Grande para a bacia do rio Guaribas, mesmo utilizando-se os métodos mais simples como, por exemplo o método de Meyboom, devido à inexistência de postos fluviométricos na região, não sendo possível considerar um valor consistente para o escoamento básico. Acredita-se, porém, que este fato não invalidaria os valores estimados para a taxa de recarga do aquífero Serra Grande, considerando que às características climáticas da região, de grande capacidade de evapotranspiração das águas superficiais, resultam no caráter intermitente de todos os seus corpos d'água.

Neste trabalho, o volume de recarga do aquífero Serra Grande foi estimado considerando a existência de três principais contribuições, sendo duas naturais e uma artificial não planejada, decorrente de perdas na rede de distribuição de água da concessionária pública. O cálculo teve como base os dados pluviométricos levantados para a região e o resultado comparado com os valores da taxa de recarga apresentados em estudos anteriores executados na área.

## **7.6. Modelamento matemático**

De modo a representar o aquífero Serra Grande e prever o comportamento futuro do seu nível potenciométrico no município de Picos, foi utilizado como ferramenta auxiliar o modelamento matemático tridimensional.

Para a hidrogeologia, modelamento matemático significa interpretar e representar um sistema aquífero por meio de um modelo, de modo a permitir um melhor conhecimento dos parâmetros que os rege, possibilitando a previsão das suas respostas em decorrência de eventos futuros ou passados.

Resumidamente, o modelamento do aquífero Serra Grande teve como principais objetivos:

- a. conhecer o seu funcionamento hidráulico e sua zona de captura;
- b. avaliar seus parâmetros hidrogeológicos e hidrodinâmicos;
- c. prever os efeitos causados pelo regime de exploração das suas águas;
- d. atualizar e disponibilizar sua base de dados.

A primeira etapa do processo de modelamento foi à elaboração de um modelo conceitual da área estudada, através do desenvolvimento de um processo de levantamento e interpretação dos dados do aquífero e da região.

Segundo Marcelino (1999), elaborar um modelo dessa natureza significa interpretar, analisar e compreender o sistema hidrogeológico existente, de modo a identificar suas unidades hidroestratigráficas, suas características hidráulicas e o sistema de fluxo que rege as suas águas.

É muito importante que este modelo seja elaborado com o maior número de dados consistentes possível, pois é o mesmo que irá definir o domínio, as condições iniciais e de contorno do modelo matemático, o tipo de aquífero a ser modelado e as entradas e saídas de água do sistema.

Neste trabalho, a elaboração do modelo conceitual envolveu inicialmente o levantamento dos dados referentes aos poços produtores, a geologia, pluviometria e fluviometria da região, bem como a identificação das áreas onde estivesse ocorrendo a exploração intensiva dos recursos hídricos.

Em seguida, foi realizada a interpretação destes dados, de modo a definir as unidades hidroestratigráficas e os parâmetros hidráulicos do sistema, e possibilitar a elaboração de um diagnóstico das condições de uso da água no município e o balanço hídrico da área de interesse.

Na segunda etapa, foram desenvolvidos os procedimentos para resolução das equações matemáticas utilizadas na construção do modelo, ou seja, foi definido o simulador ou aplicativo matemático a ser utilizado no modelamento.

A definição do simulador depende do objetivo proposto, do problema a ser solucionado, da complexidade do modelo conceitual e do tempo e dos recursos disponíveis para construção do modelo matemático. Estes fatores influenciam na decisão entre um modelo analítico ou numérico, bi ou tridimensional, diferenças finitas ou elementos finitos, de fluxo de água ou transporte de massa (Iritani, 1998).

Ainda segundo a autora, para simulação de eventos futuros relacionados ao fluxo e a potenciométrica de um aquífero, o aplicativo matemático a ser utilizado na modelagem deve ser o de fluxo de água subterrânea, cuja aplicação permite entre outros:

- a. determinar e avaliar a quantidade e localização dos dados de campo necessários ao conhecimento hidrogeológico de uma determinada área;
- b. compreender e prever fenômenos de fluxo em sistemas complexos, heterogêneos e anisotrópicos;
- c. entender sistemas de fluxos regionais de água subterrânea;
- d. gerenciar as águas subterrâneas através da determinação da localização, do regime de bombeamento e da zona de interferência dos poços produtores;
- e. delimitar áreas de proteção para zona de contribuição dos poços;

Para escolha do simulador, este estudo observou a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros necessários a sua realização, porém considerou principalmente o objetivo proposto no trabalho que era compreender e avaliar o comportamento futuro do nível potenciométrico de um sistema aquífero.

Escolhido o simulador matemático, foi definida a grade de discretização do modelo, onde seriam inseridas as condições de contorno e calculados os parâmetros hidráulicos. Foi estabelecido que nas áreas onde havia uma concentração de poços produtores da AGESPISA e um interesse maior pela informação do comportamento do

nível potenciométrico, a grade teria seu espaçamento diminuído, de modo a aumentar a definição e a precisão no cálculo das cargas hidráulicas.

A etapa seguinte do modelamento foi à análise do fluxo da água subterrânea na região para identificação das barreiras que atuariam como fronteiras de domínio do aquífero Serra Grande, de modo a inseri-las como condições de contorno no modelo matemático. A definição destas condições visou estabelecer os domínios do sistema e representar os contornos internos existentes na área modelada, tais como rios ou lagoas.

Após a inserção das condições de contorno, foram representadas no modelo as entradas e saídas de água do sistema, que ocorrem através dessas fronteiras de domínio, em função da recarga e dos poços de produção existentes na área estudada.

Segundo Anderson & Woessner (1992), na construção de um modelo matemático de fluxo, é condição necessária que as fontes e sumidouros do sistema modelado sejam simuladas, de modo a se representar o termo  $W(x,y,z,t)$  da equação de fluxo da água subterrânea (equação 7.2).

$$\frac{\partial}{\partial h} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial h} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial h} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W(x,y,z,t) = S_s \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) \quad (7.2)$$

onde

$h$  = carga hidráulica [L]

$K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  = condutividade hidráulica ao longo das coordenadas  $x, y$  e  $z$  [L/T]

$W$  = representa as fontes e sumidouros de água do sistema [ $L^3/TL^{-3}$ ]

$S_s$  = coeficiente de armazenamento específico [ $L^{-1}$ ]

$t$  = tempo [T]

Na modelagem do aquífero Serra Grande, a entrada de água do sistema foi simulada a partir dos dados obtidos na elaboração do balanço hídrico da área de interesse, enquanto que as saídas foram simuladas através de 154 poços produtores, definidos com base nos critérios estabelecidos no item 7.1.

O passo seguinte na construção do modelo matemático foi o estabelecimento das condições iniciais do sistema, feita a partir da definição da carga hidráulica, para que o programa fosse capaz de resolver a equação de fluxo. A denominação condição inicial, num modelo para as águas subterrâneas, se refere à variação tridimensional da carga na área modelada no início da simulação, ou seja, no tempo igual a zero.

No desenvolvimento de modelos tridimensionais, a resolução da equação de fluxo para a carga hidráulica exige a definição desta condição no tempo zero, estabelecida de acordo com a seguinte equação:

$$h = f(x,y,z) \text{ para } t = 0 \quad (7.3)$$

onde

$h$  = carga hidráulica [L]

$x, y, z$  = coordenadas espaciais do ponto

$t$  = tempo [T]

Normalmente, a carga do fluxo inicial apresenta valores diferentes para cada posição  $x, y$  e  $z$  do domínio do modelo. Quando disponíveis, a representação desses valores na modelagem é recomendável pois significará uma maior precisão na simulação do sistema. Porém, como dificilmente este valor inicial é conhecido, costuma-se assumir um valor médio e constante para toda a área de interesse.

A carga hidráulica natural do aquífero Serra Grande foi estabelecida neste trabalho a partir do levantamento dos dados históricos da região, do ano de início da exploração das águas subterrâneas pela empresa de abastecimento público e da construção dos mapas potenciométricos da área de interesse.

Concluídas todas estas etapas, o modelo matemático construído foi calibrado e submetido a uma análise para verificar sua sensibilidade.

A calibração do modelo significou ajustar os parâmetros hidrogeológicos e as condições de contorno, de modo que as cargas hidráulicas simuladas sejam semelhantes às registradas no sistema real, sendo considerado calibrado quando a diferença entre estas cargas atingiu um valor aceitável.

Como na maioria dos trabalhos dessa natureza, o método utilizado para calibração do modelo desenvolvido foi o de “tentativa e erro”, no qual os parâmetros foram ajustados manualmente através de simulações sucessivas e comparados os valores obtidos para a carga hidráulica com os dados levantados. De modo a se otimizar o tempo, a cada nova simulação foram utilizados os valores das cargas calculadas pelo próprio modelo na simulação anterior.

A análise do modelo construído serviu para determinar o grau de sensibilidade alcançado, identificando os parâmetros mais sensíveis e quantificando os seus efeitos no modelo calibrado. Segundo Thomann & Mueller (1987), esta análise visa determinar as incertezas do modelo decorrentes da utilização de valores estimados para os parâmetros hidráulicos, condições de contorno e as estimulações do sistema real.

Basicamente, esta análise consistiu em fazer várias simulações, variando os parâmetros e as condições em que foi construído, de modo a verificar os resultados nas cargas hidráulicas calculadas pelo modelo matemático.

O resumo das etapas executadas para construção do modelo matemático do aquífero Serra Grande estão resumidas na figura 7.3.



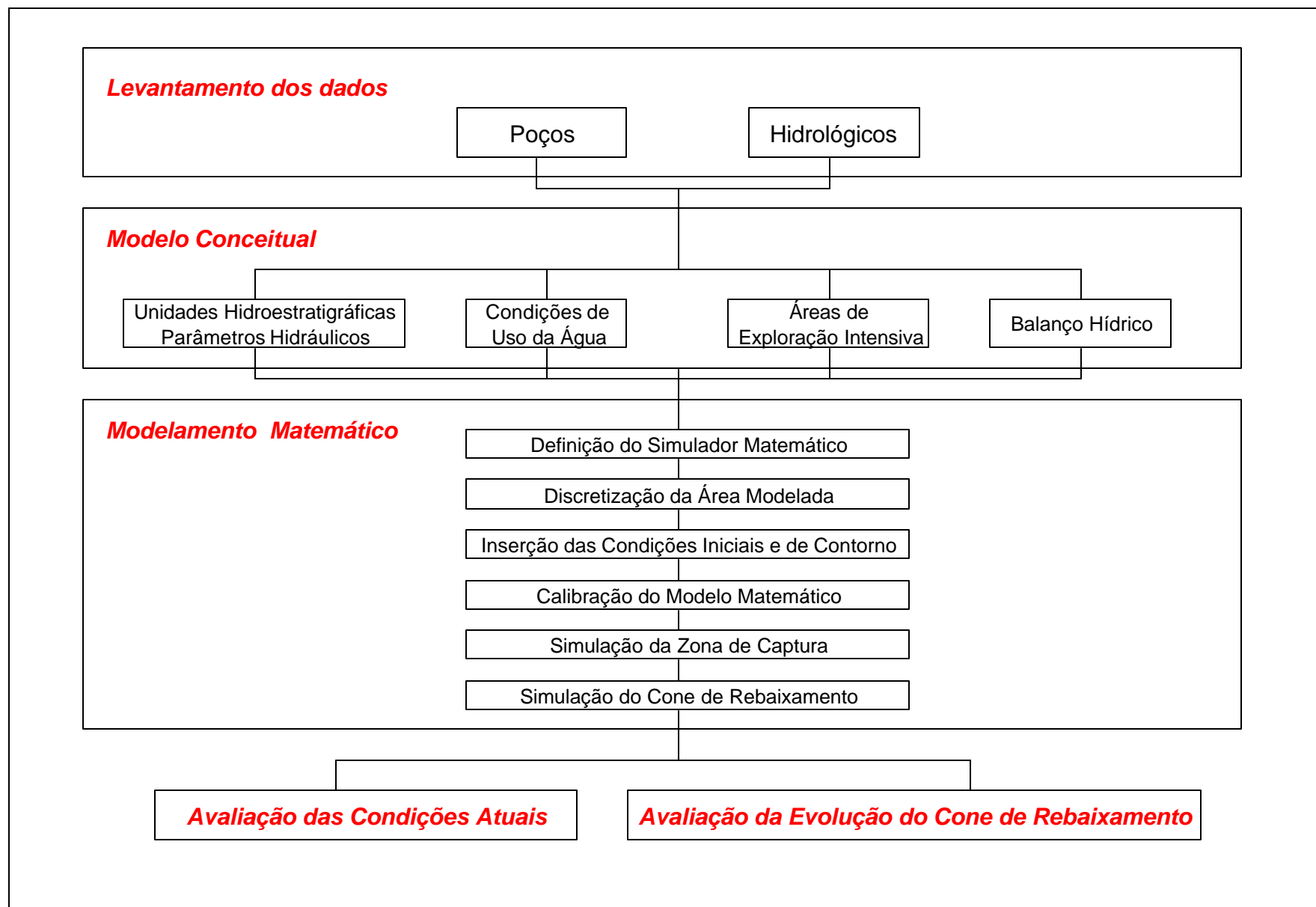


Figura 7.3 – Metodologia utilizada no modelamento matemático

### **7.7. Análise do fluxo da água subterrânea e do nível potenciométrico**

A avaliação do fluxo da água subterrânea na área de interesse foi feita a partir da elaboração de mapas isotenciométricos, considerando os dados de nível estático dos poços existentes, medidos na época da sua perfuração.

Na construção dos mapas, além desses dados, foram utilizados também aqueles obtidos a partir dos testes de produção dos poços da AGESPISA, executados nos anos de 1983 e 1985, bem como os levantados durante os trabalhos de campo desenvolvidos na região nos anos de 2000 e 2001, obtidos em medições diretas de nível estático.

A ocorrência de um rebaixamento nos níveis d'água dos poços da região ao longo do tempo, com reflexos mais acentuados na sede do município de Picos, exigiu que estes mapas fossem confeccionados para diferentes períodos de tempo, de modo a se caracterizar a evolução cronológica do cone de depleção.

Para definição do período a ser abrangido por cada mapa utilizou-se como principal parâmetro o ano de perfuração do primeiro poço produtor pela empresa de abastecimento público e posteriormente o período de uma década, excetuando-se o último que abrange um período de 11 anos. Com isso, foram definidos os períodos de 1958-1969, 1970-1979, 1980-1989 e 1990-2001 para elaboração dos mapas potenciométricos, sendo o primeiro período estabelecido pelo ano de início da exploração das águas subterrâneas na região e o ano efetivo de atuação da concessionária pública.

É preciso destacar que desde o início da exploração dos recursos subterrâneos na cidade não existem medidas regulares de nível d'água, fato que impossibilitou a determinação correta da disposição original da superfície potenciométrica do aquífero Serra Grande, sendo a mesma estabelecida a partir dos dados históricos da região e do mapa do período entre 1958 e 1969.

A simulação do nível potenciométrico do aquífero, feita através da modelação matemática, possibilitou a análise da evolução futura do seu rebaixamento para os períodos de 15 e 50 anos, contados a partir de 2001, considerando dois cenários para o volume a ser produzido na área. No primeiro, foi simulado o volume que deverá ser produzido para atender a população do município, mantendo-se as mesmas condições de oferta, ou seja, respeitando-se o consumo per capita do ano de 2001. No segundo

cenário, foi simulado o volume a ser explorado se for implantado um programa de uso racional do recurso.

Os resultados obtidos nas simulações deste parâmetro subsidiaram a previsão do custo futuro de produção da água no município e as propostas de gerenciamento dos recursos hídricos da região apresentadas neste trabalho.

## **7.8. Avaliação da disponibilidade hídrica**

### **7.8.1. Pelo limite físico**

A metodologia aplicada para determinação do volume de água que poderia ser explorado do aquífero Serra Grande na área de interesse, de modo sustentável, consistiu na elaboração do balanço hídrico e na sua comparação com os valores históricos e atuais dos volumes bombeados.

Com base nestes dados e nas projeções futuras do nível potenciométrico, foram estabelecidos os parâmetros que irão definir a disponibilidade hídrica do referido sistema ao longo do tempo.

Neste trabalho foi utilizado o *princípio moderno* de disponibilidade (ver item 4.1) na elaboração dos cenários futuros, porque a análise dos dados levantados demonstrou a ocorrência de novos componentes do fluxo de água subterrânea na região, devido à exploração do aquífero Serra Grande. Convém ressaltar, porém, que não foi possível quantificar tais componentes, com a precisão desejada, sendo os mesmos apenas inferidos.

### **7.8.2. Pelo limite econômico**

A metodologia utilizada para determinação da disponibilidade hídrica do aquífero Serra Grande na área do município de Picos, pelo limite econômico, consistiu inicialmente na definição do custo atual da água produzida pela concessionária pública no município de Picos e na sua projeção para 15 e 50 anos.

O custo de produção atual foi calculado com base nos dados dos poços operados pela concessionária e no seu sistema de distribuição, enquanto que para a previsão futura foram utilizados os dados obtidos com a simulação matemática da evolução do rebaixamento do nível potenciométrico.

Em seguida, foi feita uma previsão para o preço de venda futura desta água, considerando a mesma relação e a mesma margem de lucro entre o custo de produção e o preço atual.

Ao final, de modo a estabelecer um limite sustentável para exploração do aquífero Serra Grande, foi feita uma avaliação entre este preço e a capacidade econômica dos usuários da região em suportar a sua elevação.

Esta metodologia, desenvolvida para determinação do volume que pode ser retirado de um sistema aquífero de modo sustentável e aplicada neste trabalho para definição da disponibilidade hídrica, está apresentada completa no item 4.2.

## 8. Modelo conceitual das águas subterrâneas

---

### 8.1. Unidades hidroestratigráficas

A identificação e definição das duas diferentes unidades hidroestratigráficas existentes na área de estudo foi possível considerando a constituição litológica e a posição estratigráfica de cada formação geológica da região, descrita nos trabalhos de Lima & Leite (1978), Cunha (1986) e Soares F<sup>o</sup> (1979 e 1993).

De acordo com os mapeamentos geológicos e hidrogeológicos realizados por Soares F<sup>o</sup> (1979) (ver figura 6.1), no centro-leste piauiense, a formação Serra Grande ocorria dentro dos antigos limites territoriais do município de Picos, em toda a porção leste e sudeste da sede municipal. Hoje, devido à emancipação política dessas áreas, esta unidade só se apresenta em subsuperfície.

As rochas aflorantes em toda a área leste e central do município, segundo a direção NE-SW, pertencem à formação Pimenteiras, sendo representadas a leste pelo membro inferior Itaim e no centro e a oeste por seu membro superior, o Picos.

A formação Cabeças, outro importante sistema aquífero da bacia do Parnaíba, tem pouquíssima expressão na área de interesse. Está representada localmente por sua porção basal arenosa, recobrendo os sedimentos da formação Pimenteiras na porção centro-oeste e em toda região noroeste de Picos, a partir de uma linha de escarpas, também de direção NE-SW.

As rochas da bacia do Parnaíba que ocorrem no município de Picos podem ser separadas em duas unidades hidroestratigráficas, representadas pelos aquíferos sedimentares inferior e superior, descritos a seguir.

#### 8.1.1. Aquífero sedimentar inferior

O aquífero sedimentar inferior, representado pela formação Serra Grande, é a principal unidade hidrogeológica da área de interesse e o mais explorado manancial subterrâneo do sudeste do Piauí. Considerado como o único sistema capaz de atender a demanda hídrica desta região, este responde pela quase a totalidade do volume de água produzida de Picos (98%).

Estando assentada, direta e discordantemente, sobre o embasamento cristalino, a formação aflora em ambas as bordas da bacia do Parnaíba, devido a sua assimetria estrutural em relação a um eixo NE-SW, que passa por Teresina, sendo seu mergulho mais acentuado na borda sul/sudeste do que na noroeste. Na porção ocidental da bacia, seu afloramento ocorre a partir do contato com o membro Itaim da, situado numa faixa de direção NE-SW à leste da cidade de Picos. Mergulhando na ordem de 10 m/km, na direção do centro da bacia, na área estudada ocorre somente em subsuperfície.

Devido à inexistência de informações que permitissem a determinação exata da extensão vertical desta unidade na região, estima-se que a sua espessura mínima seja de 350 metros de sedimentos, valor que será utilizado como referência neste trabalho.

Apresentando características de um aquífero freático, próximo a sua zona de recarga, esta unidade passa a se comportar como um aquífero confinado drenante, quando recoberta pela formação Pimenteiras, e a apresentar pressão artesianas crescente à medida que vai sendo recoberta por outras formações.

Estudos anteriores registram a perfuração de vários poços surgentes na área de interesse, quando situados nas suas partes mais baixas, representadas pelos vales do rio Guaribas e afluentes ou próximas ao município de Itainópolis. Atualmente, esses jorros dificilmente ainda são verificados na região.

### **8.1.2. Aquífero sedimentar superior**

Na área de estudo, registra-se a presença de um outro aquífero sedimentar, posicionado estratigraficamente logo acima do Serra Grande, sendo representado pelas porções arenosas da formação Pimenteiras.

Esta formação, responsável pelo confinamento do aquífero Serra Grande, é litologicamente constituída por uma alternância de folhelhos e siltitos, intercalados por níveis arenosos, principalmente na sua porção basal. Na concepção de Kegel (1956), confirmada por Mesner & Wooldridge (1964), esta variação litológica distingue e constitui os dois membros do Pimenteiras: o inferior, predominantemente arenoso, denominado Itaim, e o superior, rico em folhelhos, denominado Picos.

A predominância de arenitos no membro Itaim, que acumulam e transmitem água, faz com que esta unidade se constitua num importante e explorado horizonte aquífero para a região.

Os afloramentos típicos deste membro são encontrados na porção leste da área de interesse, a partir de seu contato com a formação Serra Grande, enquanto que os do membro Picos ocorrem nas localidades de Angical, Morro do Quebra-Pescoço, Riacho da Baixa Grande e Torrões, e nos bairros Catavento e São José, a partir do seu contato com o Itaim, de direção NE-SW. O contato entre essas duas unidades encontra-se a aproximadamente 2 km a leste da sede municipal, verificado em pequenas elevações do relevo (figura 8.1).



Figura 8.1 – Contato entre os membros Picos e Itaim da formação Pimenteiras

Devido à natureza da sua litologia, este aquífero possui baixa permeabilidade, com os poços perfurados apenas em seus domínios apresentando fraca produtividade e água geralmente salobra. Em geral, a perfuração destes poços visa captar águas conjuntamente com o aquífero Serra Grande.

A alimentação direta do Itaim, fornecida pelas águas das chuvas e das contribuições dos rios Guaribas, Itaim e de seus afluentes, é bastante reduzida, em função de quatro importantes condicionamentos: o baixo índice pluviométrico da região, a sua estreita faixa de afloramento, o material predominantemente argiloso do membro superior e o caráter intermitente dos rios. A principal contribuição para a recarga desta unidade ocorre de modo indireto, conforme informado anteriormente, proporcionada pela ascensão vertical das águas da formação Serra Grande.

## **8.2. Parâmetros hidráulicos**

### **8.2.1. Pelos dados dos testes de bombeamento**

Usualmente, os poços perfurados na região de Picos são submetidos a um pequeno teste de vazão para avaliar sua capacidade produtiva, sendo muito difícil resgatar informações consistentes que possam ser utilizadas na determinação dos parâmetros hidráulicos do sistema aquífero.

Devido a esse fato, na determinação da transmissividade, condutividade hidráulica e do coeficiente de armazenamento das unidades hidroestratigráficas estudadas foi possível utilizar dados de apenas 10 poços produtores do município submetidos a teste de vazão na área estudada, executados de acordo com as normas exigidas, porém sem a utilização de poços de observação.

Os resultados levantados foram interpretados com o auxílio do programa AQUIFER TEST, o que requereu para cada análise a inserção de dados de nível estático, espessura do aquífero, vazão de teste, perfil construtivo do poço (diâmetro de perfuração, profundidade final, comprimento e diâmetro dos filtros), tempo de bombeamento e rebaixamento verificado.

Como os métodos utilizados por esse programa demandam que os dados sejam coletados em um ou mais poço(s) de monitoramento e as medições realizadas durante os testes levantados foram feitas no próprio poço bombeado, este último foi adotado como ponto de observação, posicionado a uma distância de 0,10 metro, valor aproximado do raio da maioria dos poços produtores. De acordo com Kruseman & Ridder (1979), essa simplificação pode ser feita sem maiores conseqüências, porém Xiang (1996) considera que a inexistência de pelo menos um poço de observação implica em resultados anômalos na interpretação dos testes, o que de fato ocorreu.

As figuras 8.2, 8.3 e 8.4 representam algumas das curvas obtidas com a utilização do aplicativo matemático e na tabela 8.1 estão apresentados os resultados obtidos para os parâmetros hidráulicos, a partir da utilização dos métodos de Theis, Hantush e Cooper & Jacob.



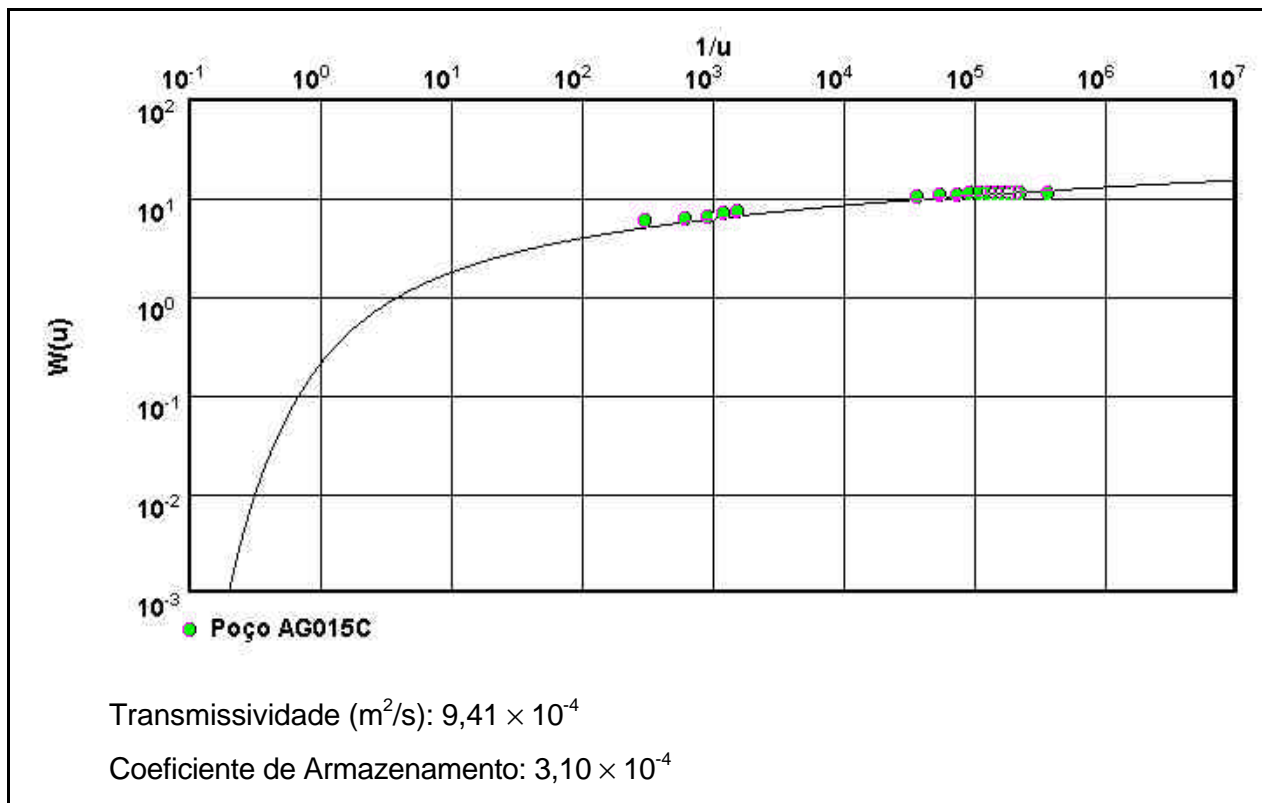


Figura 8.2 – Interpretação do teste de vazão do poço AG015C pelo método de Theis

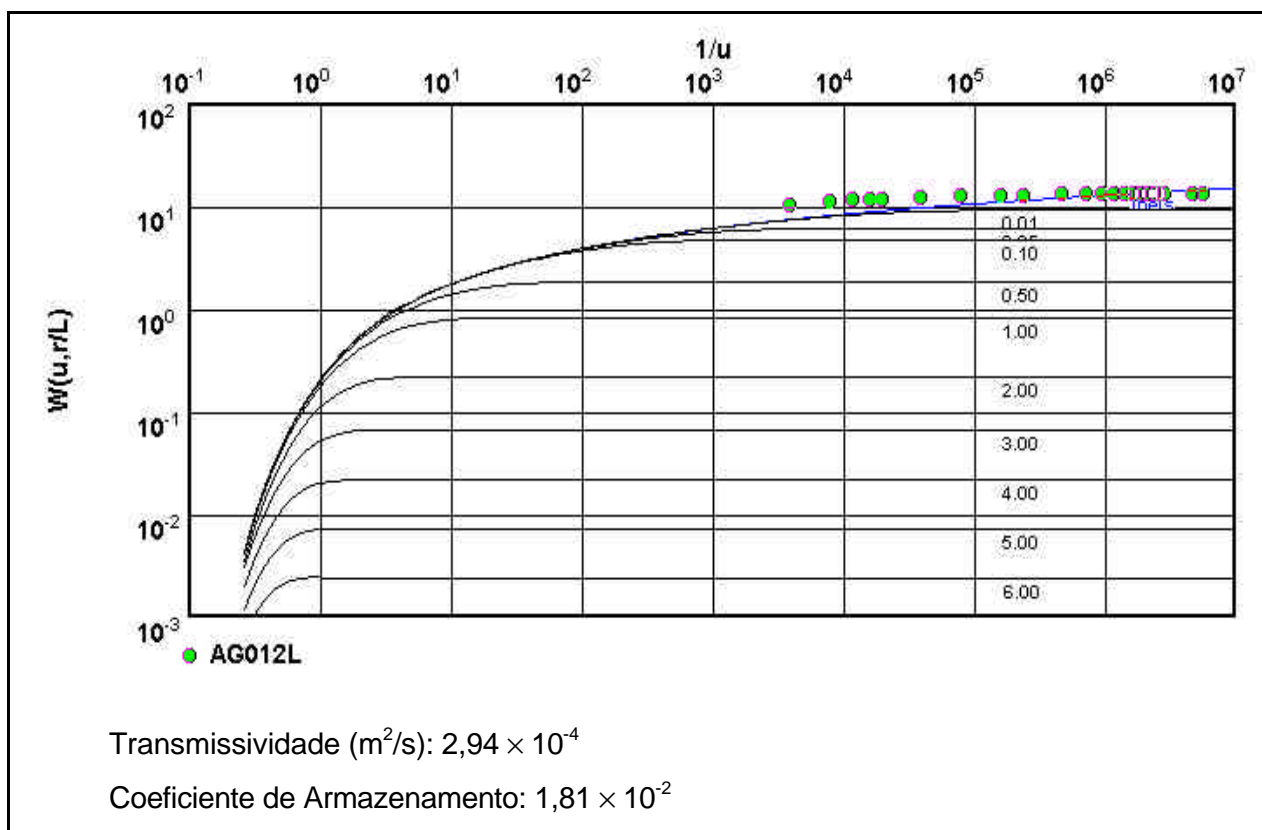


Figura 8.3 – Interpretação do teste de vazão do poço AG012L pelo método de Hantush

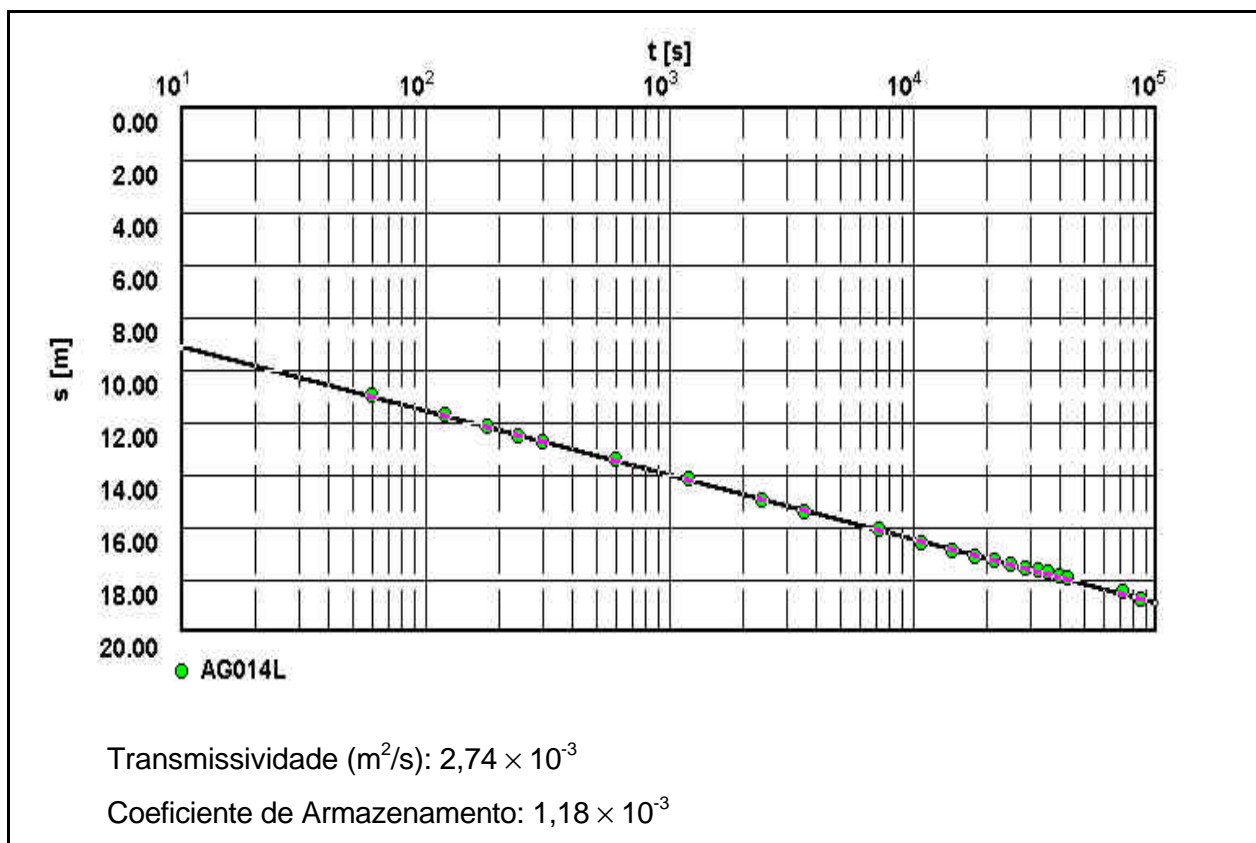


Figura 8.4 – Interpretação do teste de vazão do poço AG014 L pelo método de Cooper & Jacob

TABELA 8.1 – PARÂMETROS HIDRÁULICOS OBTIDOS COM A INTERPRETAÇÃO DOS TESTES DE BOMBEAMENTO PELOS MÉTODOS DE THEIS, HANTUSH E COOPER & JACOB

Poço	T ( $m^2/s$ )			K (m/s)			S		
	Theis	Hantush	Cooper & Jacob	Theis	Hantush	Cooper & Jacob	Theis	Hantush	Cooper & Jacob
AG002C	1,2E-03	1,2E-03	1,2E-03	3,4E-06	3,4E-06	3,3E-06	2,9E-03	2,6E-03	2,4E-03
AG003C	1,6E-04	1,7E-04	1,7E-04	4,5E-07	5,0E-07	4,9E-07	9,6E-04	3,8E-04	5,1E-04
AG004L	2,5E-03	2,5E-03	2,4E-03	7,1E-06	7,1E-06	6,9E-06	8,6E-03	7,7E-03	7,5E-03
AG012L	2,9E-03	2,9E-03	3,2E-03	8,4E-06	8,4E-06	9,3E-06	1,6E-02	1,8E-02	7,0E-03
AG013C	3,3E-04	3,3E-04	3,5E-04	9,5E-07	9,5E-07	1,0E-06	1,0E-05	8,0E-06	3,0E-06
AG014L	2,3E-03	2,3E-03	2,7E-03	6,7E-06	6,7E-06	7,8E-06	8,1E-03	8,1E-03	1,2E-03
AG015C	8,4E-04	8,1E-04	1,0E-03	2,4E-06	2,3E-06	2,9E-06	1,1E-03	1,2E-03	2,0E-04
AG016C	1,3E-03	1,3E-03	1,2E-03	3,7E-06	3,7E-06	3,4E-06	2,1E-05	2,1E-05	1,9E-05
AG017C	2,3E-03	2,3E-03	2,9E-03	6,6E-06	6,6E-06	8,3E-06	2,4E-04	1,9E-04	1,5E-05
AG018C	2,7E-03	2,7E-03	3,4E-03	7,8E-06	7,8E-06	9,8E-06	2,2E-04	2,2E-04	2,2E-04

Analisando os resultados, verifica-se que os valores de transmissividade obtidos pelos métodos de Theis e Hantush mostraram-se normalmente próximos, sendo 80% coincidentes, enquanto os obtidos pelo método de Cooper & Jacob apresentaram-se normalmente maiores. Esta diferença pode ser explicada pela influência das características construtiva dos poços, do material da formação que os envolvem e pelos próprios métodos, que enfatizam fases distintas do teste de bombeamento.

Os valores do coeficiente de armazenamento calculados pelos três métodos mostraram uma grande variação, com alguns números fora do intervalo definido por Freezy & Cherry (1979), de  $5 \times 10^{-5}$  a  $5 \times 10^{-3}$ . Os valores pelo método de Cooper & Jacob variaram de  $3,0 \times 10^{-6}$  a  $1,2 \times 10^{-3}$  e de  $8,0 \times 10^{-6}$  a  $1,8 \times 10^{-2}$  quando calculados por Hantush. Os coeficientes obtidos pelo método de Theis foram os que apresentaram a menor variação, com valores entre  $1,0 \times 10^{-5}$  e  $1,6 \times 10^{-2}$ .

Para se comparar estes resultados com os valores apresentados nos outros estudos desenvolvidos na área, foi determinada a mediana dos valores obtidos para a transmissividade e para o coeficiente de armazenamento, que é o mais representativo em análises hidrogeológicas (Gibbons, 1994). Para a transmissividade, a mediana foi de  $1,8 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s pelos métodos de Theis e de Hantush e de  $1,9 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s por Cooper & Jacob, um pouco abaixo dos valores apresentados por Cruz & França (1967), Verhagen et al. (1991) e Soares F<sup>o</sup> (1993). Para o coeficiente de armazenamento, o valor mediano obtido foi de  $8,5 \times 10^{-4}$  pelo método de Theis, de  $4,4 \times 10^{-4}$  por Hantush e de  $5,0 \times 10^{-4}$  por Cooper & Jacob, sendo estes dois últimos bastante coerente com os valores apresentados por Cruz & França (1967) e Soares F<sup>o</sup> (1993).

### **8.2.2. Pelos valores da capacidade específica**

A determinação da transmissividade do aquífero Serra Grande a partir dos valores da capacidade específica dos poços produtores da área estudada foi feita de acordo com a metodologia desenvolvida por Iritani et al. (2000).

Segundo os autores, em estudos hidrogeológicos onde apenas um dos parâmetros é conhecido, é possível estabelecer uma relação analítica entre a transmissividade e a capacidade específica, tendo como base à equação apresentada por Theis et al. (1963):

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi S} \log \left( \frac{2,25Tt}{r^2 S} \right) \quad (8.1)$$

Por essa equação, a transmissividade (T) é diretamente proporcional à capacidade específica (Q/s) e ao logaritmo do tempo (t), e inversamente proporcional ao logaritmo do coeficiente de armazenamento (S) e do quadrado do raio do poço (r). Como esses últimos três fatores estão em termo logarítmico, sendo portanto pouco expressiva sua influência como multiplicador, a relação  $T \times Q/s$  pode ser calculada estimando-se valores para os outros parâmetros.

Utilizando essa equação e adotando valores para estes três parâmetros em unidades americanas de medida, Driscoll (1986 apud Iritani, 1998) calculou que a relação entre a transmissividade e a capacidade específica para aquíferos confinados, caso do aquífero Serra Grande, seria dada por  $T = 2000 Q/s$ . Considerando unidades métricas e assumindo-se um tempo de 1 dia, para um raio de observação de 0,10 m e S igual a  $1 \times 10^{-3}$ , a relação obtida para a reta teórica passa a ser dada por  $T = 1,4 Q/s$ .

Utilizando-se essa relação e os valores de capacidade específica levantados nos 10 testes de vazão realizados em poços produtores do município, foram determinados os valores de transmissividade para a área de trabalho, apresentados na tabela 8.2.

De modo a estabelecer a correlação entre os resultados apresentados pelas duas metodologias utilizadas para determinação da transmissividade, foram calculados os coeficientes de correlação linear e logarítmica dos valores obtidos. A correlação logarítmica foi realizada, pois segundo Razack & Huntley (1991 apud Iritani, 1998) esta análise empírica sempre apresenta melhores correlações do que a análise linear, apesar da sua relação com a capacidade específica ter sido definida a partir das equações de Theis e Cooper & Jacob.

TABELA 8.2 – TRANSMISSIVIDADE CALCULADA A PARTIR DA CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS

Poço	Q/s (m <sup>3</sup> /s/m)	T = 1,4 Q/s (m <sup>2</sup> /s)
AG002C	1,1E-03	1,5E-03
AG003C	1,5E-04	2,1E-04
AG004L	2,1E-03	2,9E-03
AG012L	2,7E-03	3,8E-03
AG013C	2,8E-04	3,9E-04
AG014L	2,0E-03	2,8E-03
AG015C	9,3E-04	1,3E-03
AG016C	1,2E-03	1,7E-03
AG017C	2,2E-03	3,1E-03
AG018C	2,6E-03	3,6E-03

Os coeficientes lineares apresentaram uma correlação razoável, superior a 78%, sendo que os valores calculados pelo método de Cooper & Jacob apresentaram uma melhor correlação, igual a 85% (tabela 8.3). Confirmando os estudos de Razack & Huntley (1991 apud Iritani, 1998), os coeficientes logarítmicos da transmissividade apresentaram uma melhor correlação do que os lineares, superior a 96% (tabela 8.3).

TABELA 8.3 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE A TRANSMISSIVIDADE DOS POÇOS CALCULADA PELOS TESTES DE BOMBEAMENTO E PELA CAPACIDADE ESPECÍFICA

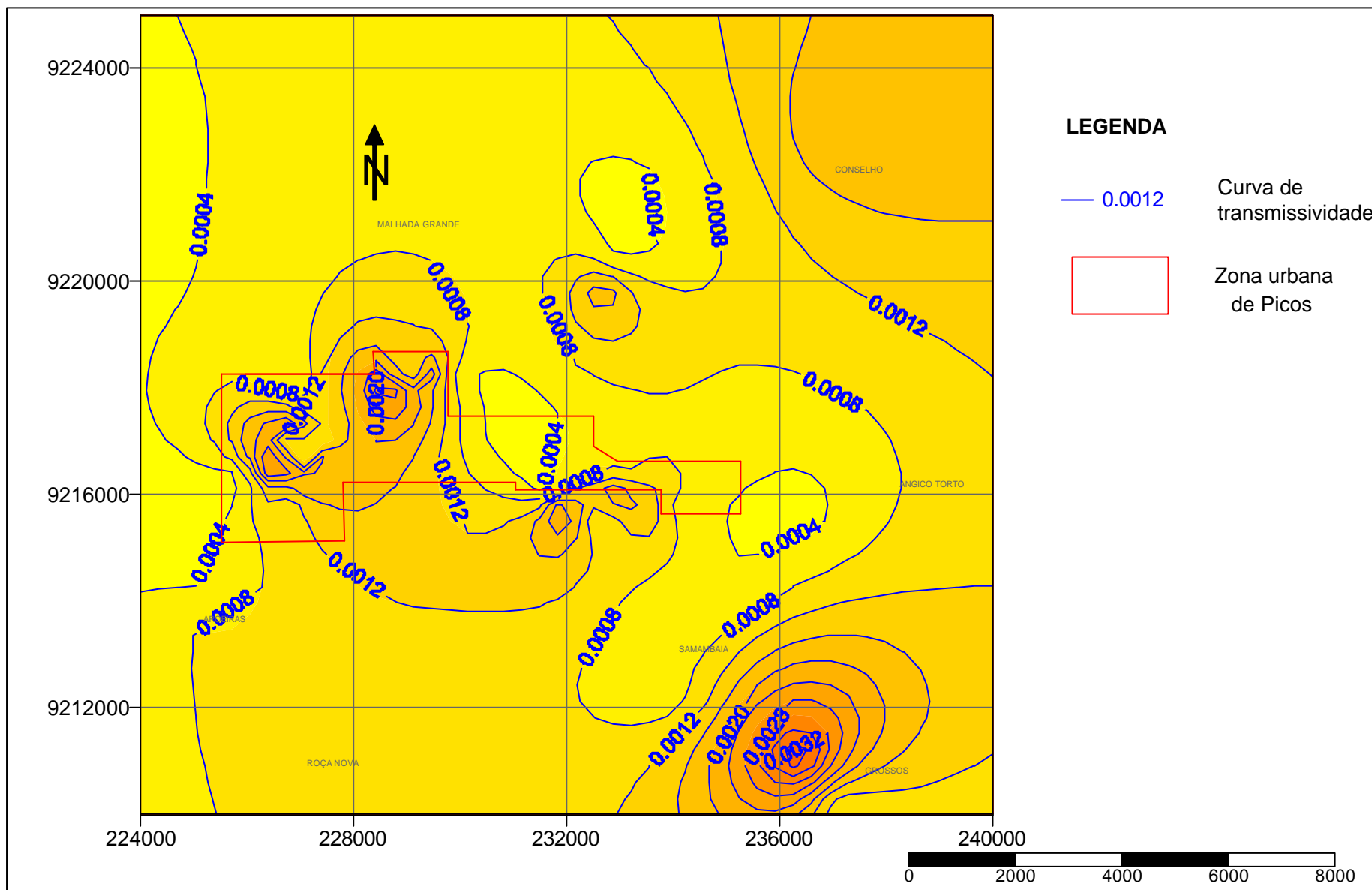
<b>Método utilizado para determinação da transmissividade</b>	<b>Correlação linear (%)</b>	<b>Correlação logarítmica (%)</b>
Theis	78	96
Hantush	78	96
Cooper & Jacob	85	98

Para se obter um maior número de valores de transmissividade e caracterizar a sua distribuição na área estudada, foi estabelecida a correlação entre os valores de capacidade específica e transmissividade, utilizando para estes os valores calculados anteriormente pelo método de Hantush, considerando que o Serra Grande se comporta como um aquífero confinado drenante. A equação empírica que melhor correlacionou estes dados foi  $T = 1,37 (Q/s)^{1,04}$ , que apresentou um coeficiente de correlação linear de 95% e de quase 98% na correlação logarítmica.

Utilizando-se essa equação e os dados disponíveis de capacidade específica de outros 47 poços, foram calculados mais valores para a transmissividade da área. Os resultados obtidos variaram de  $1,6 \times 10^{-4}$  a  $4,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  e serviram para elaboração do mapa de distribuição da transmissividade na área estuda, que apresentou a zona urbana do município como a de melhor potencial de transmissão de água (figura 8.5).

Analisando o mapa elaborado, concluiu-se que o mesmo não é confiável para definição de áreas para perfuração de novos poços no município, porque reflete simplesmente os resultados alcançados pelos poços mais profundos e de maior diâmetro, conseqüentemente os de maior capacidade produtiva.

Deve-se ressaltar que os valores obtidos para os parâmetros hidráulicos referem-se exclusivamente ao aquífero Serra Grande, considerando que todos os poços utilizados no trabalho atingem ao menos uma parte dessa formação e que a diferente capacidade entre as duas unidades hidroestratigráficas da área faz com que a água seja produzida quase que exclusivamente pelo aquífero inferior.



8.5 – Mapa de distribuição da transmissividade do aquífero Serra Grande

### **8.3. Poços produtores**

Em 1994, estavam cadastrados no município de Picos 484 poços produtores de água subterrânea, sendo que 351 destes estão localizados dentro da área definida para este estudo. Para se dispor de uma quantidade maior e mais atualizada de informações, a este total foram adicionados mais 4 poços perfurados na área, que apresentavam dados consistentes de teste de vazão.

Os 355 poços levantados estão localizados, preferencialmente, ao longo dos vales do rio Guaribas e do rio São João, com quase 92 %, deles concentrados numa distância máxima de 15 quilômetros, a partir da sede municipal (figura 8.6).

Na região, os poços normalmente atravessam toda a formação Pimenteiras e penetram parcialmente o aquífero Serra Grande. A profundidade final depende da espessura encontrada para as formações Pimenteiras e Cabeças, podendo variar de 40 metros, quando localizados em áreas de afloramento do membro Itaim da primeira formação, até 450 metros.

Devido a litologia das formações encontradas na área e por questões produtivas e econômicas, o perfil construtivo dos poços perfurados no município, de um modo geral, visa basicamente atravessar a formação Pimenteiras e avançar parte do aquífero Serra Grande, não existindo nenhum poço, na região, que tenha atravessado toda extensão dessa unidade.

Este perfil permite dois tipos básicos de completação, para os poços da região. Nos mais profundos, se isola completamente a formação Pimenteiras, explorando-se água exclusivamente da unidade inferior. Nos poços mais rasos, costuma-se isolar somente o membro superior Picos (argiloso), produzindo-se água conjuntamente do membro inferior Itaim (arenoso) e da formação Serra Grande.

Outra característica marcante dos poços do município é quanto a não utilização de filtros ranhurados na frente da zona produtora. Anteriormente, alguns poços mais antigos, costumavam ter sua zona produtora revestida. Porém, a partir da década de 70, devido à constituição litológica das formações, na completação dos poços não se utiliza mais nenhum tipo de filtro ou revestimento, deixando-se aberto todas as zonas produtoras. Com isto, foram eliminadas as perdas de cargas causadas ao fluxo d'água e permitiu-se a associação das águas subterrâneas dessas duas formações, possibilitando um melhor aproveitamento das suas potencialidades (figura 8.7).

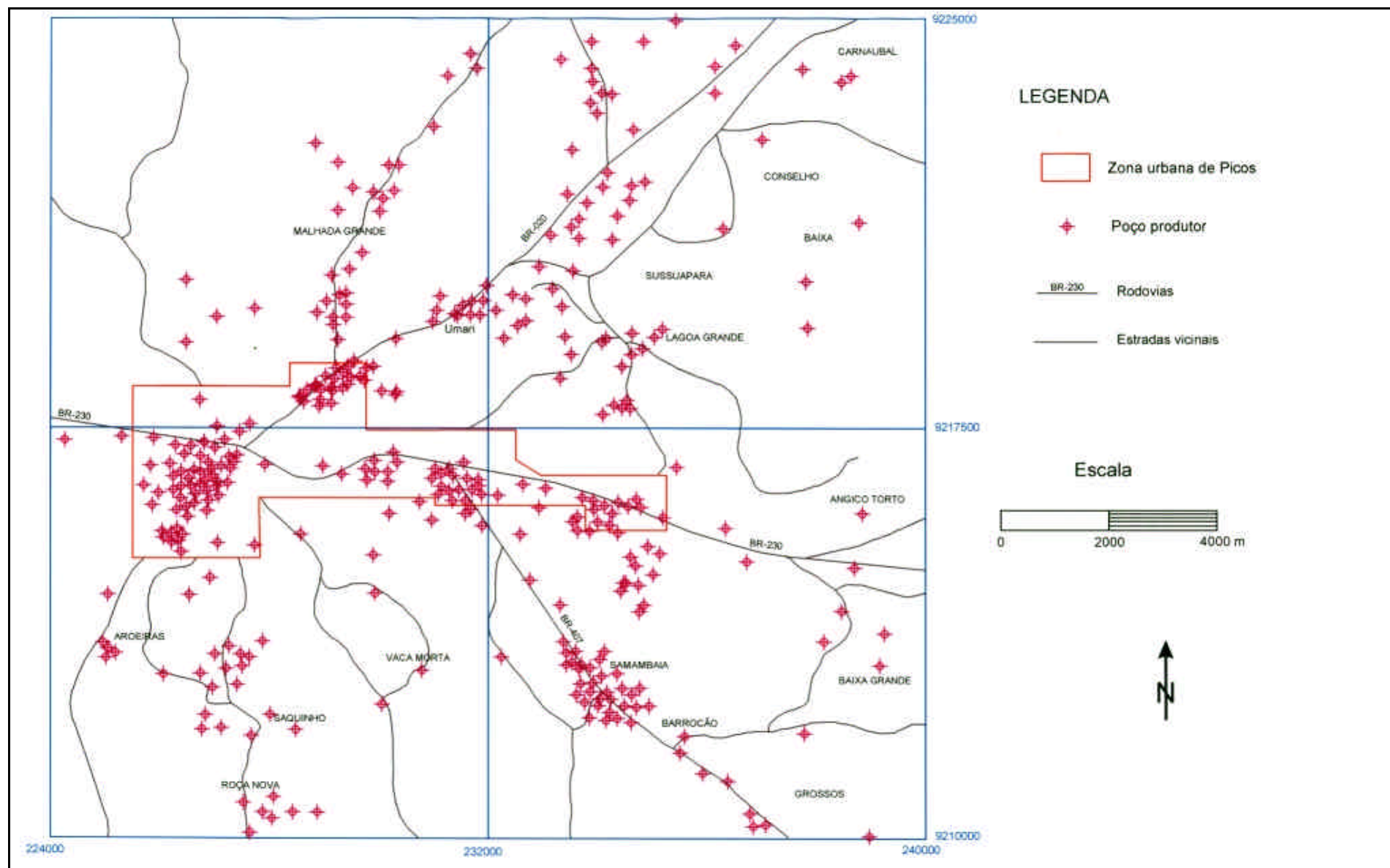


Figura 8.6 – Mapa de localização dos poços produtores



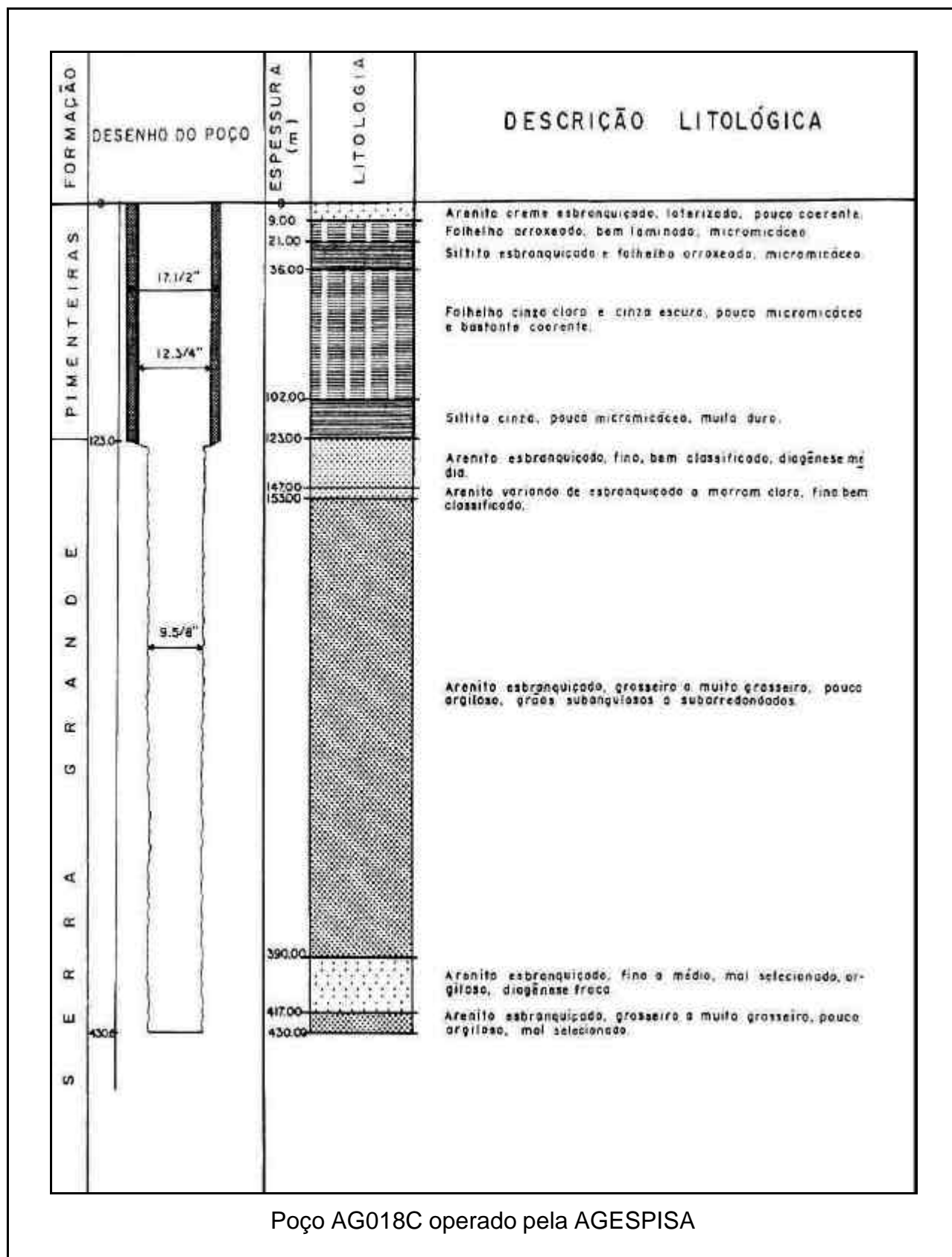


Figura 8.7 – Perfil construtivo típico dos poços produtores

Os parâmetros hidráulicos e adimensionais do aquífero Serra Grande, conjugados com as características construtivas descritas acima, possibilita que os poços perfurados na região de Picos apresentem boas vazões e elevadas capacidades específicas, principalmente quando comparados aos resultados obtidos pelos poços que exploram as outras unidades produtoras da área (tabela 8.4).

TABELA 8.4 – PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DOS POÇOS PRODUTORES

Aquífero	Profundidade Média (m)	Parâmetro							
		NE (m)		ND (m)		Q (m <sup>3</sup> /h)		Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	
		de	Até	de	até	de	até	de	até
Serra Grande	172	+15,80	323,00	3,50	340,00	1,50	144,00	0,08	15,00
Serra Grande/ Pimenteiras	140	+12,00	100,00	6,50	120,00	2,00	50,00	0,12	20,50
Pimenteiras	79	4,00	85,00	26,50	100,00	1,00	20,00	0,09	0,50
Cabeças	153	25,00	134,00	95,00	145,00	1,70	3,00	0,15	0,38

Convém ressaltar que a possibilidade de incremento de produtividade, a partir da associação das águas subterrâneas das duas formações, pode ser considerada duvidosa, devido as diferentes características hidráulicas e adimensionais das unidades envolvidas. Acredita-se que, em poços de capacidade específica elevada, a contribuição do aquífero Pimenteiras seja praticamente nula, estando a grande maioria dos poços captando água exclusivamente da formação Serra Grande.

A disponibilização de dados de níveis d'água, vazão e capacidade específica dos poços da região no cadastramento, induziu Soares F<sup>o</sup> (1993) e Branco et al. (1994) a calcularem um valor médio para estes parâmetros, determinando para o aquífero Serra Grande um nível estático médio de 16,88 metros e dinâmico de 29,98 metros, uma vazão média de 35,39 m<sup>3</sup>/h e uma capacidade específica de 5,25 m<sup>3</sup>/h/m.

Os resultados da análise das informações cadastradas mostraram que não é possível se estabelecer uma relação entre a profundidade, o nível potenciométrico e o ano de perfuração com a vazão e a capacidade específica dos poços, impossibilitando assim o uso desses valores médios num programa de gerenciamento para o aquífero.

A análise dos dados obtidos nos testes de bombeamento dos poços do município mostra uma grande variação em todos os parâmetros hidrodinâmicos, principalmente quanto à vazão e capacidade específica. Esta variação pode ser resultante de diversos fatores, normalmente associados, dentre os quais a localização geográfica dos poços, as alterações de litologia e permeabilidade dentro de uma mesma formação, a problemas técnicos ocorridos durante a construção das obras ou, principalmente, das diferentes espessuras atravessadas das unidades produtoras. Devido a isso, a potencialidade do aquífero Serra Grande, algumas vezes, não se reflete na produção dos poços.

Quando se analisam os dados levantados em relação à localização dos poços, verifica-se que aqueles perfurados nas áreas aflorantes da formação Pimenteiras, entre as chapadas do leste e do oeste, que atravessam mais de 100 metros do aquífero Serra Grande, apresentam capacidades específicas bastante elevadas, considerando que penetram apenas parcialmente a referida unidade.

Próximo à zona de recarga, a baixa capacidade específica encontrada e a profundidade do nível freático impossibilitam a exploração das águas para fins de irrigação. Em geral, as vazões dos poços produtores são suficientes apenas para o abastecimento de pequenas comunidades, a um custo operacional elevado.

A exploração de água subterrânea exclusivamente a partir da formação Pimenteiras, visando atender necessidades domésticas limitadas e pontuais, é feita através de poços amazonas, cacimbas e mais raramente por poços tubulares antigos, de pequena profundidade, construídos em casas, fazendas e pequenos povoados. Nas zonas onde estes poços foram perfurados em fácies arenosas, atravessando as maiores espessuras de arenitos, as capacidades situam-se entre 0,30 e 0,50 m<sup>3</sup>/h/m. Nas zonas onde os poços atingem o diabásio e/ou ocorre acentuada predominância de folhelhos e siltitos, a capacidade específica é da ordem de 0,06 m<sup>3</sup>/h/m.

No município, todos os poços que exploravam exclusivamente o aquífero Cabeças, encontravam-se desativados, abandonados e/ou obstruídos e por isso o aquífero não contribuía para o volume de água produzida.

A análise dos dados dos poços mostra que, da capacidade potencial de produção de água subterrânea no município, o aquífero Serra Grande seria responsável por 98% desse valor, o membro Itaim da formação Pimenteiras responderia pelos outros 2%, enquanto que o aquífero Cabeças e as aluviões não contribuiriam com valores mensuráveis.

#### **8.4. Balanço hídrico**

O balanço hídrico da área de interesse apresenta diversas dificuldades para a sua precisa elaboração, devido aos poucos e inconsistentes dados disponíveis para a região, ocorrendo em alguns casos a sua inexistência. Exemplificando, na região do município de Picos não existem postos pluviométricos instalados nos rios que cruzam a cidade, não estando portanto disponibilizados dados que permitissem a determinação do valor do escoamento básico do rio Guaribas. Este fato impossibilitou o uso desse parâmetro no cálculo da taxa de recarga.

A elaboração do balanço utilizou as informações cadastradas pelo único posto pluviométrico de Picos, instalado no ano de 1910 (SUDENE, 1990). De modo a não se utilizar uma informação pontual, foi feita uma comparação desses dados com os obtidos nos postos existentes em outros municípios da região leste do Piauí, principalmente daqueles situados na zona de recarga da formação Serra Grande.

A partir das médias pluviométricas da Micro-Região de Picos (tabela 8.5), verifica-se que o período das chuvas na região começa no mês de novembro e se estende até no máximo o mês de abril. O ano mais chuvoso no município estudado, entre 1910 a 1985, foi esse último quando a precipitação alcançou 1.433,9 mm, enquanto que o mais seco foi o ano de 1953 com apenas 200,0 mm.

As condições de recarga dos mananciais subterrâneos são fortemente influenciadas pela associação dos fatores litológicos e climatológicos da região. A litologia das unidades favorece a infiltração na zona de afloramento da formação Serra Grande, mas a prejudica enormemente na porção aflorante da formação Pimenteiras, área de interesse desse estudo. O índice pluviométrico e as altas taxas de evaporação e evapotranspiração, características do seu clima semi-árido, influenciam muito negativamente a recarga, ao proporcionar um baixo volume de água disponível para infiltração no terreno. Pode-se considerar que este clima também tem uma pequena contribuição positiva no processo, pois ao reduzir o nível de umidade do solo, aumenta a sua capacidade de absorção.

O cálculo estimativo da recarga do aquífero Serra Grande considerou, para a área de interesse, a existência de três fatores distintos contribuindo para volume total de água que esta unidade recebe anualmente.

TABELA 8.5 – DADOS PLUVIOMÉTRICOS DE MUNICÍPIOS DA MICRO-REGIÃO DE PICOS

Município	Índice Pluviométrico (mm)	Mês												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Picos	Mínimo	0,0	0,0	15,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	200,0
	Máximo	320,0	450,0	622,0	288,3	138,2	53,4	24,1	27,5	37,4	133,1	223,0	330,0	1.433,9
	Média	117,3	142,7	189,5	82,9	19,9	5,9	1,4	1,2	3,7	16,9	45,9	80,7	689,2
Jaicós	Mínimo	15,2	2,6	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	355,4
	Máximo	207,4	414,5	323,8	270,3	63,5	73,5	40,8	0,0	92,5	129,5	177,1	294,3	1.156,0
	Média	96,7	134,7	152,9	93,9	11,1	4,3	1,8	0,0	7,7	17,8	53,0	96,0	655,0
Itainópolis	Mínimo	0,0	13,0	28,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	1,0	192,9
	Máximo	306,3	322,5	399,5	355,8	88,7	47,2	17,6	13,0	19,0	126,0	146,8	242,0	1.103,8
	Média	118,8	136,7	136,4	113,0	17,0	5,9	2,3	1,1	2,9	19,0	54,0	87,6	681,3
Paulistana	Mínimo	25,3	0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	268,2
	Máximo	210,3	994,5	446,8	360,8	131,6	0,0	40,2	5,0	44,0	90,5	143,2	401,0	2.058,8
	Média	89,6	132,9	146,6	96,3	13,8	0,0	2,7	0,2	1,9	10,8	39,3	92,3	648,9
Região	Mínimo	40,1	3,9	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3	254,1
	Máximo	261,0	545,4	448,0	318,8	105,5	43,5	30,7	11,4	48,2	119,8	172,5	316,8	1.438,1
	Média	107,6	138,8	159,4	98,5	15,5	4,5	2,1	0,6	4,1	16,1	48,0	89,2	678,1

A primeira contribuição para o sistema ocorre na sua zona de afloramento, na borda leste da bacia do Parnaíba, através da infiltração direta da água das chuvas. Acompanhando o mergulho dos seus extratos, na direção NW, parte dessa água infiltrada percola até o nível freático, contribuindo para as reservas do aquífero e para elevação dos seus níveis. O volume dessa contribuição foi calculado considerando os diversos parâmetros envolvidos, entre eles a índice pluviométrico médio anual da zona de afloramento, a capacidade de infiltração do solo e as dimensões prováveis do aquífero na área de estudo.

De acordo com a análise dos dados levantados, a média pluviométrica da região é aproximadamente 678,1 mm/ano e a capacidade estimada de absorção de água pela formação seria da ordem de 25% do total da precipitação. A estimativa do valor da taxa de infiltração dos sedimentos aflorante dessa unidade foi feita com base nos valores de porosidade apresentados por rochas idênticas às encontradas na área (tabela 8.3) e no grau de umidade dos solos da região. Assim, foi estimado que a taxa de recarga nessa zona seria cerca de 169 mm/ano.

A área da frente lateral da formação Serra Grande, que receberia o fluxo subterrâneo de água, foi calculada considerando a espessura provável do aquífero na região, de 350 metros, e a extensão lateral de 15 quilômetros da área de estudo, resultando numa área de fluxo de 5,25 km<sup>2</sup>.

A partir desses valores, estimou-se que o volume da primeira parcela seria da ordem de  $0,89 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano para a recarga total do sistema.

A segunda contribuição de água para o aquífero Serra Grande, seria administrada pelas águas provenientes do aquífero Pimenteiras, a partir da infiltração vertical descendente. Segundo Verhagen et al. (1991), esta formação proporcionaria um volume da ordem de 3 a 10 mm/ano, para o total infiltrado anualmente na unidade. Neste trabalho, foi utilizado o valor de 7 mm/ano, considerado pelos autores como o mais indicado para a taxa de recarga da região.

Considerando a área estudada de 240 km<sup>2</sup> e a faixa de variação dos valores de infiltração, foi estimado que o volume infiltrado no sistema, através da formação Pimenteiras, estaria situado entre 0,72 e  $2,40 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, e que o valor mais provável seria da ordem de  $1,68 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano.

A última importante contribuição para a recarga das unidades hidrogeológicas considerada neste trabalho, estaria sendo proporcionada indiretamente, de modo não planejado, pela AGESPISA devido ao volume elevado de água explorado pela empresa

na área, que fez com que se acreditasse que uma parcela considerável estivesse retornando a subsuperfície, através de perdas na sua rede de distribuição.

Considerando o índice de perda d'água estimado para a empresa (item 9.3) e o volume bombeado por seus poços anualmente, calculou-se que o volume perdido pela AGESPISA seja da ordem de  $3,52 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Para efeito de recarga, foi utilizado apenas 80% deste valor, imaginando-se que ligações clandestinas e outros tipos de perdas possam ser responsáveis pelos 20% restantes. Com isso, estimou-se que a empresa estaria contribuindo com outros  $2,82 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano para os mananciais subterrâneos na sua zona de atuação.

A partir do somatório dessas três contribuições, foi estimado que o volume total de água infiltrada no sistema, considerando a área definida para este estudo, seria de aproximadamente  $5,39 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano.

De modo a se analisar as condições de recarga na zona urbana da cidade de Picos, foi calculado o volume infiltrado apenas nessa região, considerando uma área aberta ao fluxo lateral de 2,10 km<sup>2</sup>. A partir desse valor e mantidas as condições descritas anteriormente, a quantidade de água que entraria nessa zona seria reduzida para cerca de  $3,42 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano.

O valor estimado com que cada parcela contribui para a recarga do aquífero Serra Grande, tanto na área estudada quanto na zona urbana de Picos, estão apresentados na tabela 8.6.

TABELA 8.6 – RECARGA ESTIMADA DO AQUIFERO SERRA GRANDE NA ÁREA ESTUDADA E NA ZONA URBANA DE PICOS

Recarga (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)	Região	
	Área Estudada	Zona Urbana
Infiltração Lateral	0,89	0,35
Infiltração Vertical	1,68	0,25
Perda AGESPISA	2,82	2,82
<b>Total</b>	<b>5,39</b>	<b>3,42</b>

### **8.5. Fluxo da água subterrânea e nível potenciométrico**

O fluxo da água subterrânea na área estudada tem sido alterado ao longo do tempo devido a sua exploração através de poços perfurados na zona urbana do município de Picos, que produzem vazões elevadas para atender as demandas da população. A concentração desses poços no centro da cidade e na zona leste provoca atualmente dois grandes cones de rebaixamento, comprovados nas medições de nível estático dos poços mais antigos e na construção de novos poços.

Esta mudança no fluxo foi verificada nos mapas potenciométricos elaborados para diferentes períodos de tempo. O mapa construído a partir dos dados dos poços perfurados entre 1958 e 1969 (figura 8.8) mostra que a principal área de descarga era o rio Guaribas, porém o rebaixamento da superfície potenciométrica verificado na região (figuras 8.9, 8.10 e 8.11) fez com que o escoamento para essa drenagem fosse bastante reduzido. Pelos mapas verifica-se que a curva equipotencial de 229 metros encontra-se bastante afastada da posição original, aparecendo em seu lugar curvas abaixo de 213 metros.

O início efetivo da exploração das águas subterrâneas em Picos ocorreu no final da década de 50, quando a quase totalidade dos poços perfurados que atingiam a formação Serra Grande apresentavam jorros naturais (Kegel, 1961). Os dados levantados indicaram que nessa época a superfície potenciométrica natural do aquífero estaria situada entre 231 e 233 metros, normalmente acima da topografia da área.

Segundo Cruz & França (1967), o volume de água extraído dos aquíferos até 1966 e a interferência entre os cones de depleção dos poços produtores haviam acarretado a formação de um cone de rebaixamento na zona urbana do município, de cerca de 3,40 metros, bem caracterizado no mapa do período 1958-1969 pela curva equipotencial de 229 metros. Apesar dessa evolução da superfície potenciométrica, quase 70% desses poços perfurados ainda apresentavam-se jorrantes.

Segundo os registros dos poços construídos ao longo dos anos, estes jorros foram desaparecendo à medida que, descontrolada e concentradamente, foram sendo realizadas novas perfurações. O aumento da interferência entre os cones de depleção dos poços e o crescente aumento do volume extraído do aquífero resultou em níveis estáticos cada vez mais profundos nos novos poços perfurados no município.



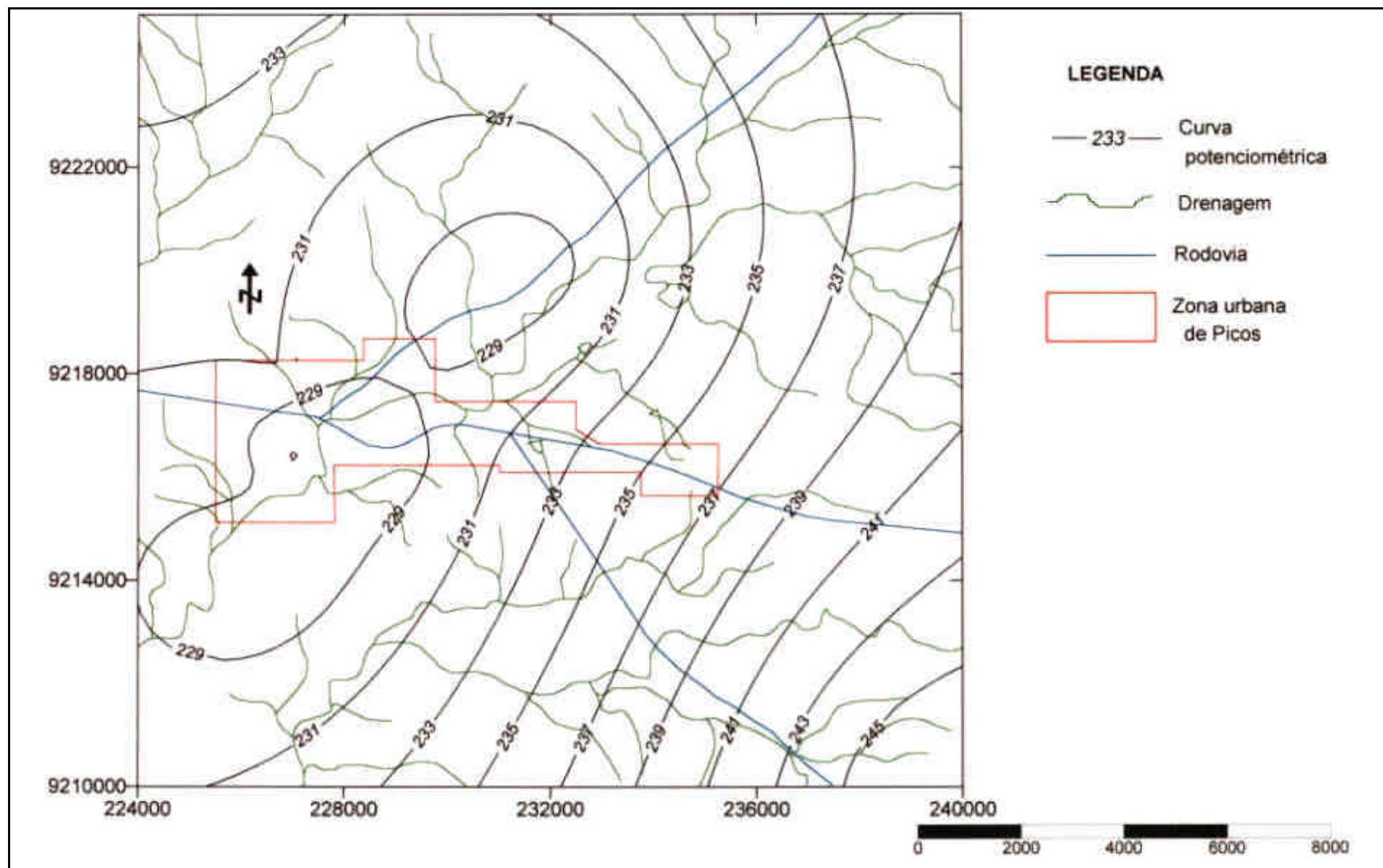


Figura 8.8 – Mapa Potenciométrico de 1958 a 1969

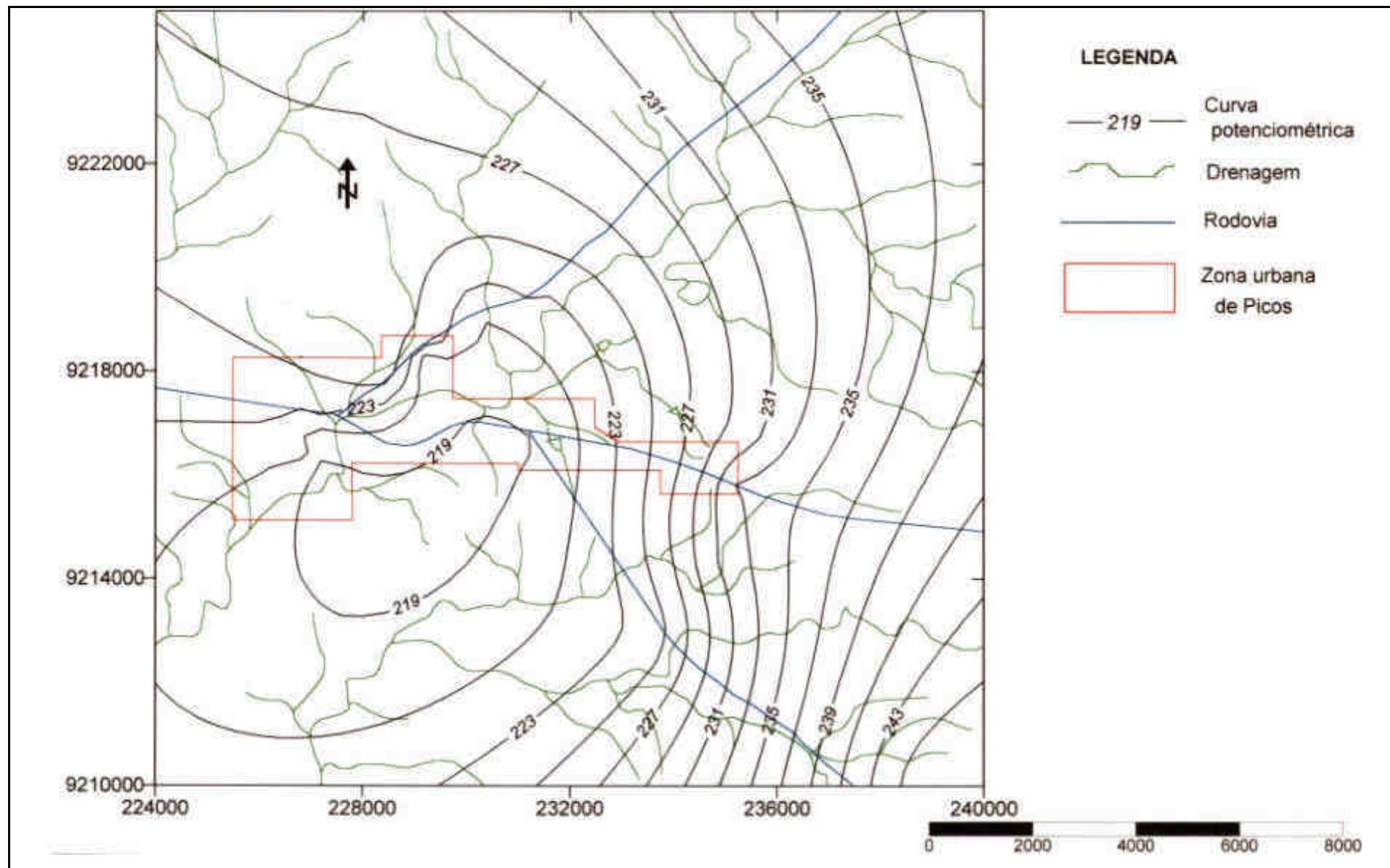


Figura 8.9 – Mapa Potenciométrico de 1970 a 1979

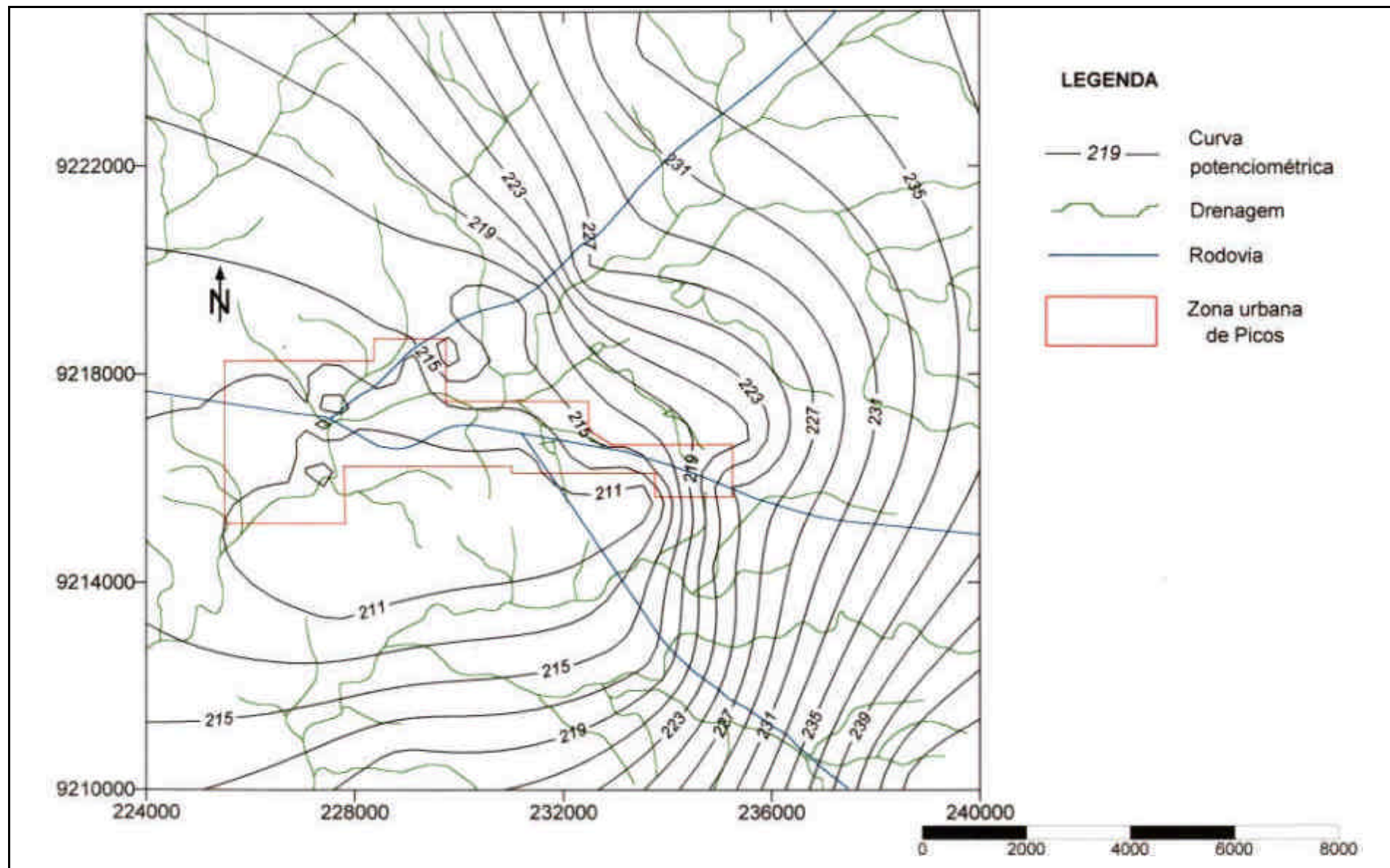


Figura 8.10 – Mapa Potenciométrico de 1980 a 1989

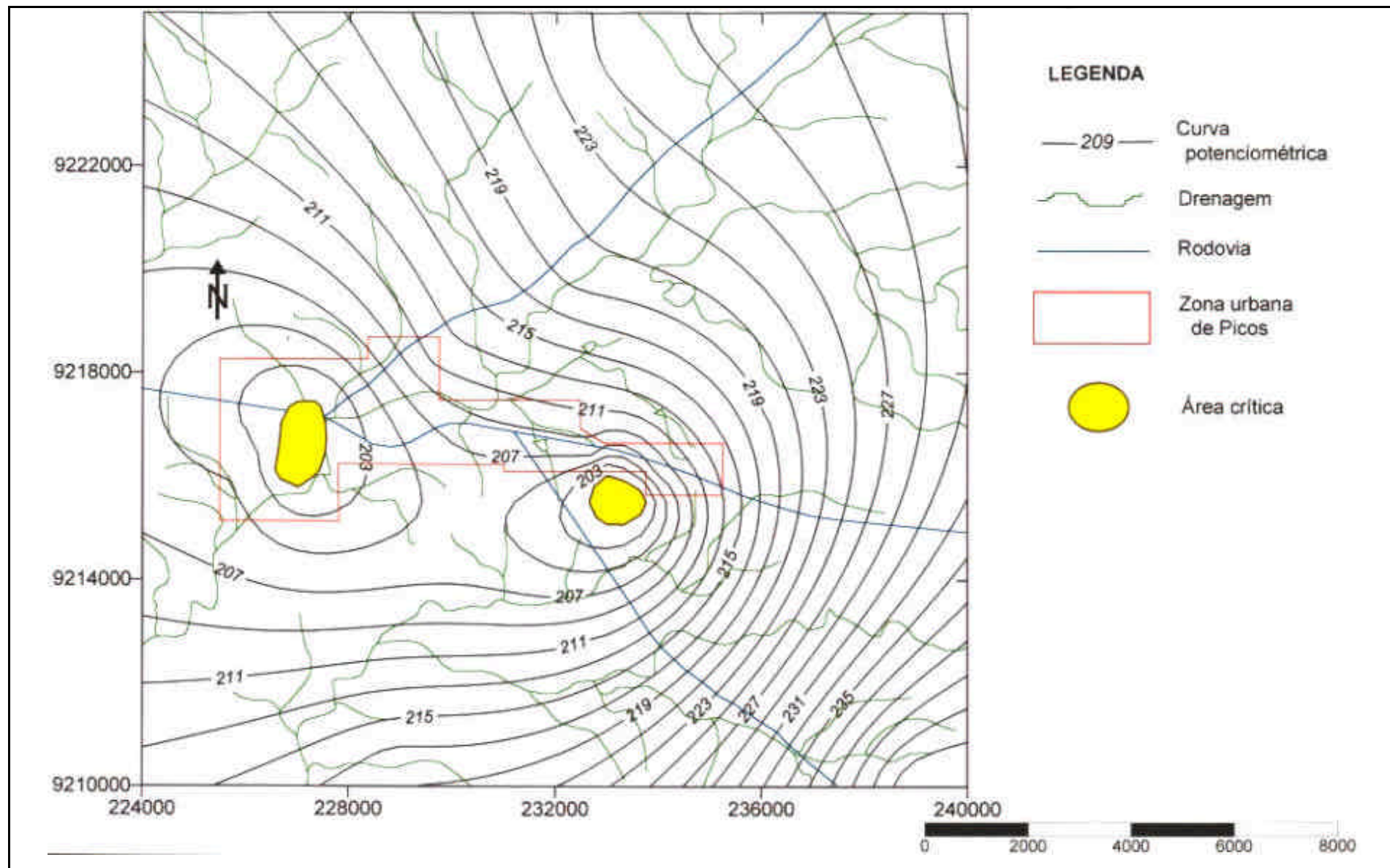


Figura 8.11 – Mapa Potenciométrico de 1990 a 2001

Os mapas dos períodos 1970-1979, 1980-1989 e 1990-2001 serviram para demonstrar a evolução do cone de rebaixamento na parte central da cidade e o surgimento de um segundo cone na zona leste da área urbana, bem caracterizados na curva equipotencial de 201 metros do mapa do último período. Comparando-se essa curva com a superfície natural do aquífero Serra Grande, comprova-se que o rebaixamento do nível potenciométrico na porção central da cidade e nas suas proximidades era da ordem de 30 metros no ano de 2001. Para melhor caracterizar esse quadro, foi elaborado um histórico dos níveis d'água registrados nos poços operados pela AGESPISA, cujos resultados estão apresentados na tabela 8.7.

TABELA 8.7 – EVOLUÇÃO DO NÍVEL POTENCIOMÉTRICO DOS POÇOS OPERADOS PELA AGESPISA

Poço	Ano	Nível Potenciométrico (m)
AG001C	1970	222.00
	1985	219.50
AG002C	1971	225.50
	1983	218.00
	1985	211.85
AG003C	1971	222.20
	1985	211.60
AG005C	1972	218.50
	1985	208.80
	2001	200.40
AG006C	1973	216.00
	1985	211.65
	2001	200.30
AG007C	1976	225.80
	1983	214.73
	2001	200.90
AG008C	1976	226.50
	1983	215.05
	2001	200.60
AG011L	1980	213.20
	1994	198.00
AG012L	1980	226.00
	2001	207.00
AG014L	1983	211.97
	2001	200.40
AG015C	1985	220.65
	2000	201.00
	2001	200.10
AG016C	1985	221.00
	2001	216.50
AG017C	1993	203.10
	2000	202.20
AG018C	1994	202.90
	2001	200.80

De modo a comprovar que o rebaixamento é mais pronunciado no centro da sede municipal, estão apresentados na tabela 8.8 dados de nível estático referentes a três poços localizados fora dessa área.

TABELA 8.8 – REBAIXAMENTO DO NÍVEL ESTÁTICO EM POÇOS DISTANTES DA SEDE MUNICIPAL

<b>Localidade</b>	<b>Distância ao centro da cidade (km)</b>	<b>Ano</b>	<b>Nível estático (m)</b>	<b>Rebaixamento (m)</b>
Bairro Ipueiras	1,5	1958	+5,70	26,90
		2001	21,20	
Bairro Umari	3,5	1968	0,00	19,80
		2001	19,80	
Cantinho	12,0	1959	+15,80	17,80
		2001	2,00	

## 9. Uso dos recursos hídricos no município de Picos

---

### 9.1. Histórico

Situado no entroncamento de importantes rodovias nordestinas e caminho entre a capital piauiense e os estados mais orientais da região Nordeste e o sul do Brasil, o município de Picos tem verificado um intenso processo de expansão urbana e conseqüente aumento da demanda hídrica desde o início da década de 50.

Em 1952, a cidade contava com uma população de 5.000 habitantes na zona urbana, abastecida quase exclusivamente pelo rio Guaribas, que se apresentava perene e alimentado pelas águas da chuva e dos arenitos da formação Cabeças e do membro Picos da formação Pimenteiras, que afloram na declividade oriental da chapada Batista, localizada ao norte da cidade.

A outra parte era fornecida por uma fonte, localizada a 4 km da sede municipal, e por alguns poços rasos que exploravam as porções arenosas do membro Picos. Devido às características litológicas dessas zonas, os poços apresentavam baixa produção, águas normalmente salobras e nível estático médio de 9,00 metros de profundidade (Kegel, 1953).

As águas contidas no membro Itaim e na formação Serra Grande eram praticamente inexploradas, à exceção era um único poço, com 57 metros de profundidade, perfurado em 1952. A água era de boa qualidade e o nível estático registrado era de 2,40 metros abaixo da superfície do terreno.

No ano de 1958, o município contava com uma população de aproximadamente 8.000 habitantes, sendo 5.000 deles moradores da zona urbana. Visando atender uma demanda hídrica total de  $0,54 \times 10^6 \text{ m}^3$  e de  $0,50 \times 10^6 \text{ m}^3$  da sede municipal, foram perfurados 5 poços em Picos, com profundidade média de 120 metros. Os poços atingiram apenas a parte superior da formação Serra Grande e todos se apresentaram jorrantes, com vazão média de  $280 \text{ m}^3/\text{d}$  (Kegel, 1961).

Segundo Cruz & França (1967), em 1966, o município registrava uma demanda de  $4,20 \times 10^6 \text{ m}^3$ , atendida em 95% por água subterrânea, para uma população total de cerca de 15.000 habitantes, dos quais 11.000 na zona urbana. A necessidade desta zona, da ordem de  $2,00 \times 10^6 \text{ m}^3$ , era produzida através de 60 poços.

Os registros de Soares F<sup>o</sup> (1993) indicam que, em 1991, Picos contava com uma população de aproximadamente 80.000 habitantes e a quantidade de água necessária ao seu abastecimento, da ordem de  $8,60 \times 10^6 \text{ m}^3$ , sendo que a zona urbana, com cerca de 45.600 pessoas, utilizava  $6,30 \times 10^6 \text{ m}^3$  destes recursos.

Neste mesmo ano, com a cidade já era totalmente fornecida por recursos subterrâneos, foram cadastrados 484 poços produtores na área do município, dos quais 412 encontravam-se em operação.

## **9.2. Quadro atual**

No ano de 2001, devido à emancipação de pequenos povoados da zona rural, a população do município havia diminuído para aproximadamente 69.000 habitantes, enquanto que a da área urbana havia crescido para cerca de 52.500 habitantes (IBGE, 2001). Nesta época, o município apresentava uma demanda hídrica anual da ordem de  $11,00 \times 10^6 \text{ m}^3$ , cujo atendimento era feito por mais de 500 poços produtores.

Para se analisar a situação da demanda e seu atendimento na área de interesse, foram considerados os 355 poços localizados dentro dos limites estabelecidos no capítulo 7. Esses poços foram divididos de acordo com a situação operacional em que se encontravam na época do inventário e classificados de acordo com o perfil dos seus proprietários, considerando a origem dos recursos financeiros da obra ou a fonte de consumo das águas.

Os poços operados pela concessionária de abastecimento público do Estado do Piauí (AGESPISA), responsável pelo atendimento da cidade de Picos, foram separados em uma classe especial para que fosse possível caracterizar mais adiante sua relevância frente às condições encontradas no município.

Os poços utilizados para o atendimento de grupos especiais de consumidores, nas zonas urbana e rural, foram classificados como particulares, enquanto aqueles perfurados pela prefeitura municipal para atendimento dos núcleos populacionais que não contam com sistema de abastecimento ou para manutenção de escolas, hospitais, praças, etc. foram denominados de públicos. Foram classificados de industriais os poços localizados em indústrias, cuja água destina-se a produção de um bem econômico. Devido a sua pequena participação no quadro atual, os poços produtores localizados em clubes, colégios, órgãos públicos e em estabelecimentos comerciais foram enquadrados como outros (tabela 9.1).



TABELA 9.1 – CLASSE DE PROPRIETÁRIOS E CONDIÇÕES DOS POÇOS NA ÁREA ESTUDADA

Proprietário	Ativos	Desativados	Sem Informação	Total
Particulares	214	16	05	235
Públicos	47	15	07	69
AGESPISA	15	03	--	18
Industriais	04	04	--	08
Outros*	23	02	--	25
<b>TOTAL</b>	<b>303</b>	<b>40</b>	<b>12</b>	<b>355</b>

\* clubes, colégios, órgãos públicos e estabelecimentos comerciais

Para determinação do volume de água produzido na área estudada em 2001, foram considerandos os 303 poços ativos e o perfil de cada classe de proprietários.

Os valores utilizados para a AGESPISA foram determinados a partir dos dados de capacidade do equipamento de bombeio instalado nos poços e dos registros das horas de operação do equipamento, fornecidos pela própria empresa.

Os volumes das demais classes de proprietários tiveram de ser inferidos pois os dados levantados no cadastramento dos poços e nos trabalhos de campo realizados não permitiram a determinação exata do volume das outras categorias, devido à inexistência de qualquer controle ou monitoramento do regime de produção dos poços.

Para se estimar a quantidade de água explorada por cada uma dessas classes, foi estabelecido um volume bombeado médio por poço, considerando o perfil de cada classe. Para os poços particulares da zona rural foi considerada a necessidade hídrica da população e dos rebanhos. Para as outras classes, o volume foi estimado com base no número de pessoas atendidas e no tipo de atividade desenvolvida

Foi calculado que, no ano de 2001, os poços produziram nesta área um volume aproximado de  $9,87 \times 10^6 \text{ m}^3$  ou cerca de 90% do total do município. Na tabela 9.2 estão discriminados os valores com que cada classe contribuiu para o atendimento da demanda hídrica do município, enquanto no gráfico 9.1 estão representados os percentuais de cada proprietário no volume total.

É importante ressaltar que enquanto os números da concessionária pública estão bem próximos dos valores reais, os das outras classes podem ser menores, se for considerado o número de horas e dias de operação de cada poço. Como exemplo, temos os poços localizados na zona rural, que atendem a população, a agricultura e os

rebanhos, onde uma importante parcela do total fica inativa uma boa parte do ano, funcionando principalmente em épocas de estiagens prolongadas, devido ao custo de energia elétrica e de manutenção das bombas.

TABELA 9.2 – VOLUME DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PRODUZIDA NA ÁREA ESTUDADA EM 2001, POR CLASSE DE PROPRIETÁRIO

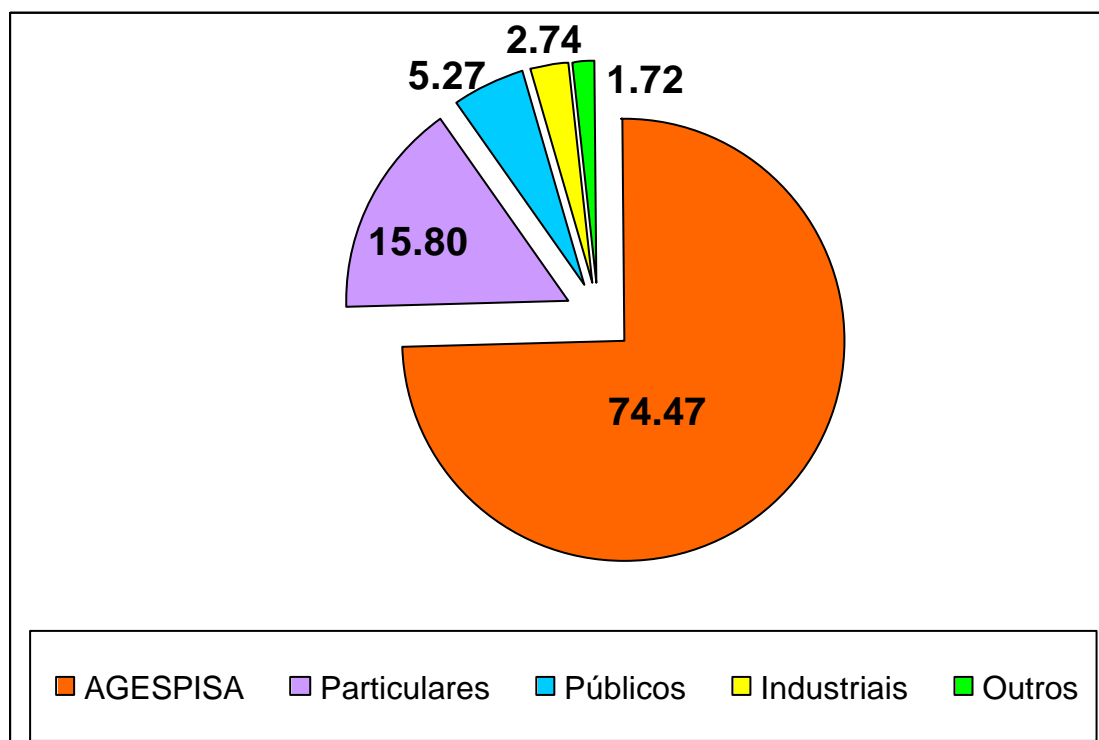
Proprietário	Volume Produzido		% Volume Total
	Diário (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d)	Anual (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)	
AGESPISA <sup>(1)</sup>	20,14	7,35	74,47
Particulares <sup>(2)</sup>	4,28	1,56	15,80
Públicos <sup>(3)</sup>	1,41	0,52	5,27
Industriais <sup>(2)</sup>	0,90	0,27	2,74
Outros <sup>(2)</sup>	0,46	0,17	1,72
<b>TOTAL</b>	<b>27,19</b>	<b>9,87</b>	<b>100</b>

(1) média para o período de agosto/00 a julho/01

(2) estimado pelo número de residentes/usuários, tipo de atividade e/ou tamanho do rebanho

(3) produção média de 30 m<sup>3</sup>/d por poço

GRÁFICO 9.1 – PERCENTUAL DO VOLUME PRODUZIDO NA ÁREA ESTUDADA EM 2001, POR CLASSE DE PROPRIETÁRIO



Como um dos objetivos principais era a caracterização das condições da água na zona urbana de Picos, um novo cálculo foi feito para determinar a quantidade de água bombeada dentro e nas proximidades da sede municipal.

Após a eliminação dos poços localizados na área rural, os resultados mostraram que o volume explorado na zona urbana foi de cerca de  $8,15 \times 10^6 \text{ m}^3$ , a partir de 122 poços ativos. Na tabela 9.3 estão os valores que cada proprietário produziu e o gráfico 9.2 representa os percentuais com que cada classe contribuiu para o total explorado.

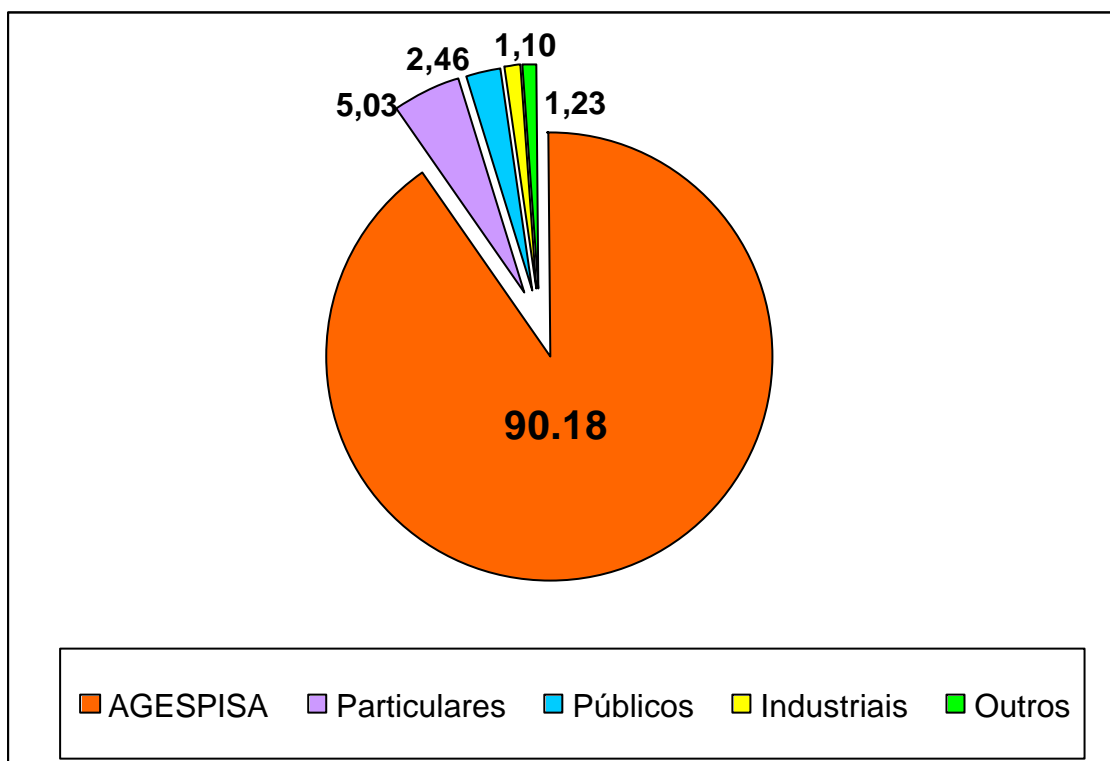
TABELA 9.3 – POÇOS ATIVOS E VOLUME PRODUZIDO NA ZONA URBANA DE PICOS EM 2001, POR CLASSE DE PROPRIETÁRIO

Proprietário	Poços Ativos	Volume Produzido ( $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ )	% Volume Total
AGESPISA	15	7,35	90,18
Particulares	72	0,41	5,03
Industriais	04	0,20	2,46
Públicos	10	0,09	1,10
Outros	21	0,10	1,23
<b>TOTAL</b>	<b>122</b>	<b>8,15</b>	<b>100</b>

De modo a possibilitar a análise da situação dos recursos hídricos, foi calculado o volume de água produzido a cada ano desde o início da exploração do sistema e o valor excedente em relação à recarga estimada no mesmo período.

A metodologia utilizada neste cálculo consistiu basicamente na determinação do volume bombeado anualmente desde 1958, considerando o ano em que cada poço foi perfurado, a classe do proprietário e o volume estabelecido para cada classe, excetuando-se a AGESPISA, para a qual foram considerados os valores produzidos por cada poço no ano de 2001. Foi estabelecido também que, para o período compreendido entre 1958 e 1966, seriam utilizados os valores disponibilizados no trabalho de Cruz & França (1967), devido a maior proximidade entre o ocorrido e o levantamento dos dados. Deste período em diante, o volume total de um determinado ano seria calculado a partir do valor estabelecido para o ano imediatamente anterior e do volume bombeado pelos poços que entraram em operação naquele ano.

GRÁFICO 9.2 – PERCENTUAL DO VOLUME PRODUZIDO NA ZONA URBANA DO DE PICOS EM 2001, POR CLASSE DE PROPRIETÁRIO



Os resultados, apresentados completos no anexo 3, mostraram que desde 1958 foi produzido um total da ordem de  $280 \times 10^6 \text{ m}^3$  de água subterrânea na área estudada e  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  na zona urbana de Picos.

Deve-se ressaltar que estes valores não são necessariamente exatos, refletindo mais uma ordem de grandeza, pois não foram considerados os volumes produzidos pelos poços cadastrados sem ano de perfuração ou abandonados, devido à impossibilidade de se determinar o período de operação de cada um deles. Apesar disso, os valores devem estar bem próximos da realidade, considerando a precisão dos dados até 1966 e os percentuais explorados pela AGESPISA a partir de 1970.

Prosseguindo com a análise da situação, foi determinada a quantidade de água disponibilizada diariamente por habitante no município de Picos, utilizando-se os dados apresentados nos trabalhos de Kegel (1953), Cruz & França (1970) e Soares F<sup>o</sup> (1993) e os calculados para o ano de 2001. Os resultados mostraram que os volumes disponibilizados para a população e seus rebanhos sempre foi bastante elevado, considerando os padrões internacionais e as condições sócio-econômicas do município. A evolução do volume bombeado e da disponibilidade, de acordo com o aumento populacional registrado, está apresentada de forma resumida na tabela 9.4.

TABELA 9.4 – CORRELAÇÃO ENTRE VOLUME PRODUZIDO E DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Ano	População (habitantes)		Volume Produzido ( $10^6$ m <sup>3</sup> /ano)		Disponibilidade Hídrica (L/hab/d)	
	Total	Urbana	Município	Zona Urbana	Município	Zona Urbana
1958	8.000	5.000	0,54	0,50	185	274
1966	15.000	11.000	4,20	2,00	767	498
1991	80.000	45.600	8,60	6,88	294	413
2001	69.000*	52.500	11,00	8,15	437	425

\* devido à emancipação de localidades rurais

A situação dos recursos hídricos de Picos em 2001 apresentou-se preocupante quando foram comparados os valores determinados para a recarga do sistema Serra Grande com os volumes de água produzidos na área estudada. Verificou-se que enquanto a recarga atingiu no ano aproximadamente  $5,39 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de água, foram extraídos  $9,87 \times 10^6$  m<sup>3</sup> no mesmo período, ou seja, 83% a mais do que o volume total infiltrado, gerando um déficit anual estimado de cerca de  $4,48 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

As condições se apresentavam ainda mais crítica quando foi considerada apenas a zona urbana do município, pois nesta o déficit estimado foi ainda maior, da ordem de  $4,73 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. De acordo com os dados desta zona, que representa apenas 15% da área anterior, no ano de 2001 foi produzido um volume de  $8,15 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de água, enquanto a recarga estimada atingiu cerca de  $3,42 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, ou seja, o valor bombeado foi quase 140% maior do que o infiltrado (tabela 9.5).

TABELA 9.5 – DÉFICIT DO SISTEMA SERRA GRANDE EM PICOS NO ANO DE 2001

Região	Recarga ( $10^6$ m <sup>3</sup> /ano)	Volume Produzido ( $10^6$ m <sup>3</sup> /ano)	Déficit	
			$10^6$ m <sup>3</sup> /ano	%
Área estudada	5,39	9,87	4,48	83
Zona Urbana	3,42	8,15	4,73	138

Considerando que a diferença entre a recarga e o volume produzido é retirada do sistema Serra Grande, pode-se concluir que este déficit seja um dos principais fatores do rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero, da ordem de 0,90 m/ano, registrado na zona urbana do município. Este valor ficou bem caracterizado através dos resultados obtidos no monitoramento realizado entre agosto de 2000 e julho de 2001 no nível estático do poço AG015C, localizado no centro da cidade (ver tabela 8.7).

De modo a se correlacionar à situação do aquífero Serra Grande na zona urbana de Picos com a exploração do sistema, foi elaborado um quadro comparativo entre a evolução do rebaixamento do nível d'água e o volume total produzido e o déficit hídrico gerado nesta zona a partir de 1958, apresentado na tabela 9.6.

TABELA 9.6 – CORRELAÇÃO ENTRE VOLUME PRODUZIDO, DÉFICIT HÍDRICO ACUMULADO E REBAIXAMENTO DO NÍVEL DO AQUIFERO SERRA GRANDE NA ZONA URBANA DE PICOS, DESDE 1958

<b>Até</b>	<b>Volume Produzido (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>Déficit Acumulado (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>Rebaixamento (m)</b>
1966	12,49	7,09	3,40
1991	121,52	80,93	21,60
2001	200,26	127,63	30,00

Diante desse quadro, constata-se que medidas gerenciais urgentes devem ser implementadas para se evitar danos irreparáveis aos recursos hídricos disponíveis na região e garantir o abastecimento futuro da população do município.

### **9.3. Relevância da concessionária pública**

Neste item estão apresentadas as informações referentes à concessionária pública AGESPISA e as análises desenvolvidas para caracterizar sua relevância frente à situação das águas subterrâneas na área de interesse, principalmente na zona urbana do município de Picos.

No ano de 1970, a AGESPISA assumiu a operação do sistema de abastecimento público da cidade, com a responsabilidade de garantir o fornecimento de água para sua população. Para atender esta necessidade, construiu desde então um total de 18 poços produtores para explorar exclusivamente o aquífero Serra Grande, perfurando-os sempre na área da sede municipal.

Segundo dados fornecidos pela própria empresa, no período de agosto de 2000 e julho de 2001 foram produzidos  $7,35 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de água, a partir de 15 poços ativos, com uma capacidade total instalada de  $24,47 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/d (tabelas 9.7 e 9.8).

Comparando estes números com as informações apresentadas nas tabelas 9.1 e 9.2, constatou-se a importância da concessionária dentro do quadro atual dos recursos hídricos, pois a AGESPISA foi responsável por quase 75% do volume explorado em 2001 na área estudada, operando apenas 5% dos poços produtores.

Considerando apenas a zona urbana, onde se localizam todos os poços da empresa e registrava o maior problema para as águas subterrâneas, constatou-se que o papel da empresa era ainda mais relevante, quando comparados com os dados disponibilizados na tabela 9.3. Verificou-se que, apesar de operar apenas 12% do total de poços localizados nessa região, a concessionária era responsável por mais de 90% do volume produzido anualmente.

Esperava-se que esta relevância fosse refletida em termos de responsabilidade no uso das águas subterrâneas, porém, após algumas análises, verificou-se que a AGESPISA não utilizava esses recursos da forma mais racional possível.

Primeiramente, analisando-se as condições de recarga do aquífero Serra Grande e o fato de que os poços da empresa captam água exclusivamente desse aquífero, constatou-se que o volume extraído anualmente pela AGESPISA gera no sistema um déficit de  $3,93 \times 10^6$  m<sup>3</sup> na área urbana de Picos. Verificou-se também que 10 dos seus poços estão na zona central da cidade, que 7 deles exploram vazões superiores a  $1,20 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/d e que esta região responde por cerca de 71% do total bombeado pela empresa (tabela 9.9).

TABELA 9.7 – VOLUME DIÁRIO E MENSAL PRODUZIDO PELOS POÇOS ATIVOS DA AGESPISA

Poço	Diário* (m <sup>3</sup> )	Mensal (m <sup>3</sup> )												
		08/00	09/00	10/00	11/00	12/00	01/01	02/01	03/01	04/01	05/01	06/01	07/01	TOTAL
AG001C	1.428,30	32.400	32.400	32.400	55.500	32.400	32.400	64.800	64.800	32.400	32.400	64.800	44.640	<b>521.340</b>
AG002C	795,30	25.524	25.524	26.784	25.020	24.876	24.444	24.156	25.632	24.876	25.590	11.092	26.780	<b>290.298</b>
AG005C	606,20	21.510	21.180	21.690	21.090	19.050	16.770	17.220	17.770	17.070	16.740	15.360	15.810	<b>221.260</b>
AG006C	1.565,20	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	47.600	<b>571.200</b>
AG007C	1.248,40	37.545	38.115	40.535	40.535	36.960	36.080	33.825	37.180	37.950	39.655	36.410	40.865	<b>455.655</b>
AG008C	559,40	18.500	17.700	18.600	15.450	18.600	18.225	16.625	18.100	17.080	18.450	16.175	10.675	<b>204.180</b>
AG009L	547,90	11.191	9.324	24.573	18.892	17.596	8.030	16.228	17.344	18.172	18.928	19.432	20.260	<b>199.970</b>
AG010N	355,10	11.160	9.510	10.620	10.800	11.160	11.160	10.080	11.160	10.800	11.160	10.800	11.160	<b>129.570</b>
AG011L	1.581,50	55.300	48.749	54.166	44.370	48.720	48.716	39.490	50.875	57.750	40.435	40.050	48.630	<b>577.251</b>
AG012L	1.454,90	46.980	46.980	46.980	46.980	46.980	36.828	46.980	34.208	39.312	59.520	37.044	42.244	<b>531.036</b>
AG014L	1.899,80	44.800	56.700	67.760	46.400	63.670	53.300	67.800	68.900	43.300	39.700	69.800	71.300	<b>693.430</b>
AG015C	2.198,20	61.200	70.200	73.600	73.600	73.600	54.600	69.100	72.400	50.800	60.900	69.400	72.940	<b>802.340</b>
AG016C	2.654,50	81.840	79.200	81.840	79.200	81.840	81.840	79.200	81.840	79.200	81.840	79.200	81.840	<b>968.880</b>
AG017C	1.410,20	37.020	29.100	57.600	53.650	57.600	29.952	36.064	39.952	40.384	49.272	40.456	43.620	<b>514.670</b>
AG018C	1.836,70	55.520	54.480	59.040	55.280	58.560	57.840	52.480	52.400	54.720	57.920	54.000	58.160	<b>670.400</b>
<b>TOTAL</b>	<b>20.141,60</b>	<b>590.090</b>	<b>586.762</b>	<b>663.788</b>	<b>634.367</b>	<b>639.212</b>	<b>557.215</b>	<b>621.558</b>	<b>640.161</b>	<b>571.424</b>	<b>600.110</b>	<b>611.619</b>	<b>636.524</b>	<b>7.351.830</b>

dados AGESPISA (agosto/2001)

\* média calculada a partir do volume anual produzido



TABELA 9.8 – CAPACIDADE INSTALADA DOS POÇOS OPERADOS PELA AGESPISA

Poço	Unidade de Bombeio	
	m <sup>3</sup> /h	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d
AG001C	90	2,16
AG002C	36	0,86
AG003C	desativado	--
AG004L	desativado	--
AG005C	30	0,72
AG006C	70	1,68
AG007C	60	1,44
AG008C	25	0,60
AG009L	36	0,86
AG010N	15	0,36
AG011L	80	1,92
AG012L	108	2,59
AG013C	desativado	--
AG014L	100	2,40
AG015C	100	2,40
AG016C	110	2,64
AG017C	80	1,92
AG018C	80	1,92
<b>Total</b>	<b>1.020</b>	<b>24,47</b>

dados AGESPISA (agosto/2001)

TABELA 9.9 – VOLUME EXPLORADO PELA AGESPISA POR ZONA DA CIDADE

Zona	Nº de Poços	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)	% Volume Total
Central	10	5,22	71,02
Leste	04	2,00	27,21
Nordeste	01	0,13	1,77
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>7,35</b>	<b>100</b>

A segunda análise foi feita comparando-se os dados obtidos durante os testes de vazão dos poços produtores com a capacidade das unidades de bombeio utilizada pela AGESPISA. O resultado mostrou que alguns poços estavam operando com equipamentos superdimensionados para a capacidade de produção do poço, enquanto outros operavam com bombas de capacidade inferior (tabela 9.10).

TABELA 9.10 – CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE TESTE DE VAZÃO E CAPACIDADE DAS UNIDADES DE BOMBEIO DOS POÇOS DA AGESPISA

Poço	Vazão de Teste (m <sup>3</sup> /h)	Capacidade das Unidades de Bombeio (m <sup>3</sup> /h)
AG001C	90	90
AG002C	90	36
AG005C	120	30
AG006C	103	70
AG007C	38	60
AG008C	51	25
AG009L	16	36
AG010N	40	15
AG011L	95	80
AG012L	80	108
AG014L	132	100
AG015C	128	100
AG016C	144	110
AG017C	53	80
AG018C	120	80

Numa última análise, elaborada a partir dos dados populacionais e do volume bombeado pela concessionária, constatou-se que o volume diário disponibilizado em rede pela AGESPISA na zona urbana de Picos é superior a 380 litros por habitante.

Segundo parâmetros internacionais, esse valor é extremamente elevado para uma cidade com o perfil sócio-econômico de Picos, o que indicava uma perda física considerável no sistema. Apesar de ter se procurado determinar o volume perdido pela concessionária, através da comparação entre dados de produção e faturamento, não foi possível calcular o índice exato de perda d'água da empresa no município, sendo necessário utilizar a seguinte metodologia para se obter um valor de referência.

Foi admitido preliminarmente que o volume de 200 L/hab/d seria mais do que suficiente para abastecimento de uma cidade do porte e das características de Picos. A partir desse dado, foi calculado o volume total que deveria estar sendo bombeamento e comparado com o volume atualmente explorado pela empresa. Estimou-se assim que o índice de perda d'água da AGESPISA seria da ordem de 48%, valor coerente como os apresentados por outras concessionárias de abastecimento público no Brasil.

Além desses números, dois fatos caracterizam bem a falta de parâmetros com que a empresa utiliza os recursos subterrâneos. Primeiro, a AGESPISA nunca realizou um teste de aquífero na região para determinar as reais condições do sistema Serra Grande e não realizou qualquer tipo de avaliação dos seus poços entre 1985 e 2001. Segundo, apesar dos problemas de perda física e de rebaixamento do nível potenciométrico, não tinha instalado em 2001 nenhum tipo de equipamento para monitoramento do volume produzido ou do nível d'água dos seus poços.

Considerando todos esses fatores, que acarretam um déficit hídrico acentuado na zona urbana do município, uma interferência maior entre os cones de rebaixamento dos poços e uma produção não otimizada, pode-se concluir que a AGESPISA seja atualmente a maior responsável pela situação do nível potenciométrico na área.

#### **9.4. Disponibilidade atual**

Verificada a situação atual de exploração do aquífero Serra Grande e para mais adiante se estabelecer às condições de sustentabilidade do sistema, era necessário determinar sua disponibilidade física e o custo atual de produção da sua água, considerando os parâmetros que condicionavam a recarga, o fluxo e o armazenamento de água em subsuperfície e os que envolvem a produção do recurso.

##### **9.4.1. Disponibilidade física**

Conforme os princípios apresentados no item 4.1, a disponibilidade física de um sistema aquífero pode ser determinada simplesmente pelo volume anual da sua recarga (*princípio clássico*), adicionando-se um percentual do volume armazenado (*variante clássica*) ou considerando também as novas condições do balanço hídrico e de armazenamento induzidas pela exploração do próprio sistema (*princípio moderno*).

Pelo conceito clássico, a recarga da formação Serra Grande, de  $5,39 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano na área estudada e  $3,42 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano na zona urbana de Picos, seria a sua disponibilidade física atual. Porém, este limite é menor do que o volume explorado atualmente em cada uma delas e a diferença, de  $4,48 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano e  $4,73 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano respectivamente, fornecida por recursos armazenados no próprio sistema ou resultantes da nova condição de recarga destas regiões.

Comparando-se estes déficits com o volume total armazenado pelo aquífero Serra Grande, da ordem de  $21,00 \times 10^9$  m<sup>3</sup> na área estudada e  $3,06 \times 10^9$  m<sup>3</sup> na zona urbana (considerando uma porosidade efetiva de 25%), verifica-se que os mesmos representam apenas 0,025% e 0,18% das reservas respectivas. Isto poderia levar a afirmar que o aquífero teria uma elevada disponibilidade física, mesmo considerando que apenas uma parcela dos recursos armazenados é realmente liberada pela formação durante o processo de produção.

Antes desta afirmativa, porém, foi calculado o volume liberado pela variação volumétrica do aquífero Serra Grande, utilizando-se o valor mediano do coeficiente de armazenamento obtido na interpretação dos testes de bombeamento pelo método de Hantush (item 8.2.1) e a equação 9.1. Os resultados mostraram que o aquífero libera para a área estudada cerca de  $0,11 \times 10^6$  m<sup>3</sup> para cada metro de variação da sua carga hidráulica e  $0,02 \times 10^6$  m<sup>3</sup> para a zona urbana.

$$Q = A \Delta h S \quad (9.1)$$

onde

Q = volume liberado pelo aquífero [ $L^3$ ]

A  $\Delta h$  S = variação volumétrica do armazenamento [ $L^3$ ]

A = área do balanço [ $L^2$ ]

$\Delta h$  = variação da carga hidráulica [L]

S = coeficiente de armazenamento [ $L^3 L^{-2} L^{-1}$ ]

considerando  $\Delta h$  igual a 1 metro e S igual a  $4,4 \times 10^{-4}$

para área estudada =  $240 \text{ km}^2 = 240 \times 10^6 \text{ m}^2$

$$Q = 4,4 \times 10^{-4} \times 240 \times 10^6 \times 1 \Rightarrow \boxed{Q = 0,11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{m}}$$

para área da zona urbana de Picos =  $35 \text{ km}^2 = 35 \times 10^6 \text{ m}^2$

$$Q = 4,4 \times 10^{-4} \times 35 \times 10^6 \times 1 \Rightarrow \boxed{Q = 0,02 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{m}}$$

Considerando que o rebaixamento do nível do aquífero foi de 0,90 metro entre agosto de 2000 e julho de 2001, estima-se que foram retirados cerca de  $0,10 \times 10^6 \text{ m}^3$  de água do volume armazenado na área estudada e  $0,02 \times 10^6 \text{ m}^3$  na zona urbana. Conclui-se que para atender o volume bombeado nestas duas regiões, foram incorporados cerca de  $4,38 \times 10^6 \text{ m}^3$  na primeira e  $4,71 \times 10^6 \text{ m}^3$  na segunda.

Para o período 1958 – 2001, considerando o rebaixamento de 30 metros registrado na sede municipal e o déficit total estimado, calcula-se que a quantidade de água incorporada foi da ordem de  $127 \times 10^6 \text{ m}^3$  apenas na área urbana do município.

Os resultados obtidos nesse cálculo e mais algumas informações levantadas demonstram que as condições originais de recarga do aquífero Serra Grande foram realmente alteradas com a sua exploração, provocando a adição de novos componentes ao seu balanço hídrico.

A principal informação diz respeito ao desaparecimento de todas as principais lagoas da região e a diminuição do volume de escoamento do rio Guaribas, que passou a apresentar um caráter intermitente durante a maior parte do ano, mesmo antes da construção de uma barragem no município vizinho de Bocaina.

Outro dado importante foi à previsão criteriosa da posição da superfície piezométrica do aquífero apresentada por Cruz & França, em 1967. Segundo os autores, se fossem mantidas as condições verificadas na época da elaboração do trabalho, quando o volume total produzido na área atingisse cerca de  $140 \times 10^6 \text{ m}^3$ , o rebaixamento do nível d'água seria da ordem de 78 metros na cidade de Picos. Este valor está muito distante dos 30 metros efetivamente registrados, apesar do volume bombeado ter atingido quase  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$  apenas na zona urbana do município.

Neste trabalho, não foi possível mensurar o total de recursos hídricos e a parcela disponível, na área estudada ou nas regiões vizinhas, que poderia ser incorporada ao volume já existente nesta área, devido aos inúmeros parâmetros que regem o sistema e a complexidade dos cálculos.

Como conseqüência, não foi possível determinado o valor do limite físico atual do aquífero Serra Grande, concluindo-se apenas que a sua disponibilidade física é superior ao imposto pelas suas condições originais de recarga e que a mesma está diretamente relacionada com a quantidade de água disponível na região que ainda pode ser incorporada ao seu sistema.

#### **9.4.2. Custo de produção da água subterrânea**

Apesar de dispor de uma quantidade considerável de recursos hídricos em subsuperfície, o custo financeiro para produção da água subterrânea no município de Picos vem crescendo ao longo dos anos, em conseqüência da sua própria exploração.

De acordo com os dados levantados, a exploração desses recursos na área estudada provocou a diminuição da vazão escoada para as drenagens superficiais e, principalmente, o rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande.

Por sua vez, o rebaixamento já acarretou dois problemas para a produção de água na região. O primeiro foi à necessidade de utilização de equipamento de bombeio nos poços, instalados numa profundidade cada vez maior, à medida que progressivamente evolui o nível d'água. O segundo problema foi à perfuração de poços produtores mais profundos e com maiores câmaras de bombeamento. Até o final da década de 80, os poços do município eram construídos com uma profundidade média de 120 metros, porém, a partir de meados da década de 90, são perfurados com uma profundidade mínima de 160 metros, para atingir a mesma capacidade produtiva.

Esses problemas se refletiram diretamente no custo de produção da água no município estudado. A utilização de bomba demanda investimentos para aquisição do equipamento e gastos com energia elétrica, que crescem à medida que unidades mais potentes são instaladas a maiores profundidades. A alteração do perfil dos poços também demanda maiores investimentos na construção e manutenção das obras.

Como o custo do recurso hídrico é estabelecido pela relação entre os valores investidos na exploração e o volume bombeado, constata-se que o custo financeiro para produção da mesma quantidade de água se torna cada vez mais elevado na área.

Esta elevação do custo da água, aparentemente, não tem causado preocupação à concessionária de abastecimento público, que apenas a transfere para o preço de venda, acreditando talvez que sempre haverá demanda da população pelo recurso.

Apesar de concordar que as populações estarão dispostas a pagar um preço elevado para usufruir desses recursos, considera-se que exista um limite econômico para o custo de produção da água, para cada situação ou região, a partir do qual sua exploração se torna insustentável.

Assim, de modo a definir um valor comparativo e possibilitar a determinação da disponibilidade econômica do aquífero Serra Grande, foi calculado o custo de produção da água ( $C_{PA}$ ) em Picos pela AGESPISA, em 2001. É preciso ressaltar que, devido à insuficiência de dados, foi calculado apenas o custo de um dos poços da empresa.

O poço produtor selecionado para ter seu custo determinado foi o de número AG018C, por estar localizado dentro da zona mais crítica de exploração, bombear diariamente um elevado volume de água e ser o último colocado em operação pela empresa no município. Este poço foi perfurado pela CPRM, no ano de 1994, com uma profundidade total de 430 metros e revestido até 122 metros, sendo sua zona produtora deixada aberta ao fluxo da água. Este fato demonstrou a excelente capacidade específica do aquífero Serra Grande, da ordem de  $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , com o poço apresentando uma vazão de teste de  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  para um rebaixamento de 13 metros.

O primeiro passo para calcular o custo da água foi estimar a despesa total anual que a AGESPISA tem para produzir com esse poço, denominado de Custo Total de Produção ( $C_{TP}$ ), a partir da equação 4.6. Neste cálculo foram considerados os valores decorrentes da amortização da obra e da unidade de bombeio e os gastos com energia elétrica e operação e manutenção dos equipamentos. É preciso ressaltar que alguns dos itens desta despesa foram apenas estimados, visto que a empresa não disponibilizou os valores efetivamente desembolsados.

Segundo valores de agosto de 2002, o poço AG018C teve um custo de perfuração e completação de aproximadamente R\$ 258.000,00 e a bomba submersa instalada, com capacidade para produzir 80 m<sup>3</sup>/h e vencer 70 metros de altura manométrica, tem uma potência de 27,5 kW e foi adquirida por cerca de R\$ 10.720,00.

Pela matemática financeira, a equação para o cálculo da amortização de um bem, considerando a sua vida útil, é dada por:

$$A = P i \left[ \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (9.2)$$

onde

A = Amortização do bem ao longo da vida útil [\$/T]

P = Preço presente do bem [\$]

i = Taxa de juros [%/T]

n = Vida útil do bem [T]

Considerando uma taxa anual de juros de 7% e uma vida útil de 20 anos para o poço produtor e de 7 anos para a bomba submersa, o valor obtido para o custo anual de amortização do poço foi de R\$ 24.353,37 e para a bomba foi de R\$ 2.034,48. No caso das bombas, foi preciso antes calcular o valor presente de três bombas, que deverão ser adquiridas ao longo da vida útil do poço.

### 1) Amortização do poço ( $A_P$ )

$$A_P = P i \left[ \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 258.000,00 \times 0,07 \times \left[ \frac{(1+0,07)^{20}}{(1+0,07)^{20} - 1} \right]$$

$$\boxed{A_P = \text{R\$ } 24.353,37/\text{ano}}$$

### 2) Valor presente das bombas ( $P_B$ )

a) valor presente da primeira bomba ( $P_{B1}$ ) = R\$ 10.720,00

b) valor presente da segunda bomba ( $P_{B2}$ )

$$P_{B2} = \left[ \frac{F}{(1+i)^n} \right] = \left[ \frac{10.720,00}{(1+0,07)^7} \right] \Rightarrow \boxed{P_{B2} = 6.675,88}$$



c) valor presente da terceira bomba ( $P_{B3}$ )

$$P_{B3} = \left[ \frac{10.720,00}{(1+0,07)^{14}} \right] \Rightarrow \boxed{P_{B3} = 4157,40}$$

como

$$P_B = P_{B1} + P_{B2} + P_{B3}$$

então

$$P_B = 10.720,00 + 6.675,88 + 4.157,40 \Rightarrow \boxed{P_B = 21.553,28}$$

3) *Amortização da bomba ( $A_B$ )*

$$A_B = 21.553,28 \times 0,07 \times \left[ \frac{(1+0,07)^{20}}{(1+0,07)^{20} - 1} \right] \Rightarrow \boxed{A_P = R\$ 2.034,48/\text{ano}}$$

O custo da energia elétrica gasta em um ano pela AGESPISA para operação do poço AG018C foi calculado com base na potência nominal da bomba, no tempo de bombeamento necessário para produção do volume bombeado pelo poço no ano e no preço do quilowatt cobrado pela concessionária do estado do Piauí. O valor obtido para a despesa anual da empresa com energia elétrica neste poço foi de R\$ 61.004,72.

como

$$C_{EE} = P_{OT} \times t_B \times P_{EE} \quad (9.3)$$

onde

$C_{EE}$  = Custo da energia elétrica (R\$)

$P_{OT}$  = potência nominal da bomba (kW)

$t_B$  = tempo de bombeamento (h)

$P_{EE}$  = preço do quilowatt (R\$/kWh)

Considerando

potência da bomba do poço AG018C = 27,5 kW

tempo de bombeamento do poço AG018C em um ano = 8.380 horas

preço do quilowatt no Piauí para grandes consumidores = R\$ 0,26472/kWh

então:  $C_{EE} = 27,5 \times 8.380 \times 0,26472 \Rightarrow \boxed{C_{EE} = R\$ 61.004,72/\text{ano}}$

Os gastos anuais da concessionária com a operação e manutenção deste poço foram estimados em R\$ 12.900,00, com base num percentual estabelecido de 5% sobre o custo de construção da obra.

Custo de operação e manutenção do poço AG018C ( $C_{OM}$ ) = 5% do custo de AG018C

$$C_{OM} = 0,05 \times 258.000,00 \Rightarrow \boxed{C_{OM} = R\$ 12.900,00/\text{ano}}$$

Somando-se todos os valores gastos, de acordo com a equação 4.6, calcula-se que a AGESPISA teve um custo total de produção de R\$ 100.292,57 com o poço AG018C, entre agosto de 2000 e julho de 2001. Analisando o resultado, verifica-se que o gasto com energia elétrica representa cerca de 60% do valor total, o que demonstra a influência deste parâmetro no custo de produção da água.

$$C_{TP} = A_P + A_B + C_{EE} + C_{OM} = 24.353,37 + 2.034,48 + 61.004,72 + 12.900,00$$

$$\boxed{C_{TP} = R\$ 100.292,57/\text{ano}}$$

Utilizando o volume total ( $Q_T$ ) produzido a partir deste poço no período estudado ( $670.400 \text{ m}^3$ ) e a equação 4.7, estima-se que o custo da empresa tenha sido de R\$ 0,15 por metro cúbico de água produzido no ano de 2001, segundo valores de agosto de 2002.

$$C_{PA} = \frac{C_{TP}}{Q_T} = \frac{100.292,57}{670.400} \Rightarrow \boxed{C_{PA} = R\$ 0,15/\text{m}^3}$$

Considerando que a AGESPISA cobrava R\$ 0,60 por metro cúbico de água distribuída no mesmo período, para a faixa de consumo mínimo mensal, e simplificando seu sistema de tarifação, pode-se concluir que o custo de produção correspondia à cerca de 25% do preço de venda do produto.

Apesar de reconhecer que tal custo pode não ser exato, devido as diferentes características construtivas dos poços da região e as simplificações realizadas nos cálculos, o valor obtido será utilizado como parâmetro para o custo de produção da água subterrânea no município de Picos em 2001.

### 9.5. Previsão dos cenários futuros

Para modelar a evolução futura do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande e estabelecer um programa de gerenciamento sustentável para os seus recursos, era fundamental estimar o volume de água subterrânea a ser explorado para atender o aumento da população da zona urbana de Picos, no período de 50 anos, contado a partir do ano de 2002.

Neste cálculo, foi considerado que a taxa média de crescimento da população do município seria da ordem de 1,4% ao ano, a mesma verificada na década de 90 (IBGE, 2000), e que a exploração das águas subterrâneas na cidade pode ocorrer dentro de dois cenários. No primeiro, o volume bombeado cresceria também na faixa de 1,4% ao ano, de modo a manter o mesmo volume diário disponibilizado atualmente por habitante, ou seja, o modelo de exploração seria o de *gestão da oferta*. No segundo, seria implantado um programa para gerenciar o uso da água, disponibilizando para a população um volume coerente com os observados em regiões ou países mais desenvolvidos, ou seja, a exploração dos recursos ocorreria dentro de um modelo de *gestão da demanda* (item 5.2).

Os resultados destas estimativas, apresentados completos no anexo 4 e 5, mostraram que a população urbana de Picos deve dobrar no período estabelecido, passando dos atuais 52.500 para algo em torno de 105.000 habitantes. Para atender esta população pelo modelo da oferta, o volume anual de água subterrânea nesta zona também deverá dobrar, subindo para mais de  $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ , e o volume total produzido nos próximos 50 anos pode atingir cerca de  $718 \times 10^6 \text{ m}^3$  na área estudada e quase  $600 \times 10^6 \text{ m}^3$  na zona urbana (tabelas 9.11 e 9.12).

TABELA 9.11 – ESTIMATIVA DO VOLUME ANUAL A SER EXPLORADO PELA *GESTÃO DA OFERTA*

Ano	População Urbana	Volume a ser explorado ( $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ )		
		Área Estudada	Zona Urbana	AGESPISA
2005	55.500	10,43	8,62	7,77
2011	60.350	11,35	9,37	8,45
2016	64.700	12,16	10,04	9,06
2031	79.700	14,98	12,37	11,16
2051	105.250	19,79	16,34	14,74

TABELA 9.12 – ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL A SER EXPLORADO A PARTIR DE 2002, PELA GESTÃO DA OFERTA

Até	Volume total a ser explorado (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
	Área Estudada	Zona Urbana
2016	165,80	136,98
2022	242,42	200,28*
2024	269,41*	222,58
2051	717,80	593,03

\* valor mais próximo ao registrado no período 1958 - 2001

Comparando-se estes números com valores obtidos para o período de 1958 a 2001, verificou-se que o volume explorado na área até hoje (da ordem de  $280 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) pode dobrar nos próximos 23 anos e atingir um total de quase  $1.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ , entre 1958 e 2051, cerca de 3,6 vezes maior do que o registrado em 2001.

Na zona urbana, o valor poderá dobrar em 20 anos, atingindo um total aproximado de  $800 \times 10^6 \text{ m}^3$  em 2051, cerca de 4 vezes superior ao registrado nos primeiros 43 anos de exploração do sistema (da ordem de  $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

Esta previsão de volume mostra uma situação preocupante quando analisadas junto com as condições de recarga encontradas na região, pois se estimou que o déficit hídrico anual do sistema pode alcançar quase  $12 \times 10^6 \text{ m}^3$  na área estudada e mais de  $10 \times 10^6 \text{ m}^3$  na zona urbana, e gerar um déficit total da ordem de  $358 \times 10^6 \text{ m}^3$  nesta última (tabela 9.13).

TABELA 9.13 – ESTIMATIVA DO DÉFICIT HÍDRICO PELA GESTÃO DA OFERTA

Ano	Déficit Hídrico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)			
	Área Estudada		Zona Urbana	
	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado
2016	6,12	79,87	5,97	80,57
2022	6,87	119,18*	6,54	118,37
2023	7,00	126,19	6,64	125,01*
2051	11,56	384,21	10,08	357,78

\* valor mais próximo ao registrado no período 1958 - 2001

A comparação com os valores estimados para o período anterior mostrou que o déficit da zona urbana pode dobrar nos próximos 22 anos e atingir um valor total superior a  $480 \times 10^6 \text{ m}^3$  no período 1958 – 2051, também 4 vezes superior ao registrado em 2001 (da ordem de  $127 \times 10^6 \text{ m}^3$ ).

Na segunda estimativa, dentro de um cenário de gerenciamento pela demanda, foi considerado que: 1) o volume a ser explorado cresceria no mesmo percentual anterior até o final de 2003; 2) a partir de 2004, a AGESPISA reduziria o volume de produção para um valor correspondente ao definido como suficiente para abastecer a população da cidade (200 L/hab/d) e trabalharia com um índice de perda d'água de 20%; e 3) as outras classes de proprietários reduziriam o volume produzido em 20%.

Os resultados alcançados neste cenário mostraram que, mesmo que a população dobre em 50 anos, um volume anual da ordem de  $10,50 \times 10^6 \text{ m}^3$  seria suficiente para abastecer a zona urbana do município, subindo apenas 28% em relação ao verificado em 2001, e que a quantidade total de água a ser explorada ficaria próxima de  $490 \times 10^6 \text{ m}^3$  na área de interesse e a  $390 \times 10^6 \text{ m}^3$  na zona urbana, sendo esta última 47% inferior a calculada no cenário anterior (tabelas 9.14 e 9.15).

TABELA 9.14 – ESTIMATIVA DO VOLUME ANUAL A SER EXPLORADO PELA GESTÃO DA DEMANDA

Ano	População Urbana	Volume a ser explorado ( $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ )		
		Área Estudada	Zona Urbana	AGESPISA
2005	55.500	6,89	5,55	4,86
2011	60.350	7,59	6,04	5,29
2016	64.700	8,14	6,47	5,67
2031	79.700	10,03	7,98	6,98
2051	105.250	13,24	10,53	9,22

TABELA 9.15 – ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL A SER EXPLORADO A PARTIR DE 2002, PELA GESTÃO DA DEMANDA

Até	Volume total a ser explorado ( $10^6 \text{ m}^3$ )	
	Área Estudada	Zona Urbana
2016	117,62	125,73
2031	254,28	202,89 *
2034	285,20 *	227,49
2051	487,01	388,02

\* valor mais próximo ao registrado no período 1958 - 2001

Esta redução no volume a ser explorado, devido à implantação de um programa simples e racional de gerenciamento da demanda, poderá até trazer um certo alívio no cenário futuro do município, porém não resolverá o problema do déficit hídrico anual, principalmente na zona urbana.

A situação das águas subterrâneas continuará bastante preocupante porque o déficit anual previsto nesta zona poderá atingir cerca de  $8,70 \times 10^6 \text{ m}^3$  em 2051 e gerar um déficit total de mais de  $300 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Este valor representaria uma redução de apenas 14% em relação ao previsto no primeiro cenário, justificada pela redução do índice de perda d'água da AGESPISA, o que diminuiria substancialmente sua indireta contribuição para a recarga do sistema (tabela 9.16).

TABELA 9.16 – ESTIMATIVA DO DÉFICIT HÍDRICO PELA *GESTÃO DA DEMANDA*

Ano	Déficit Hídrico ( $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ )			
	Área Estudada		Zona Urbana	
	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado
2016	4,81	64,26	5,12	70,37
2026	5,91	118,30	5,97	126,13*
2051	9,44	309,40	8,70	308,91

\* valor mais próximo ao registrado no período 1958 - 2001

Com isso, o déficit da zona urbana pode dobrar em 25 anos e atingir um valor total próximo a  $437 \times 10^6 \text{ m}^3$  entre 1958 e 2051, cerca de 10% inferior ao resultado obtido no cenário anterior e quase 3,5 vezes superior ao registrado em 2001.

## 10. Modelo matemático tridimensional das águas subterrâneas

---

### 10.1. Definição do simulador matemático

O simulador matemático utilizado no modelamento foi definido com base no objetivo deste estudo, ou seja, o aplicativo deveria permitir a simulação da evolução do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande em resposta as condições atuais e futuras de exploração. Devido a este objetivo e aos recursos técnicos e financeiros disponíveis para construção do modelo, para avaliar o fluxo da água subterrânea optou-se pela utilização do programa MODFLOW, desenvolvido e distribuído gratuitamente pelo U.S. Geological Survey, associado com o programa MODPATH (Pollock, 1989) para definição das linhas de trajetória.

O programa escolhido utiliza o método das diferenças finitas para representar a variação da carga hidráulica do modelo, discretizando-a em um ponto e extrapolando-a para toda a área que o envolve. Este método, apesar de apresentar um ajuste mais grosseiro do que o dos elementos finitos, é o mais aplicado nos programas atuais de simulação de fluxo das águas subterrâneas devido à facilidade para inserção dos dados e análise dos resultados obtidos.

Para agilizar a entrada de dados e permitir a visualização gráfica das cargas hidráulicas calculadas pelo programa, foi utilizada a interface VISUAL MODFLOW (Guiguer & Franz, 1997), desenvolvida por Nilson Guiguer e Thomas Franz em 1994 e cedido gentilmente pela CPRM.

### 10.2. Discretização da área modelada

A área modelada neste estudo compreendeu grande parte do município de Picos, porém foi centrada principalmente na representação da sede municipal, devido à situação do nível d'água nesta zona, à concentração dos poços produtores da concessionária de abastecimento público e a melhor qualidade dos dados levantados.

Os eixos x e y do modelo foram adotados coincidentemente com as direções Leste-Oeste e Norte-Sul respectivamente, considerando que a direção principal de fluxo da água subterrânea é aproximadamente de leste para oeste. Com isto, o sistema de coordenadas foi o mesmo do sistema geográfico, alterando-se apenas o valor do ponto inicial, com as coordenadas iniciais do modelo (eixos x e y = 2.000) representando as coordenadas 224 km E e 9.210 km N (figura 10.1).

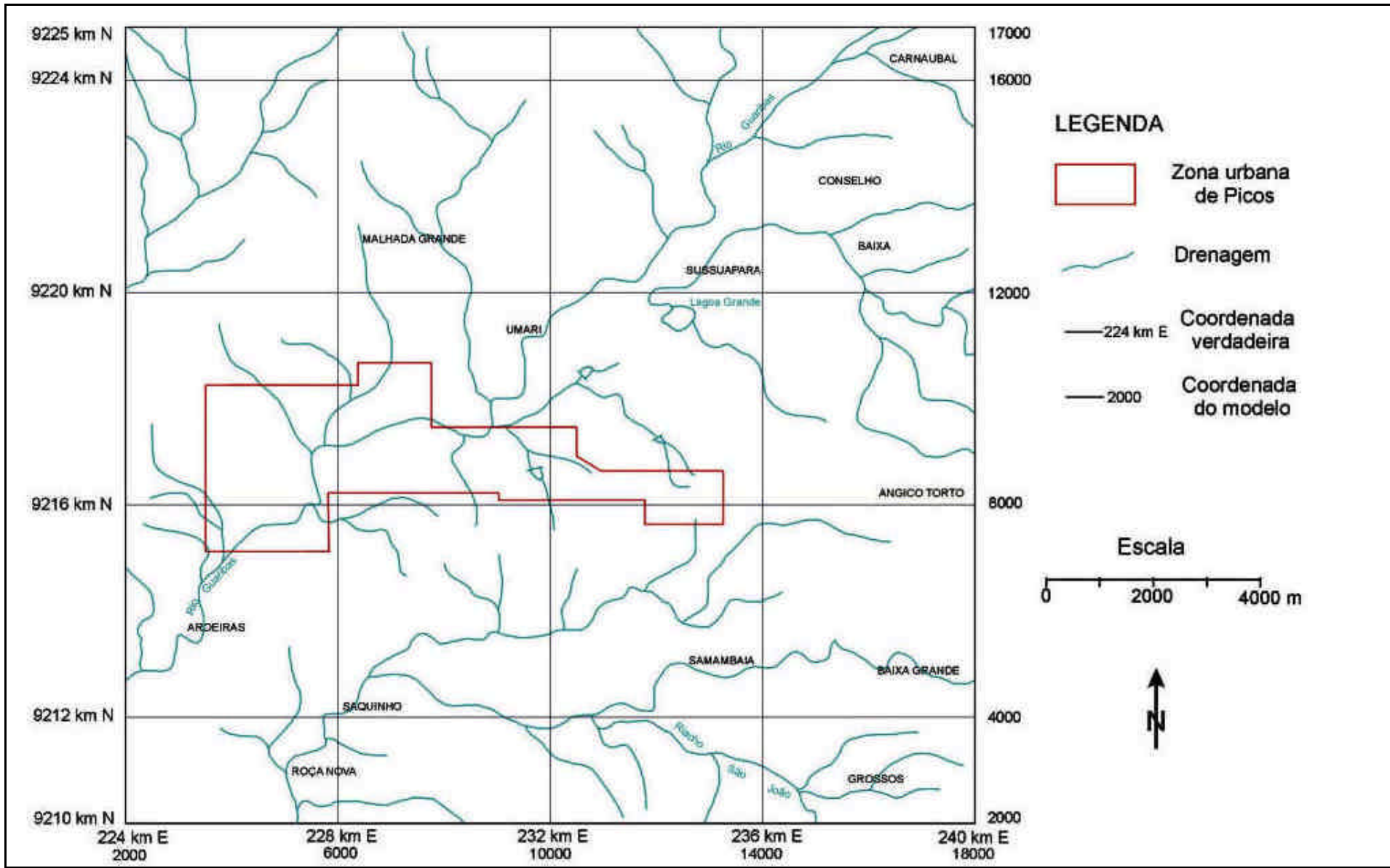


Figura 10.1 – Correlação entre as coordenadas da área estudada e do modelo matemático



A malha inicial para representação da área estudada no modelo matemático foi definida com espaçamento constante de 200 metros, tanto para eixo x quanto para o eixo y. Posteriormente, esta grade foi refinada para um espaçamento de 30 metros nas zonas onde havia um interesse maior pela informação do comportamento do nível potenciométrico, definidas pela localização dos poços produtores da AGESPISA. Com isto, a malha final do modelo foi discretizada por 303 colunas e 212 linhas, num total de 192.708 células (figura 10.2).

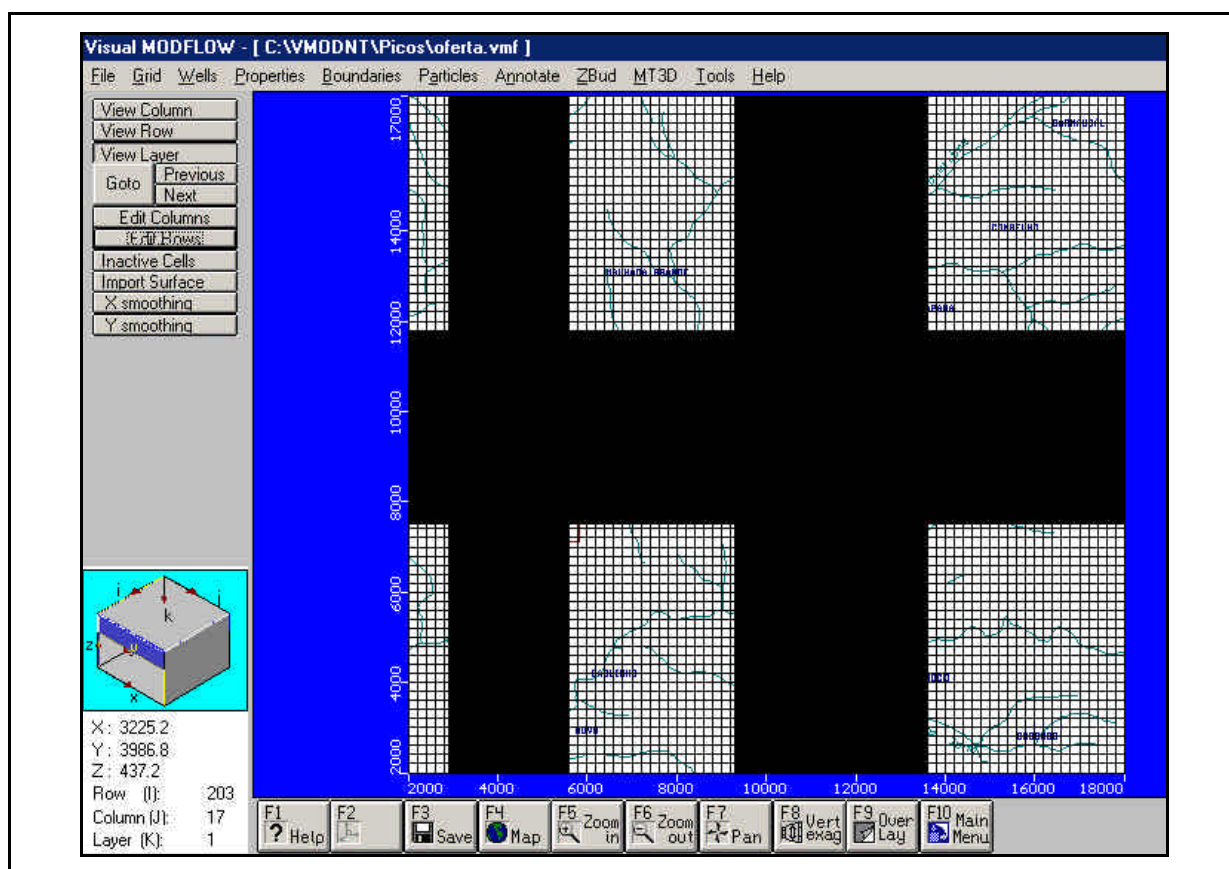


Figura 10.2 – Malha do modelo matemático

### 10.3. Definição das camadas e seus parâmetros hidrogeológicos

As camadas do modelo matemático foram definidas de acordo com a estratigrafia da região e os parâmetros hidráulicos do modelo conceitual, sendo portanto utilizadas três camadas para representar a área estudada: a primeira representou o membro Picos da formação Pimenteiras, a segunda o membro Itaim e a terceira representou o aquífero Serra Grande.

Os parâmetros hidráulicos adotados para as três camadas foram definidos com base nas características litológicas da formação e nos valores obtidos na interpretação dos testes de produção. Foi estabelecido que o membro Picos, devido a sua constituição predominantemente argilosa, teria a menor condutividade hidráulica do modelo ( $K = 3 \times 10^{-7}$  m/s), enquanto o membro Itaim, mais arenoso, teria uma condutividade hidráulica um pouco maior ( $K = 8 \times 10^{-7}$  m/s). Para a terceira camada, que representa os sedimentos essencialmente arenosos da formação Serra Grande, foi utilizado o valor mediano da transmissividade encontrado na interpretação dos testes de vazão pelo método de Hantush assumida uma condutividade hidráulica de  $4 \times 10^{-6}$  m/s no modelo.

Na construção do modelo conceitual não foi possível definir a relação de anisotropia entre os eixos x,y e z das três camadas porque os testes interpretados foram executados sem a utilização de poços de observação. Com isso, adotou-se que as camadas seriam horizontalmente isotrópicas ( $K_x = K_y$ ) e seriam verticalmente anisotrópicas em 50% ( $K_x = K_y = 2 K_z$ ).

O parâmetro utilizado no modelamento matemático tridimensional é o coeficiente de armazenamento específico ( $S_s$ ), determinado a partir da relação entre o coeficiente de armazenamento e a espessura do aquífero. Considerando os valores encontrados na interpretação dos testes para o primeiro parâmetro e o valor estimado para o segundo, neste estudo foi adotado um coeficiente de armazenamento específico de 0,00013 para as três camadas, com base no intervalo de valores apresentados por Domenico (1972 apud Anderson & Woessner, 1992) e resumidos na tabela 10.1.

TABELA 10.1 – INTERVALO DE VALORES DE COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO ESPECÍFICO ( $S_s$ )

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de armazenamento específico (<math>S_s</math>) (<math>m^{-1}</math>)</b>
Areia consolidada	$1,3 \times 10^{-4}$ a $2,0 \times 10^{-4}$
Areia inconsolidada	$4,9 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
Argila dura	$1,3 \times 10^{-3}$ a $2,6 \times 10^{-3}$
Argila medianamente dura	$9,2 \times 10^{-4}$ a $1,3 \times 10^{-3}$
Argila plástica	$2,6 \times 10^{-3}$ a $2,0 \times 10^{-2}$

Modificado de Domenico (1972 apud Anderson & Woessner, 1992)

Para a modelagem do aquífero Serra Grande era preciso definir a porosidade total ( $\eta$ ) e porosidade efetiva ( $S_y$ ) da formação, que em aquíferos sedimentares podem variar de 10% a 60% e de 1 a 30%, respectivamente (Fetter, 2001). Considerando os intervalos determinados por Morris & Johnson (1967 apud Iritani, 1998), apresentados na tabela 10.2, e as características dos sedimentos da área estudada, para simulação do membro Itaim e da formação Serra Grande no modelo matemático adotou-se o valor de 40% para a porosidade total e 25% tanto para a porosidade efetiva quanto para a porosidade efetivamente disponível ao fluxo da água subterrânea ( $\eta_{ef}$ ). Para o membro Picos da formação Pimenteiras foi adotado o mesmo valor para o primeiro parâmetro e 15% para os dois últimos. Na tabela 10.3 estão apresentados os valores adotados para os parâmetros hidráulicos das três camadas, obtidos após a calibração do modelo

TABELA 10.2 – INTERVALO DE VALORES DA POROSIDADE TOTAL ( $\eta$ ) E POROSIDADE EFETIVA ( $S_y$ ) EM ROCHAS SEDIMENTARES

Material	Porosidade total ( $\eta$ ) (%)		Porosidade efetiva ( $S_y$ ) (%)	
	Intervalo	Média	Intervalo	Média
Areia fina	26,0 - 53,3	43	1,0 - 45,9	33
Areia média	28,5 - 48,9	39	16,2 - 46,2	32
Areia grosseira	30,9 - 46,4	39	18,4 - 42,9	30
Arenito fino	13,7 - 49,3	33	2,1 - 39,6	21
Arenito médio	29,7 - 43,6	37	11,9 - 41,1	27
Argila	34,2 - 56,9	42	1,1 - 17,6	6
Cascalho fino	25,1 - 38,5	34	12,6 - 39,9	28
Cascalho médio	23,7 - 44,1	32	16,9 - 43,5	24
Cascalho grosseiro	23,8 - 36,5	28	13,2 - 25,2	21
Silte	33,9 - 61,1	46	1,1 - 38,6	20
Siltito	21,2 - 41,0	35	0,9 - 32,7	12

Modificado de Morris & Johnson (1967 apud Iritani, 1998)

TABELA 10.3 – PARÂMETROS HIDRÁULICOS ADOTADOS NO MODELO MATEMÁTICO

Unidade Hidroestratigráfica	$K_x$ (m/s)	$K_y$ (m/s)	$K_z$ (m/s)	$S_s$ ( $m^{-1}$ )	$S_y$	$h_{ef}$	$h$
1	$3 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-7}$	$1,5 \times 10^{-7}$	0,00013	0,15	0,15	0,40
2	$8 \times 10^{-7}$	$8 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{-7}$	0,00013	0,25	0,25	0,40
3	$5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-6}$	0,00013	0,25	0,25	0,40

#### **10.4. Inserção das condições iniciais e de contorno**

A carga hidráulica inicial do aquífero Serra Grande foi assumida como sendo aquela obtida com a elaboração do mapa potencimétrico de 1991 a 2001 (figura 8.11), visando representar o rebaixamento do nível d'água já verificado na área, sendo o ano de 2001 considerado como o tempo zero do modelo matemático.

Os limites leste e oeste da área estudada foram definidos por uma condição de contorno de carga hidráulica específica (tipo 1 – condição de Dirichlet), para simular a recarga lateral de água subterrânea nesta zona, representando o fluxo regional da Bacia do Parnaíba, de direção Leste-Oeste. Nos limites norte e sul, foi assumida uma condição de carga hidráulica genérica (tipo 3 – condição de Cauchy). Estas condições foram assumidas para as três camadas do modelo, com a carga sendo definida de acordo com o mesmo mapa citado acima.

Para simular a infiltração vertical, no limite superior foi definida uma condição de contorno de fluxo especificado (tipo 2 – condição de Neuman), com base na taxa obtida na interpretação do balanço hídrico e no índice de perda d'água da AGESPISA. Devido a esta contribuição indireta e as características do terreno, foram definidas duas zonas distintas para a recarga, uma representando a parte urbana do município e a segunda representando o restante da área modelada.

Na maior parte da área foi assumida uma pluviometria de 7 mm/ano, correspondente apenas à contribuição da formação Pimenteiras para o aquífero Serra Grande. A zona urbana foi simulada com uma taxa de 87 mm/ano de recarga, representando o somatório entre a infiltração vertical e a perda d'água na rede de distribuição, estimada em 80 mm/ano.

No caso das drenagens, a única solução possível seria assumir uma condição de contorno tipo 'dreno' do programa MODFLOW, que permitiria simular que estando o nível d'água do aquífero abaixo da corrente, não haveria descarga e o dreno estaria seco. Considerando que não existem dados da vazão de escoamento básico das drenagens na região, que o rio Guaribas, seus afluentes e os rios secundários apresentam caráter intermente durante grande parte do ano, e que o nível do aquífero estudado se encontra atualmente abaixo do nível das correntes, estas não foram representadas no modelo matemático.

### 10.5. Poços produtores

A saída de água do sistema foi simulada no modelo matemático exclusivamente através de poços produtores, visando representar o volume produzido diariamente na área estudada pelas diferentes classes de proprietários.

Os dados dos 154 poços selecionados foram inseridos conforme o perfil construtivo das obras, sendo necessário porém um ajuste na questão dos filtros da zona produtora. Como os poços da região de Picos são construídos com a zona produtora aberta mas o programa MODFLOW assume que toda a camada produtora foi revestida com filtros, os poços da AGESPISA foram inseridos no modelo como se possuem filtros entre o topo da formação Serra Grande e a profundidade final atingida, e os demais a partir do topo do membro Itaim até a profundidade perfurada. A figura 10.3 representa a localização dos poços produtores utilizados para construção do modelo matemático.

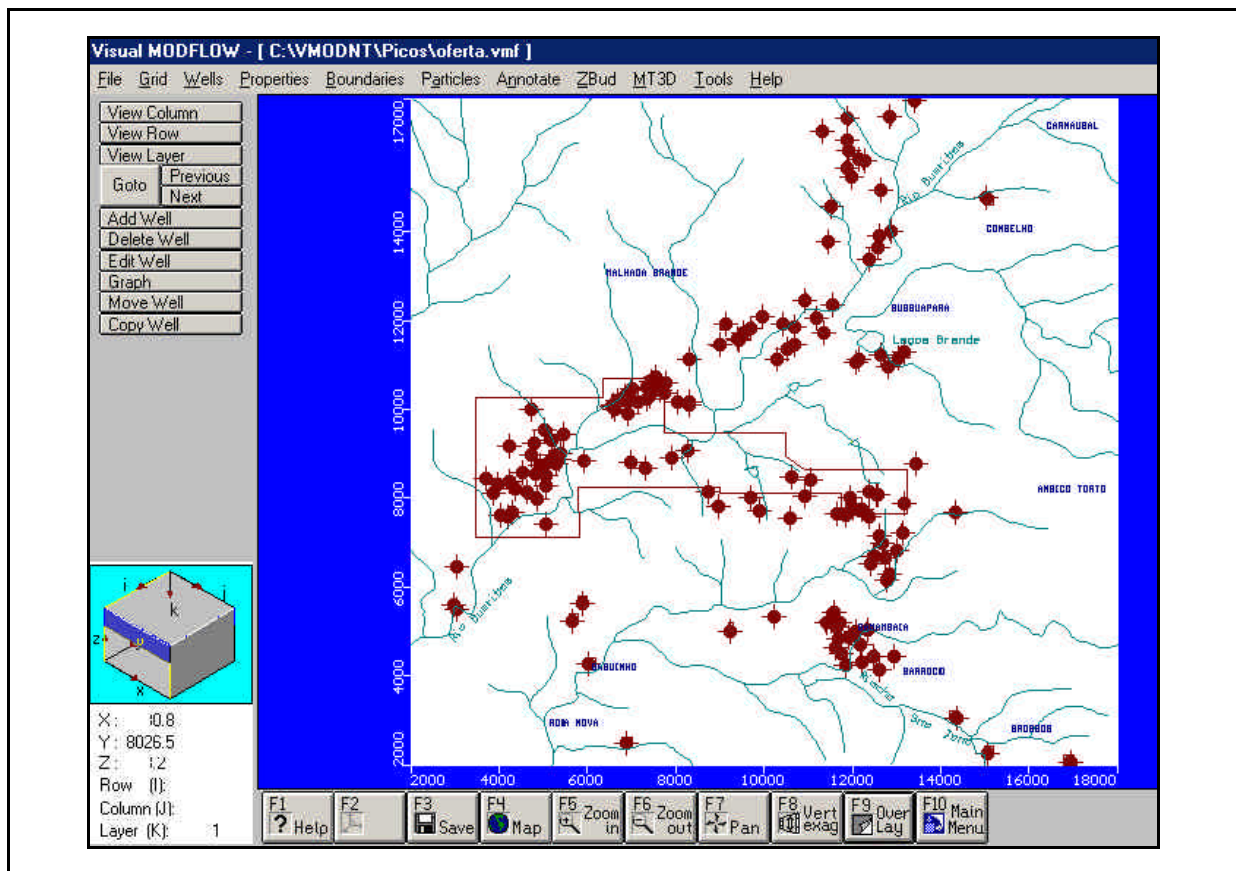


Figura 10.3 – Localização dos 154 poços produtores utilizados no modelamento

A representação do volume bombeado atualmente na área estudada e na zona urbana foi feita de acordo com a vazão diária explorada por cada poço, considerando os valores definidos para cada classe de proprietário e os registrados para a concessionária pública. Foi assumido que estes poços operariam num regime contínuo de 24 horas, durante o período estabelecido para a simulação.

### **10.6. Calibração**

Os parâmetros utilizados para calibração do modelo matemático foram os valores da carga hidráulica do aquífero Serra Grande no ano de 2001, levantados durante os trabalhos desenvolvidos na área de interesse.

A metodologia utilizada para calibrar o modelo consistiu em variar a condutividade hidráulica e o coeficiente de armazenamento específico das três camadas e a taxa de recarga, de modo a se obter um valor aceitável para a diferença entre o nível potenciométrico observado em campo e o calculado pelo modelo.

Para avaliar o processo de calibração, foi definido como parâmetro um valor residual da ordem de 2% para a diferença entre as cargas calculadas e as observadas em relação à variação total da carga hidráulica do sistema. Com isso, deseja-se que a diferença máxima entre as duas primeiras fosse de um metro, considerando que a variação da carga do aquífero Serra Grande é de 45 metros na área estudada. Devido à inexistência de poços de observação, que fez com que o nível d'água fosse monitorado a partir dos poços de produção, e à falta de dados históricos consistentes, o modelo foi considerado calibrado quando se conseguiu obter um percentual de resíduo próximo de 2,5% (tabela 10.4 e figura 10.4).

TABELA 10.4 – PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO CALIBRADO

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Resíduo médio (m)	0,02
Resíduo da média absoluta (m)	0,73
Desvio padrão (m)	0,88
Percentual do resíduo (%)	2,65

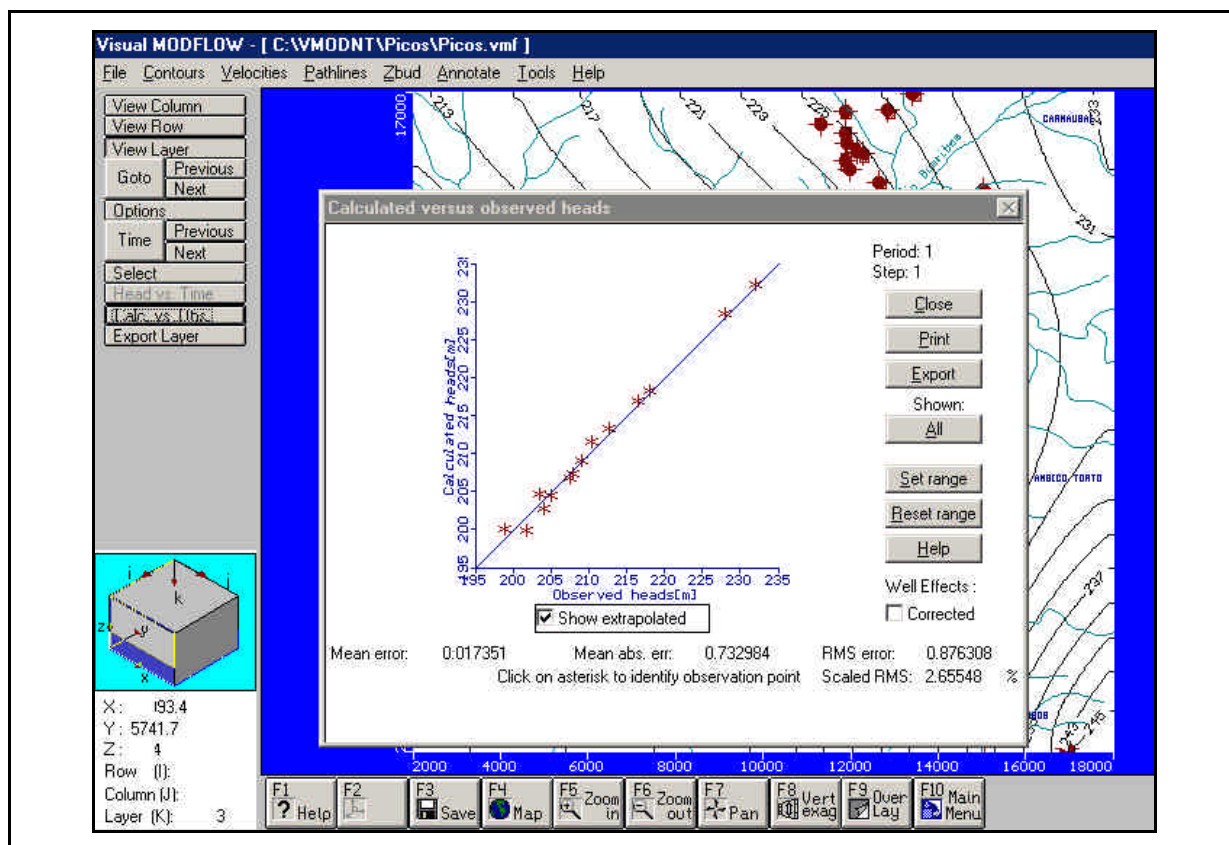


Figura 10.4 – Correlação carga hidráulica calculada pelo modelo x carga hidráulica observada

Ao término do processo, a diferença entre as cargas hidráulicas calculadas pelo modelo calibrado e as cargas medidas em campo ficou bem abaixo de um metro em toda a área modelada, excetuando-se parte da zona mais central da cidade. Nesta região, onde se concentram os poços produtores de maior capacidade, os valores calculados pelo modelo foram quase dois metros menores do que os valores observados, apesar das inúmeras simulações realizadas. Concluiu-se que esse fato tinha relação com a diferença entre o volume real de água bombeada e o estabelecido neste trabalho, e que sua magnitude não influenciaria significativamente os resultados da simulação do rebaixamento futuro do nível do aquífero Serra Grande.

A figura 10.5 mostra o mapa potenciométrico da área estudada, elaborado pelo modelo calibrado para o ano de 2001, cujo formato apresenta uma grande semelhança com o mapa construído a partir das cargas hidráulicas observadas nos trabalhos de campo (ver figura 8.11).

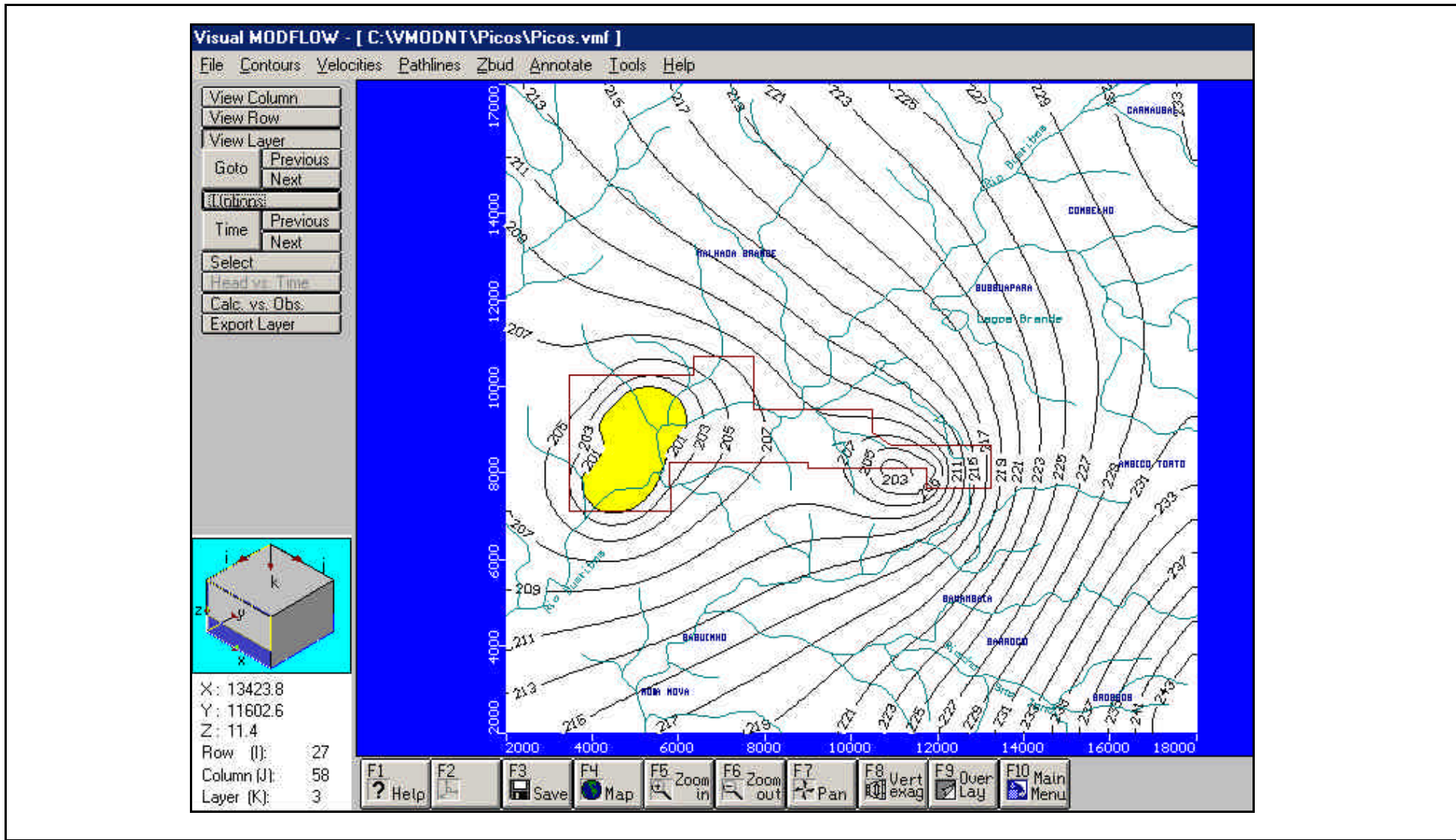


Figura 10.5 – Mapa potenciométrico elaborado pelo modelo matemático



### 10.7. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade do modelo matemático foi realizada para determinar o grau de influência dos parâmetros utilizados no cálculo das cargas hidráulicas. Este processo de análise consistiu em variar isoladamente os valores de condutividade hidráulica das três camadas e a recarga, e avaliar os resíduos calculados, utilizando a mesma metodologia apresentada por Iritani (1998).

Esta análise mostrou que a taxa de recarga e, principalmente, a condutividade hidráulica apresentam uma grande influência no modelo matemático, com os resíduos da diferença entre as cargas observadas e calculadas mostrando grande variação em relação aos valores obtidos na calibração (tabela 10.5).

TABELA 10.5 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO MATEMÁTICO CONSTRUÍDO

Parâmetro	Variação	Resíduo			
		Médio (m)	Média absoluta (m)	Desvio padrão (m)	Percentual (%)
Condutividade hidráulica (K)	1,5 K	2,06	2,06	2,73	8,27
	0,5 K	-6,58	6,75	9,22	27,95
Recarga (R)	1,5 R	2,44	2,44	2,60	7,79
	0,5 R	-2,71	2,85	3,54	10,72

Os resultados mostraram também que a redução de 50% no valor de cada parâmetro causa um reflexo maior do que a elevação de igual percentual, principalmente quanto à condutividade hidráulica, que eleva o percentual do resíduo para quase 28%.

Concluiu-se que o modelo matemático construído para as águas subterrâneas da região de Picos possui um grau elevado de sensibilidade aos valores de recarga e condutividade hidráulica do sistema de subsuperfície, sendo necessária uma melhor avaliação quando da elaboração de outros estudos hidrogeológicos nesta área.

## 10.8. Simulação da zona de captura e do rebaixamento do nível potenciométrico

### 10.8.1. Parâmetros utilizados

Estando o modelo calibrado, foi simulada a zona de captura dos poços produtores que exploram o aquífero Serra Grande e o rebaixamento futuro do nível potenciométrico do aquífero, para os períodos de 15 e 50 anos, de modo a estabelecer sua disponibilidade e suas condições de sustentabilidade.

Para simulação da zona de captura foram colocadas partículas em todos os limites da Camada 3 do modelo, que representa a formação Serra Grande, de modo que o programa pudesse calcular a trajetória da partícula da fronteira da área modelada até os poços produtores, permitindo a visualização das zonas de captura.

Na simulação do rebaixamento do nível d'água procurou-se representar os volumes necessários para atender a demanda futura da população de Picos, de acordo com os dois cenários previstos para o modelo de exploração dos recursos hídricos.

Primeiramente, representando o volume atualmente explorado, admitiu-se que todos os 154 poços utilizados continuariam em operação até o ano de 2051.

Para representar o volume adicional a ser explorado nos próximos 50 anos, previsto no item 9.5, foram inseridos poços *virtuais* à medida que a demanda da população aumentava em cerca de  $0,50 \times 10^6 \text{ m}^3$  em relação ao valor registrado em 2001. Estes poços, com capacidade para produzir  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ , foram distribuídos em diferentes pontos da sede municipal e seus arredores, procurando-se representar o crescimento urbano esperado para a cidade. No caso do modelo de exploração da *gestão da oferta* foi necessário inserir 16 (dezesesseis) novos poços, sendo o primeiro no ano de 2005. A figura 10.4 mostra a distribuição desses poços na área, enquanto que o anexo 3 apresenta a coordenada exata e o ano em que cada um deles foi inserido.

Na simulação do volume futuro do modelo de *gestão da demanda* foram desligados sete poços produtores da AGESPISA em 2004, que voltavam a operar quando a demanda crescia também no mesmo valor definido anteriormente. O critério utilizado para seleção destes poços foi a sua localização e se a capacidade da bomba submersa era adequada para o valor obtido no teste de vazão (tabela 10.6). Nesse segundo caso, foram utilizados apenas 4 (quatro) dos poços *virtuais* para representar o volume total previsto, com o primeiro sendo inserido somente em 2038 e os seguintes em 2041, 2044 e 2048.

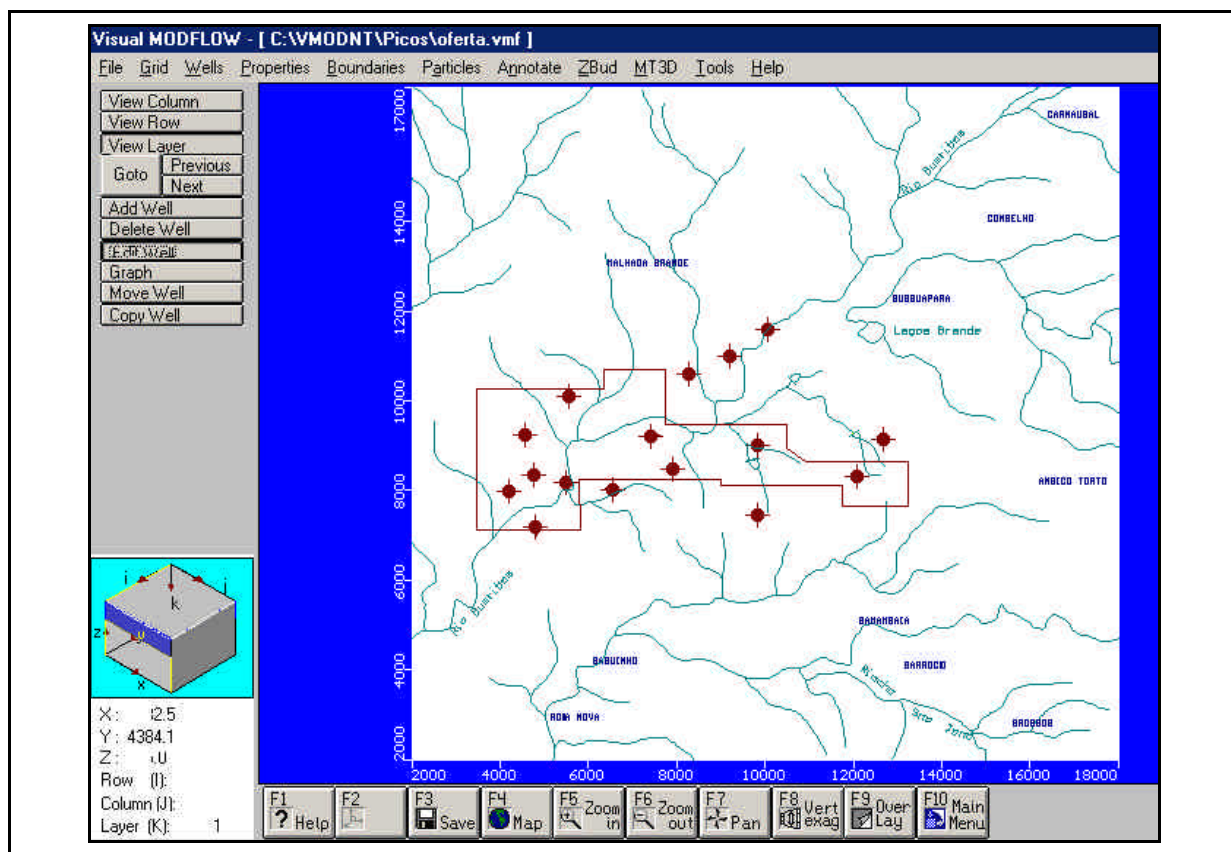


Figura 10.6 – Localização dos 16 poços *virtuais* inseridos no modelo matemático

TABELA 10.6 – ESQUEMA DE OPERAÇÃO DOS POÇOS DA AGESPISA UTILIZADO PARA SIMULAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO DA DEMANDA

Poço	Operação (ano)	
	Paralisação	Reinício
AG001C	2004	2009
AG002C	2004	2014
AG005C	2004	2019
AG007C	2004	2024
AG008C	2004	2028
AG012L	2004	2032
AG017C	2004	2033

### **10.8.2. Resultados obtidos**

Os resultados obtidos na simulação mostraram que a zona de captura dos poços produtores da região se estende por uma distância horizontal considerável, podendo alcançar mais de uma dezena de quilômetros, conforme mostra a figura 10.7.

Por esta figura, pode-se notar que as linhas de fluxo tendem sempre para a zona urbana da cidade, onde se concentram os poços mais profundos e de maior capacidade produtiva, ou seja, aqueles que atravessaram as maiores espessuras da formação Serra Grande durante sua perfuração. Isto demonstra que, devido a transmissividade do aquífero, estes poços exercem grande domínio e modificam o sistema de fluxo subterrâneo da região, para capturar a água que os alimenta.

Quanto ao nível potenciométrico, a simulação matemática mostrou que ocorrerá uma evolução acentuada do seu rebaixamento entre 2002 e 2051, principalmente na zona urbana de Picos, com um incremento progressivo da taxa anual de rebaixamento. Mostrou também que a magnitude deste incremento e, conseqüentemente, a posição da superfície piezométrica do aquífero Serra Grande dependerá do volume de recursos que vier a ser explorado no município, ou seja, será determinada pelo modelo futuro de exploração das águas.

Pelo resultado da simulação do modelo da *gestão da oferta*, para o período 2002 – 2016, o rebaixamento do nível d'água deverá atingir mais de 18 metros na zona central urbana, que se reduzirá gradativamente em todas as direções, porém não será inferior a 4 metros, conforme mostra a figura 10.8. Neste caso, considerando os 30 metros verificados entre 1958 e 2001, o rebaixamento total do nível do aquífero poderá alcançar cerca de 48 metros na sede municipal em 2016, com a taxa anual de rebaixamento passando dos atuais 0,90 metro para quase 1,40 metro.

Para o período 2002 – 2051, pelo mesmo modelo de exploração, o rebaixamento atingirá mais de 88 metros na mesma região da zona urbana e irá se reduzir no máximo até pouco menos de 24 metros, em toda a área modelada (figura 10.9). Sendo assim, entre 1958 e 2051, o rebaixamento do nível potenciométrico deverá alcançar aproximadamente 118 metros na zona central da cidade e a taxa estará em cerca de 2,50 m/ano.

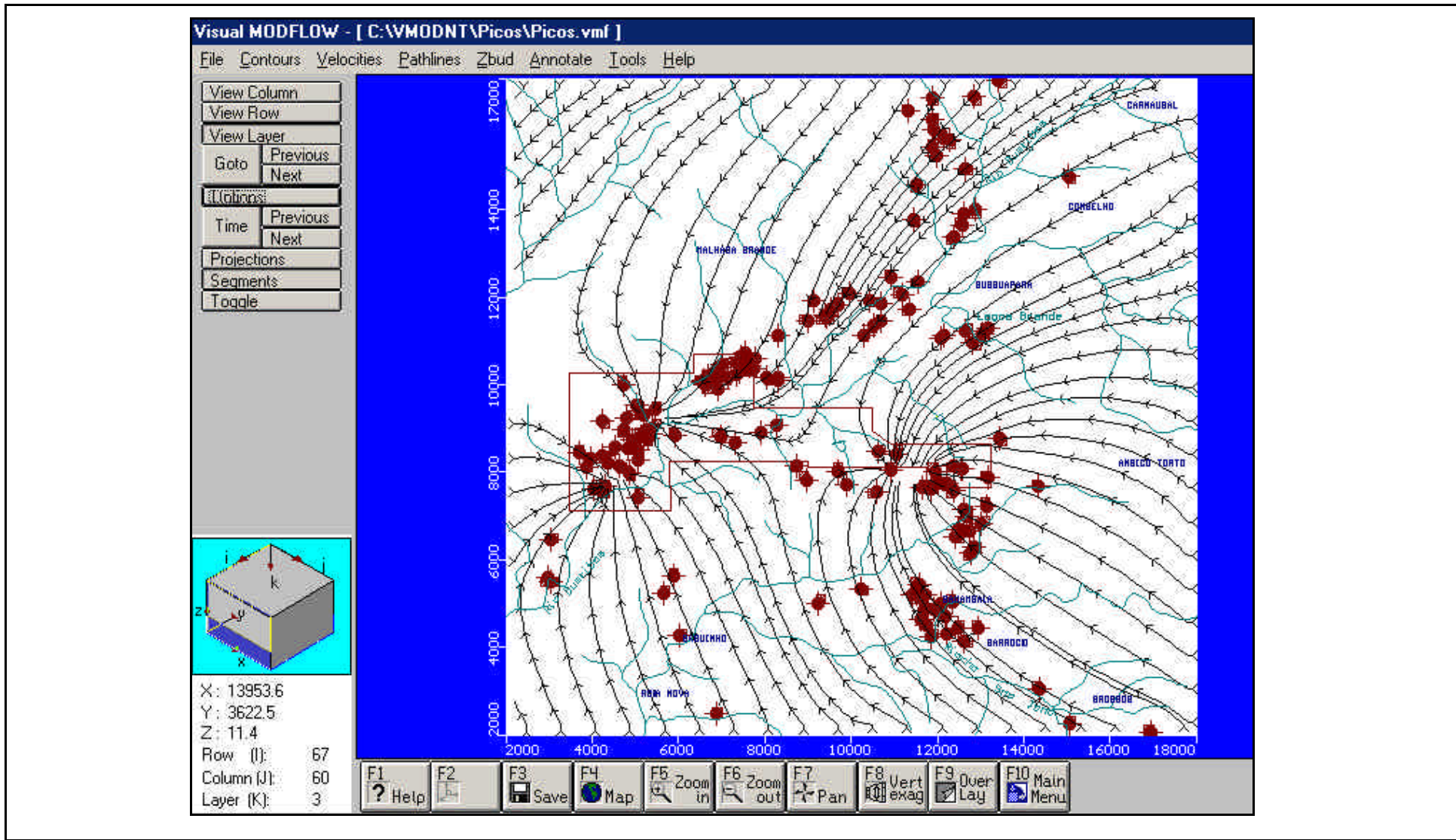


Figura 10.7 – Zona de captura dos poços produtores

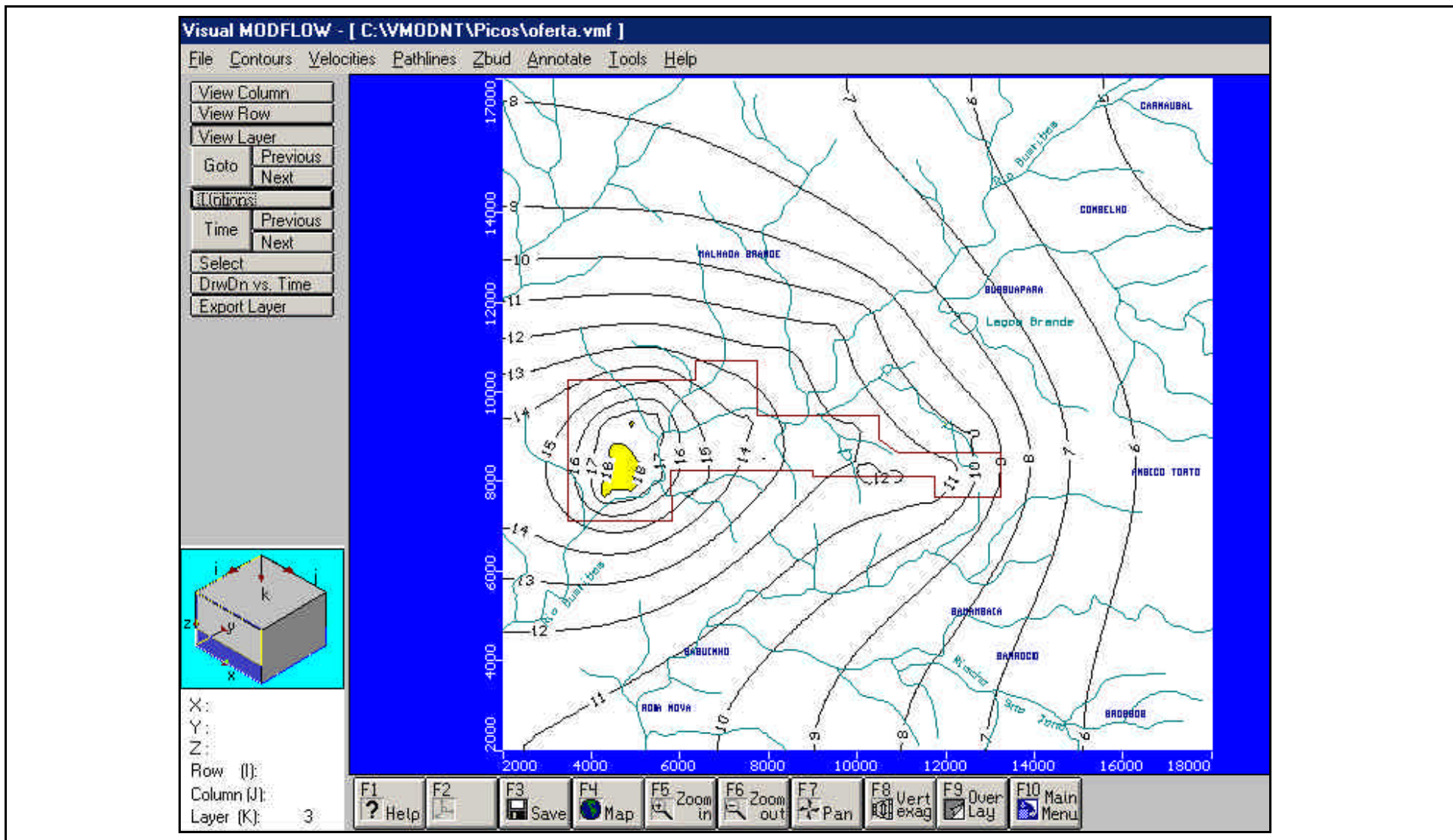


Figura 10.8 – Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2016, obtidas pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da gestão da oferta

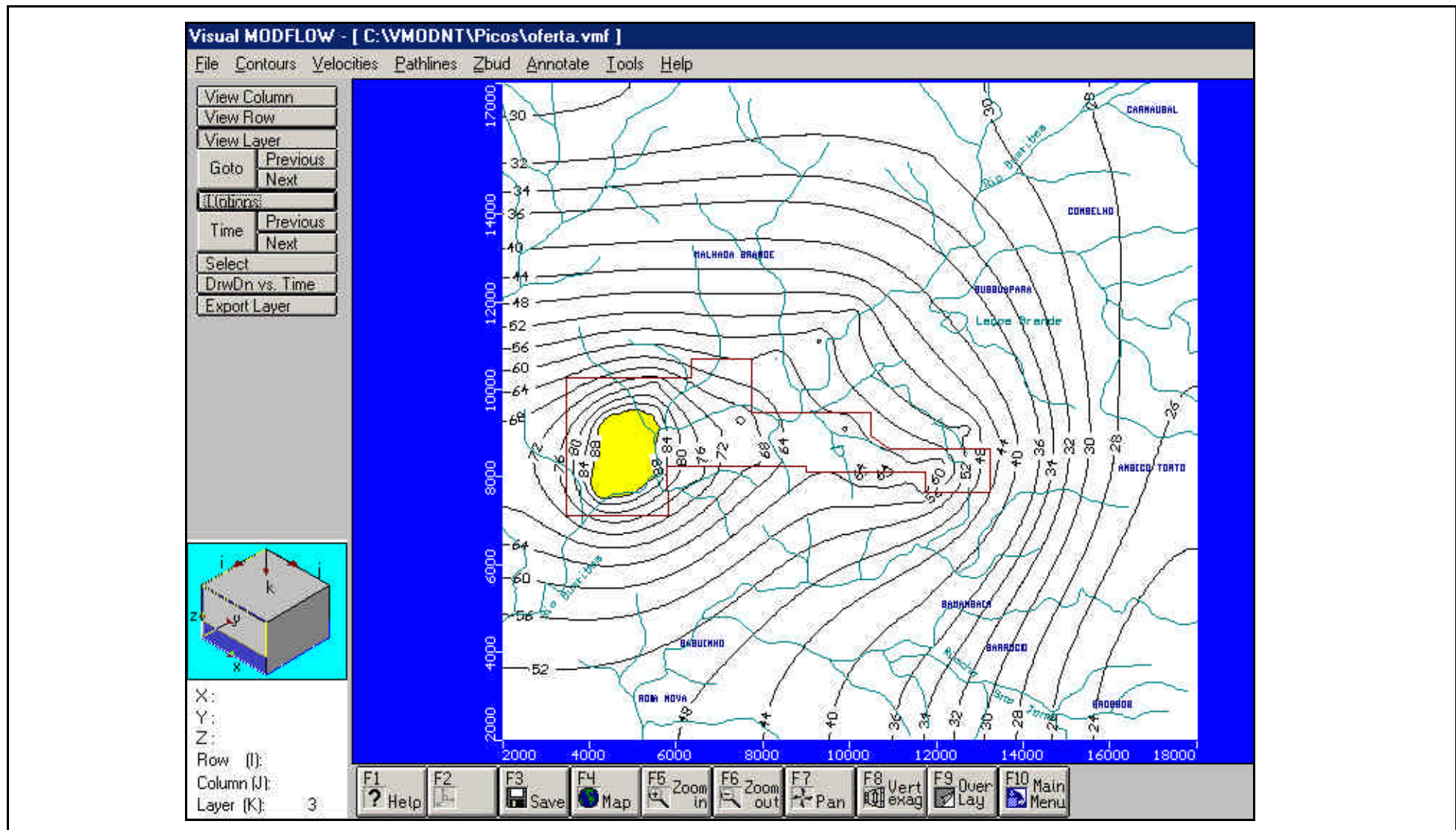


Figura 10.9 – Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2051 obtidas pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da *gestão da oferta*

Na simulação do primeiro período pelo modelo de *gestão da demanda*, apresentada na figura 10.10, o valor máximo de rebaixamento atingido foi de 11 metros na sede municipal, que foi se reduzindo até atingir quase 1 metro no limite nordeste da área. Nesta condição, o rebaixamento total do nível atingirá cerca de 41 metros na zona urbana central e a taxa deverá estar em torno de 1,20 m/ano.

Para o período 2002 – 2051 deste segundo modelo de gestão, a simulação mostrou que o rebaixamento deverá atingir 68 metros na região mais central da cidade e poderá ficar abaixo de 20 metros em parte do limite leste da área modelada, conforme ilustra a figura 10.11. Com isto, o nível do aquífero estudado poderá estar rebaixado em 98 metros na zona central urbana, com a taxa de rebaixamento na faixa de 2,00 m/ano.

A tabela 10.7 apresenta um resumo dos resultados obtidos pelo modelo matemático, na previsão do rebaixamento futuro do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande, a partir de 2002 até 2016 e 2051, na zona central urbana de Picos. A tabela 10.8 apresenta a previsão de rebaixamento do nível desde 1958 e a taxa anual prevista para esta zona, de acordo com os modelos de exploração simulados.

TABELA 10.7 – PREVISÃO DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL POTENCIOMÉTRICO DO AQUIFERO SERRA GRANDE NA ZONA CENTRAL URBANA DO MUNICÍPIO DE PICOS, A PARTIR DO ANO DE 2002, POR MODELO DE EXPLORAÇÃO

Até	Rebaixamento (m)	
	Pela <i>gestão da oferta</i>	Pela <i>gestão da demanda</i>
2016	18	11
2051	88	68

TABELA 10.8 – PREVISÃO DE REBAIXAMENTO DO NÍVEL POTENCIOMÉTRICO DO AQUIFERO SERRA Grande desde 1958 e da taxa anual de rebaixamento, na zona central urbana do município de Picos, por modelo de exploração

Ano	Pela <i>gestão da oferta</i>		Pela <i>gestão da demanda</i>	
	Rebaixamento (m)	Taxa (m/ano)	Rebaixamento (m)	Taxa (m/ano)
2016	48	1,40	41	1,20
2051	118	2,50	98	2,00



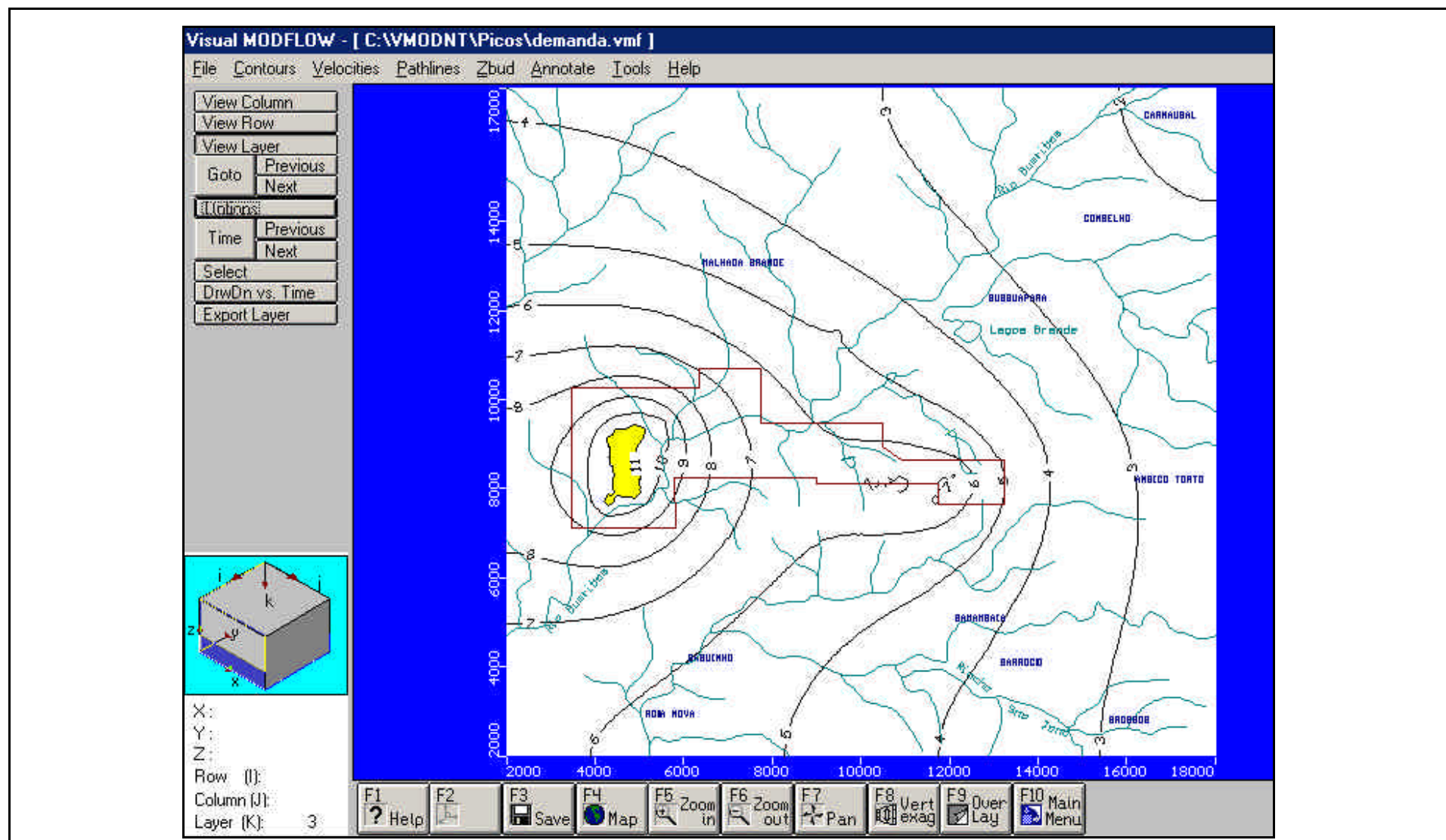


Figura 10.10 – Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2016 obtidas pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da *gestão da demanda*

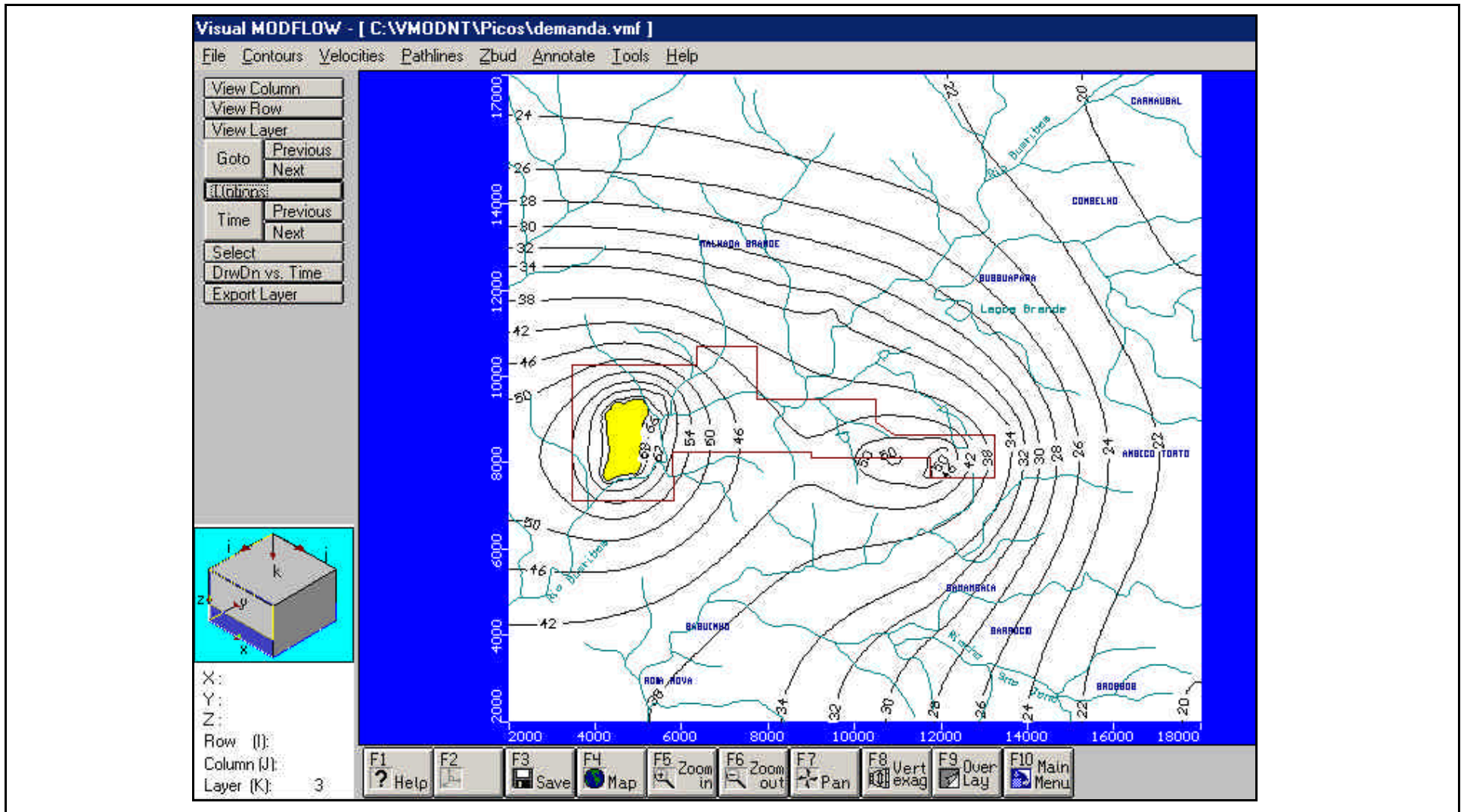


Figura 10.11 – Curvas de rebaixamento do nível potenciométrico entre 2002 e 2051 obtidas pelo modelo matemático, para o modelo de exploração da *gestão da demanda*

### **10.9. Limitações do modelo construído e avaliação dos resultados**

A representação do sistema hidrogeológico da área estudada por um modelo matemático implicou na simplificação de algumas condições, no processo de modelamento, na utilização do programa e na construção, que limitam à aplicação do modelo construído e deve ser considerada na avaliação dos resultados obtidos.

No processo de modelamento matemático, os dados existentes não permitiram uma melhor caracterização das heterogeneidades do meio físico e a determinação correta da recarga do sistema, sendo necessário simplificar as condições reais para representá-las matematicamente. No caso dos parâmetros hidráulicos, foi preciso assumir uma condutividade hidráulica homogênea para cada camada do modelo e um coeficiente de armazenamento específico único para as três camadas, devido à inviabilidade técnica e econômica de determiná-los numa escala menor. Quanto recarga, foi estimado um volume que talvez não represente a quantidade de água que infiltra anualmente no sistema.

A principal simplificação na utilização do programa MODFLOW foi que este não permite poços parcialmente penetrantes e assume filtro em toda camada produtora. Isto fez com que fosse assumida uma vazão de bombeamento diferente da real, prejudicando a simulação das zonas de captura e a evolução do nível do d'água.

Na construção do modelo matemático, devido à inexistência de poços de monitoramento, foi preciso assumir que a condutividade hidráulica seria isotrópica nos eixos x e y ( $K_x = K_y$ ) e que seria anisotrópica em 50% no eixo z ( $K_x = 2 K_z$ ). Foi assumida também uma distribuição para a recarga que pode não representar o que de fato ocorre na região.

Além destas simplificações, foi necessário estabelecer algumas condições para que fosse possível simular o rebaixamento futuro do nível potenciométrico do aquífero, que também precisam ser avaliadas junto com os resultados deste trabalho.

Primeiramente, foi estabelecida uma taxa para o crescimento da população urbana do município e estimado o número de habitantes em 2016 e 2051. A seguir, foram previstos dois cenários para exploração dos recursos que irão abastecer esta população. Ao final, foi estabelecido o regime de produção dos poços atuais e estimada a distribuição, cronológica e geográfica, dos futuros poços produtores da concessionária pública.

Analisando os resultados obtidos, mesmo com todas estas simplificações e condições, este estudo considera que a representação matemática do aquífero Serra Grande foi importante porque possibilitou uma melhor compreensão do sistema e a previsão dos efeitos da sua exploração, ao longo do tempo.

A construção de um modelo matemático, apesar das dificuldades encontradas, permitiu a simulação de diferentes modelos de exploração e possibilitou a avaliação dos resultados produzidos pela concentração de poços produtores na zona urbana do município, pela interferência entre os cones de depleção e o elevado volume de água bombeada nesta zona. Com isso, foi possível quantificar a expectativa de rebaixamento futuro do nível potenciométrico do aquífero, que subsidiou os cálculos realizados para determinação da sua disponibilidade, apresentados no próximo capítulo.

Os resultados numéricos obtidos, que podem não ser necessariamente exatos, mostraram que a situação do nível d'água será consequência do modelo a ser utilizado na exploração futura do aquífero Serra Grande, podendo alcançar um rebaixamento da ordem de 118 metros em relação a sua posição original, no ano de 2051.

A determinação da zona de captura dos poços e dos valores de rebaixamento mostraram que a tendência futura do cone de depleção é avançar cada vez mais lateralmente ao invés de se aprofundar, devido a transmissividade do aquífero estudado. Com isso, os reflexos da concentração de poços, da interferência entre os cones e do volume bombeado na zona urbana de Picos, serão sentidos a distâncias cada vez maiores, influenciando o sistema hidrológico de toda a região.

Para concluir, o uso da metodologia de modelamento mostrou que, apesar do avanço tecnológico desta ferramenta, os trabalhos de campo são fundamentais nos estudos dos sistemas aquíferos, pois influenciam consideravelmente os resultados que podem ser obtidos pelo modelo matemático. Nesse aspecto, é mais importante uma boa avaliação das condições hidrogeológicas presentes na área de interesse, levantando dados consistentes e elaborando um modelo conceitual de qualidade, do que a escolha de um simulador matemático eficiente.

## 11. Disponibilidade futura do aquífero Serra Grande

### 11.1. Disponibilidade física

A disponibilidade física futura do aquífero Serra Grande foi determinada com base na simulação da evolução do seu nível potenciométrico e na estimativa do déficit hídrico esperado para o período 2002 – 2051, apresentada e analisada no item 9.5.

Segundo os resultados obtidos, para equilibrar este déficit na área estudada, será necessária uma quantidade de água superior a  $380 \times 10^6 \text{ m}^3$  em 50 anos, caso seja mantido o modelo atual de exploração pela *gestão da oferta*, enquanto na zona urbana de Picos serão necessários quase  $360 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Na tabela 11.1, estão apresentados os volumes de água necessários para suprir o déficit estimado para os períodos de 15 e 50 anos, de acordo com os dois modelos de exploração previstos.

TABELA 11.1 – ESTIMATIVA DO VOLUME NECESSÁRIO PARA SUPRIR O DÉFICIT HÍDRICO NO PERÍODO 2002 – 2051, POR MODELO DE EXPLORAÇÃO

Até	Volume Necessário ( $10^6 \text{ m}^3$ )			
	Área Estudada		Zona Urbana	
	<i>Gestão da Oferta</i>	<i>Gestão da Demanda</i>	<i>Gestão da Oferta</i>	<i>Gestão da Demanda</i>
2016	79,87	64,26	80,57	70,37
2051	384,21	309,40	357,78	308,91

Como o limite físico futuro de um sistema aquífero é definido pela sua capacidade em atender estas necessidades, seja através de recursos armazenados anteriormente ou por aqueles incorporados com a exploração, foi preciso determinar qual o volume com que cada uma destas parcelas irá contribuir para atender o total necessário previsto.

Primeiramente, foi calculado o volume a ser liberado pela variação volumétrica do aquífero Serra Grande em resposta à redução da sua carga hidráulica, utilizando-se os resultados encontrados no modelamento matemático para a evolução do nível potenciométrico. Para simplificar os cálculos, foi preciso estabelecer um valor médio de rebaixamento para cada período simulado na área estudada, enquanto na zona urbana foi utilizado o valor máximo obtido.

Considerando o nível d'água estimado para o modelo de exploração da *gestão da oferta* e os valores determinados para a variação volumétrica unitária do aquífero (item 9.4.1), temos:

para a área estudada:

em 2016:  $\Delta h$  médio = 10 m

$$Q = 0,11 \times 10^6 \times 10 \Rightarrow Q = 1,10 \times 10^6 \text{ m}^3$$

em 2051:  $\Delta h$  médio = 50 m

$$Q = 0,11 \times 10^6 \times 50 \Rightarrow Q = 5,50 \times 10^6 \text{ m}^3$$

para a zona urbana de Picos:

em 2016:  $\Delta h$  = 18 m

$$Q = 0,02 \times 10^6 \times 18 \Rightarrow Q = 0,36 \times 10^6 \text{ m}^3$$

em 2051:  $\Delta h$  = 88 m

$$Q = 0,02 \times 10^6 \times 88 \Rightarrow Q = 1,76 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Para o modelo de *gestão da demanda*, utilizando um valor médio de rebaixamento de 7 metros em 2016 e de 40 metros em 2051 na área estudada, calcula-se que o aquífero Serra Grande deverá fornecer para esta área  $0,77 \times 10^6 \text{ m}^3$  do volume armazenado nos próximos 15 anos e  $4,40 \times 10^6 \text{ m}^3$  em 50 anos. Para zona urbana, considerando um rebaixamento de 11 metros para 2016 e de 68 metros para 2051, deverá fornecer  $0,22 \times 10^6 \text{ m}^3$  e  $1,36 \times 10^6 \text{ m}^3$  respectivamente (tabela 11.2).

TABELA 11.2 – ESTIMATIVA DO VOLUME A SER LIBERADO PELA DIMINUIÇÃO DA CARGA HIDRÁULICA DO AQUIFERO SERRA GRANDE A PARTIR DE 2002, POR MODELO DE EXPLORAÇÃO

Até	Volume a ser fornecido ( $10^6 \text{ m}^3$ )			
	Área Estudada		Zona Urbana	
	Pela Oferta	Pela Demanda	Pela Oferta	Pela Demanda
2016	1,10	0,77	0,36	0,22
2051	5,50	4,40	1,76	1,36

Em seguida, foi estimado o volume que precisará ser incorporado pelo aquífero Serra Grande para que o déficit hídrico seja atendido, diminuindo-se deste o valor que deverá ser fornecido do armazenamento.

Os resultados mostraram que, para suprir o déficit pelo modelo da oferta, será necessária a incorporação de um volume da ordem de  $80 \times 10^6 \text{ m}^3$  nos próximos 15 anos e de  $356 \times 10^6 \text{ m}^3$  no prazo de 50 anos, apenas na zona urbana de Picos. Pela demanda, esta zona necessitará de um aporte adicional da ordem de  $70 \times 10^6 \text{ m}^3$  e de  $307 \times 10^6 \text{ m}^3$  nos mesmos períodos de tempo (tabela 11.3).

TABELA 11.3 – ESTIMATIVA DO VOLUME A SER INCORPORADO PELO AQUÍFERO SERRA GRANDE A PARTIR DE 2002, POR MODELO DE EXPLORAÇÃO

Até	Volume a ser incorporado ( $10^6 \text{ m}^3$ )			
	Área Estudada		Zona Urbana	
	Pela Oferta	Pela Demanda	Pela Oferta	Pela Demanda
2016	78,77	63,49	80,21	70,15
2051	378,71	305,00	356,02	307,55

A capacidade do aquífero estudado em incorporar tal volume de recursos e a disponibilidade de água na região que possa ser incorporada determinariam o seu limite físico futuro, mas não foi possível estabelecer numericamente estes valores, devido à quantidade e complexidade dos parâmetros envolvidos nos cálculos.

Apesar disto, os dados levantados e os resultados obtidos neste trabalho mostraram que, avaliando-se exclusivamente a capacidade dinâmica do sistema em capturar mais recursos, a disponibilidade futura do aquífero Serra Grande pode ser considerada elevada. Porém, quando se avalia conjuntamente esta capacidade, a quantidade de água que precisa estar disponível para ser incorporada e as características da região estudada, deve-se considerar que talvez o limite do sistema não seja assim tão elevado e que sua sustentabilidade dependerá da implantação de um programa de gerenciamento de recursos hídricos.

## **11.2. Disponibilidade econômica**

Para determinar a disponibilidade econômica do aquífero Serra Grande, foram estimados o custo de produção e o preço de venda da água nos anos de 2016 e 2051, para o modelo de exploração da *gestão da oferta*, tendo como base os valores obtidos na simulação do rebaixamento futuro do nível potenciométrico.

Considerando que o nível d'água continua a evoluir na área estudada e que os poços foram construídos para uma determinada situação, além dos problemas relatados anteriormente, novos irão surgir para exploração dos recursos hídricos no município de Picos, principalmente na zona urbana. Nos próximos anos, a situação do nível acarretará dentre outros problemas: 1) necessidade de rebaixamento das atuais bombas submersas; 2) desativação de muitos poços produtores quando o nível d'água alcançar as proximidades da base das câmaras de bombeamento atuais, limitando o aprofundamento das bombas submersas; 3) instalação de equipamentos mais potentes; e 4) perfuração de poços com maior profundidade e maior diâmetro. Pode inclusive, se o declínio for grande, reduzir a condutividade hidráulica do próprio aquífero, o que resultaria em rebaixamentos cada vez maiores (Bartolino & Cole, 2002).

Assim sendo, a evolução do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande terá cada vez mais reflexos no custo da água bombeada em Picos, conseqüentemente no seu preço de venda, devido à necessidade de investimentos cada vez maiores para sua produção.

Neste trabalho, procurando representar a influência deste rebaixamento na exploração dos recursos, cada parcela do custo futuro total foi calculada de acordo com a situação prevista para os anos de 2016 e 2051. Convém ressaltar que, para realização destes cálculos, foi necessário assumir as seguintes hipóteses:

1. O poço AG018C terá vida útil de 20 anos e continuará em operação somente até 2013, quando será abandonado. Para substituí-lo, a empresa terá que construir um poço com 50 metros a mais de profundidade, que ficará em operação de 2014 a 2034, sendo substituído por um segundo poço, também com 50 metros a mais, que irá operar entre 2035 e 2051. Esta maior profundidade visa dar capacidade de produção mesmo a partir dos níveis d'água projetados;



2. Devido à localização do poço, o nível dinâmico crescerá na mesma magnitude que a evolução do nível potenciométrico e que a bomba deverá ser mantida com a submersão atual, ou seja, que a altura manométrica a ser vencida crescerá no mesmo valor esperado para o rebaixamento do nível do aquífero;
3. O volume a ser produzido pela AGESPISA a partir deste poço será igual ao utilizado no cálculo do custo atual. Para que isto ocorra, será necessário dispor sempre de uma bomba submersa com a mesma capacidade produtiva que a utilizada em 2001, o que exigirá um equipamento com potência cada vez maior, considerando que o rebaixamento do nível implicará na sua instalação a maiores profundidades;

A determinação do custo da água a ser produzida pela AGESPISA no ano de 2016 teve início com o cálculo de cada parcela do custo total de produção, utilizando as equações apresentadas no item 9.4.2, também para valores de agosto de 2002.

No cálculo das amortizações do custo da obra, foi considerado que a perfuração de um poço com 480 metros de profundidade (50 metros a mais que o atual) custaria cerca de R\$ 288.000,00. Aplicando a mesma taxa de juros utilizada no custo atual (7% ao ano), o valor da amortização anual do poço em 2016 será de R\$ 27.185,16.

*Amortização do poço ( $A_P$ ) em 2016*

$$A_P = 288.000,00 \times 0,07 \times \left[ \frac{(1 + 0,07)^{20}}{(1 + 0,07)^{20} - 1} \right] \Rightarrow \boxed{A_P = \text{R\$ } 27.185,16/\text{ano}}$$

A amortização do custo da bomba foi calculada com base na mesma vida útil do custo atual, ou seja, três bombas para cada poço, a serem adquiridas num preço maior que as atuais, considerando o aumento da sua potência devido ao incremento da altura manométrica. Estimando-se que, entre 2014 e 2034, a bomba necessite de uma potência de 35 kW para produzir o mesmo volume de 2001, vencendo uma altura de 90 metros, o preço para aquisição e instalação do equipamento será de R\$ 11.480,00. Com isso, a amortização anual da bomba atingirá R\$ 2.178,71 em 2016.

### Amortização da bomba ( $A_B$ ) em 2016

#### 1) Valor presente das bombas ( $P_B$ )

a. valor presente da primeira bomba ( $P_{B1}$ ) = R\$ 11.480,00

b. valor presente da segunda bomba ( $P_{B2}$ )

$$P_{B2} = \left[ \frac{11.480,00}{(1+0,07)^7} \right] \Rightarrow \boxed{P_{B2} = 7.149,17}$$

c. valor presente da terceira bomba ( $P_{B3}$ )

$$P_{B3} = \left[ \frac{11.480,00}{(1+0,07)^{14}} \right] \Rightarrow \boxed{P_{B3} = 4.452,14}$$

$$P_B = 11.480,00 + 7.149,17 + 4.452,14 \Rightarrow \boxed{P_B = 23.081,31}$$

#### d) Valor da amortização da bomba

$$A_B = 23.081,31 \times 0,07 \times \left[ \frac{(1+0,07)^{20}}{(1+0,07)^{20} - 1} \right] \Rightarrow \boxed{A_P = \text{R\$ } 2.178,71/\text{ano}}$$

O cálculo do custo da energia elétrica a ser gasta pela empresa, para operação do poço em 2016, considerou os mesmos valores de tempo de bombeamento e de preço do quilowatt utilizados no cálculo do custo atual, alterando-se apenas a potência nominal da bomba para o valor apresentando acima. O resultado obtido mostra que a despesa anual da AGESPISA com energia elétrica neste poço será de R\$ 77.642,38.

### Custo da energia elétrica ( $C_{EE}$ ) em 2016

$$C_{EE} = 35 \times 8.380 \times 0,26472 \Rightarrow \boxed{C_{EE} = \text{R\$ } 77.642,38/\text{ano}}$$

O custo anual com a operação e a manutenção deste poço foi calculado pela mesma metodologia utilizada na determinação do custo atual, aplicando-se o percentual de 5% sobre o custo de construção. Para 2016, estima-se que a AGESPISA terá um custo de R\$ 14.400,00 com este item.

*Custo de operação e manutenção do poço ( $C_{OM}$ ) em 2016*

$$C_{OM} = 0,05 \times 288.000,00 \Rightarrow \boxed{C_{OM} = R\$ 14.400,00/\text{ano}}$$

Com o somatório destas parcelas, pode-se estimar que o custo total com este poço será de R\$ 132.814,00, para que a empresa consiga produzir em 2016 o mesmo volume produzido entre agosto de 2000 e julho de 2001.

*Custo total de produção ( $C_{TP}$ ) em 2016*

$$C_{TP} = A_P + A_B + C_{EE} + C_{OM} = 27.185,16 + 2.178,71 + 77.642,38 + 14.400,00$$

$$\boxed{C_{TP} = R\$ 121.406,25/\text{ano}}$$

Portanto, considerando que o volume a ser produzido a partir deste poço seja também de 670.400 m<sup>3</sup>, estima-se que o custo de produção da água pela AGESPISA no ano de 2016 será de R\$ 0,18 por metro cúbico, em valores de agosto de 2002.

*Custo de produção da água ( $C_{PA}$ ) em 2016*

$$C_{PA} = \frac{C_{TP}}{Q_T} = \frac{121.406,25}{670.400} \Rightarrow \boxed{C_{PA} = R\$ 0,18/\text{m}^3}$$

A comparação deste valor com o calculado para 2001 mostra que o custo para produzir água subterrânea na zona urbana do município de Picos deverá subir, em termos reais, cerca de 20% até 2016, em consequência do rebaixamento do nível potenciométrico do aquífero Serra Grande.

O custo de produção da água em 2051 foi estimado utilizando-se esta mesma metodologia de cálculo, alterando-se o custo de construção da obra e a potência e o preço de aquisição do equipamento de bombeio. No caso do poço, o custo foi alterado para R\$ 318.000,00, considerando que deverá ser perfurado com 530 metros de profundidade (100 metros a mais que o atual), para poder produzir a partir do nível d'água estimado. No caso da bomba submersa, a potência foi alterada para 60 kW, considerando que terá de produzir o mesmo volume vencendo uma altura manométrica de 150 metros, o que elevará seu preço de aquisição para R\$ 19.160,00.

Refazendo os cálculos, estima-se que o custo de produção da água da AGESPISA em Picos será de R\$ 0,27 por metro cúbico em 2051 (em valores de ago/2002), ou seja, 80% superior ao calculado para 2001. Este resultado confirmou a influência da posição do nível d'água na produção do recurso, devido principalmente à elevação do gasto anual com energia elétrica.

Considerando a mesma relação custo de produção – preço de venda determinada no item 9.4.2 e o mesmo sistema de tarifação, acredita-se que a tarifa cobrada para distribuição da água será de R\$ 0,72 em 2016 e de R\$ 1,08 em 2051 por metro cúbico, segundo valores de agosto de 2002. A tabela 11.4 resume os valores estimados para o custo de produção e preço de venda da água no município de Picos, e o percentual de aumento real em relação ao ano de 2001.

TABELA 11.4 – PREVISÃO DO CUSTO DE PRODUÇÃO E PREÇO DE VENDA DA ÁGUA NO MUNICÍPIO DE PICOS, EM 2016 E 2051 (VALORES DE AGOSTO DE 2002), E O AUMENTO REAL EM RELAÇÃO AO ANO DE 2001

Ano	Custo de Produção da Água (R\$/m <sup>3</sup> )	Preço de Venda da Água (R\$/m <sup>3</sup> )	Aumento Real (%)
2016	0,18	0,72	20
2051	0,27	1,08	80

A título de comparação, foram recalculados os custos de produção para os níveis encontrados no modelo de exploração da *gestão da demanda*, que apresentaram valores cerca de 25% menor que os obtidos, mostrando o benefício do uso racional dos recursos hídricos.

Considerando que não era objetivo deste estudo avaliar as condições sócio-econômicas futuras do município, não foi analisada a capacidade da população em suportar a elevação do preço de venda da água, porém acredita-se que o percentual é elevado e que a implantação de um programa de gerenciamento sustentável para o aquífero Serra Grande reduziria esse impacto.

Deve-se ressaltar que as hipóteses assumidas podem ter simplificado parte dos reflexos do rebaixamento do nível potenciométrico no cálculo do valor de cada parcela, mas não influenciaram significativamente os resultados obtidos.

## 12. Gerenciamento sustentável do aquífero Serra Grande

---

A situação atual das águas subterrâneas em Picos e a previsão do cenário futuro demonstram a necessidade de implantação de um programa de gerenciamento para o aquífero Serra Grande, no mais breve espaço de tempo possível, de modo a garantir sua capacidade em atender às demandas da população do município.

Durante a elaboração deste trabalho, foi constatada a ausência de planejamento na exploração dos recursos hídricos, de monitoramento da quantidade produzida e dos efeitos causados, ou de ações para diminuir a demanda, reduzir as perdas do sistema ou racionalizar o uso das águas, o que vem acarretando graves prejuízos aos recursos disponíveis na área estudada, ao longo dos anos. Dentre estes prejuízos, destacam-se: o rebaixamento do nível potenciométrico do Serra Grande, o desaparecimento das lagoas e a perda de perenidade das drenagens superficiais da região.

Constatou-se, também, a falta de proteção da zona de recarga do aquífero e a construção de poços sem a devida proteção sanitária, inclusive pela própria concessionária pública, conforme mostra a figura 12.1, o que pode comprometer futuramente a qualidade das águas subterrâneas. Exemplificando, na zona de afloramento da formação Serra Grande, foram encontradas várias atividades industriais sem controle, como a retirada de material para construção, e foi construído o lixão da cidade de Geminiano (figura 12.2).

Os resultados obtidos mostraram que o volume de água a ser explorado na zona urbana para abastecimento da população, se for mantido o modelo atual, irá provocar a evolução do referido nível para valores elevados, podendo inclusive comprometer a sustentabilidade do aquífero Serra Grande, devido ao aumento do custo de produção do recurso.

Para diminuir ou evitar o impacto causado pela exploração das águas subterrâneas, medidas gerenciais urgentes devem ser implementadas na área estudada, objetivando principalmente equilibrar o déficit hídrico verificado na zona urbana do município de Picos.

Assim sendo, na elaboração do programa de gerenciamento do aquífero Serra Grande, procurou-se focalizar este objetivo, estabelecendo diretrizes para o uso racional e para a conservação dos recursos disponíveis, parâmetros para o regime de produção dos poços e áreas alternativas para locação de novos poços no município, de acordo com os princípios apresentados no capítulo 5.



Figura 12.1 – Poço produtor da AGESPISA (AG012L), sem proteção sanitária



Figura 12.2 – Lixão da cidade de Geminiano, localizado na zona de recarga do aquífero Serra Grande

### **12.1. Uso racional e conservação dos recursos disponíveis**

O principal problema dos recursos hídricos na área estudada, em especial na zona urbana de Picos, é a diferença entre o volume da recarga do aquífero Serra Grande e a quantidade de água explorada, sendo necessário enfrentá-lo com várias medidas simultaneamente.

Primeiramente, é preciso instalar uma rede de poços de observação para monitorar os níveis d'água do aquífero, de modo a caracterizar suas respostas de longo prazo ao bombeamento da água subterrânea. Segundo Bartolino & Cole (2002), o monitoramento de longo prazo é, talvez, a mais importante informação que pode ser coletada para o uso do sistema aquífero e o gerenciamento dos recursos hídricos.

A segunda medida é criar uma lei municipal que complemente a lei estadual 5.167/01 e implante o sistema de gerenciamento de recursos hídricos na cidade, estabelecendo as diretrizes gerais do programa e sua organização legal e institucional, e reúna os instrumentos técnicos para sua elaboração e execução.

Ao mesmo tempo, é necessário criar, também, um órgão gestor e fiscalizador para estes recursos, com responsabilidade e embasamento técnico para propor medidas que compatibilizem as necessidades hídricas da população com a disponibilidade dos mananciais. Dentre outras funções, caberia a este órgão delimitar as áreas de proteção e recarga dos aquíferos, definir as zonas críticas para controle e retirada da água subterrânea, e instituir e conservar registros permanentes do uso dos recursos hídricos no município. A primeira ação nesta questão seria promover a transferência do lixão do município vizinho de Geminiano, da zona de recarga da formação Serra Grande para uma área de afloramento da formação Pimenteiras, de modo a prevenir a contaminação do aquífero estudado.

Enquanto tudo isso não ocorre, a concessionária de abastecimento público deve racionalizar a oferta de água na cidade, sem diminuir o nível de serviço atual, utilizando práticas modernas para controlar e diminuir o consumo como, por exemplo, o uso de tarifas sazonais. Este estudo mostrou que a implantação de um modelo de exploração, baseado no uso racional das águas, gerenciando a sua demanda, poderia reduzir em quase 28% o volume de recursos necessários para abastecimento da cidade de Picos.

É necessário, portanto, que a AGESPISA abandone o modelo tradicional de aumentar a oferta do recurso para atender o crescimento da demanda e que implante ações que influenciem o comportamento dos usuários, pois não é sustentável que

continue a produzir o volume registrado atualmente. Complementarmente, a empresa precisa otimizar sua produção, com o uso de técnicas adequadas de operação e manutenção de seus poços, e deve realizar, de forma sistemática, testes de bombeamento para monitorar os níveis do aquífero Serra Grande. É prioritário, também, que reduza as perdas totais do seu sistema de distribuição para níveis aceitáveis, da ordem de 10 a 15%, através de um programa de medição da produção, do consumo e do faturamento.

Outra medida que deve ser implementada de imediato no município, é a utilização combinada do recurso hídrico subterrâneo com o superficial, com o manejo do aquífero Serra Grande se estendendo para o período chuvoso, englobando um ciclo regular anual de recarga e descarga. Nesse aspecto, poderia se tentar retornar à perenidade do rio Guaribas, regularizando-o a partir das águas armazenadas na barragem construída no município de Bocaína, hoje utilizadas prioritariamente para lazer. Vale lembrar que a região apresenta um dos maiores índices de evapotranspiração do Brasil e grande parte dos recursos armazenados está sendo perdida por este processo.

Para conservar a disponibilidade de recursos hídricos, é preciso, também, implementar soluções que auxiliem no manejo correto do conjunto espécie cultivada/solo/água como, por exemplo, adequando as espécies as condições da região, visando a maior produtividade por metro cúbico de água produzida.

A prática conjunta destas ações poderia diminuir consideravelmente o déficit hídrico na área estudada, porém, para equilibrá-lo, é preciso também ampliar a recarga do Serra Grande, principalmente na zona urbana do município. Para isto, é necessário que sejam implementadas ações para alimentar o aquífero, utilizando tecnologias modernas como, por exemplo, a construção de instalações de recargas artificiais.

A principal medida desta natureza é a utilização das águas pluviais e de esgoto tratado para realimentação dos aquíferos da região, através de poços de injeção, que podem ser utilizados para produção, na fase de maior demanda. Esta medida, denominada de *Gestão Ativa do Aquífero* (Aquifer Storage Recovery), representa atualmente a alternativa mais econômica para reuso da água de esgoto e das águas de enchentes dos rios locais ou de águas importadas de bacias hidrográficas vizinhas.

Complementarmente, é necessário o desenvolvimento de técnicas para tratamento de águas poluídas, com a utilização prioritária das águas de melhor qualidade para o consumo doméstico e as de menor qualidade para uso não-potável.



Outra medida seria a criação de um denominado “Banco de Água”, constituído a partir da infiltração dos excedentes hídricos sazonais dos rios, das águas usadas tratadas e até de águas importadas de outras regiões. Este tipo de alternativa utiliza técnicas de recarga artificial direta ou indireta dos aquíferos, buscando a otimização técnico-econômica dos métodos de tratamento da água já utilizada, a gestão econômica das águas subterrâneas, das barragens existentes e da recarga dos aquíferos, para adequação da qualidade das águas tratadas (Rebouças, 2000).

Uma quarta medida seria otimizar as condições naturais de infiltração do aquífero na região, visando diminuir as grandes perdas para o intenso processo de evaporação que ocorre na área estudada. Neste caso, o escoamento superficial deve ser induzido, para que possa se infiltrar através dos leitos dos riachos, de modo a garantir a máxima recarga do aquífero. Isto pode ser conseguido, por exemplo, com pequenas obras de barramento, nas cabeceiras e ao longo das correntes, que retardem ou controlem a velocidade do fluxo superficial.

Para complementar, devem ser implementadas no município ações de caráter mais geral como, por exemplo, incentivar o uso de técnicas adequadas de perfuração e manutenção de poços, de modo a otimizar a produção e preservar a qualidade dos recursos, e a realização de estudos científicos para aumentar o grau de conhecimento da água subterrânea.

### ***12.2. Regime de produção dos poços existentes***

Os poços produtores da AGESPISA, responsáveis por mais de 90% do volume bombeado na zona urbana de Picos, trabalham num regime de 24 por 24 horas durante os 365 dias do ano, exceto quando apresentam problemas operacionais ou quando alguns deles são desligados no período da noite nos meses chuvosos. Porém, atualmente, oito destes poços operam numa capacidade incompatível com os valores obtidos no teste de produção (ver tabela 9.10).

A empresa deve corrigir este problema adquirindo e instalando o correto equipamento de bombeio nos seus poços, de acordo com a vazão apresentada no referido teste. Para não impor custos adicionais, e como medida emergencial, a AGESPISA poderia ajustar as bombas já disponíveis às capacidades reais dos poços, realizando uma simples troca de equipamentos. Neste caso, os poços AG001C, AG006C, AG008C, AG011L, AG014L, AG015C e AG016C não precisariam de ajuste,

pois estão operando corretamente, enquanto nos demais poderiam ser feitas as seguintes inversões de bomba: 1) entre os poços AG002C e AG007C; 2) entre os poços AG005C e AG0017C; 3) entre os poços AG009L e AG010N; e 4) entre os poços AG012L e AG018C, conforme mostra a tabela 11.1.

TABELA 11.1 – ADEQUAÇÃO DA CAPACIDADE DAS BOMBAS SUBMERSAS DOS POÇOS DA AGESPISA AOS DADOS DE TESTE DE VAZÃO

Poço	Vazão de Teste (m <sup>3</sup> /h)	Capacidade da Bomba Submersa (m <sup>3</sup> /h)	
		Atual	Após Ajuste
AG001C	90	90	90
AG002C	90	36	60
AG005C	120	30	80
AG006C	103	70	70
AG007C	38	60	36
AG008C	51	25	25
AG009L	16	36	15
AG010N	40	15	36
AG011L	95	80	80
AG012L	80	108	80
AG014L	132	100	100
AG015C	128	100	100
AG016C	144	110	110
AG017C	53	80	30
AG018C	120	80	108

Com este ajuste, a capacidade de bombeio da empresa mais do que dobraria na zona nordeste da cidade, que é atualmente a área menos explorada, enquanto decresceria cerca de 15% na zona leste, uma das mais críticas. O aumento de 6% na parte central traria a possibilidade de melhor gerenciar a operação, desligando alguns poços no período da noite. As vantagens proporcionadas à produção e ao aquífero compensariam amplamente a perda na zona leste, que poderia ser equilibrada com um aumento de igual percentual no período de bombeamento dos poços ali localizados.

É preciso, também, que a AGESPISA modernize seu sistema operacional, melhorando o controle da produção e adequando o regime dos poços às necessidades da população. Isso pode ser conseguido com a instalação de equipamentos que permitam mais facilmente a operação dos poços, o que possibilitaria a alternância do horário de funcionamento, diminuindo a interferência entre os cones de depleção.

Acredita-se que, dentro de um programa de gerenciamento, os poços da empresa podem e devem operar num regime máximo de 20 horas diárias, sem prejuízo dos serviços prestados atualmente, monitorando a produção e reduzindo as perdas d'água do sistema.

Quanto aos poços produtores das outras classes de proprietário, apesar da inexistência de qualquer controle de produção, acredita-se que já operem dentro de um regime satisfatório, devido principalmente aos custos da produção de água na região. No caso destes poços, é preciso implantar um sistema de monitoramento da quantidade produzida e do uso dado ao recurso.

### ***12.3. Alternativas para localização de novos poços produtores***

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a produtividade do aquífero Serra Grande é praticamente a mesma em toda a área estudada, sendo a variação da capacidade específica dos poços produtores explicada pelas diferentes espessuras de sedimentos atravessadas ou pelos diferentes materiais utilizados na perfuração da formação produtora.

Com isso, várias são as alternativas para a localização de novos poços no município. Segundo Soares F<sup>o</sup> (1993), considerando o aspecto litológico, as melhores áreas são os vales do rio Guaribas e do riacho São João, nas zonas de afloramento da formação Pimenteiras, localizadas entre as chapadas do leste e do oeste.

Porém, dentro de um programa de gerenciamento, é preciso considerar outros parâmetros para definir as áreas com potencialidade de exploração econômica, principalmente o custo de produção da água. Sabe-se que a interferência entre os cones de depleção dos poços aumenta este custo, sendo necessário que seja avaliada antes da construção de novas obras. É importante considerar, também, que a rede de saneamento público é praticamente inexistente no município e que os poços foram, e continuam sendo, perfurados sem que qualquer critério técnico de afastamento quanto às fossas sépticas existentes fosse considerado e fora dos padrões mínimos de segurança sanitária.

Nesse aspecto, a concentração de poços produtores na parte central e na zona leste da sede municipal vem causando os maiores prejuízos ao aquífero Serra Grande e elevando o custo de produção. Conseqüentemente, a perfuração de novos poços nessas regiões deveria ser evitada ou mesmo proibida, o que ajudaria também a manter a qualidade das águas subterrâneas.

A avaliação de alternativas mostrou que a zona nordeste do município, pouco ao norte do bairro de Umari em direção ao município de Bocaína, apresenta-se como a de melhor favorabilidade, por terem sido encontrados os menores valores de rebaixamento do nível d'água. Portanto, acredita-se que esta área deveria ser utilizada pela AGESPISA para exploração, diminuindo o volume bombeado no centro da cidade.

A princípio, esta solução poderia até aumentar os custos de produção da concessionária, devido à necessidade de adução, mas é preciso analisar a relação custo-benefício desta medida a longo prazo, tanto para o aquífero quanto para a própria empresa. Com a construção de uma bateria de poços nesta área, haveria a descentralização da produção, o que diminuiria a interferência dos cones de depleção e a evolução do nível potenciométrico que, por sua vez, diminuiria o custo futuro da água na zona urbana. Portanto, antes de descartar esta hipótese, é preciso que a AGESPISA faça uma análise considerando o custo-ótimo de produção e de adução, determinados a partir da distância entre os poços e da interferência entre eles.

### 13. Considerações finais

---

A determinação da disponibilidade de um sistema aquífero pode ser efetuada através de diversas metodologias, as quais consideram a existência de um limite físico para o volume que pode ser explorado de modo sustentável.

Entretanto, mesmo respeitando os conceitos de que o desenvolvimento proporciona mais água ao sistema e que a evolução do cone de depleção ocorre enquanto um novo equilíbrio dinâmico não é alcançado, considera-se que o rebaixamento do nível potenciométrico de um aquífero pode acarretar sua insustentabilidade. Tal fato decorre em função dos incrementos que esta condição pode impor aos custos de produção da sua água, mesmo que a necessidade pelo recurso influencie a população a pagar cada vez mais para dispor da mesma quantidade e qualidade.

O *princípio sustentável*, estabelecido neste trabalho, considera a existência de um fator econômico limitando a utilização dos aquíferos, que deve ser avaliado na definição da disponibilidade destes sistemas, considerando a evolução da superfície piezométrica do aquífero e os impactos provocados por esta nova situação.

Neste aspecto, o modelamento matemático tridimensional é uma ferramenta importante para auxiliar nas previsões futuras, porque permite a simulação de vários cenários de exploração e a avaliação de suas diferentes conseqüências. Para construção de um modelo desta natureza, que represente fielmente as condições reais do aquífero, é necessária a execução de várias etapas, dentre as quais destaca-se a elaboração do modelo conceitual da área estudada. Constituída pelo entendimento do sistema hidrogeológico, esta etapa significa identificar as unidades hidroestratigráficas importantes, suas características hidráulicas, o sistema de fluxo da água subterrânea e suas respostas frente ao desenvolvimento. Porém, como normalmente as informações históricas da área estão espalhadas em diversos bancos de dados ou não existem, é preciso, antes, realizar um trabalho consistente de levantamento e interpretação de dados, que pode alongar o prazo de construção do modelo matemático.

Avaliados os impactos financeiros e determinada a disponibilidade, é preciso considerar, também, que a água é um bem econômico e que o seu modelo de exploração deve ser conduzido objetivando sempre seu uso racional e sua conservação. Nada melhor, portanto, que o estabelecimento de um programa de

gerenciamento sustentável para os recursos hídricos, abordando os problemas técnicos, políticos e jurídicos relacionados à questão e envolvendo toda a sociedade.

A área escolhida para elaboração de um programa desta natureza foi o município de Picos, localizado na porção semi-árida do estado do Piauí, devido à carência de recursos superficiais, aos 484 poços produtores de água subterrânea encontrados no município durante o cadastramento dos pontos d'água da região, realizado pela CPRM em 1993, e ao rebaixamento verificado no nível potenciométrico do principal aquífero da região, o Serra Grande.

Considerando a concentração de poços, o estudo restringiu-se a uma área de 240 km<sup>2</sup> ao redor da sede municipal (cerca de 30% da área total do município), onde estavam localizadas 355 destas obras e produzia-se quase 90% do volume total de água. Ao longo do trabalho, verificou-se que a zona urbana de Picos é que apresentava os maiores problemas para os recursos hídricos, porque bombeava cerca de 75% do volume total do município através de 122 poços, numa área de apenas 35 km<sup>2</sup>. A partir desta constatação, uma atenção especial foi dedicada à porção urbana da cidade, com os estudos procurando apresentar resultados que auxiliassem, principalmente, o gerenciamento do aquífero Serra Grande nesta zona.

A metodologia utilizada neste trabalho foi sendo desenvolvida a partir das situações encontradas na sua elaboração como, por exemplo, a determinação da disponibilidade do aquífero estudado. Inicialmente, acreditou-se que a definição do seu limite físico bastaria para caracterizar sua intensa exploração, porém a utilização dos conceitos mais modernos mostrou que a disponibilidade do aquífero Serra Grande é elevada, de difícil determinação, considerando suas características dinâmicas e sua capacidade de incorporar água. Com isso, foi necessário desenvolver uma metodologia que considerasse os aspectos financeiros envolvidos na exploração dos recursos hídricos subterrâneos e estabelecesse o limite econômico de um sistema aquífero.

O cálculo do custo de produção da água apresentou-se como uma metodologia eficiente para a determinação do limite sustentável de um aquífero, mesmo considerando que várias são as hipóteses assumidas na estimativa do custo futuro. Este estudo mostrou que medidas gerenciais devem ser implementadas na área do município de Picos, para que a evolução do nível potenciométrico e a conseqüente evolução do custo de produção do recurso não provoquem a insustentabilidade do aquífero Serra Grande.

No caso específico da definição dos parâmetros hidráulicos, o estudo mostrou que o perfil construtivo dos poços e a metodologia aplicada na execução dos testes de bombeamento influenciam bastante os resultados obtidos na interpretação destes testes, sendo necessária uma análise criteriosa para sua posterior utilização. Portanto, acredita-se que a metodologia apresentada por Iritani et al. (2000) só deve ser aplicada em áreas onde os poços tenham sido construídos com perfis semelhantes, porque os valores de transmissividade irão sempre refletir as variações encontradas nos valores de capacidade específica dos poços.

Convém ressaltar, também, que o número reduzido de testes de bombeamento, a falta de poços de observação durante a execução dos testes, os diferentes perfis construtivos dos poços, os diferentes fluidos utilizados na perfuração das formações produtoras e o bombeamento conjunto de dois aquíferos com características distintas, podem ter influenciado os resultados obtidos neste trabalho.

No estabelecimento das diretrizes para elaboração de um programa sustentável de gerenciamento do aquífero Serra Grande, considerou-se, principalmente, a necessidade de garantir sua capacidade futura em atender à população do município de Picos. Pela previsão dos cenários futuros, a demanda hídrica será elevada e precisa ser administrada por um modelo de *gestão da demanda*, ao invés da cultura tradicional de gerenciar a oferta. Nesse aspecto, foram disponibilizadas informações essenciais para a perfuração de novos poços produtores no município, alternativas de localização e subsídios para definição da política de planejamento urbano que considerem o fator água corretamente e possibilitem a elaboração de um plano diretor para a expansão municipal.

## 14. Conclusões e Recomendações

---

A elaboração deste trabalho permitiu concluir que, apesar de ser o único na região com capacidade para atender as demandas futuras da população do município de Picos, o aquífero Serra Grande é explorado atualmente sem uma diretriz básica de planejamento e gestão, o que pode comprometer sua sustentabilidade.

As informações levantadas e os resultados obtidos mostraram que o principal problema da área estudada e, em especial, da zona urbana de Picos, é a elevada diferença entre o volume de água produzido e a recarga do referido aquífero, atendida por recursos armazenados ou incorporados ao sistema com sua exploração.

Verificou-se que, enquanto as condições de recarga são estabelecidas por uma pluviometria baixa e mal aproveitada, a quantidade de água subterrânea produzida diariamente na área estudada é da ordem de 430 litros por habitante, número extremamente elevado para as características sócio-econômicas do município,. Considerando que um volume de 200 litros seria bastante satisfatório para atender a população, concluiu-se que mais de 50% dos recursos explorados são mal utilizados na cidade.

Dentro desse quadro, a concessionária estadual de abastecimento público – AGESPISA – tem um papel relevante, respondendo por mais de 90% do volume de água subterrânea produzida na zona urbana do município. A análise dos seus dados de produção mostrou que esta relevância não se traduz em responsabilidade na utilização dos recursos, pois a empresa opera de forma não otimizada e trabalha com um índice de perda d'água estimado da ordem de 48%. Com base nos números apresentados nesta análise, concluiu-se que a AGESPISA é atualmente a maior responsável pela situação dos recursos hídricos na área estudada, principalmente na zona urbana de Picos.

Quanto ao nível potenciométrico do aquífero Serra Grande, verificou-se que a taxa de rebaixamento atual na zona urbana é da ordem de 0,90 m/ano, alcançando cerca de 30 metros no período 1958 – 2001. Concluiu-se que sua posição atual é resultado da associação de diversos fatores, dentre os quais destacam-se: 1) a descontrolada exploração a que vem sendo submetido o sistema ao longo das últimas quatro décadas; 2) a concentração de poços produtores, principalmente na zona urbana do município; e 3) a elevada diferença acumulada entre o volume infiltrado anualmente no aquífero e a quantidade de água bombeada.



A evolução do referido nível vem causando diversos problemas para a exploração dos recursos hídricos na área estudada como, por exemplo, o aumento da profundidade final dos novos poços perfurados e o uso de bombas submersas mais potentes, posicionadas a cada vez maiores profundidades. Como consequência, esta evolução acarretou maiores investimentos na construção das obras de captação e nos gastos com energia elétrica, e a elevação do custo de produção da água na região.

Por outro lado, verificou-se que a carga hidráulica do aquífero não declinou ao longo do tempo, de acordo com as condições hidrogeológicas estabelecidas pelo balanço hídrico pré-desenvolvimento, porém desapareceram as lagoas e os rios perenes da região. Este fato permitiu concluir que a exploração do aquífero Serra Grande induziu novos componentes de fluxo subterrâneo ao sistema e incorporou novas fontes de suprimento de água, sendo estas, atualmente, as principais fornecedoras dos recursos bombeados pelos poços.

Os dados levantados mostraram que os poços produtores que exploram este aquífero apresentam vazões e capacidades específicas dentro de um espectro muito grande de variação na área estudada, resultante da localização geográfica, das alterações de litologia e permeabilidade, das diferentes espessuras de sedimentos atravessados e da técnica utilizada para perfuração e completação dos poços. Posto que os parâmetros dinâmicos do aquífero foram determinados pela interpretação de testes de bombeamento de alguns destes poços, os valores obtidos também apresentaram grande variação e indicaram a zona urbana como a de melhor transmissividade. Porém, concluiu-se que esta informação não poderia ser utilizada para definição de novas áreas para exploração de água, pois refletia simplesmente os resultados alcançados pelos poços de maior diâmetro e profundidade, conseqüentemente, os de maior capacidade produtiva.

A análise da sustentabilidade do aquífero estudado mostrou que sua disponibilidade física é elevada, mas dependerá cada vez mais da quantidade de água disponível na região que possa ser incorporada, do que do elevado volume de recursos armazenados no sistema. Este fato, porém, não impedirá a evolução do nível potenciométrico, que deverá, inclusive, acentuar-se, de acordo com as simulações realizadas no modelo matemático construído. Segundo os resultados obtidos nestas análises, o rebaixamento na zona urbana deverá atingir um valor entre 41 e 48 metros no ano de 2016 e entre 98 e 118 metros em 2051, dependendo do modelo de exploração a que for submetido o sistema.

Com isso, no futuro se intensificarão os problemas relacionados à exploração dos recursos, que por sua vez terão reflexos cada vez maiores no custo de produção e do preço de venda da água. Segundo as estimativas realizadas neste trabalho, mantidas as condições atuais de exploração, o custo da água no município deverá subir cerca de 20% em 15 anos e 80% nos próximos 50 anos, em valores reais, o que pode comprometer a disponibilidade econômica do aquífero Serra Grande. Nesse aspecto, verificou-se que a implantação de medidas visando o uso dos recursos hídricos pela *gestão da demanda* poderá reduzir este aumento em cerca de 25%.

Além dos problemas citados, o rebaixamento do nível d'água poderá causar, também, a inversão do gradiente hidráulico natural da área estudada, do aquífero Serra Grande para o aquífero Pimenteiras, fazendo com que o fluxo passe a ser da superfície para o aquífero. Este fato aumentará consideravelmente os riscos de poluição das águas subterrâneas da região, devido à falta de saneamento básico na cidade, que utiliza o rio Guaribas para escoamento dos seus rejeitos. Poderá, também, determinar o término da drenança vertical ascendente para o membro Itaim, fonte quase única de sua recarga. Isto poderá acarretar o fim da contribuição de água deste último para os rios da região e fazer com que ocorra a compactação do esqueleto granular de suas rochas, com possíveis reflexos na superfície do terreno (abatimento).

A previsão de cenários futuros mostrou que a redução da quantidade de água a ser explorada na zona urbana de Picos, dentro de um modelo de *gestão da demanda*, poderá até trazer um certo alívio para o município, mas não resolverá o problema do déficit hídrico. Os resultados mostraram que isso só será possível ampliando a recarga do aquífero Serra Grande, através da implantação de medidas artificiais.

Com base nos dados levantados e nas análises realizadas, a principal conclusão deste estudo é a necessidade de um programa de gerenciamento sustentável para o aquífero Serra Grande no município de Picos, que racionalize o uso da água e preserve os recursos disponíveis.

Por conseqüência, a principal recomendação que o trabalho pode oferecer é a implementação urgente das medidas que compoariam este programa, apresentadas no capítulo 12 e resumidas por:

1. instalação de uma rede de poços de observação para monitoramento dos níveis do aquífero Serra Grande;

2. criação de uma lei municipal para implantação do sistema de gerenciamento de recursos hídricos na cidade, complementando a lei estadual 5.167/01;
3. criação de um órgão gestor e fiscalizador para os recursos hídricos;
4. proteção das áreas de recarga do aquífero Serra Grande;
5. transferência do lixão do município de Geminiano, para uma zona de afloramento da formação Pimenteiras;
6. descentralização e otimização da produção por parte da AGESPISA;
7. utilização combinada do recurso hídrico subterrâneo e do superficial;
8. regularização do rio Guaribas a partir da barragem do município de Bocaína;
9. manejo correto do conjunto espécie cultivada/solo/água;
10. tratamento e reuso das águas poluídas;
11. aumento da recarga do aquífero Serra Grande, através de medidas artificiais;
12. melhor aproveitamento da pluviometria da região, através de poços de injeção, barragens subterrâneas, cisternas, etc.;
13. uso de técnicas adequadas de perfuração e manutenção de poços;
14. incentivo para realização de estudos para água subterrânea.

Concluindo e respondendo às duas questões básicas deste estudo, pode-se afirmar que o aquífero Serra Grande deve ser rotulado de "mal explorado" ao invés de "intensamente explorado" e que os efeitos provocados pelo rebaixamento do seu nível potenciométrico, principalmente os econômicos, serão cada vez mais significativos no município de Picos, se não forem alteradas as condições de uso e exploração dos recursos hídricos.

Finalizando, espera-se que as metodologias utilizadas e os resultados obtidos neste trabalho possam auxiliar os gestores públicos na definição de políticas de gerenciamento para os recursos hídricos, que visem o uso sustentável das águas subterrâneas e possibilitem a preservação futura dos sistemas aquíferos.

## Referências Bibliográficas

---

- ALLEY, W. M.; REILLY, T. E.; FRANKE, O. L. 1999. Sustainability of ground-water resources. *U.S. Geological Survey Circular 1186*. Denver, USGS. 79p.
- ANDERSON, M. P.; WOESSNER, W. W. 1992. *Applied groundwater modeling: Simulation of flow and advective transport*. San Diego, Academic Press. 381p.
- BARTOLINO, J. R.; COLE, J. C. 2002. Ground water resources of the middle Rio Grande basin, New México. *U.S. Geological Survey Circular 1222*. Denver, USGS. 132p.
- BEAR, J.; VERNUIJT, A. 1987. *Modeling groundwater flow and pollution with computer programs for sample cases*. Dordrecht, D. Reidel. 414p.
- BEAR, J. 1979. *Hydraulics of groundwater*. Nova York, McGraw-Hill. 567p.
- BERNER, E. K.; BERNER, R. A. 1987. *The global water cycle*. Nova Jersey, Prentice-Hall. 540p.
- BREDEHOEFT, J. D. 2002. The water budget myth revisited: why hydrogeologists model. *Ground Water*. v. 40, n. 4, p. 340 – 345.
- BREDEHOEFT, J. D. 1997. Safe yield and the water budget myth. *Ground Water*. v. 35, n. 6, p. 929.
- BOURLON, N. & BERTHON, D. 1997. Modelagem de dados hidrogeológicos no município de Picos, Piauí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 12, Vitória, 1997, *Anais*. Vitória, ABRH. p. 201 – 207.
- BRANCO, P. C. M. P. A. et al. 1994. *Modelagem de dados hidrogeológicos no município de Picos, Piauí*. Rio de Janeiro, CPRM. 25p.
- CEDERGREN, H. R. 1977. *Seepage, drainage and flow nets*. 2. ed. Nova York, John Wiley & Sons. 534p.
- CLEARY, R. W. 1991. Qualidade das águas subterrâneas. In: PORTO et al. 1991. *Hidrologia Ambiental*. ABRH e EDUSP. São Paulo. p. 211 – 293.
- COSTA, W. D. 2002. *Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte – MG*. São Paulo. 350p. Tese (Doutoramento) – IG/USP.

- COSTA, W. D. 1998. Avaliação das reservas, potencialidades e disponibilidade de aquífero. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, São Paulo, 1998, *Anais*. São Paulo, ABAS, CD Rom, trabalho 50. 11p.
- CRUZ, W. B.; FRANÇA, H. P. M. 1970. *Inventário hidrogeológico do Nordeste*. Recife, SUDENE. 222p.
- CRUZ, W. B.; FRANÇA, H. P. M. 1967. *Água subterrânea sob condições artesianas na área de Picos - Piauí*. Recife, SUDENE. 79p.
- CUNHA, F. M. B. 1986. *Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico*. Rio de Janeiro, 107p. Dissertação (Mestrado) – IG/UFRJ.
- CUSTÓDIO, E; GURGUÍ, A., ed. 1989. *Groundwater economics*. Amsterdã, Elsevier Science. 625p.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. 1975. *Hidrología subterránea*. Barcelona, Omega. volume 1 e 2, 1157p.
- DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. 1990. *Physical and chemical hydrogeology*. Nova York, John Wiley & Sons. 824p.
- ENGELEN, G. B.; JONES, G. P. 1986. *Developments in the analysis of groundwater flow systems*. Londres, IAHS. 200p.
- FETTER, C. W. 2001. *Applied hydrogeology*. 4. ed. Nova Jersey, Prentice-Hall, Inc. 598p.
- FREEZY, R. A.; CHERRY, J. 1979. *Groundwater*. Nova Jersey, Prentice-Hall, Inc. 604p.
- GIBBONS, R. P. 1994. *Statistical methods for groundwater monitoring*. Nova York, John Wiley & Sons. 286p.
- GUIGER, N.; FRANZ, T. 1997. *Visual MODFLOW. User's Manual*. Ontario, WHI. 313p.
- IRITANI, M. A.; HASSUDA, S.; SOUZA, J. C. S.; REBOUÇAS A. C. 2000. *Avaliação dos valores de transmissividade do aquífero sedimentar no município de Caçapava (SP), com base na capacidade específica*. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Fortaleza, 2000, *Anais*. Fortaleza, ABAS. paper 101. 21p.

- IRITANI, M. A. 1998. *Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea*. São Paulo. 199p. Tese (Doutoramento) – IG/USP.
- KEGEL, W. 1961. *Pesquisa sistemática da água subterrânea na Bacia do Parnaíba (Piauí e Maranhão) e Bacia do Apodi*. SUDENE, Recife. 12 p.
- KEGEL, W. 1956. *As inconformidades na Bacia do Parnaíba e zonas adjacentes*. Teresina, DNPM. relatório, 59p.
- KEGEL, W. 1953. *Estudos no Estado do Piauí*. Teresina, DNPM. relatório, 18p.
- KENDY, E.. 2003. The false promise of sustainable pumping rates. *Ground Water*. v. 41, n. 1, p. 2 – 3.
- KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N. A. 1979. *Analysis and evaluation of pumping test data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Holanda. Bulletin 11, 200p.
- LANNA, A. E. L. 1996. *Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos*. Brasília, IBAMA. 171p.
- LEGRAND, H.; ROSEN, L. E. 1992. Common sense in ground-water protection and manangement in the United States. *Ground Water*. v. 30, n. 6, p. 867 – 872.
- LIMA, E. A. A.; LEITE, J. F. 1978. *Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: integração geológica-metalogenética – Relatório Final da Etapa III*. Recife, CPRM. 437p.
- MARCELINO, M. B. 1999. *Delimitação de perímetros de proteção de poços tubulares (ppp) empregando a técnica de modelagem numérica tridimensional*. São Paulo, 199p. Dissertação (Mestrado) – IG/USP.
- MARTINEZ JR., F.; BRAGA JR., B. P. 1995. O princípio do usuário-pagador e o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11, Recife, 1995, *Anais*. Recife, ABRH, p. 85 – 90.
- MATHER, J. R. 1984. *Water resources: distribution, use and management*. Nova York, John Wiley & Sons. 439p.

- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L. C. 1964. *Estratigrafia das bacias paleozóica e cretácea do Maranhão (tradução condensada de W. M. Campos)*. Boletim Técnico, Rio de Janeiro, PETROBRÁS. p. 137 – 164.
- MOLINAS P. A.; VIEIRA, V. P. P. V. 1997. Marco legal e institucional das águas subterrâneas no Brasil – Breve contribuição ao aprimoramento do sistema jurídico-institucional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, Vitória, 1997, *Anais*. Vitória, ABRH. p. 175 – 181.
- POLLOCK, D. W. 1989. Documentation of computer programs to complete and display pathlines using results from the U. S. Geological Survey modular three dimensional finite-difference ground-water model. *U.S. Geological Survey Open File Report 89-381*. Denver, USGS. 81p.
- REBOUÇAS, A. C. 2000. Gestão sustentável dos grandes aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, Fortaleza, 2000, *Anais*. Fortaleza, ABAS. p. 131 – 139.
- RIVERA, J. J. C. 2000. Application of the groundwater-balance equation to indicate interbasin and vertical flow in two semi-arid drainage basins, Mexico. *Hydrogeology Journal*. v. 8, n. 5, p. 503 – 520.
- RÖHRICH, T. 1997. *AQUIFER Test. User's Manual*. Ontario, WHI. 172p.
- SIMMENS, I. 1987. *Estimation of natural groundwater recharge*. Dordrecht, D. Reidel. 510p.
- SOARES F<sup>o</sup>, A. R. 1993. *Picos – perfil hidrogeológico do município*. Teresina, CPRM. 38p.
- SOARES F<sup>o</sup>, A. R. 1979. *Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: subprojeto hidrogeologia – folha 7*. Recife, CPRM. 148p.
- SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. 1990. *Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Estado do Piauí*. Recife, SUDENE. 236p.
- THEIS, C. V.; RUSSEL, H. B.; MEYER, R. R. 1963. Estimating the transmissibility of aquifers from specific capacity wells. Methods of determining permeability, transmissibility and drawdown. U. S. Geological Survey, *Water Supply Paper*, 1536-I, p. 331 – 341.

- THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. 1987. *Principles of surface water quality modeling and control*. Nova York, Harper & Row. 644p.
- VERHAGEN, B.T.; MEBUS, M. A.; FRÖHLI, K.; WIRTH, K. 1991. *Isotope hydrological methods for the quantitative evaluation of groundwater resources in arid and semi-arid areas*. Federal Ministry for Economic Cooperation, Bonn. relatório p 60 – 71.
- VIDAL, C. L. R. 1997. Gestão de aquíferos - generalidades. *Água em Revista*, n. 8. p. 08 – 12.
- XIANG, J. 1996. Evaluation of hydraulic conductivity of Carson County well field, Amarillo, Texas. *Ground Water*. v. 34, n. 6, p. 1042 – 1049.



## **A N E X O S**

## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
1958	PA001R	Raimundo Veloso	Sussuapara	202	3,00	-	-	50,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1958	PP001C	Prefeitura	Centro	113	-	22,00	-	5,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1958	PP002C	Prefeitura	Povoado Várzea	120	+12,00	25,00	23,00	6,20	0,27	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1958	PP003C	Prefeitura	Centro	120	+1,90	-	-	15,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1958	PP004C	Prefeitura	Centro	103	0,00	-	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	-	-
1959	PA002R	J. Salustiano	Cantinho	98	0,00	-	-	62,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1960	PA003R	P. Evangelista	Camarada	10	6,00	-	-	-	-	Pimenteiras	-	Livre
1960	PA004R	Helvidio Nunes	Paquetá	200	10,00	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1960	PO001L	CIBRAZEM	Bairro Junco	72	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	PA005L	Anísio M. da Luz	Bairro Ipueira	147	+5,70	-	-	40,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1961	PA006N	Anísio da Luz	Bairro Ipueira	147	-	-	-	40,00	-	Serra Grande	Arenito / Folhelho	Confinado
1961	PA007C	Joaquim P. Luz	Centro	30	10,00	-	-	5,00	-	Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1961	PI001L	Usina	Juazeiro	125	+0,80	-	-	20,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1961	PO002C	Casa da Saúde	Centro	180	-	-	-	24,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1962	PA008C	Odilon Monteiro	Carnaibinha	150	5,50	10,50	5,00	6,00	1,20	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1962	PA009R	Aníbal	Mesa de Pedra	150	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1963	PA010L	João Francisco	Bairro Conduru	150	6,70	8,70	2,00	5,00	2,50	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1963	PA011R	Maria Rosa Santos	Vila Abraão	150	-	-	-	30,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1964	PA012N	Maria José Araújo	Bairro Ipueira	220	+5,70	-	-	30,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1964	PA013R	Barros Araújo	Dengoso	130	-	-	-	25,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1964	PA014R	José A. Silva	Engano	180	6,00	-	-	30,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1964	PA015C	Otilia Moura Santos	Centro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	PO003L	AABB	Bairro Catavento	153	1,00	6,00	5,00	24,00	4,80	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1964	PP005R	Prefeitura	Boqueirão	235	1,00	-	-	16,00	-	-	-	-
1964	PP006R	Prefeitura	Boqueirão do Rodrigues	235	1,00	-	-	16,00	-	-	-	-
1965	PA016N	Maria José Araújo	Bairro Ipueira	100	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1965	PO004C	Colégio Mons. Hipólito	Centro	250	-	-	-	62,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1966	PA017N	Antônio E. da Luz	Bairro Ipueira	172	+3,00	-	-	18,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1966	PA018R	Joaquim Salustiano	Campestre	150	-	-	-	25,00	-	-	-	-
1966	PA019C	Antenor Gomes	Bairro Canto da Várzea	150	+11,00	-	-	35,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1966	PA020R	Raimundo Sá Urtiga	Carnaibinha	150	-	2,00	-	7,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1966	PA021R	Wilsa G. Matos	Sussuapara	290	0,00	-	-	14,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1966	PA022R	Djalma P. Nunes	Sussuapara	130	0,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado



## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
1975	PA039N	Emanuel A. Luz	Bairro Ipueira	206	20,00	-	-	36,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1975	PA040C	Pedro M. Costa	Boa Vista I	165	6,00	-	-	25,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1975	PP014R	Prefeitura	Gentil	420	-	-	-	144,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1975	PP015R	Prefeitura	Gentil	200	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1975	PP016R	Prefeitura	Melancia	170	8,80	-	-	26,00	-	-	-	-
1976	AG007C	AGESPISA III	Bairro Bomba	206	16,00	30,00	14,00	51,00	3,64	Serra Grande	Arenito	Confinado
1976	AG008C	AGESPISA IV	Bairro Bomba	200	26,00	32,00	6,00	35,00	5,83	Serra Grande	Arenito	Confinado
1976	AG009L	AGESPISA XIV	Bairro Pantanal	145	51,50	59,60	8,10	16,00	1,97	Serra Grande	Arenito	Confinado
1977	PP017R	Prefeitura	Samambaia	100	16,00	32,00	16,00	36,00	2,25	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1978	PA041C	Pedro Alcântara	Centro	140	8,00	30,00	22,00	30,00	1,36	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1979	AG010N	AGESPISA XIII	Bairro Umari	160	3,90	21,15	17,25	40,00	2,32	Serra Grande	Arenito	Confinado
1979	PA042R	Gilberto Cordeiro	Samambaia	65	-	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	-
1979	PA043R	Lourival Dantas	Samambaia	60	10,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	-
1979	PA044R	Lourival Dantas	Samambaia	130	10,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1979	PA045C	Pedro Alves	Centro	126	6,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1979	PP018R	Prefeitura	Paquetá	70	20,00	-	-	-	-	Pimenteiras	Arenito	Confinado
1979	PP019R	Prefeitura	Povoado Paquetá	116	6,00	-	-	1,00	-	Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1979	PP020N	Prefeitura	Bairro Umari	160	2,00	-	-	46,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1980	AG011L	AGESPISA XVI	Bairro Paraibinha	260	27,00	53,00	26,00	95,00	3,65	Serra Grande	Arenito	Confinado
1980	AG012L	AGESPISA IX	Bairro Paraibinha	268	35,80	52,80	17,00	90,00	5,29	Serra Grande	Arenito	Confinado
1980	AG013C	AGESPISA XVIII	Bairro São José	150	22,00	36,85	14,85	144,00	9,70	Serra Grande	Arenito	Confinado
1980	PA046N	Antônio Jacob Luz	Bairro Ipueira	180	10,00	-	-	60,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1980	PA047N	Alberto B. Moura	Bairro Ipueira	6	5,10	-	-	-	-	Pimenteiras	-	Livre
1980	PA048R	Tiago Avelino	Samambaia	175	5,50	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1980	PA049R	José E. Martins	Sussuapara	132	6,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1980	PO005L	Coca-Cola	Bairro Junco	150	22,00	36,85	14,85	144,00	9,70	Serra Grande	Arenito	Confinado
1980	PP021R	Prefeitura	Lagoa do Tucano	132	84,00	97,00	13,00	4,00	0,31	Pimenteiras	Folhelho	Confinado
1980	PP022R	Prefeitura	Santa Luzia	70	5,00	24,00	19,00	17,00	0,89	-	-	-
1981	PA050N	José M. Amondos	Bairro Ipueira	200	20,00	-	-	60,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1981	PA051R	Elesbão Araújo	Barroão	145	7,00	-	-	48,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1981	PA052L	Francisco Damasceno	Bairro Paraibinha	80	18,00	29,00	11,00	20,00	1,82	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1981	PA053R	José C. de Andrade	Retiro	230	-	9,00	-	29,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1981	PA054R	José Cava. Andrade	Retiro	220	+10,00	-	-	26,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado

## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
1981	PA055R	José A. Bezerra	Samambaia	150	13,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1981	PA056C	Maria José L. Neri	Centro	120	5,00	-	-	10,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1981	PA057R	Francisco A. Cosmo	Centro	180	19,00	29,00	10,00	20,00	2,00	Serra Grande	Arenito	Confinado
1981	PA058R	Antônio Lisboa	Tanque Novo	200	11,00	12,00	1,00	6,20	6,20	-	-	-
1981	PO006L	Itapemirim	Bairro Junco	100	16,00	29,00	13,00	12,00	0,92	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1981	PP023R	Prefeitura	Lagoa Comprida	100	2,20	16,40	14,20	17,00	1,20	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1981	PP024R	Estado	Paquetá	75	16,00	46,00	30,00	1,50	0,05	-	-	-
1981	PP025R	SUDENE	Povoado Saquinho	81	-	-	-	10,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1981	PP026R	Prefeitura	Povoado de Fátima	170	133,40	145,00	11,60	1,70	0,15	Cabeças	Arenito	Livre
1982	PA059N	Antônio L. P. Silva	Bairro Ipueira	5	4,00	-	-	-	-	Pimenteiras	Arenito	Livre
1982	PA060N	José A. Luz	Bairro Ipueira	166	3,00	9,00	6,00	48,00	8,00	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA061R	Raimundo Eulálio	Canto da Aroeira	124	38,00	50,00	12,00	3,96	0,33	-	-	-
1982	PA062R	Joaquim M Sousa	Capitão de Campos	180	-	-	-	60,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA063R	Antônio E. Silva	Capitão de Campos	180	-	-	-	60,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA064R	Conrado M. Costa	Capitão de Campos	180	-	-	-	5,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA065R	Pedro A. Sousa	Capitão de Campos	180	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA066R	Fabiana Neiva	Caraíbas	190	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	PA067R	Maria J. Holanda	Fazenda Cachorro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	PA068L	Albertino Vasconcelos	Bairro Junco	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	PA069L	Milton Joaquim	Bairro Junco	160	8,00	-	-	30,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA070L	Eloi Bispo Roma	Bairro Junco	160	8,00	-	-	-	-	-	-	-
1982	PA071R	Eduardo J. Luz	Lagoa Comprida	130	6,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA072R	Calixto Almonde	Lagoa Grande	130	3,00	-	-	52,80	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA073R	Anacleto M. Luz	Malhada Grande	140	11,00	35,00	24,00	35,00	1,46	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA074R	Adão Elias	Malhada Grande	140	16,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA075R	João P de Carvalho	Malhada Grande	200	-	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA076R	Luisa Teixeira	Malhada Grande	130	16,00	-	-	39,60	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA077R	Marcos José	Morrinho	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	PA078R	Helvidio Nunes	Paquetá	150	10,00	-	-	45,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1982	PA079R	Fabiano Eulálio	Paraíba	190	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	PA080L	Díasis Lima	Bairro Paraibinha	160	12,00	-	-	60,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PA081R	João M. Costa	Samambaia	120	15,00	32,00	17,00	30,00	1,76	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA082R	Ernestino Marques	Samambaia	102	-	-	-	45,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado

## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
1982	PA083R	Araújo Francisco	Samambaia	160	5,00	15,00	10,00	40,00	4,00	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA084R	Pedro T. Moura	Saquinho dos Quincas	100	20,00	-	-	40,00	-	-	-	-
1982	PA085C	José C. Lima	Centro	150	3,00	6,00	3,00	38,00	12,67	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1982	PA086N	Olegário Veloso	Sussuapara	150	2,00	-	-	45,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1982	PP027R	Prefeitura	Angical	210	0,00	34,00	-	6,00	-	-	-	-
1982	PP028R	Prefeitura	Riacho da Raposa	150	53,00	80,00	27,00	9,00	0,33	-	-	-
1982	PP029C	Prefeitura	Santa Luzia	80	5,00	24,00	19,00	24,00	1,26	-	-	-
1982	PP030C	Prefeitura	Vila Nova	155	5,00	-	-	12,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	AG014L	AGESPISA VIII	Bairro Conduru	300	32,00	50,00	18,00	132,00	7,33	Serra Grande	Arenito	Livre
1983	PA087N	Raimundo J. da Luz	Bairro Ipueira	170	12,00	16,00	4,00	44,00	11,00	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA088N	Marcelino da Luz	Bairro Ipueira	200	4,00	12,00	8,00	44,00	5,50	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA089N	João E. da Luz	Bairro Ipueira	200	4,00	12,00	8,00	44,00	5,50	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA090C	Pedro Alcântara	Bairro Canto da Várzea	213	90,00	-	-	10,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA091R	José Epifânio	Dengoso	169	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	PA092R	Francisco Tavares Silva	Lagoa Comprida	130	9,00	-	-	36,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA093R	Justino J Holanda	Lagoa Grande	170	12,00	-	-	60,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA094R	Francisco J. Holanda	Lagoa Grande	150	7,00	-	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA095R	Isaias J. Dias	Lagoa Salgada	120	12,00	-	-	40,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	-	Confinado
1983	PA096R	Jerônimo J. Teixeira.	Malhada Grande	180	20,00	-	-	50,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA097R	J. Raimundo Teixeira	Malhada Grande	150	20,00	35,00	15,00	20,00	1,33	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA098R	Marco J. Holanda	Morrinho	150	30,00	-	-	3,00	-	-	-	-
1983	PA099L	Acelino	Bairro Paraibinha	160	12,00	-	-	60,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA100R	Mário M. Santos	Povoado Saquinho	80	7,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA101R	Otávio F. Gomes	Recreio	118	6,00	-	-	50,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA102R	Pedro Brito	Samambaia	132	20,00	-	-	35,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA103R	Isaias Dias	Samambaia	120	12,00	-	-	40,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1983	PA104C	José Antenor	Centro	180	8,00	11,00	3,00	24,00	8,00	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA105N	Fco Augusto da Luz	Bairro Umari	180	19,00	-	-	36,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA106N	Raimundo M. Silva	Bairro Umari	180	6,00	-	-	40,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PA107R	Oswaldo Araújo	Veneza	240	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	PP031R	Prefeitura	Angico Branco	156	60,00	-	-	4,50	-	-	-	-
1983	PP032L	Prefeitura	Bairro Junco	200	5,00	-	-	45,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1983	PP033R	Prefeitura	Lagoa Grande	170	6,00	24,00	18,00	31,70	1,76	-	-	-

## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
1983	PP034R	Prefeitura	Pereira	120	11,00	17,00	6,00	14,00	2,33	-	-	-
1983	PP035R	Prefeitura	Val Paraíso	200	72,00	78,00	6,00	12,00	2,00	Serra Grande	Arenito	Confinado
1984	PA108N	José Olegário Luz	Bairro Ipueira	160	20,00	-	-	40,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PA109R	José B. Araújo	Barroão	134	92,00	98,00	6,00	2,00	0,33	Serra Grande	Arenito	Confinado
1984	PA110R	Antônio P. Santos	Cajazeiras	171	22,00	-	-	12,00	-	Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PA111R	José Antônio Luz	Lagoa Comprida	170	6,00	12,00	6,00	40,00	6,67	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PA112R	Constantino P. Silva	Lagoa Comprida	150	8,50	22,00	13,50	23,00	1,70	Serra Grande	Arenito	Confinado
1984	PA113R	José Leal Sousa	Paquetá	150	12,00	-	-	36,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1984	PA114R	Carlos C. Neves	Retiro	190	0,00	23,00	-	26,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1984	PA115R	Adelson R. Antão	Samambaia	150	-	-	-	50,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1984	PA116R	Maria Rodrigues	Samambaia	100	15,00	-	-	40,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PA117R	Francisco Silva Gade	Samambaia	150	15,00	-	-	40,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PA118C	Evaristo Galdin	Centro	152	8,00	-	-	36,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PA119N	Antônio Teo da Luz	Bairro Umari	150	10,00	-	-	45,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PA120N	Manoel B. Sousa	Bairro Umari	160	10,00	-	-	35,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1984	PP036N	Prefeitura	Bairro Ipueira	130	10,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PP037R	Prefeitura	Conselho	84	6,00	12,00	6,00	40,00	6,67	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PP038R	Prefeitura	Lagoa Grande	130	3,00	-	-	52,80	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PP039R	Prefeitura	Malhada Grande	130	30,00	49,00	19,00	1,50	0,08	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PP040R	Prefeitura	Povoado Saquinho	240	2,00	-	-	10,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1984	PP041R	Prefeitura	Samambaia	120	-	-	-	6,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	-	-
1984	PP042R	Prefeitura	Samambaia	120	9,00	-	-	20,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1984	PP043R	Prefeitura	Samambaia	120	12,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1985	AG015L	AGESPISA X	Bairro Junco	300	5,35	43,35	38,00	127,00	3,34	Serra Grande	Arenito	Confinado
1985	AG016C	AGESPISA XI	Centro	300	4,00	40,20	35,80	144,00	4,02	Serra Grande	Arenito	Confinado
1985	PA121R	Manuel R. Matos	Lagoa Grande	140	9,00	-	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1985	PA122R	Francisco da Luz	Lagoa do Tabuleiro	120	13,00	18,00	5,00	17,00	3,40	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1985	PA123R	Doroteu Neves	Malhada Grande	160	1,00	28,00	27,00	24,00	0,89	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1985	PA124R	Cresiano Anjos	Riacho Vermelho	-	10,00	-	-	-	-	-	-	-
1985	PA125R	Daniel Vieira	Roca Nova	85	-	-	-	5,00	-	Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1985	PA126R	Raimundo Eulálio	Saco Grande	158	-	-	-	3,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	-
1985	PA127R	José Cosmo Sobrinho	Saco Grande	168	-	-	-	5,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	-
1985	PA128R	Luiz G. do Rego	Samambaia	150	16,00	-	-	50,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado

## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
1985	PA129R	Carlos Amílton	Sussuapara	110	5,00	-	-	50,00	-	-	-	-
1985	PO007C	Estado	Centro	140	10,00	28,00	18,00	6,80	-	-	-	-
1985	PP044R	Prefeitura	Morrinho	152	48,00	63,00	15,00	9,00	0,60	Serra Grande / Pimenteiras	-	-
1985	PP045R	Prefeitura	Riacho Vermelho	117	8,50	-	-	40,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1985	PP046R	Prefeitura	Sipaúba	120	10,00	-	-	17,50	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1985	PP047R	Prefeitura	Tabatinga	140	20,00	39,00	19,00	9,60	0,51	-	-	-
1986	PA130N	Helvidio Barros	Bairro Ipueira	150	8,00	10,00	2,00	18,50	9,25	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA131N	Antônio Moura	Bairro Ipueira	150	9,00	16,00	7,00	20,00	2,86	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA132L	Marcelino da Luz	Bairro Ipueira	160	8,00	16,00	8,00	12,00	1,50	Serra Grande	Arenito	Confinado
1986	PA133L	Risalvo Oliveira	Bairro Catavento	200	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1986	PA134L	Carlos Monteiro	Grossos	120	8,00	14,00	6,00	17,60	2,93	Serra Grande	Arenito	Confinado
1986	PA135R	Abel Barros Araújo	Grossos	120	17,00	18,00	1,00	15,00	15,00	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA136L	Lúis P. Ferreira	Bairro Junco	118	6,00	-	-	26,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA137R	José P. Holanda	Lagoa Grande	150	8,00	-	-	20,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA138R	Francisco Rdo Carvalho	Malhada Grande	203	15,00	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1986	PA139R	João F. Silva	Melancia	160	20,00	-	-	35,00	-	-	-	-
1986	PA140R	Aureliano	Mirólândia	100	60,00	-	-	-	-	-	-	-
1986	PA141R	Sebastião N. Guimarães	Paquetá	130	10,00	-	-	35,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1986	PA142R	Francisco Barros	Samambaia	160	18,00	-	-	32,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA143R	Expedito Mororó	Samambaia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	PA144R	Antônio de Júlio	Samambaia	120	12,00	-	-	41,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA145R	José A. de Sá	Samambaia	150	15,00	26,00	11,00	20,00	1,82	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA146R	Isabel Francisca	Saquinho dos Quincas	150	22,00	-	-	18,00	-	-	-	-
1986	PA147R	Antônio D. Sousa	Sipaúba	120	9,00	-	-	25,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA148R	José E. Martins	Sussuapara	132	6,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA149R	José A. Veloso	Sussuapara	150	7,00	-	-	25,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA150R	Gerson B. Leal	Sussuapara	150	15,00	25,00	10,00	10,28	1,03	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1986	PA151R	Barnabé B Leal	Vila Nova	140	11,00	-	-	22,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1986	PP048R	Prefeitura	Ambrósio	136	13,00	-	-	10,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1986	PP049R	Prefeitura	Chapada do Mocambo	250	145,00	190,00	45,00	5,00	0,11	-	-	-
1986	PP050R	Prefeitura	Lagoa dos Félix	140	85,00	100,00	15,00	3,00	0,20	Pimenteiras	Folhelho	Confinado
1986	PP051R	Prefeitura	Pedra Furada	150	75,00	85,00	10,00	2,50	0,25	-	-	-
1987	PA152R	Laurenço Gonçalves	Brejo do Tucano	160	20,00	-	-	-	-	-	-	-



## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
1987	PA153R	Francisco C. Almondes	Bugi	200	42,00	72,00	30,00	20,00	0,67	-	-	-
1987	PA154R	Fco Nascimento Silva	Lagoa Comprida	-	2,00	-	-	-	-	-	-	-
1987	PA155R	Maria Joana	Malhada Grande	170	18,00	-	-	35,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1987	PA156L	Doroteu	Bairro Paraibinha	160	18,00	-	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1987	PA157R	Homero Castelo Branco	Pouso Bonito	130	81,00	87,00	6,00	1,50	0,25	Pimenteiras	-	-
1987	PA158C	Adebaldo Rocha	Centro	6	4,53	-	-	-	-	Pimenteiras	Folhelho	Confinado
1988	PA159R	José A. Gonçalves	Boca do Saco	160	40,00	-	-	1,00	-	-	-	-
1988	PA160C	Pedro Alcântara	Bairro Canto da Várzea	150	-	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1988	PA161L	José V. de Sá	Bairro Catavento	130	10,00	26,00	16,00	28,00	1,75	Serra Grande	Arenito	Confinado
1988	PA162R	Maria Antônio Moura	Grossos	126	12,00	-	-	-	-	-	-	-
1988	PA163R	Antônio B. Gonçalves	Povoado Saquinho	100	-	-	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1988	PA164R	José B. Moura	Sipaúba	180	10,00	-	-	70,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1988	PA165R	Raimundo Veloso	Sussuapara	180	8,00	-	-	65,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1988	PO008L	CTE Diocesano	Bairro Catavento	130	10,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1988	PP052R	Prefeitura	Brejo do Tucano	110	48,00	57,00	9,00	4,40	0,49	-	-	-
1988	PP053R	Prefeitura	Engano	100	60,00	-	-	-	-	-	-	-
1988	PP054R	Estado	Saco Grande	142	-	-	-	10,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	-
1988	PP055R	Estado	Três Potes	114	50,00	61,00	11,00	2,50	0,23	-	-	-
1988	PP056R	Prefeitura	Várzea	86	30,00	-	-	-	-	Pimenteiras	-	-
1989	PA166R	Antônio Bezerra	Gameleira	151	20,00	-	-	100,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1989	PA167R	Zenob. J. Carvalho.	Lagoa Comprida	6	5,00	-	-	-	-	Pimenteiras	-	Livre
1989	PA168R	Oswaldo Antônio	Lagoa Grande	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	PA169R	José Rodrigues Moura	Malhadinha	160	15,00	-	-	30,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1989	PA170R	Ulisses Filho	Samambaia	150	-	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
1989	PA171R	José E. Martins	Sussuapara	130	6,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1989	PA172R	Raimundo M. Barros	Sussuapara	10	9,00	-	-	-	-	Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
1989	PO009C	Picos Hotel	Bairro Catavento	120	14,00	-	-	25,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1989	PP057R	Estado	Vigia	200	11,60	-	-	3,00	-	-	-	-
1990	PA173R	Faustino J Oliveira	Geminiano	100	6,00	-	-	30,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1990	PA174R	José R. Soares	Sussuapara	150	8,00	-	-	20,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1990	PA175N	Antônio A. Moura	Bairro Ipueira	156	12,00	-	-	32,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1991	PA176N	A. Luz	Bairro Ipueira	150	10,00	18,00	8,00	28,80	3,60	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito	Confinado
1991	PA177L	Gil M. Medeiros	Bairro Junco	120	15,00	-	-	-	-	-	-	-



## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
-	PA208R	João de Deus	Matadouro	150	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA209R	A. Salustiano	Matadouro	217	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA210R	Antônio Leal Campos	Olho D'água da Bica	-	-	-	-	-	-	Cabeças	-	-
-	PA211R	Osvaldo A Costa	Paquetá	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PA212R	Adebaldo Rocha	Paquetá	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PA213L	Arlindo Welzel	Bairro Paraibinha	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PA214L	Jerônimo José	Bairro Paraibinha	180	20,00	-	-	50,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA215R	Atenor Pinheiro	Retiro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PA216R	Raimundo de Sá	Rodeador	210	74,00	95,00	21,00	2,00	0,10	Pimenteiras	Arenito / Folhelho	-
-	PA217R	José Cosmo	Saco Grande	168	-	-	-	5,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
-	PA218R	Raimundo Eulálio	Saco Grande	150	-	-	-	8,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	-
-	PA219R	Manuel de Sousa	Samambaia	-	-	-	-	40,00	-	Serra Grande	-	-
-	PA220R	Valter Pereira	Samambaia	120	20,00	-	-	6,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA221R	Francisco Sampaio	Samambaia	160	12,00	-	-	48,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA222R	Francisco Barros	Samambaia	160	12,00	-	-	30,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA223R	Roberto Santos	Samambaia	160	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA224R	Emídio Borges	Samambaia	120	12,00	-	-	40,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA225R	José Romão	Samambaia	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PA226R	Bernaldo	Samambaia	-	-	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA227R	Antônio Lúcio	Samambaia	122	-	-	-	40,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA228C	Raimundo Neiva	Centro	120	-	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA229C	Abras C. Costa	Centro	-	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA230C	Vartom Moura Santos	Centro	160	-	-	-	-	-	Serra Grande	-	-
-	PA231R	José de A. Maia	Sussuapara	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PA232R	Raimundo F. Veloso	Sussuapara	-	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PA233N	Bezerra	Bairro Umari	170	23,00	-	-	12,00	-	Serra Grande / Pimenteiras	-	-
-	PA234N	Jonas	Bairro Umar	-	-	-	-	-	-	Pimenteiras	-	Livre
-	PA235N	José de A Silva	Bairro Umari	120	15,00	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PI006L	Coca-Cola	Bairro Junco	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PI007L	Coca-Cola	Bairro Junco	-	-	-	-	144,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PI008L	Indústria Coelho	Bairro Junco	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PO011N	Clube dos Professores	Bairro Umari	-	-	-	-	-	-	-	Arenito / Folhelho	Confinado
-	PO012L	DER – PI	Bairro Junco	150	-	-	-	35,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado

## Anexo 1 – Cadastro dos poços produtores do município de Picos localizados na área de estudo (continuação)

Ano Perf.	Poço	Proprietário	Localização	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h/m)	Formação	Litologia	Tipo de Aquífero
-	PO013L	Secretaria de Agricultura	Bairro Junco	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PO014L	EMBRAPA	Bairro Junco	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PO015L	BNB	Bairro Junco	120	10,00	19,00	9,00	6,00	0,67	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
-	PO016L	UFPI	Bairro Junco	210	4,00	18,00	14,00	24,00	1,71	-	-	-
-	PO017L	DNER	Bairro Junco	120	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PO018L	UFPI	Bairro Junco	153	1,00	6,00	5,00	24,00	4,80	-	-	-
-	PO019L	DNER	Bairro Junco	120	-	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PO020L	Posto. Papai Noel	Bairro Junco	130	16,00	-	-	-	-	Serra Grande	-	-
-	PO021R	CHESF	Samambaia	48	13,50	-	-	20,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PO022R	SESI	Samambaia	-	-	18,00	-	40,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PO023R	Campestre Clube	Samambaia	160	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PO024C	Polícia Militar	Centro	210	4,80	9,80	5,00	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PO025C	Colégio das Irmãs	Centro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PP058R	Prefeitura	Angical	-	-	-	-	-	-	Cabeças	-	-
-	PP059R	Prefeitura	Grossos	120	-	-	-	40,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PP060R	Prefeitura	Lagoa Comprida	-	-	-	-	-	-	Serra Grande	Arenito	Confinado
-	PP061L	Prefeitura	Lagoa Comprida	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PP062L	Prefeitura	Bairro Paraibinha	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PP063L	Prefeitura	Bairro Paraibinha	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PP064L	Prefeitura	Bairro Paraibinha	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	PP065R	Prefeitura	Queimada da Ema	180	100,00	105,00	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	-	-
-	PP066R	Prefeitura	Recreio	-	-	-	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	Arenito / Folhelho	Confinado
-	PP067C	Prefeitura	Centro	113	-	-	-	-	-	Serra Grande / Pimenteiras	-	-
-	PP068R	Prefeitura	Vila Aeroporto	152	87,00	95,00	8,00	3,00	0,38	Cabeças	Arenito	Livre
-	PP069R	Prefeitura	Veríssimo	160	60,00	-	-	10,00	-	Serra Grande	Arenito	Confinado

## Anexo 2 – Relação dos poços produtores utilizados no modelo matemático

Poço	Ano Perf.	Proprietário	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas do modelo (m)		Prof. (m)	Cota	NE (m)	NP (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
			E	N	Eixo X	Eixo Y								
AG001C	1970	AGESPISA I	227,406	9.217.004	3,406	9,004	220	226	4,00	222,00	32,00	28,00	72,00	2,57
AG002C	1971	AGESPISA II	227,038	9.217.527	5,038	9,527	190	228	2,50	225,50	23,30	20,80	80,00	3,85
AG005C	1972	AGESPISA VI	227,067	9.216.265	5,067	8,265	160	227	8,50	218,50	16,20	7,70	60,00	7,79
AG006C	1973	AGESPISA V	226,627	9.216.130	4,627	8,130	162	229	13,00	216,00	27,70	14,70	72,00	4,90
AG007C	1976	AGESPISA III	227,455	9.217.427	5,455	9,427	206	229	16,00	213,00	30,00	14,00	51,00	3,64
AG008C	1976	AGESPISA IV	227,179	9.217.287	5,179	9,287	200	228	25,00	213,00	32,00	7,00	35,00	5,83
AG009L	1976	AGESPISA XIV	235,437	9.216.783	13,437	8,783	145	277	51,50	225,50	59,60	8,10	16,00	1,97
AG010N	1979	AGESPISA XIII	231,447	9.219.548	9,447	11,548	160	227	3,90	223,10	21,15	17,25	40,00	2,32
AG011L	1980	AGESPISA XVI	233,937	9.216.018	11,937	8,018	260	253	27,00	226,00	53,00	26,00	95,00	3,65
AG012L	1980	AGESPISA IX	233,637	9.215.632	11,637	7,632	268	249	35,80	213,20	52,80	17,00	90,00	5,29
AG014L	1983	AGESPISA VIII	232,922	9.216.048	10,922	8,048	300	244	32,00	212,00	49,50	17,50	132,00	7,33
AG015C	1985	AGESPISA X	226,853	9.215.987	4,853	7,987	300	226	5,35	220,65	43,35	38,00	127,00	3,34
AG016C	1985	AGESPISA XI	226,315	9.215.664	4,315	7,664	300	224	4,00	220,00	40,20	36,20	144,00	4,02
AG017C	1993	AGESPISA VII	226,283	9.217.185	4,283	9,185	450	283	78,90	204,10	85,70	6,80	52,80	7,76
AG018C	1994	AGESPISA XV	226,803	9.217.243	4,803	9,243	430	238	35,10	202,90	48,00	12,90	120,00	9,23
PA004R	1960	Helvidio Nunes	234,868	9.221.991	12,868	13,991	200	237	10,00	227,00	-	-	-	-
PA005N	1961	Anísio M. da Luz	228,632	9.217.981	6,632	9,981	147	224	+5,70	229,70	-	-	40,00	-
PA008C	1962	Odilon Monteiro	226,724	9.218.008	4,724	10,008	150	241	5,50	235,50	10,50	5,00	6,00	1,20
PA010L	1963	João Francisco	233,045	9.216.402	11,045	8,402	150	241	6,70	234,30	8,70	2,00	5,00	2,50
PA012N	1964	Maria José Araújo	229,029	9.218.444	7,029	10,444	220	225	+5,70	230,70	-	-	30,00	-
PA017C	1966	Antônio E. da Luz	229,433	9.218.625	7,433	10,625	172	226	+3,00	229,00	-	-	18,00	-
PA019C	1966	Antenor Gomes	225,865	9.216.093	3,865	8,093	150	220	+11,00	231,00	-	-	35,00	-
PA021R	1966	Wilsa G. Matos	234,842	9.224.573	12,842	16,573	190	235	0,00	235,00	-	-	14,00	-
PA022R	1966	Djalma P. Nunes	235,421	9.224.954	13,421	16,954	130	236	0,00	236,00	-	-	30,00	-
PA023N	1967	João M. da Luz	229,545	9.218.721	7,545	10,721	207	228	0,00	228,00	-	-	25,00	-
PA024R	1968	João C. de Moura	234,266	9.223.596	12,266	15,596	150	235	6,00	229,00	-	-	6,00	-
PA026N	1968	Raimundo Vieira Lima	231,969	9.220.097	9,969	12,097	190	228	0,00	228,00	-	-	6,00	-
PA031N	1971	José J. Araújo	229,152	9.218.170	7,152	10,170	220	225	6,00	219,00	-	-	35,00	-
PA032N	1971	Francisco Bern. Luz	230,307	9.219.124	8,307	11,124	230	227	6,00	221,00	-	-	50,00	-
PA034R	1971	Anacleto M. Luz	234,848	9.214.275	12,848	6,275	200	242	12,00	230,00	-	-	35,00	-
PA036N	1972	Raimundo João Araújo	229,348	9.218.506	7,348	10,506	130	223	+1,00	224,00	-	-	60,00	-
PA038R	1972	Rosenildo Monte	227,645	9.213.245	5,645	5,245	210	223	8,00	215,00	-	-	36,00	-

## Anexo 2 – Relação dos poços produtores utilizados no modelo matemático (continuação)

Poço	Ano Perf.	Proprietário	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas do modelo (m)		Prof. (m)	Cota	NE (m)	NP (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
			E	N	Eixo X	Eixo Y								
PA039N	1975	Emanuel A. Luz	228,570	9.218.084	6,570	10,084	206	229	20,00	209,00	-	-	36,00	-
PA040C	1975	Pedro M. Costa	227,048	9.215.404	5,048	7,404	165	232	6,00	226,00	-	-	25,00	-
PA041C	1978	Pedro Alcântara	227,114	9.216.812	5,114	8,812	140	227	8,00	219,00	30,00	22,00	30,00	1,36
PA044R	1979	Lourival Dantas	233,764	9.212.503	11,764	4,503	130	235	10,00	225,00	-	-	30,00	-
PA045C	1979	Pedro Alves	226,935	9.216.746	4,935	8,746	126	226	6,00	220,00	-	-	30,00	-
PA046N	1980	Antônio Jacob Luz	228,944	9.218.198	6,944	10,198	180	226	10,00	216,00	-	-	60,00	-
PA048R	1980	Tiago Avelino	233,922	9.212.858	11,922	4,858	175	236	5,50	230,50	-	-	30,00	-
PA049R	1980	José E. Martins	233,872	9.223.436	11,872	15,436	132	234	6,00	228,00	-	-	30,00	-
PA050N	1981	José M. Amondos	228,548	9.218.053	6,548	10,053	200	227	20,00	207,00	-	-	60,00	-
PA051R	1981	Elesbão Araújo	234,942	9.212.433	12,942	4,433	145	246	7,00	239,00	-	-	48,00	-
PA052L	1981	Francisco Damasceno	234,007	9.215.787	12,007	7,787	80	252	18,00	234,00	29,00	11,00	20,00	1,82
PA054R	1981	José Cava. Andrade	225,056	9.213.478	3,056	5,478	220	223	+10,00	233,00	-	-	26,00	-
PA055R	1981	José A. Bezerra	234,358	9.213.024	12,358	5,024	150	241	13,00	228,00	-	-	30,00	-
PA056C	1981	Maria José L. Neri	226,246	9.216.367	4,246	8,367	120	225	5,00	220,00	-	-	10,00	-
PA057C	1981	Francisco A. Cosmo	226,737	9.216.985	4,737	8,985	180	234	19,00	215,00	29,00	10,00	20,00	2,00
PA060N	1982	José A. Luz	229,427	9.218.295	7,427	10,295	166	222	3,00	219,00	9,00	6,00	48,00	8,00
PA069L	1982	Milton Joaquim	230,973	9.215.820	8,973	7,820	160	232	8,00	224,00	-	-	30,00	-
PA071R	1982	Eduardo J. Luz	233,173	9.220.037	11,173	12,037	130	232	6,00	226,00	-	-	30,00	-
PA072R	1982	Calixto Almonde	234,822	9.218.949	12,822	10,949	130	230	3,00	227,00	-	-	52,80	-
PA073R	1982	Anacleto M. Luz	235,015	9.214.831	13,015	6,831	140	239	11,00	228,00	35,00	24,00	35,00	1,46
PA074R	1982	Adão Elias	235,136	9.215.210	13,136	7,210	140	241	16,00	225,00	-	-	30,00	-
PA076R	1982	Luisa Teixeira	234,480	9.214.678	12,480	6,678	130	242	16,00	226,00	-	-	39,60	-
PA078R	1982	Helvidio Nunes	234,623	9.221.918	12,623	13,918	150	239	10,00	229,00	-	-	45,00	-
PA080L	1982	Diasis Lima	234,222	9.215.731	12,222	7,731	160	253	12,00	241,00	-	-	60,00	-
PA081R	1982	João M. Costa	233,598	9.213.431	11,598	5,431	120	240	15,00	225,00	32,00	17,00	30,00	1,76
PA083R	1982	Araújo Francisco	234,617	9.212.131	12,617	4,131	160	240	5,00	235,00	15,00	10,00	40,00	4,00
PA085C	1982	José C. Lima	226,523	9.216.570	4,523	8,570	150	224	3,00	221,00	6,00	3,00	38,00	12,67
PA086R	1982	Olegário Veloso	234,135	9.223.614	12,135	15,614	150	233	2,00	231,00	-	-	45,00	-
PA087N	1983	Raimundo J. da Luz	228,694	9.218.190	6,694	10,19	170	228	12,00	216,00	16,00	4,00	44,00	11,00
PA088N	1983	Marcelino da Luz	229,340	9.218.236	7,340	10,236	200	222	4,00	218,00	12,00	8,00	44,00	5,50
PA089N	1983	João E. da Luz	229,652	9.218.442	7,652	10,442	200	224	4,00	220,00	12,00	8,00	44,00	5,50
PA090C	1983	Pedro Alcântara	226,042	9.215.614	4,042	7,614	213	221	9,00	212,00	-	-	10,00	-

## Anexo 2 – Relação dos poços produtores utilizados no modelo matemático (continuação)

Poço	Ano Perf.	Proprietário	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas do modelo (m)		Prof. (m)	Cota	NE (m)	NP (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
			E	N	Eixo X	Eixo Y								
PA092R	1983	Francisco Tavares Silva	233,345	9.219.710	11,345	11,71	130	234	9,00	225,00	-	-	36,00	-
PA093R	1983	Justino J Holanda	234,084	9.219.066	12,084	11,066	170	235	12,00	223,00	-	-	60,00	-
PA094R	1983	Francisco J. Holanda	235,182	9.219.302	13,182	11,302	150	232	7,00	225,00	-	-	-	-
PA095R	1983	Isaias J. Dias	232,238	9.213.326	10,238	5,326	120	238	12,00	226,00	-	-	40,00	-
PA096R	1983	Jerônimo J. Teixeira.	234,522	9.214.678	12,522	6,678	180	245	20,00	225,00	-	-	50,00	-
PA097R	1983	J. Raimundo Teixeira	234,765	9.214.151	12,765	6,151	150	244	20,00	224,00	35,00	15,00	20,00	1,33
PA099L	1983	Acelino	233,855	9.215.618	11,855	7,618	160	252	20,00	232,00	-	-	60,00	-
PA100R	1983	Mário M. Santos	227,880	9.213.612	5,880	5,612	80	223	7,00	216,00	-	-	30,00	-
PA101R	1983	Otávio F. Gomes	233,894	9.224.565	11,894	16,565	118	238	6,00	232,00	-	-	50,00	-
PA102R	1983	Pedro Brito	233,534	9.213.230	11,534	5,230	132	243	20,00	223,00	-	-	35,00	-
PA103R	1983	Isaias Dias	233,690	9.212.842	11,690	4,842	120	240	12,00	228,00	-	-	40,00	-
PA104C	1983	José Antenor	227,349	9.216.874	5,349	8,874	180	226	8,00	218,00	11,00	3,00	24,00	8,00
PA105N	1983	Fco Augusto da Luz	231,127	9.219.901	9,127	11,901	180	237	19,00	216,00	-	-	36,00	-
PA106N	1983	Raimundo M. Silva	231,536	9.219.730	9,536	11,730	180	227	6,00	221,00	-	-	40,00	-
PA108N	1984	José Olegário Luz	230,299	9.218.106	8,299	10,106	160	223	16,00	207,00	-	-	40,00	-
PA111R	1984	José Antônio Luz	232,680	9.219.854	10,680	11,854	170	230	6,00	224,00	12,00	6,00	40,00	6,67
PA112R	1984	Constantino P. Silva	233,551	9.220.362	11,551	12,362	150	231	8,50	222,50	22,00	13,50	23,00	1,70
PA113R	1984	José Leal Sousa	234,587	9.221.652	12,587	13,652	150	236	12,00	224,00	-	-	36,00	-
PA114R	1984	Carlos C. Neves	225,051	9.214.462	3,051	6,462	190	222	0,00	222,00	23,00	23,00	26,00	1,13
PA116R	1984	Maria Rodrigues	234,490	9.212.435	12,490	4,435	100	241	15,00	226,00	-	-	40,00	-
PA117R	1984	Francisco Silva Gade	233,707	9.213.190	11,707	5,190	150	239	15,00	224,00	-	-	40,00	-
PA118C	1984	Evaristo Galdin	226,374	9.216.220	4,374	8,220	152	224	8,00	216,00	-	-	36,00	-
PA119N	1984	Antônio Teo da Luz	231,703	9.219.811	9,703	11,811	150	228	10,00	218,00	-	-	45,00	-
PA120N	1984	Manoel B. Sousa	230,993	9.219.441	8,993	11,441	160	231	10,00	221,00	-	-	35,00	-
PA121R	1985	Manuel R. Matos	234,635	9.219.230	12,635	11,230	140	232	9,00	223,00	-	-	-	-
PA122R	1985	Francisco da Luz	231,233	9.213.013	9,233	5,013	120	233	13,00	220,00	18,00	5,00	17,00	3,40
PA123R	1985	Doroteu Neves	234,749	9.214.636	12,749	6,636	160	249	18,00	231,00	28,00	10,00	24,00	2,40
PA128R	1985	Luiz G. do Rego	234,226	9.212.317	12,226	4,317	150	241	16,00	225,00	-	-	50,00	-
PA130N	1986	Helvidio Barros	228,913	9.217.900	6,913	9,900	150	221	8,00	213,00	10,00	2,00	18,50	9,25
PA131N	1986	Antônio Moura	228,836	9.218.267	6,836	10,267	150	222	9,00	213,00	16,00	7,00	20,00	2,86
PA132N	1986	Marcelino da Luz	230,048	9.218.170	8,048	10,170	160	222	8,00	214,00	16,00	8,00	12,00	1,50
PA134R	1986	Carlos Monteiro	237,074	9.210.253	15,074	2,253	120	244	8,00	236,00	14,00	6,00	17,60	2,93

## Anexo 2 – Relação dos poços produtores utilizados no modelo matemático (continuação)

Poço	Ano Perf.	Proprietário	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas do modelo (m)		Prof. (m)	Cota	NE (m)	NP (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
			E	N	Eixo X	Eixo Y								
PA135R	1986	Abel Barros Araújo	236,377	9.211.054	14,377	3,054	120	248	17,00	231,00	18,00	1,00	15,00	15,00
PA136L	1986	Luís P. Ferreira	230,746	9.216.155	8,746	8,155	118	231	6,00	225,00	-	-	26,00	-
PA137R	1986	José P. Holanda	235,036	9.219.154	13,036	11,154	150	229	8,00	221,00	-	-	20,00	-
PA138R	1986	Francisco Rdo Carvalho	234,430	9.214.532	12,430	6,532	203	239	15,00	224,00	-	-	-	-
PA141R	1986	Sebastião Guimarães	234,368	9.221.369	12,368	13,369	130	233	10,00	223,00	-	-	35,00	-
PA142R	1986	Francisco Barros	233,425	9.213.186	11,425	5,186	160	242	18,00	224,00	-	-	32,00	-
PA144R	1986	Antônio de Júlio	234,078	9.212.982	12,078	4,982	120	237	12,00	225,00	-	-	41,00	-
PA145R	1986	José A. de Sá	233,851	9.212.219	11,851	4,219	150	241	15,00	226,00	26,00	11,00	20,00	1,82
PA147R	1986	Antônio D. Sousa	232,285	9.219.135	10,285	11,135	120	232	9,00	223,00	-	-	25,00	-
PA148R	1986	José E. Martins	233,913	9.223.825	11,913	15,825	132	233	6,00	227,00	-	-	30,00	-
PA149R	1986	José A. Veloso	234,660	9.222.940	12,660	14,940	150	234	7,00	227,00	-	-	25,00	-
PA150R	1986	Gerson B. Leal	233,444	9.221.767	11,444	13,767	150	240	15,00	225,00	25,00	10,00	10,28	1,03
PA155R	1987	Maria Joana	234,695	9.214.989	12,695	6,989	170	243	18,00	225,00	-	-	35,00	-
PA156L	1987	Doroteu	234,375	9.215.587	12,375	7,587	160	255	18,00	237,00	-	-	-	-
PA161L	1988	José V. de Sá	230,263	9.217.058	8,263	9,058	130	234	10,00	224,00	26,00	16,00	28,00	1,75
PA164R	1988	José B. Moura	232,681	9.219.453	10,681	11,453	180	232	10,00	222,00	-	-	70,00	-
PA165R	1988	Raimundo Veloso	233,892	9.224.068	11,892	16,068	180	232	8,00	224,00	-	-	65,00	-
PA171R	1989	José E. Martins	233,534	9.222.575	11,534	14,575	130	233	6,00	227,00	-	-	30,00	-
PA173R	1990	Faustino J Oliveira	238,959	9.210.037	16,959	2,037	100	253	6,00	247,00	-	-	30,00	-
PA174R	1990	José R. Soares	233,327	9.224.239	11,327	16,239	150	234	8,00	226,00	-	-	20,00	-
PA175N	1990	Antônio A. Moura	228,862	9.218.284	6,862	10,284	156	223	12,00	211,00	-	-	32,00	-
PA176N	1991	Antônio da Luz	229,730	9.218.365	7,730	10,365	150	222	10,00	212,00	18,00	8,00	28,80	3,60
PA178R	1991	Daniel Vieira	228,879	9.210.483	6,879	2,483	150	219	1,00	218,00	-	-	60,00	-
PA180C	1991	José de Ribamar	225,978	9.216.314	3,978	8,314	150	243	37,00	206,00	49,00	12,00	18,00	1,50
PA181C	1991	José R. Araújo	225,710	9.216.453	3,710	8,453	150	242	37,00	205,00	49,00	12,00	18,00	1,50
PA182R	1996	Eriberto da Luz	232,442	9.219.926	10,442	11,926	180	230	10,00	220,00	-	-	50,00	-
PO003L	1964	AABB	229,318	9.216.659	7,318	8,659	153	229	1,00	228,00	6,00	5,00	24,00	4,80
PO005L	1980	Coca-Cola	231,891	9.215.720	9,891	7,72	150	238	22,00	216,00	36,85	14,85	144,00	9,70
PO006L	1981	Itapemirim	231,687	9.216.019	9,687	8,019	100	241	16,00	225,00	29,00	13,00	12,00	0,92
PO008L	1988	CTE Diocesano	228,979	9.216.806	6,979	8,806	130	228	10,00	218,00	-	-	30,00	-
PO009C	1989	Picos Hotel	227,920	9.216.829	5,920	8,829	120	227	14,00	213,00	-	-	25,00	-
PO010L	2000	Alencar Auto	232,627	9.216.474	10,627	8,474	150	242	34,00	208,00	37,00	3,00	8,80	2,93



## Anexo 2 – Relação dos poços produtores utilizados no modelo matemático (continuação)

Poço	Ano Perf.	Proprietário	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas do modelo (m)		Prof. (m)	Cota	NE (m)	NP (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
			E	N	Eixo X	Eixo Y								
PI001L	1961	Usina	229,908	9.216.905	7,908	8,905	125	229	+0,80	229,80	-	-	20,00	-
PI002L	1974	Industria Coelho	234,561	9.216.070	12,561	8,07	120	264	35,00	229,00	-	-	26,00	-
PI003L	1974	Industria Coelho	234,578	9.216.064	12,578	8,064	100	264	35,00	229,00	-	-	18,00	-
PI004L	1974	Industria Coelho	235,190	9.215.866	13,190	7,866	100	267	36,00	231,00	-	-	13,00	-
PI005L	1974	Industria Coelho	234,389	9.216.143	12,389	8,143	120	263	35,00	228,00	-	-	26,00	-
PP002C	1958	Prefeitura	227,048	9.216.519	5,048	8,519	120	219	+12,00	231,00	-	-	6,20	-
PP003C	1958	Prefeitura	226,817	9.216.532	4,817	8,532	120	227	+1,90	228,90	-	-	15,00	-
PP004C	1959	Prefeitura	227,284	9.216.761	5,284	8,761	103	229	0,00	229,00	-	-	13,00	-
PP007N	1966	Prefeitura	229,774	9.218.594	7,774	10,594	280	223	+4,00	227,00	-	-	50,00	-
PP009C	1968	Prefeitura	226,215	9.215.578	4,215	7,578	160	233	13,00	220,00	14,80	1,80	5,80	3,22
PP010C	1970	Prefeitura	227,263	9.216.973	5,263	8,973	160	226	3,00	223,00	-	-	-	-
PP011R	1971	Prefeitura	224,962	9.213.582	2,962	5,582	200	231	25,00	206,00	30,00	5,00	14,00	2,80
PP017R	1977	Prefeitura	233,660	9.213.111	11,660	5,111	100	240	16,00	224,00	32,00	16,00	36,00	2,25
PP020N	1979	Prefeitura	231,394	9.219.580	9,394	11,58	160	226	2,00	224,00	-	-	46,00	-
PP023R	1981	Prefeitura	232,922	9.220.440	10,922	12,44	100	230	2,20	227,80	16,40	14,20	17,00	1,20
PP030R	1982	Prefeitura	233,993	9.223.244	11,993	15,244	155	235	5,00	230,00	-	-	12,00	-
PP035R	1983	Prefeitura	232,580	9.215.562	10,580	7,562	200	295	72,00	223,00	78,00	6,00	12,00	2,00
PP036N	1984	Prefeitura	230,320	9.218.159	8,320	10,159	130	223	10,00	213,00	-	-	30,00	-
PP037R	1984	Prefeitura	237,017	9.222.761	15,017	14,761	84	228	6,00	222,00	12,00	6,00	40,00	6,67
PP038R	1984	Prefeitura	234,161	9.219.138	12,161	11,138	130	231	3,00	228,00	-	-	52,80	-
PP039R	1984	Prefeitura	234,605	9.215.152	12,605	7,152	130	253	30,00	223,00	49,00	19,00	1,50	0,08
PP040R	1984	Prefeitura	228,019	9.212.273	6,019	4,273	240	220	2,00	218,00	-	-	10,00	-
PP042R	1984	Prefeitura	234,175	9.212.683	12,175	4,683	120	238	9,00	229,00	-	-	20,00	-
PP043R	1984	Prefeitura	233,613	9.212.642	11,613	4,642	120	240	12,00	228,00	-	-	30,00	-
PP044R	1985	Prefeitura	236,337	9.215.673	14,337	7,673	152	265	48,00	217,00	63,00	15,00	9,00	0,60
PP046R	1985	Prefeitura	232,532	9.219.367	10,532	11,367	120	232	10,00	222,00	-	-	17,50	-
VIRTUAL1L	2005	Modelo matemático	229,430	9.217.218	7,430	9,218	430	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL2L	2010	Modelo matemático	229,927	9.216.490	7,927	8,490	430	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL3C	2013	Modelo matemático	226,218	9.215.993	4,218	7,993	430	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL4N	2017	Modelo matemático	230,291	9.218.609	8,291	10,609	480	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL5C	2021	Modelo matemático	228,569	9.216.026	6,569	8,026	480	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL6L	2024	Modelo matemático	234,695	9.217.152	12,695	9,152	480	-	-	-	-	-	60,00	-

## Anexo 2 – Relação dos poços produtores utilizados no modelo matemático (continuação)

Poço	Ano Perf.	Proprietário	Coordenadas UTM (m)		Coordenadas do modelo (m)		Prof. (m)	Cota	NE (m)	NP (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
			E	N	Eixo X	Eixo Y								
VIRTUAL7C	2027	Modelo matemático	227,576	9.218.112	5,576	10,112	480	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL8N	2030	Modelo matemático	232,079	9.219.602	10,079	11,602	480	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL9C	2033	Modelo matemático	226,781	9.216.357	4,781	8,357	480	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL10L	2036	Modelo matemático	231,847	9.217.020	9,847	9,020	530	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL11C	2038	Modelo matemático	226,814	9.215.199	4,814	7,199	530	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL12L	2041	Modelo matemático	234,099	9.216.324	12,099	8,324	530	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL13L	2044	Modelo matemático	231,847	9.216.192	9,847	8,192	530	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL14N	2046	Modelo matemático	231,218	9.215.463	9,218	9,463	530	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL15C	2048	Modelo matemático	226,583	9.217.252	4,583	9,252	530	-	-	-	-	-	60,00	-
VIRTUAL16C	2050	Modelo matemático	227,477	9.216.159	5,477	8,159	530	-	-	-	-	-	60,00	-

Anexo 3 – Estimativa do volume total de água produzido e do déficit hídrico na área estudada e na zona urbana do município de Picos, entre 1958 e 2001

Ano	Volume Produzido ( $10^6 \text{ m}^3$ )				Déficit Hídrico ( $10^6 \text{ m}^3$ )			
	Área Estudada		Zona Urbana		Área Estudada		Zona Urbana	
	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado
1958	0,54	0,54	0,50	0,50	-2,03	-2,03	-0,10	-0,10
1959	1,44	1,98	0,79	1,29	-1,13	-3,16	0,19	0,09
1960	1,76	3,74	0,91	2,20	-0,81	-3,97	0,31	0,40
1961	1,99	5,73	1,12	3,32	-0,58	-4,55	0,52	0,92
1962	3,24	8,97	1,54	4,86	0,67	-3,89	0,94	1,86
1963	4,15	13,12	1,98	6,84	1,58	-2,30	1,38	3,24
1964	3,76	16,88	1,79	8,63	1,19	-1,11	1,19	4,43
1965	3,91	20,79	1,86	10,49	1,34	0,23	1,26	5,69
1966	4,20	24,99	2,00	12,49	1,63	1,86	1,40	7,09
1967	4,21	29,19	2,21	14,69	1,64	3,49	1,61	8,69
1968	4,22	33,42	2,23	16,92	1,65	5,15	1,63	10,32
1969	4,22	37,64	2,26	19,18	1,65	6,80	1,66	11,98
1970	4,50	42,14	2,29	21,47	1,92	8,72	1,68	13,66
1971	4,65	46,79	2,44	23,91	2,01	10,73	1,77	15,43
1972	4,73	51,52	2,55	26,46	2,05	12,78	1,84	17,27
1973	5,01	56,53	2,84	29,30	2,22	15,00	2,02	19,28
1974	5,03	61,57	2,86	32,15	2,24	17,24	2,03	21,31
1975	5,07	66,64	2,86	35,02	2,27	19,51	2,03	23,34
1976	5,50	72,14	3,29	38,31	2,54	22,04	2,30	25,64
1977	5,94	78,08	3,73	42,04	2,81	24,85	2,57	28,21
1978	5,95	84,03	4,35	46,39	2,58	27,43	2,95	31,15
1979	6,09	90,12	4,42	50,81	2,69	30,12	2,99	34,15
1980	6,39	96,52	4,53	55,34	2,95	33,07	3,06	37,21
1981	6,46	102,98	4,56	59,90	3,01	36,08	3,08	40,28
1982	6,66	109,64	4,61	64,50	3,19	39,28	3,11	43,39
1983	7,15	116,79	5,00	69,50	3,53	42,81	3,35	46,73
1984	7,29	124,08	5,03	74,52	3,66	46,47	3,36	50,10
1985	8,26	132,34	5,91	80,43	4,29	50,76	3,91	54,01
1986	8,38	140,72	6,82	87,25	4,06	54,82	4,47	58,48
1987	8,42	149,14	6,83	94,08	4,10	58,91	4,48	62,95

Anexo 3 – Estimativa do volume total de água produzido e do déficit hídrico na área estudada e na zona urbana do município de Picos, entre 1958 e 2001 (continuação)

Ano	Volume Produzido ( $10^6 \text{ m}^3$ )				Déficit Hídrico ( $10^6 \text{ m}^3$ )			
	Área Estudada		Zona Urbana		Área Estudada		Zona Urbana	
	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado
1988	8,50	157,64	6,85	100,93	4,17	63,08	4,49	67,44
1989	8,55	166,19	6,85	107,78	4,22	67,30	4,49	71,93
1990	8,57	174,76	6,86	114,64	4,23	71,53	4,49	76,42
1991	8,60	183,36	6,88	121,52	4,26	75,79	4,51	80,93
1992	8,60	191,96	6,88	128,40	4,26	80,05	4,51	85,44
1993	8,83	200,79	7,11	135,51	4,40	84,45	4,65	90,09
1994	9,46	210,24	7,74	143,25	4,22	88,67	4,48	94,56
1995	9,86	220,10	8,14	151,39	4,47	93,13	4,72	99,29
1996	9,86	229,96	8,14	159,54	4,47	97,61	4,72	104,01
1997	9,86	239,83	8,14	167,68	4,47	102,08	4,72	108,73
1998	9,86	249,69	8,14	175,82	4,47	106,55	4,72	113,46
1999	9,86	259,55	8,14	183,97	4,47	111,02	4,72	118,18
2000	9,86	269,41	8,14	192,11	4,47	115,50	4,72	122,90
2001	9,87	279,28	8,15	200,26	4,48	119,98	4,73	127,63

Anexo 4 – Estimativa do volume de água a ser explorado, recarga e déficit hídrico a partir de 2002, de acordo com o aumento da população da zona urbana, pelo modelo de exploração da *gestão da oferta*

Ano	População	Volume a ser explorado (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )					Recarga (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		Déficit Hídrico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			
		Área Estudada		Zona Urbana		AGESPISA	Área Estudada	Zona Urbana	Área Estudada		Zona Urbana	
		No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado				No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado
2002	53250	10,01	10,01	8,27	8,27	7,46	5,43	3,46	4,58	4,58	4,81	4,81
2003	54000	10,15	20,16	8,39	16,66	7,57	5,47	3,50	4,68	9,26	4,88	9,69
2004	54750	10,29	30,45	8,50	25,16	7,67	5,51	3,54	4,78	14,04	4,96	14,65
2005	55500	10,43	40,89	8,62	33,78	7,78	5,55	3,58	4,88	18,92	5,04	19,69
2006	56300	10,58	51,47	8,74	42,52	7,89	5,60	3,63	4,99	23,91	5,12	24,81
2007	57100	10,73	62,20	8,87	51,39	8,00	5,64	3,67	5,10	29,01	5,20	30,00
2008	57900	10,88	73,09	8,99	60,38	8,11	5,68	3,71	5,20	34,21	5,28	35,28
2009	58700	11,03	84,12	9,12	69,50	8,22	5,73	3,76	5,31	39,53	5,36	40,65
2010	59500	11,18	95,31	9,24	78,74	8,34	5,77	3,80	5,42	44,95	5,44	46,09
2011	60350	11,34	106,65	9,37	88,11	8,45	5,81	3,84	5,53	50,48	5,53	51,62
2012	61200	11,50	118,16	9,50	97,62	8,57	5,86	3,89	5,65	56,13	5,62	57,23
2013	62050	11,66	129,82	9,64	107,25	8,69	5,91	3,94	5,76	61,89	5,70	62,93
2014	62900	11,82	141,64	9,77	117,02	8,81	5,95	3,98	5,88	67,76	5,79	68,72
2015	63800	11,99	153,64	9,91	126,93	8,94	6,00	4,03	6,00	73,76	5,88	74,60
2016	64700	12,16	165,80	10,05	136,98	9,06	6,05	4,08	6,11	79,87	5,97	80,57
2017	65600	12,33	178,13	10,19	147,17	9,19	6,10	4,13	6,24	86,11	6,06	86,63
2018	66500	12,50	190,63	10,33	157,49	9,32	6,14	4,17	6,36	92,47	6,15	92,79
2019	67450	12,68	203,31	10,48	167,97	9,45	6,20	4,23	6,49	98,96	6,25	99,04
2020	68400	12,86	216,17	10,62	178,59	9,58	6,25	4,28	6,61	105,57	6,35	105,38
2021	69350	13,04	229,21	10,77	189,36	9,72	6,30	4,33	6,74	112,31	6,44	111,83
2022	70300	13,22	242,42	10,92	200,28	9,85	6,35	4,38	6,87	119,18	6,54	118,37
2023	71300	13,40	255,82	11,07	211,35	9,99	6,40	4,43	7,00	126,19	6,64	125,01
2024	72300	13,59	269,41	11,23	222,58	10,13	6,46	4,49	7,14	133,33	6,74	131,75
2025	73300	13,78	283,19	11,38	233,97	10,27	6,51	4,54	7,27	140,60	6,84	138,59
2026	74300	13,97	297,16	11,54	245,51	10,41	6,56	4,59	7,41	148,00	6,95	145,54
2027	75350	14,16	311,33	11,70	257,21	10,56	6,62	4,65	7,55	155,55	7,05	152,59
2028	76400	14,36	325,69	11,87	269,07	10,70	6,68	4,71	7,69	163,24	7,16	159,75
2029	77500	14,57	340,26	12,04	281,11	10,86	6,74	4,77	7,84	171,08	7,27	167,02
2030	78600	14,78	355,03	12,21	293,32	11,01	6,79	4,82	7,98	179,06	7,38	174,40

Anexo 4 – Estimativa do volume de água a ser explorado, recarga e déficit hídrico a partir de 2002, de acordo com o aumento da população da zona urbana, pelo modelo de exploração da *gestão da oferta* (continuação)

Ano	População	Volume a ser explorado (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )					Recarga (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			Déficit Hídrico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			
		Área Estudada		Zona Urbana		AGESPISA	Área Estudada	Zona Urbana	Área Estudada		Zona Urbana		
		No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado				No Ano	Acumulado	No Ano	Acumulado	
2031	79700	14,98	370,01	12,38	305,69	11,17	6,85	4,88	8,13	187,19	7,49	181,90	
2032	80800	15,19	385,20	12,55	318,24	11,32	6,91	4,94	8,28	195,47	7,61	189,50	
2033	81950	15,41	400,61	12,73	330,97	11,48	6,97	5,00	8,43	203,90	7,72	197,22	
2034	83100	15,62	416,23	12,91	343,88	11,64	7,04	5,07	8,59	212,49	7,84	205,06	
2035	84250	15,84	432,07	13,08	356,96	11,80	7,10	5,13	8,74	221,23	7,96	213,02	
2036	85400	16,05	448,12	13,26	370,22	11,96	7,16	5,19	8,90	230,13	8,07	221,09	
2037	86600	16,28	464,40	13,45	383,67	12,13	7,22	5,25	9,06	239,19	8,19	229,29	
2038	87800	16,50	480,90	13,64	397,31	12,30	7,29	5,32	9,22	248,41	8,32	237,60	
2039	89050	16,74	497,64	13,83	411,14	12,48	7,36	5,39	9,39	257,79	8,44	246,05	
2040	90300	16,97	514,62	14,02	425,16	12,65	7,42	5,45	9,55	267,35	8,57	254,62	
2041	91550	17,21	531,83	14,22	439,38	12,83	7,49	5,52	9,72	277,07	8,70	263,32	
2042	92850	17,45	549,28	14,42	453,80	13,01	7,56	5,59	9,90	286,97	8,83	272,14	
2043	94150	17,70	566,98	14,62	468,42	13,19	7,63	5,66	10,07	297,04	8,96	281,11	
2044	95450	17,94	584,92	14,82	483,25	13,37	7,70	5,73	10,25	307,29	9,09	290,20	
2045	96800	18,20	603,12	15,03	498,28	13,56	7,77	5,80	10,43	317,71	9,23	299,43	
2046	98150	18,45	621,57	15,24	513,52	13,75	7,85	5,88	10,61	328,32	9,37	308,80	
2047	99550	18,71	640,28	15,46	528,98	13,95	7,92	5,95	10,80	339,12	9,51	318,31	
2048	100950	18,98	659,26	15,68	544,66	14,14	8,00	6,03	10,98	350,10	9,65	327,96	
2049	102350	19,24	678,50	15,90	560,56	14,34	8,07	6,10	11,17	361,28	9,79	337,75	
2050	103800	19,51	698,01	16,12	576,68	14,54	8,15	6,18	11,37	372,64	9,94	347,70	
2051	105250	19,79	717,80	16,35	593,03	14,74	8,23	6,26	11,56	384,21	10,09	357,78	

Anexo 5 – Estimativa do volume de água a ser explorado, recarga e déficit hídrico a partir de 2002, de acordo com o aumento da população da zona urbana, pelo modelo de exploração da *gestão da demanda*

Ano	População	Volume a ser explorado (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )						Recarga (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		Déficit Hídrico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			
		Área Estudada	Acumulado	Zona Urbana	Acumulado	AGESPISA <sup>(1)</sup>	Uso Racional <sup>(2)</sup>	Área Estudada	Zona Urbana	Área Estudada	Acumulado	Zona Urbana	Acumulado
2002	53250	10,01	10,01	8,27	8,27	7,46	3,89	5,43	3,46	4,58	4,58	4,81	4,81
2003	54000	10,15	20,16	8,39	16,66	7,57	3,94	5,47	3,50	4,68	9,26	4,88	9,69
2004	54750	6,89	27,05	5,48	22,14	4,80	4,00	3,21	1,24	3,68	12,93	4,24	13,93
2005	55500	6,98	34,03	5,55	27,69	4,86	4,05	3,22	1,25	3,76	16,70	4,31	18,24
2006	56300	7,08	41,11	5,63	33,32	4,93	4,11	3,23	1,26	3,85	20,55	4,38	22,61
2007	57100	7,18	48,29	5,71	39,04	5,00	4,17	3,24	1,27	3,95	24,50	4,45	27,06
2008	57900	7,28	55,58	5,79	44,83	5,07	4,23	3,25	1,28	4,04	28,54	4,52	31,58
2009	58700	7,38	62,96	5,87	50,70	5,14	4,29	3,26	1,29	4,13	32,66	4,59	36,16
2010	59500	7,48	70,45	5,95	56,66	5,21	4,34	3,26	1,29	4,22	36,88	4,66	40,82
2011	60350	7,59	78,04	6,04	62,70	5,29	4,41	3,27	1,30	4,32	41,20	4,73	45,56
2012	61200	7,70	85,74	6,12	68,82	5,36	4,47	3,28	1,31	4,41	45,61	4,81	50,37
2013	62050	7,81	93,54	6,21	75,03	5,44	4,53	3,29	1,32	4,51	50,13	4,88	55,25
2014	62900	7,91	101,46	6,29	81,32	5,51	4,59	3,30	1,33	4,61	54,73	4,96	60,21
2015	63800	8,03	109,48	6,38	87,71	5,59	4,66	3,32	1,35	4,71	59,44	5,04	65,25
2016	64700	8,14	117,62	6,47	94,18	5,67	4,72	3,33	1,36	4,81	64,26	5,12	70,37
2017	65600	8,25	125,87	6,56	100,75	5,75	4,79	3,34	1,37	4,92	69,17	5,20	75,57
2018	66500	8,37	134,24	6,65	107,40	5,83	4,85	3,35	1,38	5,02	74,19	5,28	80,84
2019	67450	8,48	142,72	6,75	114,15	5,91	4,92	3,36	1,39	5,13	79,32	5,36	86,21
2020	68400	8,60	151,33	6,84	121,00	5,99	4,99	3,37	1,40	5,24	84,55	5,45	91,65
2021	69350	8,72	160,05	6,94	127,93	6,08	5,06	3,38	1,41	5,34	89,90	5,53	97,18
2022	70300	8,84	168,89	7,03	134,97	6,16	5,13	3,39	1,42	5,45	95,35	5,61	102,79
2023	71300	8,97	177,86	7,13	142,10	6,25	5,20	3,40	1,43	5,57	100,92	5,70	108,50
2024	72300	9,09	186,96	7,23	149,34	6,33	5,28	3,41	1,44	5,68	106,60	5,79	114,29
2025	73300	9,22	196,18	7,33	156,67	6,42	5,35	3,43	1,46	5,79	112,39	5,88	120,17
2026	74300	9,35	205,53	7,43	164,11	6,51	5,42	3,44	1,47	5,91	118,30	5,97	126,13
2027	75350	9,48	215,00	7,54	171,65	6,60	5,50	3,45	1,48	6,03	124,33	6,06	132,19
2028	76400	9,61	224,61	7,65	179,29	6,69	5,58	3,46	1,49	6,15	130,48	6,15	138,35
2029	77500	9,75	234,36	7,76	187,05	6,79	5,66	3,48	1,51	6,27	136,75	6,25	144,60
2030	78600	9,89	244,25	7,87	194,91	6,89	5,74	3,49	1,52	6,40	143,15	6,35	150,94

Anexo 5 – Estimativa do volume de água a ser explorado, recarga e déficit hídrico a partir de 2002, de acordo com o aumento da população da zona urbana, pelo modelo de exploração da *gestão da demanda* (continuação)

Ano	População	Volume a ser explorado (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )						Recarga (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		Déficit Hídrico (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			
		Área Estudada	Acumulado	Zona Urbana	Acumulado	AGESPISA <sup>(1)</sup>	Uso Racional <sup>(2)</sup>	Área Estudada	Zona Urbana	Área Estudada	Acumulado	Zona Urbana	Acumulado
2031	79700	10,03	254,28	7,98	202,89	6,98	5,82	3,50	1,53	6,53	149,68	6,44	157,39
2032	80800	10,16	264,44	8,09	210,97	7,08	5,90	3,51	1,54	6,65	156,33	6,54	163,93
2033	81950	10,31	274,75	8,20	219,17	7,18	5,98	3,53	1,56	6,78	163,11	6,64	170,57
2034	83100	10,45	285,20	8,32	227,49	7,28	6,07	3,54	1,57	6,91	170,02	6,74	177,32
2035	84250	10,60	295,80	8,43	235,92	7,38	6,15	3,55	1,58	7,04	177,07	6,85	184,16
2036	85400	10,74	306,54	8,55	244,47	7,48	6,23	3,57	1,60	7,18	184,24	6,95	191,11
2037	86600	10,89	317,44	8,67	253,13	7,59	6,32	3,58	1,61	7,31	191,55	7,05	198,17
2038	87800	11,04	328,48	8,79	261,92	7,69	6,41	3,60	1,63	7,45	199,00	7,16	205,33
2039	89050	11,20	339,68	8,91	270,83	7,80	6,50	3,61	1,64	7,59	206,59	7,27	212,60
2040	90300	11,36	351,04	9,04	279,86	7,91	6,59	3,62	1,65	7,73	214,33	7,38	219,98
2041	91550	11,52	362,56	9,16	289,03	8,02	6,68	3,64	1,67	7,88	222,21	7,49	227,47
2042	92850	11,68	374,24	9,29	298,32	8,13	6,78	3,65	1,68	8,03	230,23	7,61	235,08
2043	94150	11,84	386,08	9,42	307,74	8,25	6,87	3,67	1,70	8,17	238,41	7,72	242,80
2044	95450	12,01	398,09	9,55	317,29	8,36	6,97	3,68	1,71	8,32	246,73	7,84	250,63
2045	96800	12,18	410,27	9,69	326,98	8,48	7,07	3,70	1,73	8,48	255,21	7,96	258,59
2046	98150	12,35	422,61	9,82	336,80	8,60	7,16	3,72	1,75	8,63	263,84	8,08	266,66
2047	99550	12,52	435,14	9,96	346,76	8,72	7,27	3,73	1,76	8,79	272,63	8,20	274,86
2048	100950	12,70	447,84	10,10	356,86	8,84	7,37	3,75	1,78	8,95	281,58	8,32	283,19
2049	102350	12,88	460,71	10,24	367,10	8,97	7,47	3,77	1,80	9,11	290,69	8,45	291,63
2050	103800	13,06	473,77	10,39	377,49	9,09	7,58	3,78	1,81	9,28	299,96	8,57	300,21
2051	105250	13,24	487,01	10,53	388,02	9,22	7,68	3,80	1,83	9,44	309,40	8,70	308,91

(1) Considerando um índice de perda d'água de 20% a partir de 2004

(2) 200 L/hab/dia