

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JULIANA MARIA DE MORAIS SOBREIRA VALENÇA

ANÁLISE INTEGRADA DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NA REGIÃO DA  
BARRAGEM DE BOCAINA, PIAUÍ

Recife

2017

JULIANA MARIA DE MORAIS SOBREIRA VALENÇA

ANÁLISE INTEGRADA DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NA REGIÃO DA  
BARRAGEM DE BOCAINA, PIAUÍ

Tese submetida ao curso de Pós-Graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de doutor em engenharia civil.

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Água Subterrânea

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva  
Pereira Cabral

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sylvana Melo dos Santos

Recife

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

V152a Valença, Juliana Maria de Moraes Sobreira.  
Análise integrada da sustentabilidade hídrica na região da Barragem  
Bocaina, Piauí / Juliana Maria de Moraes Sobreira Valença. – 2017.  
159f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral.  
Coorientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2017.  
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Conexão hidráulica. 3. Disponibilidade hídrica. 4. Demanda hídrica. 5. Águas subterrâneas. 6. Abastecimento humano. I. Cabral, Jaime Joaquim da Silva Pereira (Orientador). II. Santos, Sylvana Melo dos (Coorientadora). III. Título.

624 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2017/ 254



UNIVERSIDADE FEDERA DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**ANÁLISE INTEGRADA DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NA REGIÃO DA  
BARRAGEM DE BOCAINA, PIAUÍ**

defendida por

Juliana Maria de Moraes Sobreira Valença

Considera a candidata APROVADA

Recife, 31 de janeiro de 2017

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral – Orientador  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sylvana Melo dos Santos – Coorientadora

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral – UFPE  
(orientador)

---

Prof. Dr. Paulo Frassinete de Araújo Filho – UFPE  
(examinador externo)

---

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva – UFPE  
(examinador externo)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leijdane Maria Maciel de Oliveira – UFPE  
(examinadora externa)

---

Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo – UFPE  
(examinador interno)

*Dedico este trabalho ao meu marido, Marcos, aos meus filhos, Marquinhos e Malu, aos meus pais, Paulo e Helena, e aos meus irmãos, Roberto, Gustavo e Geó pelo amor e apoio incondicional.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora que me acompanharam na construção de cada lógica, nos trajetos do circuito Teresina – Picos – Recife, nas angústias e glórias de cada resultado.

À minha família, Marcos, Malu, Marquinhos, Papai e Mamãe, por me ajudarem nas tarefas que seriam minhas, por vibrarem, por transferirem a energia mágica do amor que alimenta meus passos.

Aos meus irmãos, Roberto, Gustavo e Geó, pelas preces e desejos de realização.

À minha amiga-irmã e colega de turma de doutorado, Margarita, por toda força nas horas de estudos e idas à Barragem de Bocaina para investigar esse lugar que nos proporcionou cansaço, conhecimento e boas risadas.

À minha querida amiga Verônica, por cuidar dos meus filhos enquanto eu estudava.

Ao meu orientador, Prof. Jaime, pela paciência de acompanhar, corrigir, redirecionar, discutir cada ação dos estudos.

Aos Professores Roberto, Alfredo, Almir, Tadeu, Sávia, Lourdinha, Suzana pelas horas de dedicação e orientação desempenhadas com tamanha competência e paciência.

À minha coorientadora e amiga, Professora Sylvana, pelos debates em torno das minhas lógicas, pela incansável vontade de ajudar aos que querem estudar.

À minha turma de doutorado, Margarita, Marcelo, Carlos, Lúcia, Luiza, Feijão, Roberto, Josélia, Eudes e Marcos, pela convivência e aprendizado durante as aulas.

Aos amigos do Laboratório, Gastão e Antônio, pela ajuda nos dias de dúvida.

Às minhas amigas, por entender cada ausência minha e estarem sempre por perto nos pedidos de ajuda.

Aos moradores de Bocaina e região, ao geólogo Edimar, a pedagoga e amiga Elka, ao Sr. Francisco, ao Sr. Luís Silvino, ao Sr. José e Dona Maria Macedo, ao Dr. Vidal, aos moradores de da comunidade de Lagoa dos Currais, aos moradores de Nova Varjota, ao Sr. Chico Mateus, pela acolhida nos dias de pesquisa de campo.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram durante o processo de construção desse trabalho.

## Análise integrada da sustentabilidade hídrica na região da barragem de Bocaina, Piauí.

A escassez da água, a gestão da sua exploração, a caracterização de aquíferos e águas superficiais são atualmente fatores determinantes nos estudos associados à sustentabilidade de recursos hídricos no mundo. Diante da crise hídrica atual, uma visão integrada dos recursos hídricos disponíveis e a demanda na região onde estes se encontram potencializa a aplicação dos conceitos de gerenciamento sustentável. Por sua vez, o crescimento populacional incontrolado associado a crescente demanda hídrica e ao mau uso da água favorecem os conflitos locais na disputa por este bem comum. Os critérios de conhecimento, conscientização, uso e controle interagem como fundamentos da dinâmica de preservação de recursos para futuras gerações. No semiárido a questão da gestão hídrica é ainda mais necessária devido à irregularidade de chuvas e escassez de corpos d'água. Ademais, numa região onde a população é abastecida prioritariamente pelo aquífero Serra Grande e complementarmente pela Barragem de Bocaina é imperativo o monitoramento desses recursos, sobretudo para diminuição de impactos degradantes. Este trabalho apresenta um estudo integrado sobre a flutuação do nível da água subterrânea, os resultados de precipitação e consequente variação do volume da Barragem de Bocaina na região do semiárido nordestino, verificando possíveis conexões hidráulicas entre a barragem e os aquíferos subjacentes. Este estudo também analisou preceitos de sustentabilidade associados à demanda hídrica da região, ao crescimento populacional, a variações dos recursos hídricos subterrâneos e volume de água da Barragem de Bocaina com vistas a contribuir com informações consistentes e inerentes ao processo de construção de mecanismos que, ao tempo que preserve condicione a participação conjunta dos usuários e poder público. Como metodologia, foi realizado monitoramento do nível de água em poços existentes na região, da variação de volume da barragem e dos dados de precipitação da bacia durante os anos de 2013, 2014 e 2015. Nesse processo, foram verificados comportamentos semelhantes nas variações dos níveis dos poços, influenciados pela distribuição da precipitação, características dos solos e elevação do terreno. Os resultados dessa análise indicaram correlação entre a pluviometria, a altura do nível de água na barragem e o nível piezométrico dos poços, demonstrando assim que há uma conexão entre o Aquífero Serra Grande e o Aquitardo Pimenteiras.

Palavras-chave: Conexão hidráulica. Disponibilidade hídrica. Demanda hídrica. Águas subterrâneas. Abastecimento humano.

## Integrated analysis of water sustainability in the Bocaina dam region, Piauí.

Water scarcity, the management of its exploitation, the characterization of aquifers and surface waters are currently determining factors in the studies associated to the sustainability of water resources in the world. In the face of the current water crisis, an integrated view of available water resources and the demand in the region where these are available makes possible the application of sustainable management concepts. In turn, the uncontrolled population growth associated with increasing water demand and the misuse of water favor local conflicts in the struggle for this common good. The criteria of knowledge, awareness, use and control interact as foundations of the dynamics of preservation of resources for future generations. In the semi-arid the question of water management is even more necessary due to the irregularity of rainfall and scarcity of water bodies. In addition, in a region where the population is supplied primarily by the Serra Grande aquifer, and in addition to the Bocaina Dam, it is imperative to monitor these resources, especially to reduce degrading impacts. This work presents an integrated study on groundwater level fluctuation, precipitation results and consequent volume variation of the Bocaina Dam in the Northeastern semi-arid region, verifying possible hydraulic connections between the dam and the underlying aquifers. This study also analyzes sustainability precepts associated with the water demand of the region, population growth, variations in groundwater resources and water volume of the Bocaina Dam with a view to contributing with consistent and inherent information to the process of construction of mechanisms that, Time that it preserves condition the joint participation of users and public power. As a methodology, monitoring of the water level in existing wells in the region, the volume variation of the dam and the basin precipitation data were carried out during the years of 2013, 2014 and 2015. In this process, similar behaviors were verified in the variations of the levels of the wells, influenced by the precipitation distribution, soil characteristics and terrain elevation. The results of this analysis indicated a correlation between the rainfall, the height of the water level in the dam and the piezometric level of the wells, thus demonstrating that there is a connection between the Serra Grande Aquifer and Aquitardo Pimenteiras.

Key words: Hydraulic connection. Water availability. Water demand. Groundwater. Human supply.

.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Cenários para evolução da demanda global da água	9
Figura 2 –	Mecanismos de recarga subterrânea	17
Figura 3 –	Condições gerais de fluxo rio-aquífero-rio	19
Figura 4 –	Zona hiporréica como um modulador entre o rio, a água subterrânea, a zona riparia, e aquífero aluvial	20
Figura 5 –	Bacias Hidrográficas do Rio Parnaíba no Estado do Piauí	24
Figura 6 –	Bacia da Barragem de Bocaina	26
Figura 7 –	Localização da Barragem de Bocaina	27
Figura 8 –	Curvas cota x área e cota x volume da Barragem de Bocaina atualizadas em 2016	29
Figura 9 –	Imagens da sangria E vista a montante da Barragem de Bocaina em 2009	31
Figura 10 –	Volumes do reservatório de Bocaina no período de 1999 a 2016	32
Figura 11 –	Bacias Sedimentares Brasileiras	34
Figura 12 –	Perfil litoestratigráfico na Bacia Sedimentar do Parnaíba	35
Figura 13 –	Área de afloramentos das formações geológicas na bacia hidrográfica da Barragem de Bocaina, Piauí	36
Figura 14 –	Mapa de localização do estado do Piauí com destaque para as zonas de recarga dos principais aquíferos do estado	37
Figura 15 –	Área de Afloramento do Aquífero Serra Grande	38
Figura 16 –	Localização dos poços cadastrados no SIAGAS no entorno da Barragem de Bocaina	40
Figura 17 –	Poços cadastrados no SIAGAS perfurados no entorno da Barragem de Bocaina	40
Figura 18 –	Recortes do relevo da Bacia da Barragem de Bocaina	44
Figura 19 –	Declividade da Bacia da Barragem De Bocaina	45
Figura 20 –	Vegetação Caatinga da Bacia da Barragem de Bocaina	46
Figura 21 –	Vegetação Caatinga da Bacia da Barragem de Bocaina	47
Figura 22 –	Tipos de Solos que compõem a região da Barragem de Bocaina	48
Figura 23 –	Exemplos de áreas com diferentes tipos de solos que compõem a bacia da Barragem de Bocaina	50

Figura 24 –	Área coberta de sedimentos próxima ao povoado de Nova Varjota	50
Figura 25 –	Postos pluviométricos contidos ou circunvizinhos à Barragem de Bocaina, Piauí	54
Figura 26 –	Precipitações Médias Mensais dos postos pluviométricos (1966 a 1996)	56
Figura 27 –	Mapas Climatológicos de Temperatura e Evaporação anual do estado do Piauí	59
Figura 28–	Mapas Climatológicos de Precipitação e Umidade Relativa anual do estado do Piauí	60
Figura 29 –	Mapas de ETo mensal para o Estado do Piauí	61
Figura 30 –	Precipitação e Evaporação durante o período de 2013 a 2015	62
Figura 31 –	Instalação de réguas linimétricas na Barragem de Bocaina (PI)	65
Figura 32 –	Coleta de amostras na Barragem de Bocaina	66
Figura 33 –	Instalação dos canos de proteção nos poços	66
Figura 34 –	Localização dos poços de monitoramento	67
Figura 35 –	Medição do Nível D'água no P1 e Medidor de Nível de 50m	68
Figura 36 –	Pluviômetro da Barragem de Bocaina	69
Figura 37 –	Distribuição mensal pluviométrica na Barragem de Bocaina nos anos de 2013 a 2015	79
Figura 38 –	Precipitação anual na Barragem de Bocaina durante os anos de 2013 a 2015	79
Figura 39 –	Precipitação anual na Barragem de Bocaina durante os anos de 1999 a 2015	80
Figura 40 –	Precipitação anual na Barragem de Bocaina durante os anos de 1966 a 2015.	81
Figura 41 –	Temperatura Média anual na Barragem de Bocaina entre 1966 a 2015.	82
Figura 42	Evaporação e Precipitação anuais na Barragem de Bocaina entre 1966 a 2015.	82
Figura 43 –	Variação do nível de água e precipitações no poço 1	84
Figura 44 –	Variação do nível de água e precipitações no poço 2	84
Figura 45 –	Variação do nível de água e precipitações no poço 3	85
Figura 46 –	Variação do nível de água e precipitações no poço 4	86

Figura 47 –	Variação do nível de água e precipitações no poço 5	86
Figura 48 –	Variação do nível de água e precipitações no poço 6	87
Figura 49 –	Corte esquemático da área em estudo	88
Figura 50 –	Níveis Máximos de Água Subterrânea	88
Figura 51 –	Superfície Potenciométrica na região da Barragem de Bocaina (PI)	89
Figura 52 –	Variação do nível de água da barragem e precipitações	90
Figura 53 –	Variação do nível de água do poço 1 e da Barragem de Bocaina	91
Figura 54 –	Variação do nível de água do poço 2 e da Barragem de Bocaina	92
Figura 55 –	Variação do nível de água do poço 3 e da Barragem de Bocaina	92
Figura 56 –	Variação do nível de água do poço 4 e da Barragem de Bocaina	93
Figura 57 –	Variação do nível de água do poço 5 e da Barragem de Bocaina	93
Figura 58 –	Variação do nível de água do poço 6 e da Barragem de Bocaina	94
Figura 59 –	Variação do nível de água dos poços e da barragem	95
Figura 60 –	Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período de 2013 a 2015	96
Figura 61 –	Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 1	97
Figura 62 –	Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 2	97
Figura 63 –	Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 3	98
Figura 64 –	Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 4	98
Figura 65 –	Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 5	99
Figura 66 –	Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 6	99

Figura 67–	Projeção Populacional de Bocaina nos anos de 2010, 2016 e 2066	103
Figura 68 –	Projeção Populacional de Bocaina de 2016 a 2066	103
Figura 69 –	Projeção Populacional de Sussuapara nos anos de 2010, 2016, 2036 e 2066	104
Figura 70 –	Projeção Populacional de Sussuapara de 2016 a 2066	104
Figura 71–	Projeção Populacional de Picos nos anos de 2010, 2016 e 2066	105
Figura 72 –	Projeção Populacional de Picos de 2016 a 2066	105
Figura 73 –	Projeção do consumo anual de 2016 a 2066	107
Figura 74 –	Projeção das demandas de 2016 a 2066	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Projeção populacional - Métodos com base em fórmulas matemáticas	13
Tabela 2 –	Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta	15
Tabela 3 –	Caracterização da Barragem de Bocaina	30
Tabela 4 –	Temperatura Média Mensal ( $^{\circ}\text{C}$ ) – Estação Picos	54
Tabela 5 –	Evaporação média mensal (mm) – Estação Picos	54
Tabela 6 –	Postos pluviométricos circunvizinhos à Bacia da Barragem de Bocaina	55
Tabela 7 –	Precipitações na Bacia da Barragem de Bocaina calculadas pelo Método de Thiessen	56
Tabela 8 –	Resumo do método de Thiessen	57
Tabela 9 –	Umidade Relativa Média Mensal (%) – Estação Picos	58
Tabela 10 –	Insolação Média Mensal (Horas) – Estação Picos	59
Tabela 11 –	Valores mensais e anuais de ETo (mm) em Picos, Piauí	63
Tabela 12 –	Número de Estabelecimentos de Saúde no Município de Bocaina	64
Tabela 13 –	Números de Escolas dos Ensinos Pré-escolar, Fundamental e Médio, no Município de Bocaina	64
Tabela 14 –	Dados dos Poços de Observação	70
Tabela 15 –	Dados da população de Bocaina	71
Tabela 16 –	Dados da população de Sussuapara	72
Tabela 17 –	Dados da população de Picos. (CENSO)	72
Tabela 18 –	Parâmetros de demanda adotados	76
Tabela 19 –	Pluviometria mensal e anual na Barragem de Bocaina nos anos estudados	79
Tabela 20 –	Variações do nível estático de água no poço 1	82
Tabela 21 –	Variações do nível estático de água no poço 2	83
Tabela 22 –	Variações do nível estático de água no poço 4	84

Tabela 23 –	Variações do nível estático de água no poço 3	84
Tabela 24 –	Variações do nível estático de água no poço 5	85
Tabela 25 –	Variações do nível estático de água no poço 6	86
Tabela 26 –	Análise Granulométrica de solos da Bacia da Barragem de Bocaina	99
Tabela 27 –	Valores típicos da condutividade K baseados na estrutura do solo	100
Tabela 28 –	Parâmetros de demanda adotados	104
Tabela 29 –	Demanda Hídrica das cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos	105

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>1.1.</b>	<b>Justificativa</b>	<b>19</b>
<b>1.2.</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>20</b>
<b>1.3.</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>20</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>22</b>
<b>2.1.</b>	<b>Sustentabilidade do uso dos recursos hídricos</b>	<b>22</b>
<b>2.2.</b>	<b>Disponibilidade hídrica: cenário atual e futuro</b>	<b>23</b>
<b>2.3.</b>	<b>Projeção populacional</b>	<b>27</b>
<b>2.4.</b>	<b>Sustentabilidade Hídrica</b>	<b>30</b>
<b>2.5.</b>	<b>Precipitação, infiltração e recarga de água subterrânea</b>	<b>32</b>
2.5.1.	Precipitação	32
2.5.2.	Infiltração	33
2.5.3.	Estimativa da recarga de água subterrânea	33
<b>2.6.</b>	<b>Interação entre Águas Superficiais e Subterrâneas</b>	<b>35</b>
<b>3.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO</b>	<b>40</b>
<b>3.1.</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>40</b>
<b>3.2.</b>	<b>Hidrografia do Piauí – Bacia do Canindé</b>	<b>41</b>
<b>3.3.</b>	<b>Bacia Hidrográfica da Barragem de Bocaina</b>	<b>42</b>
<b>3.4.</b>	<b>Caracterização da Barragem de Bocaina</b>	<b>44</b>
<b>3.5.</b>	<b>Curvas Cota X Área e Cota X Volume</b>	<b>45</b>
<b>3.6.</b>	<b>Vazão Regularizada da Barragem</b>	<b>46</b>
<b>3.7.</b>	<b>Eventos de Sangria e Volume Mínimo da Barragem</b>	<b>47</b>
<b>3.8.</b>	<b>Geologia da Bacia da Barragem de Bocaina</b>	<b>50</b>
3.8.1.	Hidrogeologia	53
3.8.2.	Aquífero Serra Grande	55
3.8.3.	Trabalhos anteriores sobre o Aquífero Serra Grande	58
<b>3.9.</b>	<b>Relevo</b>	<b>61</b>
<b>3.10.</b>	<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>63</b>
<b>3.11.</b>	<b>Solos</b>	<b>65</b>
<b>3.12.</b>	<b>Dados Climáticos</b>	<b>68</b>
3.12.1.	Temperatura	68

3.12.2.	Evaporação	69
3.12.3.	Precipitação	70
3.12.4.	Umidade Relativa	73
3.12.5.	Insolação	74
<b>3.13.</b>	<b>Mudanças Climáticas</b>	<b>74</b>
<b>3.14.</b>	<b>Infraestrutura Básica</b>	<b>80</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>81</b>
<b>4.1.</b>	<b>A implantação/estruturação de infraestrutura para coleta de dados</b>	<b>82</b>
<b>4.2.</b>	<b>Coleta de dados</b>	<b>84</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>95</b>
<b>5.1.</b>	<b>Distribuição Pluviométrica</b>	<b>95</b>
<b>5.2.</b>	<b>Variação dos Níveis de Água Subterrânea sob a Influência da Precipitação</b>	<b>97</b>
<b>5.3.</b>	<b>Variação do Nível de Água da Barragem de Bocaina sob a influência da precipitação</b>	<b>107</b>
<b>5.4.</b>	<b>Variação dos níveis de água subterrânea e do nível de água da barragem</b>	<b>108</b>
<b>5.5.</b>	<b>Análise granulométrica do solo do entorno da barragem</b>	<b>117</b>
<b>5.6.</b>	<b>Projeção Populacional</b>	<b>120</b>
<b>5.7.</b>	<b>Demanda Hídrica para Abastecimento Humano</b>	<b>123</b>
<b>5.8.</b>	<b>Disponibilidade Hídrica</b>	<b>125</b>
5.8.1.	Disponibilidade Hídrica Superficial	125
5.8.2.	Disponibilidade Hídrica Subterrânea	126
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>127</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	<b>130</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>131</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>147</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez da água, a gestão da sua exploração e a caracterização de aquíferos são atualmente fatores determinantes nos estudos associados à sustentabilidade de recursos hídricos no mundo. A capacidade de esboçar diagnósticos das reservas físicas desses recursos para tomada de decisões que busquem garantias para uso futuro tem motivado publicações acerca do assunto. Essas avaliações ligadas a previsões populacionais para abastecimento humano embasam novas teorias de consumo e preservação, definindo um cenário estratégico para as regiões que se inserem nessa busca de direcionamentos de gestão integrada e participativa.

A distribuição da água no planeta, de acordo com a ANA (2012), em percentuais aproximados, esboça um panorama preocupante já que 97,5% desses recursos se encontram nos mares e oceanos na forma salina, o restante de 2,5% se distribui nas geleiras (85%), nas águas de superfície e atmosférica (0,9%) e nas águas subterrâneas (14,1%). Considerando a dificuldade de exploração das geleiras, as águas superficiais e subterrâneas assumem o lugar de fontes de abastecimento para humanidade.

O Brasil apresenta na distribuição hídrica mundial cerca de 12% da reserva de água doce (TUNDISI, 2003). Num contexto nacional, cada região apresenta percentuais de: 68% na região Norte, 16% no Centro Oeste, 7% no Sul, 6% no Sudeste e 3% no Nordeste (ANA, 2012). Nesta última região a Bacia Hidrográfica do Parnaíba é hidrologicamente a segunda mais importante da Região Nordeste do Brasil, após a Bacia do Rio São Francisco, e apresenta uma vazão média de longo período estimada em 763 m<sup>3</sup>/s (0,5% do país) (ANA, <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/Parnaiba.aspx>).

O Piauí possui como principais formações aquíferas compondo a rede hidrográfica subterrânea: Cabeças, Serra Grande e Poti-Piauí (SEMAR, 2010). No sudeste piauiense, na região da Barragem de Bocaina, o aquífero Serra Grande e este reservatório são fontes primordiais de abastecimento humano local.

Induzindo trajetórias de ocupação e uso do solo, as águas superficiais norteiam atividades humanas, ao tempo que funcionam como despejo de cargas poluidoras urbanas e industriais, retratando o descaso na construção de políticas públicas focadas no

planejamento e gerenciamento de corpos d'água. Em paralelo, as águas precipitadas que se infiltram no solo sob a ação da gravidade, águas subterrâneas, desempenham um papel de reserva estratégica para atender a demandas de regiões áridas e de baixo índice pluviométrico.

Nessa perspectiva, a avaliação periódica do potencial de aquíferos no semiárido nordestino, profundidade de ocorrência e disponibilidade somada a condições de uso são alguns dos fatores que podem garantir a sustentabilidade dos reservatórios. Esta que conceitualmente preconiza processos que se mantenham ou melhorem ao longo do tempo, contrapondo o esgotamento de recursos para gerações futuras.

O planejamento, construção e implementação de um programa de gerenciamento sustentável de recursos hídricos de uma região dependem de fatores como: análise da variação dos níveis estáticos de poços da região, da compreensão hidrogeológica local, do acompanhamento do volume superficial e da quantificação prevista para consumo. Tudo isso como forma de assegurar os critérios de perenidade para as atuais reservas de recursos hídricos subterrâneos.

Nesse contexto, este estudo abrange a análise do comportamento das águas subterrâneas do aquífero Serra Grande juntamente com o da Barragem de Bocaina em decorrência da precipitação ao longo de três anos, a projeção populacional da região como base para cálculo do uso dessas águas para abastecimento humano, e por fim a avaliação de critérios de sustentabilidade hídrica dessa região.

## Hipótese

Existe conexão hidráulica entre o reservatório da barragem de Bocaina e o aquífero, e a análise da sustentabilidade hídrica deve levar em conta de maneira integrada a chuva, o volume armazenado na barragem e as águas do aquífero.

### 1.1. Justificativa

Com a crise da água no mundo, muitos estudos têm norteado políticas de outorga baseadas no uso sustentável. Nas regiões semiáridas, que sofrem com baixos índices pluviométricos e conseqüente irregularidade nos escoamentos superficiais, aspectos como precipitação, comportamento dos aquíferos e reservatórios, e demanda hídrica preveem cenários que orientam governo e população para implementação de rotinas coerentes com os critérios de preservação para gerações futuras.

Por se tratar de uma região localizada no semiárido com períodos de seis meses em média sem chuva, o reservatório de Bocaina e a água subterrânea proveniente do aquífero Serra Grande podem ser consideradas reservas estratégicas, principalmente no que diz respeito ao abastecimento humano. Com isso, os estudos sobre eficiência, disponibilidade e demandas são fundamentais para embasar o gerenciamento desses recursos.

Analisar a flutuação dos níveis de água subterrâneos e da Barragem de Bocaina de forma integrada induziu de forma significativa esse estudo, visto que a interdependência desses recursos influencia a capacidade de recuperação de seus volumes na dinâmica hidrológica. A visualização conjunta desses componentes entrega um panorama que facilita o entendimento da continuidade e iteração dos seus comportamentos.

Apresentando volume de acumulação 114,95 hm<sup>3</sup>, atualizado por batimetria realizada pela SEMAR em 2016, a Barragem de Bocaina atualmente é fomento para região na medida em que é utilizada, entre outras atividades, para piscicultura, irrigação e abastecimento. Com redução do volume na Barragem de Bocaina a um nível crítico nos períodos de estiagem, e por se tratar de uma reserva superficial importante no sudeste piauiense, os estudos acerca dessa região ao tempo que são escassos, são fundamentais para o desenvolvimento. Portanto, essa pesquisa é justificada pela necessidade do conhecimento de elementos determinantes da sustentabilidade hídrica na região da Barragem de Bocaina. Nessa região

a análise do comportamento dos níveis de água subterrânea e da barragem ao longo dos anos em períodos secos e chuvosos é indispensável para o gerenciamento desses recursos e para conscientização do uso da água pela população. Essa descrição aliada à previsão de demanda hídrica para abastecimento humano auxilia a elaboração de políticas relacionadas ao controle desses recursos, salientando que estes serão informações importantes para uma adutora em construção (Sistema Adutor Bocaina) que abastecerá a população urbana das cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos.

Além da preocupação de obter informações importantes para os governantes, órgãos reguladores e habitantes da região, este trabalho confirma a necessidade de conscientização dos prejuízos causados pelo mau uso, pois a água nessa localidade é tratada como um bem inesgotável sendo utilizada com uma política gerencial de recursos hídricos falha e insuficiente.

## 1.2. Objetivo Geral

Analisar a sustentabilidade hídrica relacionada ao comportamento dos níveis d'água da Barragem de Bocaina e dos aquíferos da região sob a influência da precipitação, juntamente com o estudo da demanda hídrica para o crescimento populacional previsto até o ano de 2066.

## 1.3. Objetivos Específicos

1. Analisar o perfil hidrogeológico na área de drenagem do reservatório da Barragem de Bocaina a partir dos poços no seu entorno;
2. Avaliar a precipitação ocorrida na bacia hidrográfica da barragem durante os três anos de estudo comparando com séries históricas desta e com outros componentes do ciclo hidrológico.
3. Delinear o comportamento das águas subterrâneas na região do reservatório da Barragem de Bocaina analisando as interrelações com outras variáveis dos volumes precipitados e dos volumes armazenados;
4. Estimar a disponibilidade hídrica na região em estudo;

5. Estimar a demanda hídrica para abastecimento humano da região com base nas projeções populacionais para avaliação da sustentabilidade dos recursos hídricos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Sustentabilidade do uso dos recursos hídricos

A ASCE (1999) define sustentabilidade da água como o cenário em que os recursos hídricos e os serviços de água estão disponíveis para satisfazer a demanda, agora e no futuro, sem degradação. De acordo com a UNESCO (2012), um planejamento estratégico para os recursos hídricos deve ser feito para longo prazo (20 anos ou mais), mas isto é difícil devido aos altos níveis de incertezas envolvidos.

De uma forma geral, o desenvolvimento sustentável requer atenção na ampla gama de objetivos econômicos, sociais e ambientais. É neste contexto que se inserem os reservatórios de armazenamento de água que, segundo Prado (2002), são sistemas aquáticos modificados, extremamente complexos e dinâmicos, que apresentam as funções principais de manutenção da vazão dos cursos de água e atendimento às variações da demanda dos usuários. Já os usos múltiplos destes, como alternativa para melhor utilização, são definidos por Cruz & Fabrizy (1995) como planos de aproveitamento de recursos hídricos projetados e operados para atender dois ou mais propósitos. Dentre esses propósitos estão os diversos usos dos recursos hídricos demandados pelas populações e pelas atividades econômicas, sendo que, conforme explicado por Heller & Pádua (2010), alguns deles resultam em perdas do volume de água captado, em relação ao volume que retorna ao curso de água (usos consuntivos) e outros em que essas perdas não ocorrem tais perdas (usos não consuntivos), ainda que impliquem na alteração do regime hidrológico e/ou da qualidade. Os autores destacam como usos consuntivos os abastecimentos doméstico e industrial, a irrigação e a aquicultura, como usos não consuntivos a geração de energia elétrica, a navegação, a recreação, a pesca e a diluição, assimilação e transporte de poluentes. No que se refere ao cenário brasileiro de uso dos recursos hídricos, de acordo com ANA (2012), a irrigação e a pecuária somam quase 61% do uso nacional, sendo que apenas a irrigação corresponde a 53%.

Assim sendo, segundo Branche (2015), para o desenvolvimento sustentável tanto a água quanto a energia dependem não apenas das escolhas de oferta, mas também da forma como estas escolhas são implementadas. O autor enfatiza ainda que a intenção do uso múltiplo de reservatórios deve ser garantir que os aspectos positivos sejam maximizados e os

impactos negativos evitados, minimizados, mitigados ou compensados. Para Lanna (2002), o uso múltiplo dos recursos hídricos não é opcional, mas sim um fomento para o desenvolvimento econômico. Logo, a melhor alternativa é integrar estes usos, mesmo com gerenciamento complexo, excluindo a forma individualizada, mediando conflitos entre os usuários que comprometem a eficiência do uso.

Em regiões semiáridas, os reservatórios trazem benefícios adicionais, constituindo uma das medidas para amenizar as condições ambientais extremas (elevada temperatura do ar e escassez hídrica) existentes. O monitoramento das condições pluviométricas e dos volumes acumulados permite estabelecer cenários prováveis sobre a disponibilidade hídrica ao longo dos períodos secos e chuvosos, viabilizando, ou não, dessa forma seu uso em diversos fins. Nesse contexto, o volume de alerta é fundamental na elaboração do plano de operação do reservatório, em que se devem considerar as demandas, o regime hidrológico e a capacidade disponível do reservatório.

Visando minimizar possíveis conflitos advindos dos vários usos previstos para os reservatórios, a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, através da Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), fundamentam o uso múltiplo das águas e a gestão descentralizada, garantindo a igualdade de direito de acesso à água aos diversos setores demandantes. De acordo com Porto & Porto (2008), as atividades dos usuários de água em uma bacia hidrográfica são competitivas e se acirram à medida que diminui a disponibilidade hídrica per capita. A única exceção, estabelecida na Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), é que em situações de escassez, a prioridade de uso da água no Brasil é o abastecimento humano e a dessedentação de animais.

## 2.2. Disponibilidade hídrica: cenário atual e futuro

A disponibilidade hídrica é o dado que baseia a decisão sobre a outorga de direito de uso de determinada bacia hidrográfica, que tem como premissa “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”, conforme a Lei Federal N.º 9.433 (BRASIL, 1997). Ademais, esta lei vincula a

outorga aos estudos sobre o “balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais”.

De acordo com Cruz & Silveira (2007), a disponibilidade quali-quantitativa hídrica de uma bacia hidrográfica é informação necessária no balanço, que envolve tanto as retiradas de água para usos consuntivos como a diluição de poluentes. Para CEBDS (2015), o balanço hídrico é governado pela conservação de massa e as interações entre os fluxos de água superficiais com água subterrânea, umidade do solo, evapotranspiração são muito importantes para o correto entendimento do respectivo balanço. Cruz & Silveira (2007) destacaram que a disponibilidade hídrica para finalidade qualitativa é uma parcela quantitativa que deve ficar corrente no curso de água para atender as necessidades volumétricas de diluição.

Para CEBDS (2015), as principais informações requeridas para avaliar cenários e gerir os riscos hídricos são dados locais de disponibilidade e demandas de água superficial e subterrânea, bem como dados de qualidade da água dos mananciais e dos ecossistemas aquáticos. De acordo com Vieira & Gondim Filho (2006), a disponibilidade hídrica, de águas superficiais ou subterrâneas, equivale à “quantidade de água efetivamente disponível de forma duradoura ou permanente”. Conclui-se então que nas bacias de rios intermitentes, a disponibilidade natural é nula e cabe aos reservatórios de acumulação proporcionar a regularização dos deflúvios naturais, possibilitando a disponibilização de volumes anuais constantes num determinado índice de garantia.

No que se refere ao enfoque subterrâneo, Tucci (2006) destaca como vantagem “a capacidade de atendimento distribuído através de poços; no entanto, essa alternativa não tem sido usual no Brasil para o atendimento a grandes consumidores, devido à alta demanda”. Usualmente, o abastecimento por meio de água subterrânea tem sido realizado para comunidades menores e distribuídas espacialmente. Por outro lado, no contexto mundial, o cenário é bem distinto, em que, de acordo com WRG (2012), a exploração de água subterrânea aumenta na proporção de 1 a 2% ao ano, causando estresse hídrico em vários locais, além disso, as estimativas indicam que 20% dos aquíferos estão sendo explorados além da sua capacidade de recuperação.

Segundo Leal (1998 apud PORTO & PORTO, 2008), é mediante o conhecimento das disponibilidades hídricas (redes de monitoramento hidrológico) e do cadastramento das demandas (usos e usuários outorgados) que o poder público reúne condições de controle e

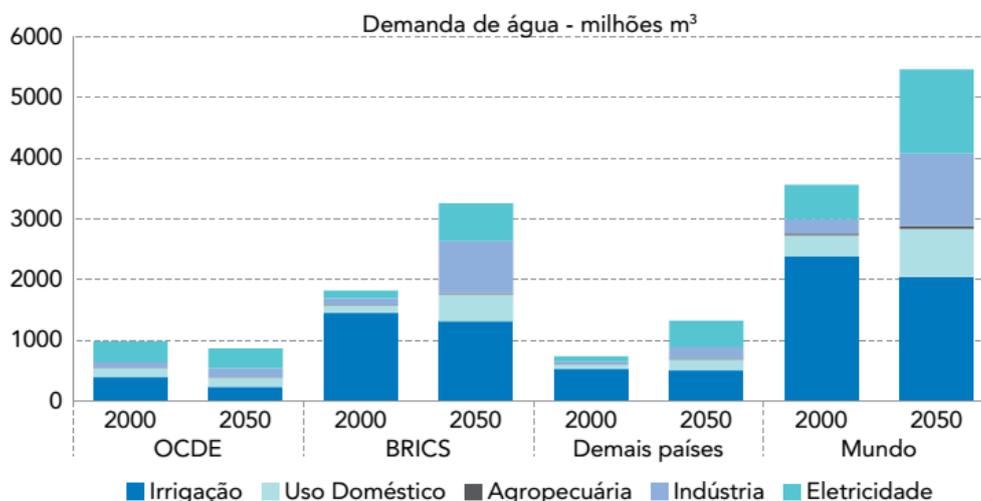
gestão da água. De acordo com CEBDS (2015), a discussão sobre disponibilidade hídrica é ainda mais abrangente e envolve as diversas inter-relações entre água, alimentos, energia e o meio ambiente, o que torna o gerenciamento dos recursos hídricos ainda mais complexo e desafiador. CEBDS (2015) enfatiza ainda que a crise hídrica vivenciada no Brasil em 2014 e 2015 evidencia estas interdependências, traz à tona as fragilidades do sistema de gerenciamento de recursos hídricos e se traduz na necessidade de inserção da segurança hídrica nas agendas setoriais. Para UN-Water (2016), segurança hídrica é a capacidade de uma população em garantir o acesso sustentável a quantidades adequadas de água, com qualidade aceitável para a subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, bem como assegurar a proteção dos recursos hídricos contra a poluição e os desastres relacionados com a água, bem como a preservação dos ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política. Complementarmente, a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012) atesta que a questão da segurança hídrica está ligada à garantia da oferta de água para o abastecimento humano e para as diversas atividades produtivas, para o enfrentamento de períodos secos e chuvosos ou qualquer desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água que resulte em restrição ao consumo e ao desenvolvimento econômico e regional.

Hoje, nos estudos relacionados à construção de sistemas de abastecimento de água considera-se a demanda atual e futura necessária dos aglomerados urbanos, indústrias, agricultura, entre outros. Em geral, o gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, depende fundamentalmente do conhecimento da disponibilidade hídrica da região. A mensuração da disponibilidade hídrica é fundamento para definir se os recursos hídricos disponíveis suportam as demandas desejadas, dirimindo intervenções necessárias ao processo.

Os cenários futuros apontam momentos de difícil situação hídrica e de acordo com MMA (2015), além dos efeitos sobre as águas superficiais, a mudança do clima deverá afetar as taxas de recarga de águas subterrâneas. Sobre isto, um estudo realizado por Döll & Flörke (2005) estimou que as águas subterrâneas no Nordeste do Brasil devem ter uma redução na recarga em 70% até 2050. Em outro estudo, desenvolvido por Melo (2013) sobre o Sistema Aquífero Guarani, quase 70% dos cenários climáticos geraram variações dos níveis freáticos abaixo daqueles medidos no monitoramento entre 2004 e 2011. Para agravar ainda mais a situação hídrica, de acordo com OCDE (2013), as projeções globais

indicam cenários de crescimento preocupantes na demanda de água para fins de abastecimento humano, uso industrial e geração de energia, principalmente em termos mundiais e quando se concentram as observações sobre o BRICS (acrônimo que se refere aos países Brasil, Rússia, Índica, China e África do Sul), Figura 1.

Figura 1 – Cenários para evolução da demanda global da água



Fonte: OCDE, 2013 *apud* CEBDS, 2015

Quando se analisa o cenário futuro da demanda hídrica, é importante observar o crescimento populacional, uma vez que as demandas por água para abastecimento humano dependem da população abastecida e de seu consumo de água per capita (CRUZ, 2001; CARRERA-FERNANDEZ & GARRIDO, 2003). Neste contexto, Heller & Padua (2010) afirmam que na determinação das vazões e capacidades das unidades das instalações de abastecimento, os diversos tipos de consumo são expressos por meio do consumo per capita, resultado da divisão entre o total de demanda a ser atendida pelo sistema e a população abastecida. Os autores acrescentaram que para consideração da variação temporal das vazões, no dimensionamento das diversas unidades as vazões, devem ser acrescidos os coeficientes de reforço, que são: o coeficiente do dia de maior consumo e o coeficiente da hora de maior consumo. Uma das condições de um sistema de abastecimento eficiente é que a água distribuída seja capaz de atender à demanda, e esta é função do crescimento populacional. Consequentemente, as previsões das populações

futuras devem ser feitas criteriosamente, com base no desenvolvimento demográfico do passado próximo, a fim de que a margem de erro seja pequena.

### 2.3. Projeção populacional

A aplicação de métodos para obter uma projeção populacional é etapa fundamental na elaboração de projetos de saneamento básico, e segundo Borges et al. (2006), a estimativa de uma população futura é de extrema importância, na medida em que serve de base para qualquer projeto na área de políticas públicas, bem como na prospecção de novos padrões de consumo ou novas demandas no setor privado. A estimativa populacional possibilita ainda uma avaliação futura das necessidades de uma população em certo período de tempo, analisando a viabilidade de projetos a serem implementados.

Quando numa determinada região ocorre um desequilíbrio local, segundo Brudeki (2005), a administração pública em uma nova demanda deve adequar gastos com qualidade e quantidade, e para tanto, deve buscar o ponto de equilíbrio. Para tanto, estimativas e previsões são ferramentas inerentes ao planejamento adequado e acerto nas decisões. De acordo com Von Sperling (1996), os principais métodos utilizados para as projeções populacionais podem ser organizados em três grupos: os métodos baseados em fórmulas matemáticas (Tabela 1), os métodos de quantificação indireta (Tabela 2), e o método dos componentes demográficos. No primeiro grupo a previsão populacional é calculada através de uma equação matemática, que pode ser resolvida também por método estatístico de análise de regressão (linear ou não linear). Os métodos de regressão são escolhidos quando se tem uma maior série histórica de dados e os métodos algébricos quando se têm apenas duas ou três informações. São métodos baseados em fórmulas matemáticas: projeção aritmética, projeção geométrica, regressão multiplicativa, taxa decrescente de crescimento, e crescimento logístico.

Nos métodos de quantificação indireta a projeção futura das relações pode ser feita com base na análise da regressão, são eles: comparação gráfica entre cidades similares, método da razão e correlação e método da previsão com base nos empregos, método dos componentes demográficos. Segundo Tsutiya (2000), o método dos componentes

demográficos considera a tendência passada verificada pelas variáveis demográficas: fecundidade, mortalidade e migração, e são formuladas hipóteses de comportamento futuro. Esse método parte de uma divisão da população de base em grupos ou subgrupos homogêneos e para cada um deles são aplicadas as variáveis demográficas. A expressão geral da população de uma comunidade, em função do tempo, pode ser expressa da seguinte forma:

$$P = P_0 + (N - M) + (I - E) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: P = população da data t;  $P_0$  = população da data inicial  $t_0$ ; N = nascimentos (no período t-  $t_0$ ); M = óbitos; I = imigrantes no período; E = emigrantes no período; (N - M) = crescimento vegetativo no período; (I - E) = crescimento social no período.

Tabela 1 – Projeção populacional - Métodos com base em fórmulas matemáticas

Método	Descrição	Taxa de crescimento	Fórmula da projeção	Coefficientes (se não for efetuada análise da regressão)
<i>Projeção aritmética</i>	Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.	$\frac{dP}{dt} = K_a$ (Eq. 2a)	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$ (Eq. 2b)	$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$ (Eq. 2c)
<i>Projeção geométrica</i>	Crescimento populacional função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.	$\frac{dP}{dt} = K_g \cdot P$ (Eq. 3a)	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$ (Eq. 3b) $P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t - t_0)}$ (Eq. 3c)	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$ (Eq. 3d) ou $i = e^{K_g} - 1$ (Eq. 3e)
<i>Regressão multiplicativa</i>	Ajuste da progressão populacional por regressão linear (transformação logarítmica da equação) ou regressão não linear.	-	$P_t = P_0 + r \cdot (t - t_0)^s$ (Eq. 4)	r, s - análise da regressão ou transformação logarítmica
<i>Taxa decrescente de crescimento</i>	Premissa de que, à medida em que a cidade cresce, a taxa de crescimento torna-se menor. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear.	$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P)$ (Eq. 5a)	$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d \cdot (t - t_0)}]$ (Eq. 5b)	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ (Eq. 5c) $K_d = \frac{-\ln[(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0}$ (Eq. 5d)
<i>Crescimento logístico</i>	O crescimento populacional segue uma relação matemática, que estabelece uma curva em forma de S. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear. Condições necessárias: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$ . O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo $[t_0 - \ln(c)/K_1]$ e com $P_t = P_s/2$ .	$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \frac{(P_s - P)}{P}$ (Eq. 6a)	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_1 \cdot (t - t_0)}}$ (Eq. 6b)	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ (Eq. 6c) $c = (P_s - P_0)/P_0$ (Eq. 6d) $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[ \frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right]$ (Eq. 6e)

Fonte: adaptado parcialmente de Qasim (1985 *apud* VON SPERLING, 1996).

Sendo:  $dP/dt$  = taxa de crescimento da população em função do tempo |  $P_0, P_1, P_2$  = populações nos anos  $t_0, t_1, t_2$  (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão) (hab) |  $P_t$  = população estimada no ano  $t$  (hab) ;  $P_s$  = população de saturação (hab) |  $K_a, K_g, K_d, K_1, i, c, r, s$  = coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas  $P_0, P_1$  e  $P_2$ )

Tabela 2 – Projeções populacionais com base em métodos de quantificação indireta

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
<i>Comparação gráfica</i>	O método envolve a projeção gráfica dos dados passados da população em estudo. Os dados populacionais de outras cidades similares, porém maiores, são plotados de tal maneira que as curvas sejam coincidentes no valor atual da população da cidade em estudo. Estas curvas são utilizadas como referências na projeção futura da cidade em estudo.
<i>Razão e correlação</i>	Assume-se que a população da cidade em estudo possui a mesma tendência da região (região física ou política) na qual se encontra. Com base nos registros censitários a <u>razão</u> "população da cidade/população da região" é calculada, e projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção populacional da região (efetuada em nível de planejamento por algum outro órgão) e da razão projetada.
<i>Previsão de empregos e serviços de utilidades</i>	A população é estimada utilizando-se a previsão de empregos (efetuada por algum outro órgão). Com base nos dados passados da população e pessoas empregadas, calcula-se a relação "emprego/população", a qual é projetada para os anos futuros. A população da cidade é obtida a partir da projeção do número de empregos da cidade. O procedimento é similar ao método da razão. Pode-se adotar a mesma metodologia a partir da previsão de serviços de utilidade, como eletricidade, água, telefone etc. As companhias de serviços de utilidade normalmente efetuam estudos e projeções da expansão de seus serviços com relativa confiabilidade.

Fonte: Qasim (1985 *apud* VON SPERLING,1996)

#### 2.4. Sustentabilidade Hídrica

Com origem no latim, a palavra sustentabilidade significa sustentar ou manter. Para a Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD (1991), a sustentabilidade, no enfoque socioeconômico-ambiental, define que uma sociedade sustentável é aquela que satisfaz suas necessidades sem diminuir as perspectivas das gerações futuras. Para Cavalcanti (2003), sustentabilidade “significa a possibilidade de se obterem continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema”.

De acordo com Dambrós (2011), ações eficazes e eficientes devem ser diagnosticadas, avaliadas e previstas nos Planos de Recursos Hídricos, assim como ações de preservação das águas subterrâneas, incluindo-se medidas emergenciais em casos de contaminação e poluição acidental, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas na promoção do desenvolvimento social e ambientalmente sustentável. As estratégias devem seguir os parâmetros que formam o tripé: sociedade, economia e ambiente. O autor destaca que a gestão dos recursos hídricos no Brasil obedece a uma série de Leis e Resoluções, contidas na Lei Federal Nº. 9.433 (BRASIL, 1997). Com vistas ao cumprimento legal e

moral de critérios de sustentabilidade, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas e procedimentos investigativos em torno de recursos hídricos subterrâneos é medida prioritária construir um conhecimento consolidado que embase planejamento, execução e resolução de uso sustentável desse recurso.

Num cenário que agrega os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, de acordo com Zoby & Matos (2002), avaliar separadamente mananciais superficiais e subterrâneos representa, além de uma simplificação, uma limitação na efetiva solução dos problemas que a sociedade exige resposta. Ao tempo que os corpos d'água superficiais têm baixa capacidades de armazenamento, apresentam uma vazão instantânea maior do que os aquíferos, e maior facilidade de descontaminação (remediação). Por outro lado, com características de reservatório, o manancial subterrâneo funciona, além de outros, como volume estratégico armazenado contra extensas estiagens devido às constantes mudanças climáticas. A população que enfrenta restrições hídricas pode ter nestes depósitos naturais de água aliados para sobrevivência e desenvolvimento regional. Nos aspectos de proteção e vulnerabilidade, a avaliação de zonas críticas de aquíferos deve priorizar o estudo da exploração das águas subterrâneas, dos lugares onde recursos hídricos subterrâneos são insubstituíveis por outras fontes de água; dos locais onde exista a presença de fontes de contaminação que ponha em perigo os aquíferos, e do comportamento rio-aquífero na zona hiporréica.

Cabral & Santos (2006), ao discutir em a aplicação de indicadores de uso sustentável de água subterrânea, destacam algumas características que devem nortear esses princípios: renovabilidade das águas subterrâneas, armazenamento e escoamento, gerenciamento integrado de águas superficiais e subterrâneas, tempo de resposta das águas subterrâneas e seus aspectos físicos, químicos e biológicos.

Nessa perspectiva o entendimento de uso sustentável de águas subterrâneas abrange os ecossistemas que as cercam, constituindo uma preservação conjunta de ambientes subterrâneos e superficiais. Aspectos antagônicos induzem ao conceito que ambos se completam e as investigações devem conter uma visão conjunta. Assim sendo, conforme explicitado por Foster et al. (2002), o controle do uso e ocupação do solo, através da fiscalização e mitigação das atividades antrópicas, é uma das estratégias de proteção das águas subterrâneas. Os autores afirmam que, por ser fator limitante do desenvolvimento sustentável em condições por vezes não renováveis, as medidas de proteção dessas águas

visam garantir seus benefícios a gerações futuras, fortalecendo a ideia que conhecimento das características dos aquíferos embasa a construção de indicadores para seu uso.

## 2.5. Precipitação, infiltração e recarga de água subterrânea

De acordo com Fernandes (2002), a disponibilidade hídrica de uma região é resultante de duas parcelas: a disponibilidade subterrânea, caracterizada pela quantidade de água passível de ser explorada das camadas aquíferas existentes; e a disponibilidade superficial, caracterizada pelas vazões mínimas dos rios presentes na região. O autor destaca que no semiárido brasileiro a disponibilidade hídrica está associada à existência de grandes reservatórios de acumulação capazes de promover uma regularização plurianual dos deflúvios, que se concentram em poucos meses do ano devido à intermitência da maioria de seus rios. Neste contexto, os aportes de água diretamente relacionados com a disponibilidade hídrica de uma região são a precipitação e a infiltração, que estão discutidos mais detalhadamente.

### 2.5.1. Precipitação

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas e topográficas, e por seu clima. De acordo com Villela & Matos (1975), a precipitação, por ser a principal entrada, torna-se o mais importante fator climático do balanço hidrológico de uma região, bem como sua distribuição e modos de ocorrência. O principal mecanismo natural de restabelecimento dos recursos hídricos da superfície terrestre é a precipitação, nas formas de chuva, neve e granizo.

Para determinar medidas mais precisas de precipitação ocorrida em determinado local, utiliza-se instrumentos como os pluviômetros e pluviógrafos. A medida da precipitação consiste na determinação da lâmina de água que se depositaria sobre a superfície monitorada, desconsiderando para esta lâmina de água, os processos de evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração no solo.

Nas regiões semiáridas, a evapotranspiração potencial normalmente ultrapassa as taxas médias de precipitação que significa que apenas em situações favoráveis a água precipitada é suficiente para a recarga subterrânea (KUNZLER, 2007). A realimentação

dos sistemas é irregular e a observação dos processos dinâmicos nos aquíferos é muito limitada em função da carência de dados.

Gouvêa (2009) estudou a influência da precipitação e das características do solo na variação do nível de água subterrânea, concluindo com base nos resultados que a variação no nível da água e da precipitação mensal acumulada não tem uma relação imediata e existe um padrão de sazonalidade. Este atesta que a evapotranspiração tem maior influência que a porosidade na variação do nível da água.

Nesse contexto, as Reservas Permanentes (Rp) representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar. Corresponde aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação dos aquíferos livres ou ao volume armazenado na própria camada no caso de aquíferos confinados (VASCONCELOS et al, 2013). A influência da precipitação nessas reservas depende fundamentalmente da conexão hidráulica entre as formações geológicas (aquíferos) da região.

#### 2.5.2. Infiltração

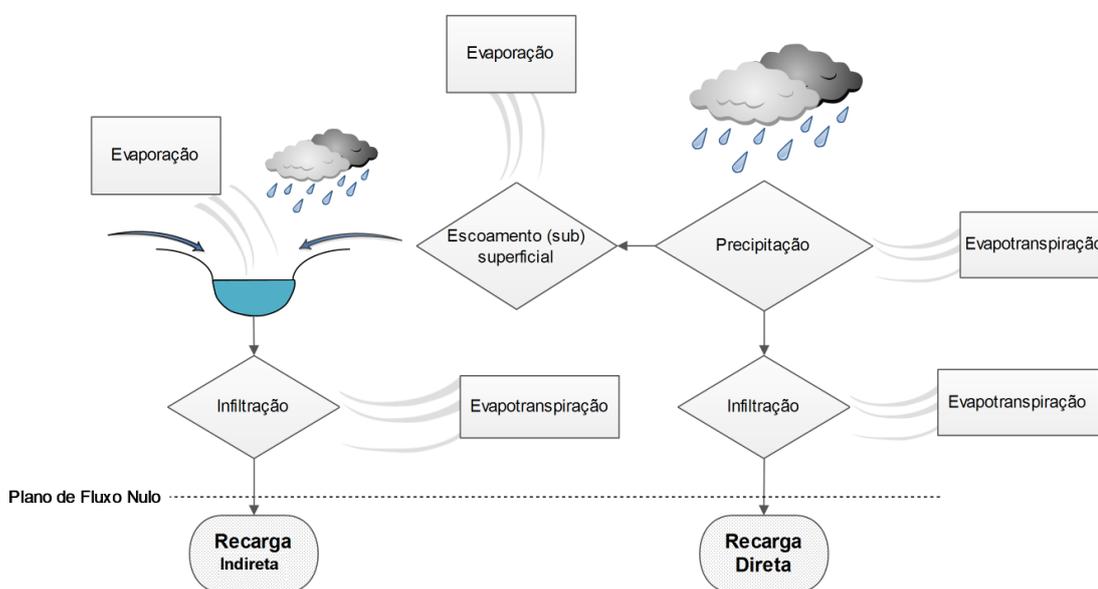
O conceito de infiltração explica a influência da precipitação na recarga de águas superficiais subterrâneas e pode ser considerada como o fenômeno de penetração da água nas camadas do solo através de seus vazios sob a ação da gravidade. Contudo o conceito deve ser descrito em função das camadas de solo que a água atinge. Três etapas da água infiltrada são definidas como: (1) a água que tem origem na precipitação e permanece na zona não saturada, zona onde os vazios do solo estão parcialmente preenchidos com água e ar; (2) a água que flui lateralmente na zona não saturada a pequenas profundidades; e (3) a água que percola até o nível freático denominada recarga (CABRAL, 2008). Portanto, recarga é uma porção da infiltração, aquela água que entra na zona saturada.

#### 2.5.3. Estimativa da recarga de água subterrânea

As recargas podem ser: recarga direta, que abastece o aquífero pela percolação vertical direta da água que atravessa toda zona não saturada; a recarga, que acontece com a

percolação da água para os aquíferos através dos cursos d'água superficiais; e a recarga localizada, que é resultante de concentrações horizontais de água próximas à superfície na ausência de canais definidos. Esses mecanismos estão esquematizados na Figura 2. Segundo Kresic (2007), em regiões áridas e semiáridas ocorre recarga indireta com níveis freáticos profundos e rios que alimentam o aquífero, e em regiões úmidas, em geral, os aquíferos rasos alimentam a vazão dos rios.

Figura 2 – Mecanismos de recarga subterrânea



Fonte: VRIES & SIMMERS, 2002 *apud* MELO, 2013

Sobre os tipos de recarga, Balek (1987) destaca uma classificação que se baseia na escala temporal: recarga de curto-prazo, que ocorre após grandes eventos de chuva; recarga sazonal, que ocorre durante períodos chuvosos (estação úmida) e no início do derretimento (degelo); recarga perene, que pode ocorrer em partes dos trópicos úmidos, onde há fluxo descendente de água praticamente constante; e, recarga histórica, que ocorreu há muito tempo atrás, contribuindo para a formação dos recursos hídricos subterrâneos atuais.

Para estimativa da recarga direta, segundo Healy & Cook (2002), o estudo da variação de nível d'água do aquífero é o mais apropriado. O monitoramento dos aquíferos é, portanto, pré-requisito para uma gestão eficiente e sustentável das águas subterrâneas, onde tais fontes são a chave para o desenvolvimento econômico em algumas regiões. (VRIES & SIMMERS, 2002; BANERJEE, PRASAD & SINGH, 2009). De uma forma geral, os

fatores que influenciam na recarga subterrânea são: clima (HEALY, 2010), solos e geologia (HEALY, 2010), uso do solo e cobertura vegetal (HEALY, 2010), e irrigação (BERNARDO, MANTOVANI & SOARES, 2006).

De acordo com Melo (2013), a quantificação da recarga num aquífero não é uma tarefa trivial e não há uma maneira direta de medir a recarga, nestas condições, a literatura dispõe de diversos métodos para estimar recarga, classificados como pertencentes a três zonas: saturada, não-saturada e de águas superficiais, que podem ser classificados quanto ao uso de: traçadores, modelos computacionais ou conceitos físicos.

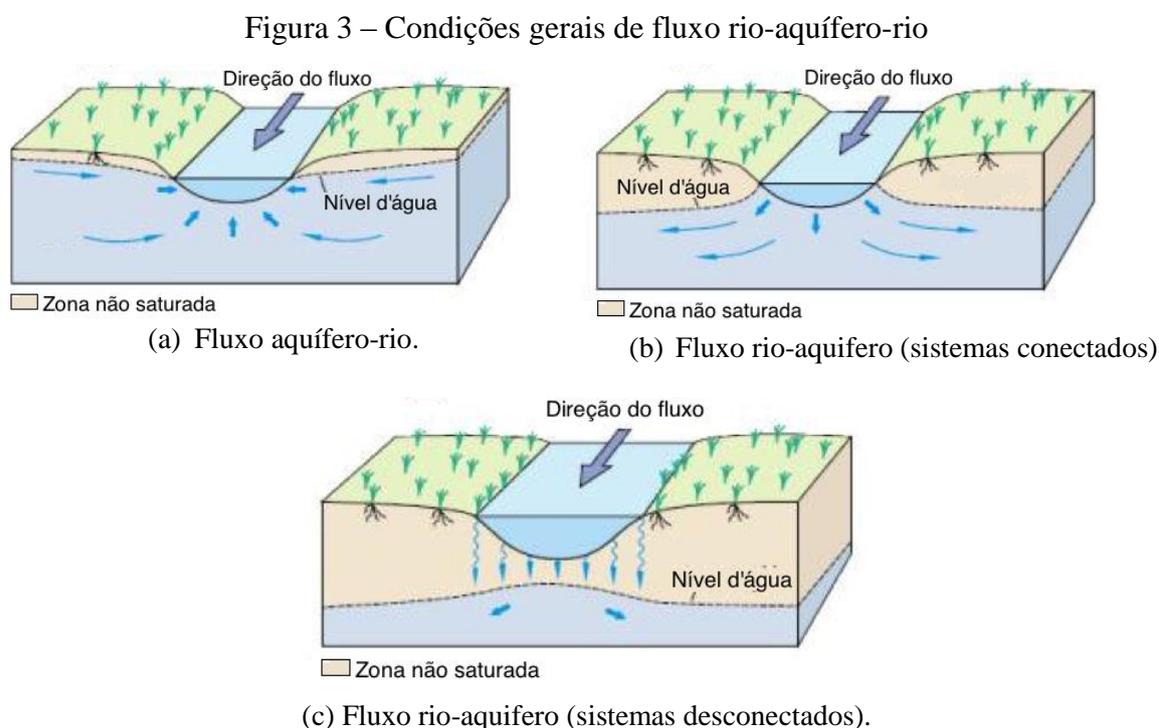
## 2.6. Interação entre Águas Superficiais e Subterrâneas

Até o final do século passado, de acordo com Souza, Ribeiro & Vieira (2010), era comum associar a quantidade da água à disponibilidade de seu uso no atendimento das crescentes demandas do uso humano. Por outro lado, iniciava-se neste momento, segundo Albuquerque (2004), um novo modelo de gestão dos recursos hídricos, segundo o qual a exploração das águas subterrâneas não deve ser dissociada do aproveitamento das águas de superfície. Neste contexto, o autor destaca a necessidade de se considerar ambas no contexto da bacia hidrográfica, ou seja, a ligação íntima entre o sistema subterrâneo superficial, que torna a água um recurso renovável. Isto acontece a partir do movimento inerente ao ciclo hidrológico, em que se destacam neste caso, tanto as recargas dos aquíferos como a regularização de vazões do escoamento superficial. De acordo com Arantes, Chaudry & Marcussi (2006), o planejamento de apenas uma componente do sistema hidrológico, como os escoamentos superficiais ou subterrâneos, normalmente, é só eficaz em parte, porque cada componente hidrológica está em contínua interação com outras componentes. De fato, o nível d'água dos aquíferos varia com a precipitação, a exploração da água subterrânea, a evapotranspiração, as alterações do regime de escoamento de rios que constituem a área de recarga, entre outros fatores. Para Lambs (2004), níveis d'água do rio e características topográficas são certamente as principais causas da entrada de fluxo subterrâneo através das margens de rios. De acordo com Martelli (2012), a análise isolada desses componentes do sistema hidrológico interfere na avaliação de variáveis dependentes de uso e contribuição recíproca.

A extração de água de corpos hídricos superficiais, principalmente os influentes, ou seja, que contribuem para o fluxo subterrâneo, pode ocasionar uma diminuição da contribuição

ao aquífero e, conseqüentemente, promover uma depleção do lençol freático. Assim como, toda água subterrânea retirada de um aquífero implica diretamente na redução da sua contribuição aos corpos hídricos superficiais. Nestas relações o sistema pode estar hidráulicamente conectado, onde um alimenta o outro, ou não, existindo a descontinuidade entre eles. De acordo com Winter *et al.* (1998), o estudo relacionado à interação entre as águas superficiais e subterrâneas tem aumentado, visando incluir os efeitos de sua exploração sobre rios, lagos, banhados e estuários.

De acordo com Shelton (2011), a interação rio-aquífero ocorre continuamente e pode mudar o sentido do fluxo dependendo da altura do nível da água. O autor descreve as três categorias de interação rio-aquífero: fluxo da água do aquífero para o rio (Figura 3a), fluxo do rio para o aquífero (Figura 3b), combinação de ambos os fluxos rio-aquífero e aquífero-rio (Figura 3c). O fluxo do aquífero para o rio pode acontecer se existir conexão entre eles através de uma zona completamente saturada (Figura 3a) ou se existir descontinuidade entre os mesmos através de uma zona não saturada entre o rio e o aquífero (Figura 3c) (SHELTON, 2011).



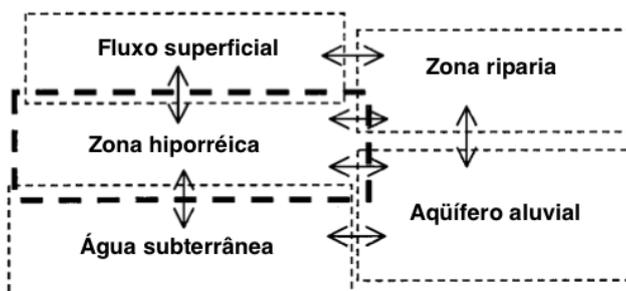
Fonte: traduzido de SHELTON, 2011

Sobre o sentido do fluxo, a precipitação pluviométrica pode alterar de forma significativa o sistema de contribuição entre os mananciais superficiais e subterrâneos. Com chuvas intensas ou descargas de reservatórios o rio se eleva e a infiltração de água passa a

contribuir para a recarga do aquífero. Neste caso, de acordo com Silva (2007), o retorno da água de recarga para o rio pode levar de semanas a anos, dependendo das características topográficas e geológicas na região. Num processo inverso, os tipos de descarga da água subterrânea nos cursos fluviais, dependem da regularidade com que o aquífero contribui na vazão de base. O autor explica ainda o processo hidráulico em função do tipo de regime dos rios: perenes, intermitentes e efêmeros. Em rios perenes, a vazão de base é contínua, ao contrário dos rios intermitentes, os quais recebem água apenas durante certo período do ano, o que os torna influente ou efluente dependendo da época do ano. Já em rios efêmeros, o nível de água subterrânea encontra-se sempre abaixo do canal, o que o torna exclusivamente influente quando há escoamento.

De acordo Gilbert *et al.* (1990 *apud* HANCKOK, 2002), o fluxo superficial forma apenas a parte visível de um ecossistema de água doce contínua que inclui os sistemas de água subterrânea, aluviais e ripícolas. Segundo Hancock (2002), a central de todas estas áreas é a zona de troca denominada zona hiporréica (Figura 4), que ocorre nos sedimentos de muitos riachos de cascalho ou areia.

Figura 4 – Zona hiporréica como um modulador entre o rio, a água subterrânea, a zona riparia, e aquífero aluvial



Fonte: traduzido de HANCOCK, 2002

A conexão entre rio e aquífero ocorre através de poros que permitem a água do rio entrar em contato com o sedimento e mistura-se com a água intersticial em uma zona de transição. O fluxo nesta zona é influenciado pelo tamanho da partícula e permeabilidade do substrato, condutividade hidráulica, biota residente, tempo de residência da água intersticial e características físico-químicas da água do rio e dos aquíferos adjacentes.

De forma geral, as conexões da água subterrânea com a água superficial têm sido verificadas por diferentes técnicas e Woessner (2000) destaca a medida direta dos níveis de

água em poços de monitoramento e por comparação das características químicas da água subterrânea e do rio. Kalbus, Reinstorf & Schirmer (2006) discutiram diferentes métodos e suas aplicabilidades em diferentes espaços e escalas de tempo, e destacaram as medições diretas do fluxo da água através da interação rio-aquífero por medidores de infiltração, métodos de traçador de calor, métodos baseados na lei de Darcy (piezômetros, permeâmetros, testes de bombeamento, etc.), balanço de massa, e métodos para determinar a concentração de contaminantes. De acordo com os autores todos os métodos têm suas limitações e incertezas e uma combinação de diferentes técnicas podem reduzir consideravelmente as incertezas na estimativa do fluxo.

Scanlon, Healy & Cook (2002) destacam os métodos que estimam a recarga a partir de dados de águas superficiais:

- Balanço de água no canal: técnica de base física que realiza o balanço de água no canal baseado em dados fluviométricos por meio da Equação 7, que estima a recarga pelo balanço residual, ou seja, contabiliza a variação interna, entradas e saídas do rio (volume de controle) e atribui à recarga o saldo que equilibra o balanço.

$$R = Q_m - Q_j + \sum Q_e - \sum Q_s - E_a - \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:  $Q_m, Q_j$  = vazões a montante e jusante das seções de controle,  $Q_e, Q_s$  = entradas e saídas dos tributários ao longo do rio,  $E_a$  = evaporação da água de superfície ou do leito, e  $\Delta S$  = variação do armazenamento no canal e na zona não-saturada ao longo do tempo ( $\Delta t$ ).

- Vazão de base: também de base física, estima a recarga com base no balanço de água, usando a Equação 8, e é aplicável em rios efluentes pois considera que a vazão no rio é mantida pelo aquífero por meio de  $Q_b$ . Em períodos de estiagem, assume-se que os outros termos são desprezíveis e  $Q_b$  se iguala à vazão do rio. Quando há contribuição da precipitação e do escoamento superficial, emprega-se o hidrograma para separar os quantitativos.

$$\Delta S^{gw} = R + Q_e^{gw} - Q_s^{gw} - Q_b - ET^{gw} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:  $R$  = recarga,  $\Delta S^{gw}$  = variação do armazenamento subterrâneo,  $Q_s^{gw}$ ,  $Q_s^{gw}$  = entrada e saída de escoamento subterrâneo, respectivamente, incluindo saída por extração de água por bombeamento de poços e entrada de água de bacias adjacentes.

- Traçadores químicos: conhecendo-se a assinatura dos isótopos de Oxigênio e Hidrogênio na água da chuva e no aquífero, seus tempos de decaimento podem ser usados para identificar fontes de recarga, bem como o tempo entre o evento chuvoso e o evento de recarga; outro traçador químico é o cloreto, que é um traçador ambiental natural que não adsorve sobre silicatos negativamente carregados, altamente solúvel em água e, normalmente, não interage em reações bioquímicas e geoquímicas.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

#### 3.1. Hidrografia

O estudo ora apresentado foi desenvolvido na Barragem de Bocaina, no Estado do Piauí. A hidrografia deste estado insere-se no contexto da Região Hidrográfica do Parnaíba que se configura como uma das mais importantes da Região Nordeste do Brasil, sendo ocupada pelos Estados do Ceará, Piauí e Maranhão, com uma área de 331.441 km<sup>2</sup>, salientando que o Piauí ocupa a maior parte da Bacia, correspondendo a 75,3% de sua área, enquanto que o Maranhão ocupa 19,8% e o Ceará 4,1% (MMA, 2006). Para melhor detalhamento a Região Hidrográfica do Parnaíba foi dividida em três grandes Sub-bacias: Alto Parnaíba, Médio Parnaíba e Baixo Parnaíba, que, por sua vez, subdividem-se em sete Sub-bacias, delimitadas segundo a importância dos seus rios principais e características ambientais, conforme PNRH (2005).

A Sub-bacia Médio Parnaíba compreende os rios Canindé/Piauí e o rio Poti, que desembocam no rio Parnaíba. Segundo o Projeto Áridas/PI (1995), os rios mais importantes são: Piauí; Canindé, que recebe o rio Piauí; Fidalgo, afluente do Piauí; e Itaim, que recebe o Rio Guaribas. Uma característica comum a todos os rios dessa Sub-bacia é o caráter de intermitência, com exceção do rio Guaribas, no trecho médio a partir da Barragem Bocaina, onde é mantido um filete de água corrente originada da barragem.

Nesse contexto, o Rio Guaribas pertence à Bacia do Rio Canindé e nasce na Serra das Almas, a 600 m de altitude, no Município de Pio IX correndo no sentido sudoeste até o limite sudoeste do Município de Picos. O seu curso total é de, aproximadamente, 160 km. Trata-se de um rio caudaloso no período chuvoso que inunda toda a sua planície aluvial sendo, atualmente, controlado pela Barragem Bocaina. Tem como principais afluentes os rios Canabrava e Pitombeiras, pela margem direita e Grotão, Riachão e São João, pela margem esquerda (MMA, 2006).

### 3.2. Hidrografia do Piauí – Bacia do Canindé

O Estado do Piauí foi dividido em 12 bacias hidrográficas, conforme mostra a Figura 5 (SEMAR, 2010). O presente trabalho foi desenvolvido na Bacia do Canindé onde está inserido o Rio Guaribas, barrado pelo reservatório de Bocaina.

Figura 5 – Bacias Hidrográficas do Rio Parnaíba no Estado do Piauí



Fonte: SEMAR, 2010

A bacia do rio Canindé/Piauí, localizada no compartimento sudeste do estado, constitui a maior sub-bacia da região hidrográfica do Parnaíba com 29,7% da sua área, com aproximadamente 75.000 km<sup>2</sup>.

No geral os rios da bacia Canindé/Piauí apresentam regime de intermitência, decorrente da formação geológica e geomorfológica da bacia, visto que os cursos d'água mais importantes nascem no embasamento cristalino, com fraca condição de retenção da água, acrescido do fato da bacia localizar-se em região semiárida, com baixíssimas e irregulares precipitações. Ao percorrerem a bacia sedimentar os rios eventualmente podem adquirir caráter de perenidade, pois, passam a receber contribuição de água subterrânea fornecida pelos aquíferos principais, como o Serra Grande e Cabeças (ANA & SEMAR, 2010).

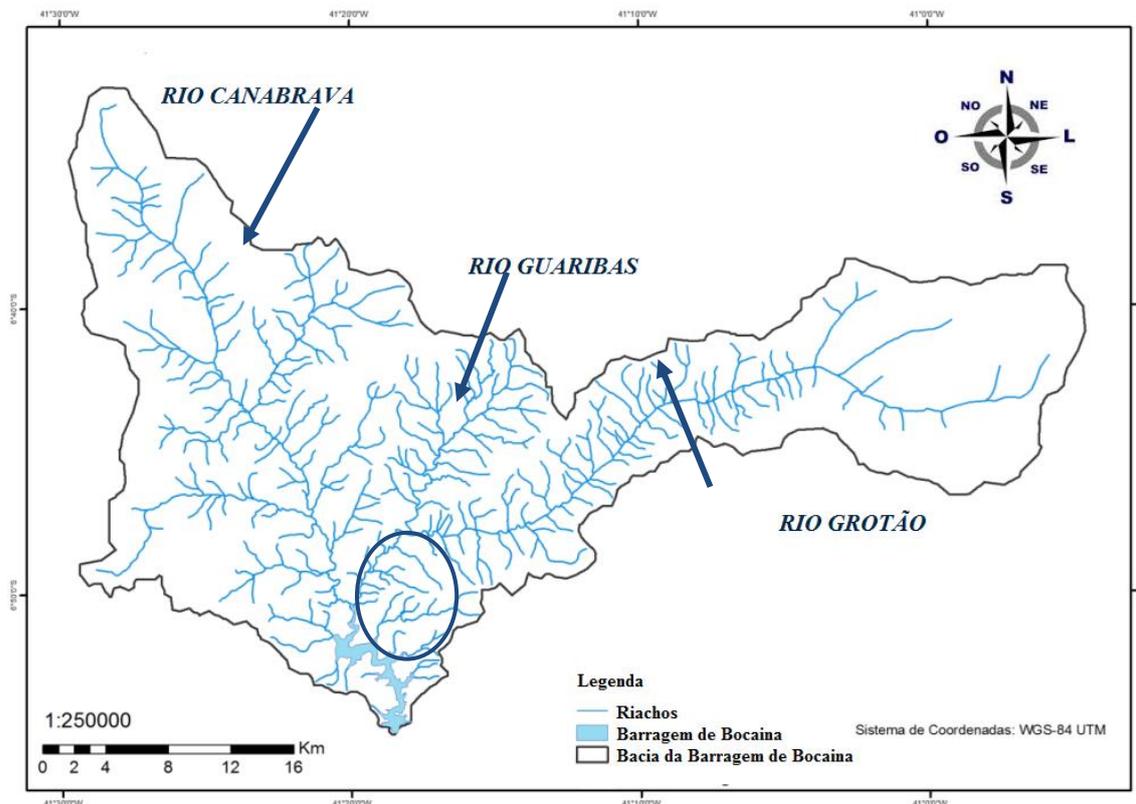
Na bacia encontram-se construídas dez barragens de médio e grande porte, dentre elas a barragem do presente estudo: Barragem Bocaina, Barragem Jenipapo, Barragem Pedra Redonda, Petrônio Portela e Barragem Salinas.

A região da bacia do Canindé é caracterizada, segundo Köppen, como pertencente ao tipo BSH, clima semiárido, que aliado à distribuição e irregularidades das precipitações, imprime nesta zona duas estações: a seca e a chuvosa.

### 3.3. Bacia Hidrográfica da Barragem de Bocaina

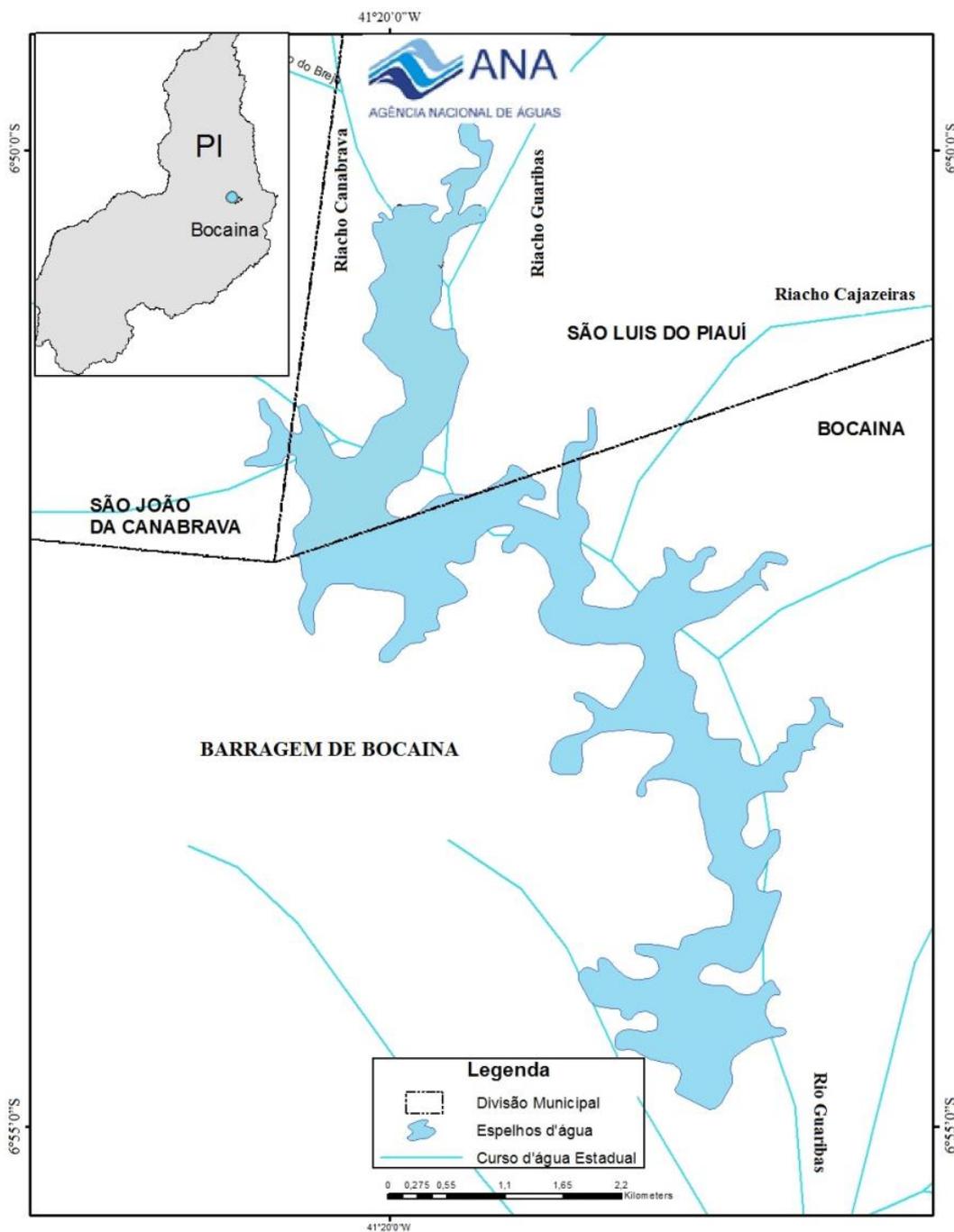
Os estudos em questão foram desenvolvidos na Barragem de Bocaina, Piauí. A hidrografia desta bacia tem área de drenagem em torno de 1.071 km<sup>2</sup> e é praticamente formada pelo rio Guaribas e os seus afluentes, conforme Figura 6, destacando-se os rios Canabrava e Pitombeiras, pela margem direita e Grotão, Riachão e São João, pela margem esquerda, todos eles intermitentes.

Figura 6 – Bacia da Barragem de Bocaina



O Reservatório Bocaina tem comprimento de 356 m e aproximadamente 114,95 hm<sup>3</sup> de volume. Foi construído sob a responsabilidade do DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – e executado pelo Batalhão de Engenharia e Construção, com os objetivos de regularizar o Rio Guaribas, conter as cheias desse rio, oferecer segurança hídrica quanto ao abastecimento humano para população, fomento para o desenvolvimento agrícola e preservar o aquífero Serra Grande (HIDROTERRA, 1982). A Barragem de Bocaina está situada entre os paralelos 6° 28' e 7° 17' de latitude sul e 40° 47' e 41° 40' de longitude oeste, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Localização da Barragem de Bocaina



Fonte: ANA (2016)

### 3.4. Caracterização da Barragem de Bocaina

Para melhor descrição do reservatório a Tabela 3 apresenta a caracterização da Barragem de Bocaina, de acordo com o projeto de execução da Hidroterra (1982), com exceção da

capacidade de acumulação que foi atualizada em 2016 pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR).

Tabela 3 – Caracterização da Barragem de Bocaina

<b>Município:</b>	Bocaina – PI
<b>Rio Barrado</b>	Guaribas
<b>Área da Bacia Hidrográfica</b>	1.070 km <sup>2</sup>
<b>Área da Bacia Hidráulica:</b>	1.185 há
<b>Coordenadas Localização</b>	6°54'50,56" e 41°18'23,27"
<b>Órgão responsável</b>	DNOCS-PI
<b>Período da construção</b>	1982 – 1985
<b>Tipo de Barragem</b>	De terra com núcleo impermeável
<b>Cota do Coroamento</b>	280,00 m
<b>Altura Máxima</b>	53,50 m
<b>Extensão pelo Coroamento</b>	356,00 m
<b>Capacidade de acumulação</b>	106,00 Mm <sup>3</sup> (Cota x Área x Volume, Hidroterra, 1982). 114,95 Mm <sup>3</sup> (Cota x Área x Volume, corrigida – SEMAR, 2016). 111,32 Mm <sup>3</sup> (Cota x Área x Volume, SEMAR, 2016)
<b>Q afluente média</b>	1,732 m <sup>3</sup> /s
<b>Características do Sangradouro</b>	
<b>Tipo:</b>	Perfil Creager
<b>Largura</b>	25 m
<b>Q<sub>máxima</sub> (TR=1000 anos)</b>	2.190 m <sup>3</sup> /s
<b>Q<sub>máxima</sub> amortecida</b>	876,97 m <sup>3</sup> /s
<b>Revanche</b>	4,50
<b>Cota da Soleira</b>	270,50m
<b>Lâmina máxima de Sangria</b>	3,38 m
<b>Característica da Tomada d'água</b>	
<b>Diâmetro</b>	1.200 mm
<b>Controle de montante</b>	Acionamento mecânico
<b>Controle de jusante</b>	Válvula dispersora 800 mm
<b>Descarga regularizada</b>	0,94 m <sup>3</sup> /s (90% garantia) 0,76 m <sup>3</sup> /s (100% garantia)
<b>Descarga máxima</b>	3,38 m <sup>3</sup> /s
<b>Cota inferior</b>	232 m

Fonte: Adaptado HIDROTERRA, 1982

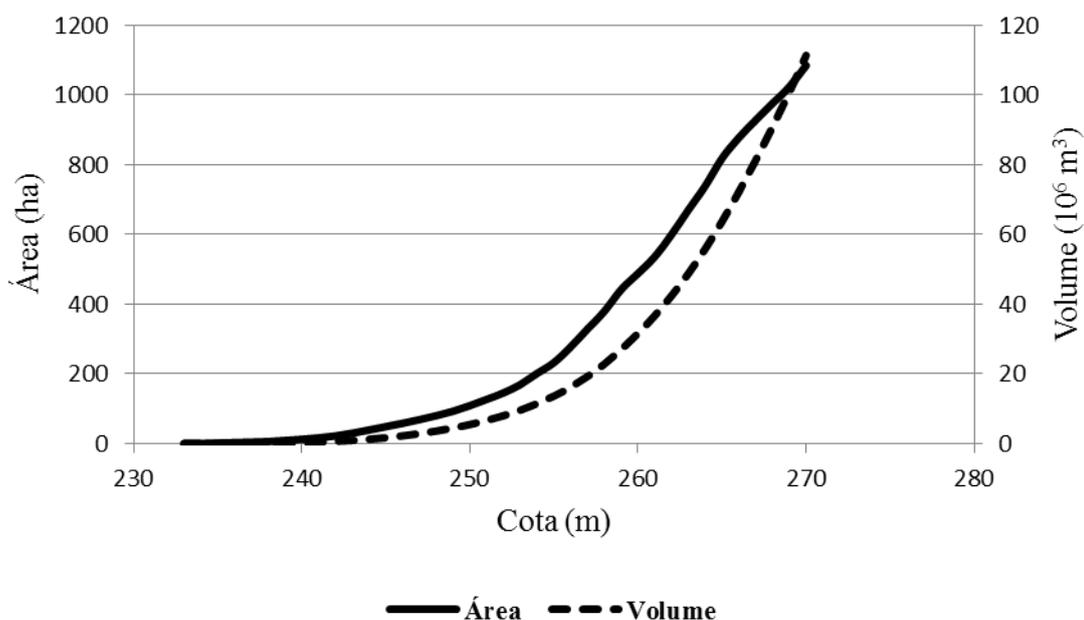
### 3.5. Curvas Cota X Área e Cota X Volume

São poucos os reservatórios de regularização do semiárido que têm uma sistemática contínua de estimativa da batimetria. Na maioria dos casos, o que se dispõe são as curvas cota-área-volume estimadas à época do projeto do açude, muitas delas construídas em décadas passadas, levantando dúvidas sobre a consistência das informações. Nesse interim, é previsível um assoreamento do reservatório diminuindo sua capacidade de

armazenamento. Ademais, com melhoramento da precisão dos sistemas de posicionamento global e equipamentos de aerofotogrametria e batimetria, provavelmente haja incertezas importantes advindas da tecnologia usada na época dos projetos (Collischonn, & Clarke, 2016).

Demonstrando um avanço no gerenciamento do reservatório de Bocaina, através da batimetria do manancial, levantando as profundidades em vários pontos da área inundada e fazendo a devida integração do volume, as curvas cota x área e cota x volume da Barragem de Bocaina foram atualizadas pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR) em 2016 como descritas na Figura 8.

Figura 8 – Curvas cota x área e cota x volume da Barragem de Bocaina atualizadas em 2016



### 3.6. Vazão Regularizada da Barragem

Com a finalidade de acumular parte das águas dos períodos chuvosos, os reservatórios exercem o efeito prioritário de regularizador das vazões.

Segundo Pompeu et al. (2014) em estudo realizado para levantamento das vazões de referência utilizadas no Brasil, verificou-se que a região Nordeste (AL, BA, CE, ES, MA, PB, PE, PI, RN, SE e TO) possui uma tendência a utilizar a vazão de referência Q90%,

enquanto que no Sudeste (SP, RJ e MG) a vazão mínima de referência Q7,10, e no Centro-Oeste (GO, MT) usualmente a Q95%, concluindo que o Brasil apresenta uma tendência regional para adoção das vazões de referência (MELATI & MARCUZZO, 2016).

No projeto da barragem de Bocaina (HIDROTERRA, 1982) foram utilizados deflúvios com base nas vazões medidas na estação fluviométrica de Pedra Redonda (1967-1977) relacionando áreas e precipitações das duas bacias. A estação Pedra Redonda localiza-se a montante da barragem Pedra Redonda, na bacia do rio Canindé, onde chegam as águas do rio Guaribas (rio barrado pela Barragem Bocaina).

Conforme a tabela no projeto de execução elaborado pela Hidroterra (1982), as vazões regularizadas anuais para o projeto da Barragem Bocaina, considerando um volume morto de  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$  foram:

$$Q_{\text{reg}} = 0,76 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{para } 100\% \text{ de garantia})$$

$$Q_{\text{reg}} = 0,94 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{para } 90\% \text{ de garantia})$$

### 3.7. Eventos de Sangria e Volume Mínimo da Barragem

O território piauiense está localizado na zona de transição entre a região Norte e a região semiárida do Nordeste do Brasil. O sudeste do Piauí, onde se encontra a Bacia da Barragem de Bocaina é a região mais crítica do Estado em termos de disponibilidade hídrica e caracteriza-se por uma extrema irregularidade das chuvas que se concentram, praticamente em três meses do ano.

Os eventos de sangria e volume mínimo de armazenamento da barragem durante os últimos anos ocorreram em junho de 2009, e dezembro de 2015, respectivamente. No pior cenário de estiagem, em 2015, o reservatório atingiu 14,0% da capacidade total. Por outro lado, em janeiro de 2009 pode ser observado que, o volume armazenado foi de 40% da capacidade total, e essa mesma situação se repete em janeiro de 2012, seguido de uma queda dos volumes armazenados nos anos de 2013, 2014 e 2015; conforme informações do DNOCS mostradas na Figura 10. Ainda para caracterizar o contraste dos períodos secos e chuvosos a Figura 9 ilustra a sangria da barragem com alagamentos e o panorama de pouco volume a montante da barragem. Neste estudo foi realizado acompanhamento dos volumes de 2013 a 2015 conforme será mostrado nos resultados.

Figura 9 – Imagens da sangria da Barragem de Bocaina em 2009 e vista a montante no período seco em 2015

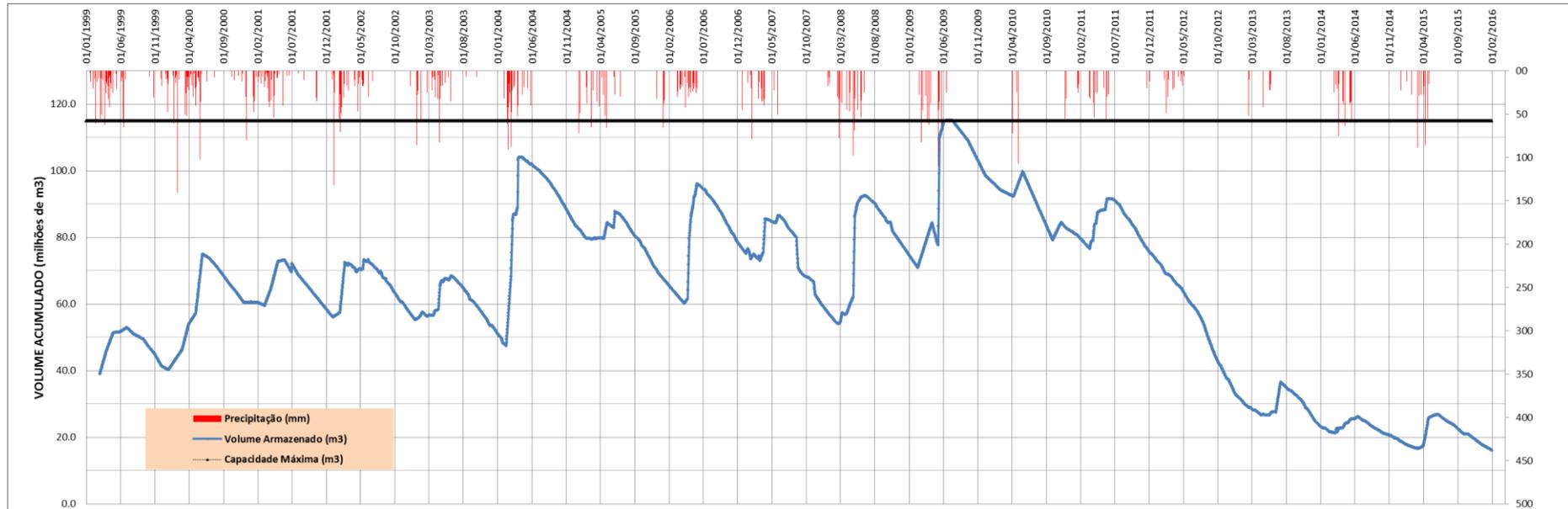


(a) Sangria da barragem em 2009

(b) Barragem no período seco em 2015

Fonte: Reportagem da TV Picos

Figura 10 – Volumes do reservatório de Bocaina no período de 1999 a 2016



Fonte: DNOCS, PI

O reservatório de Bocaina pereniza um trecho do Rio Guaribas, que atravessa as cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos. Região esta caracterizada por minifúndios que produzem, principalmente, banana, goiaba, arroz e por conflitos instalados entre irrigantes da cidade de Bocaina e usuários localizados após a cidade de Picos.

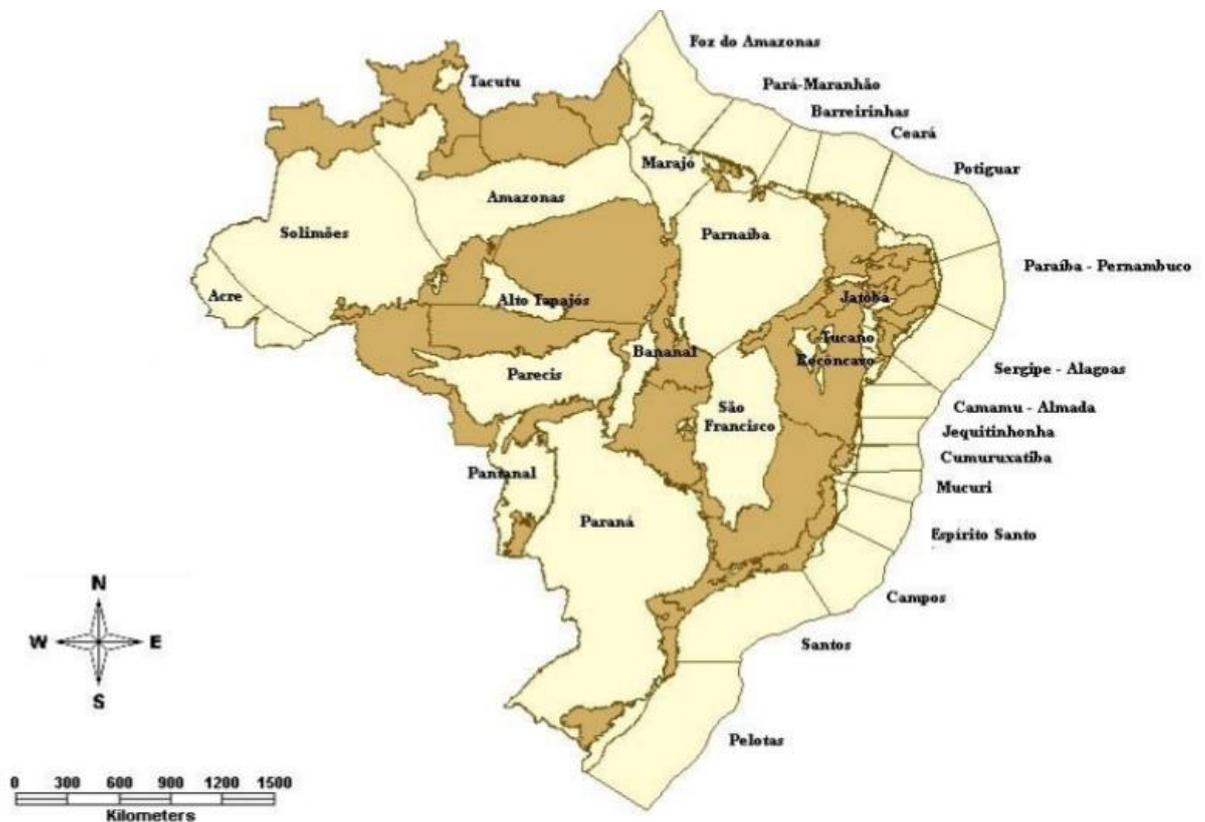
No que diz respeito aos conflitos gerados pelos usuários do manancial, é preciso se fazer referência nesse estudo à existência de conflitos que acontecem principalmente entre os agricultores que plantam nas margens do rio imediatamente a jusante da barragem e os que se localizam ao longo do rio antes e depois da cidade de Picos, também a jusante da barragem. Os que estão imediatamente a jusante pleiteiam pouca abertura na válvula da tomada d'água da barragem para evitar a inundação das culturas e, os que estão logo em seguida, solicitam uma maior abertura para garantir a perenização do rio Guaribas.

Com o uso da água da barragem para piscicultura intensiva, em época de estiagem, mais um conflito se instalou com a exigência dos piscicultores para que houvesse diminuição da vazão liberada para permanência da profundidade necessária à criação dos peixes.

### 3.8. Geologia da Bacia da Barragem de Bocaina

A Barragem de Bocaina está situada na Bacia Sedimentar do Parnaíba. Esta bacia localiza-se na parte ocidental do nordeste do Brasil, com uma área de 665.888 km<sup>2</sup> cobrindo a maior parte dos estados do Piauí e Maranhão e parte dos estados do Pará, Tocantins, Bahia e Ceará, como mostra a figura 11 . Apresenta forma elíptica, com eixo de maior alongação orientado para NE–SO com um comprimento de aproximadamente 1.000 km. Em seu depocentro, a espessura da coluna sedimentar atinge cerca de 3.500 m (Vaz et al., 2007).

Figura 11 – Bacias Sedimentares Brasileiras



Fonte: Gaudencio (2012)

Cunha (1986) afirma que o desenvolvimento da Bacia do Parnaíba foi direcionado por condições tectonicamente estáveis que favoreceram a deposição de uma coluna sedimentar simples e relativamente pouco espessa. Esta bacia é constituída principalmente por sedimentos paleozóicos, com predominância de clásticos de origem continentais, representados por arenitos, siltitos e folhelhos.

A coluna sedimentar da Bacia pode ser dividida em cinco seqüências deposicionais denominadas de seqüências siluriana, devoniana, permo-carbonífera, jurássica e cretácica, separadas por discordâncias regionais e correlacionáveis a eventos de natureza global (GÓES et al., 1993).

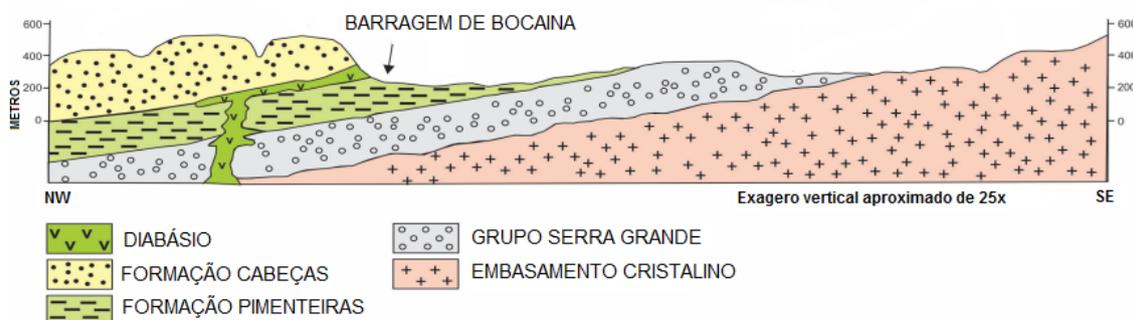
Na região estudada a coluna estratigráfica da Bacia do Parnaíba compreende, os clásticos da formação Serra Grande, depositados entre o ordoviciano ou eo-siluriano e o devoniano inferior. Constituída por arenitos de cores claras, mal selecionados, frequentemente conglomeráticos e com estratificação cruzada, de folhelhos escuros.

Recobrando concordantemente a Serra Grande em toda região da barragem, a formação Pimenteiras, de idade devoniana inferior, é constituída por dois membros distintos: o inferior, arenoso, denominado Itaim, e o superior, rico em folhelhos, denominado Picos. Com espessura entre 10 e 60 metros, esta formação encontram-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. 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.

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, 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.

Em resumo, as unidades litoestratigráficas da região em estudo são representadas pelas formações Serra Grande, Pimenteiras e Cabeças, com todo o pacote assentado discordantemente sobre as rochas cristalinas (LIMA & LEITE, 1978). A figura 12 apresenta um corte geológico representando a estratigrafia da área estudada.

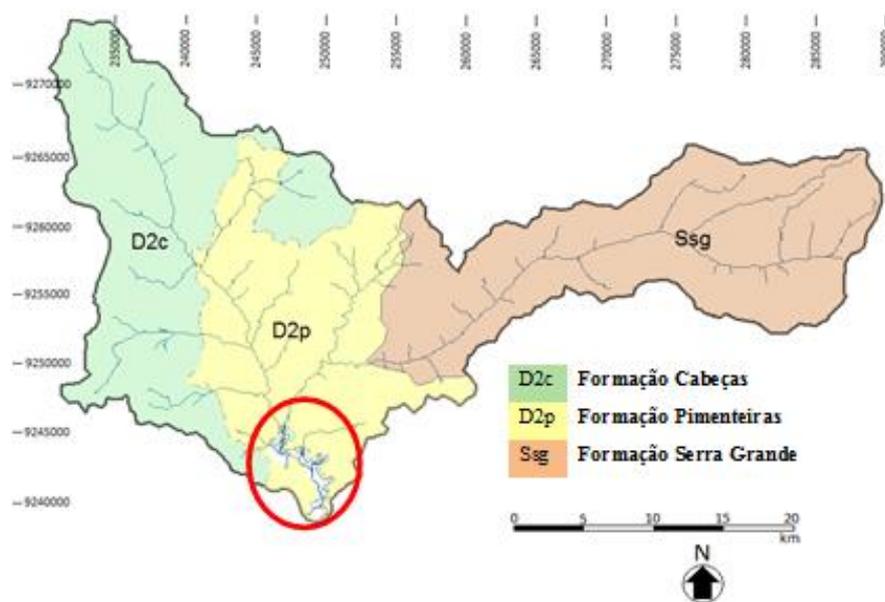
Figura 12 – Perfil litoestratigráfico na Bacia do Parnaíba



Fonte: modificado de CRUZ E FRANÇA, 1967

A superfície da barragem em estudo é na sua totalidade constituída geologicamente por rochas pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba e situa-se sobre os sedimentos aflorantes da porção superior da formação Pimenteiras, que se assenta sobre a formação Serra Grande, conforme mostra o mapa geológico da área, apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Área de afloramentos das formações geológicas na bacia hidrográfica da Barragem de Bocaina, Piauí.

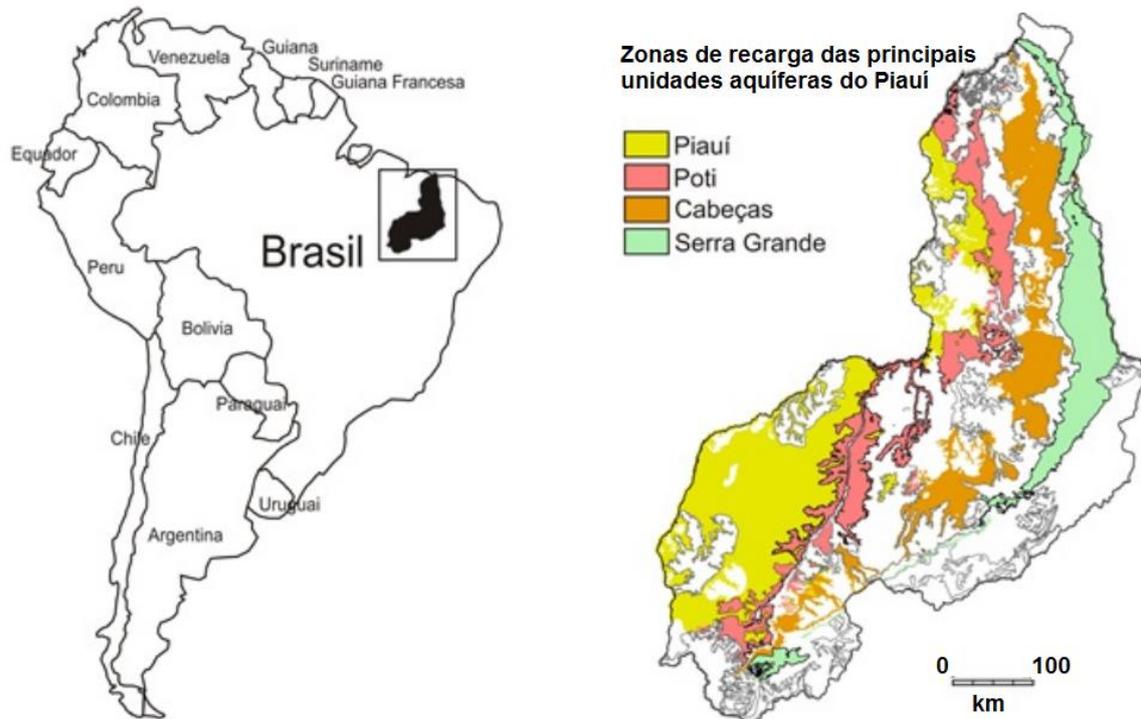


### 3.8.1. Hidrogeologia

O estado do Piauí possui 15% da sua área inserida em rochas cristalinas e 85% em rochas sedimentares com ocorrência de águas subterrâneas. Com base no cadastro do Sistema de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2016), o Piauí tem 28.730 poços, assumindo lugar de destaque nesse banco de dados.

As principais unidades aquíferas do Piauí são: Serra Grande, Cabeças, Poti e Piauí, como observado na Figura 14. As formações Serra Grande e Cabeças são intercaladas por unidades litológicas das formações Pimenteiras e Longá. As unidades Poti e Piauí por não serem separadas hidráulicamente são consideradas como um único sistema.

Figura 14 – Mapa de localização do estado do Piauí com destaque para as zonas de recarga dos principais aquíferos do estado



Fonte: VASCONCELOS et al (2014)

A Bacia da Barragem de Bocaina, devido à disposição estratigráfica da Bacia do Parnaíba, apresenta uma sequência de aquíferos superpostos, formada pelos sistemas Serra Grande e Cabeças, intercalados pelo aquitardo Pimenteiras, que por vezes também se comporta como um aquífero.

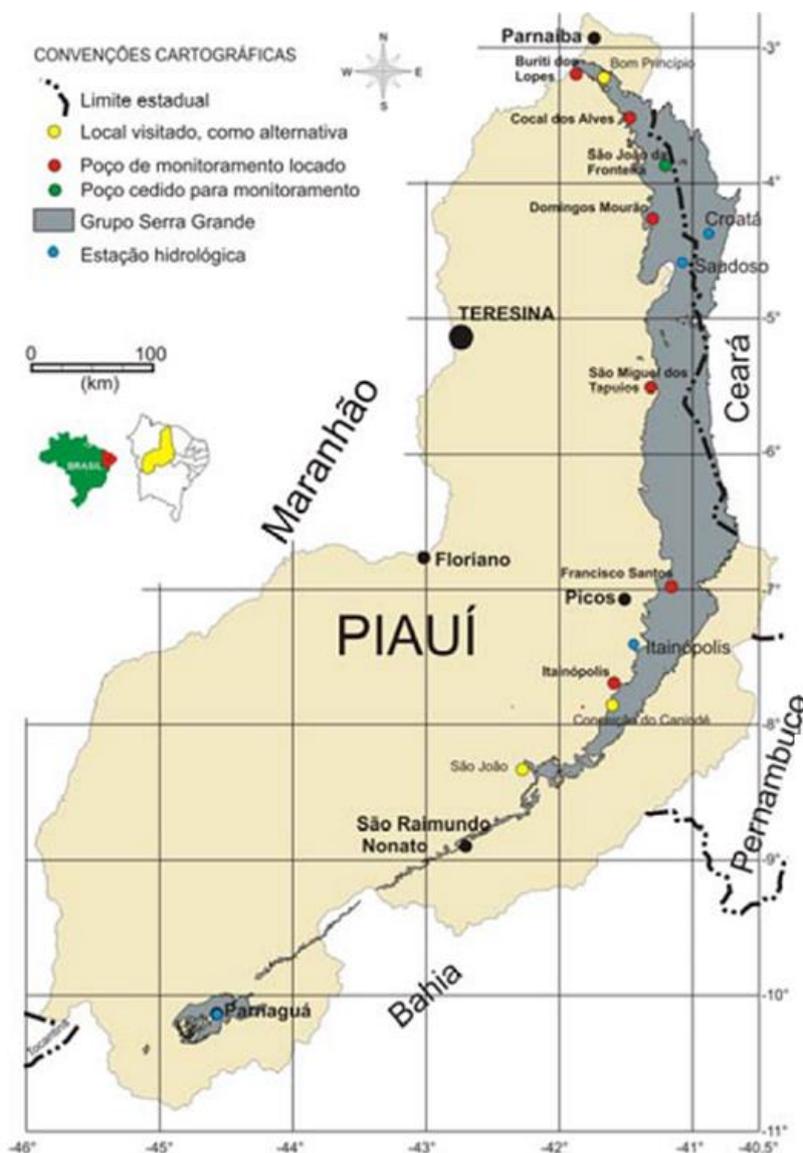
A análise das potencialidades hídricas de cada aquífero confere ao Serra Grande a característica de principal sistema aquífero da região, evidenciando-o como o que apresenta condições de atender as demandas hídricas da região. Além disso, não apresenta qualquer restrição do ponto de vista quantitativo e qualitativo para implantação de sistemas de abastecimento de água na zona urbana e rural, com capacidade inclusive para atender projetos de irrigação, tudo a partir de um programa de planejamento, uso e monitoramento da sua exploração.

A recarga dos aquíferos ocorre principalmente através da infiltração direta das precipitações pluviométricas nas zonas de afloramento de cada unidade e das contribuições dos rios da bacia e de seus afluentes.

### 3.8.2. Aquífero Serra Grande

O aquífero Serra Grande representa a sequência basal da bacia do Parnaíba, assentado diretamente sobre as rochas pré-cambrianas, cuja área de exposição e recarga se caracteriza por uma faixa de direção NE-SW. Com área de afloramento ocupando 8,5% do estado do Piauí, o aquífero Serra Grande apresenta aproximadamente 950 km de comprimento, como ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Área de Afloramento do Aquífero Serra Grande



Fonte: Vasconcelos et al, (2010).

No recorte da área em estudo, a formação Serra Grande ocorre em subsuperfície, com sua zona de afloramento a aproximadamente 19 quilômetros da Barragem de Bocaina, na direção NE.

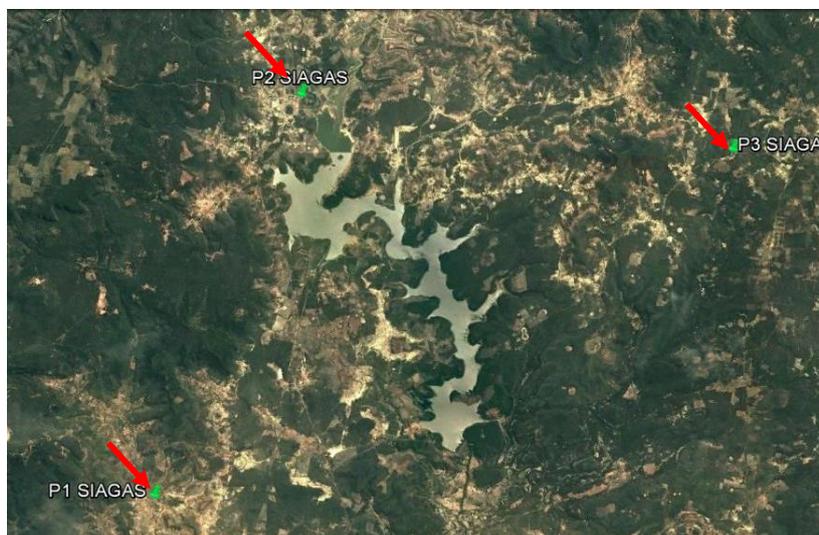
Essa formação é constituída por espessos bancos de arenitos, de coloração branca a bege, com granulação média e grosseira, por vezes conglomerática, e ocorrências subordinadas de níveis de arenitos siltosos ou siltitos, apresentando estratos com cimento quartzoso, por vezes conglomeráticos, com diagênese geralmente muito forte e com estratificação cruzada, intercalados por níveis de arenitos siltosos e siltitos (VIDAL, 2003).

Na região da barragem, o Serra Grande apresenta características de um aquífero confinado drenante, encontrando-se recoberto pela formação Pimenteiras em toda a área, sempre em contato com os sedimentos arenosos do membro Itaim, que fica na parte inferior desta formação.

Acredita-se que a espessura desses sedimentos pode chegar a uma profundidade maior que 700 m. Essa afirmação é confirmada por Correia Filho (2009) com a perfuração de um poço estratigráfico CC 220, com 953 m de profundidade, perfurado pela CPRM, situado no Parque Nacional Serra da Capivara, a 10 km da borda da bacia, onde esta unidade apresenta no perfil litológico do poço 791 m de espessura, sem atingir a interface com o embasamento cristalino. Na região em estudo essa espessura também não foi definida, presume-se que esta possa alcançar mais de 350 m. Tudo isso baseado na perfuração de perfis de poços cadastrados no SIAGAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – CPRM) localizados na região que chegam a uma profundidade de 300 m e não atingem o embasamento cristalino.

Para entender melhor o delineamento da espessura do aquífero Pimenteiras e do aquífero Serra Grande ao longo da Barragem, foram escolhidos três poços no SIAGAS (acessado em 2016) que detalham em seus perfis as profundidades das respectivas formações. Na figura 16 é mostrada a localização desses poços na região da Barragem.

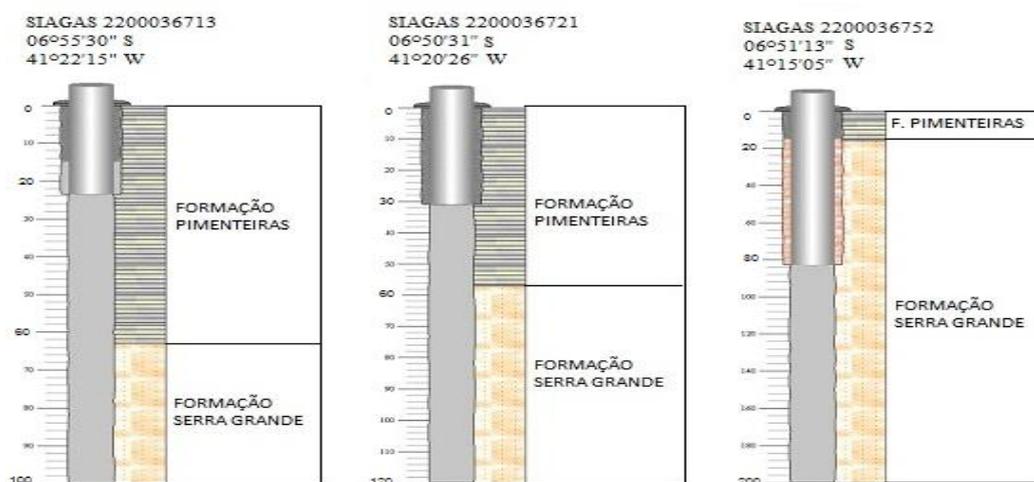
Figura 16 – Localização dos poços cadastrados no SIAGAS no entorno da Barragem de Bocaina



Fonte: SIAGAS, acessado em janeiro de 2016

Na Figura 17 os perfis dos poços confirmam uma redução na espessura da formação Pimenteiras com a aproximação da área de recarga da formação Serra Grande. O aquífero Pimenteiras nas margens esquerda da barragem tem uma espessura aproximada de 60 m, próximo ao leito apresenta uma profundidade de 56 m e próximo à área de recarga a espessura diminui para 18 m.

Figura 17 – Poços cadastrados no SIAGAS perfurados no entorno da Barragem de Bocaina



Fonte: SIAGAS (2016)

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 pelas águas provenientes do membro inferior do aquitardo Pimenteiras, o Itaim, a partir da infiltração vertical descendente.

A formação Pimenteiras, devido a sua litologia argilosa, possui baixa permeabilidade e é responsável pelo confinamento do aquífero Serra Grande. Todavia, níveis arenosos de pouca espessura ocorrem intercalados, acumulam água e constituem horizontes aquíferos. De um modo geral, os poços perfurados em seus domínios apresentam resultados insatisfatórios, com baixa produtividade e com água geralmente salobra. O nível estático destes poços apresenta variações sazonais, com rebaixamento, às vezes acentuados, durante o período seco. Sua recarga proveniente da infiltração direta das águas das chuvas e dos rios é reduzida devido ao baixo índice pluviométrico registrado na região e a natureza predominantemente argilosa do material da sua área de afloramento.

Segundo Soares Filho (1993), as condições de exploração do aquífero Serra Grande são excelentes, principalmente nas áreas aflorantes da formação Pimenteiras.

### 3.8.3. Trabalhos anteriores sobre o Aquífero Serra Grande

O primeiro estudo encontrado sobre o aquífero Serra Grande foi o realizado por Kegel, em 1953 e 1956 que recomendava a exploração do aquífero Serra Grande, através da perfuração de poços com profundidade de 150 metros para atendimento do crescimento da demanda hídrica do município de Picos. Ainda em 1961, Kegel confirma a capacidade artesiana 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 aquífero.

Cruz & França, em 1967 e 1970, foram os primeiros a analisar as condições hidrogeológicas do aquífero na região de Picos, distante 20 km da Barragem de Bocaina, evidenciando o rebaixamento da superfície potenciométrica e o regime de exploração do aquífero Serra Grande. Esses estudos foram importantes na medida em

que 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 (VIDAL, 2003).

Em 1991, Verhagen et al realizaram outro estudo importante para região, avaliando a recarga de aquíferos em regiões áridas e semiáridas, com um capítulo sobre o estado do Piauí. Foram utilizadas técnicas de análise hidrológica por isótopos, especialmente de  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ , para se estimar a taxa de infiltração e a direção do fluxo subterrâneo das águas na região. Um ponto importante nesse trabalho foi referente ao artesianismo da formação Serra Grande, explicado 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 (Serra Grande e Cabeças), através do aquífero Pimenteiras.

Através de métodos estatísticos, outros trabalhos realizados foram construídos por Soares Filho, em 1993, no que diz respeito ao cadastramento de poços no município de Picos, apresentando propostas para exploração e o gerenciamento dos recursos hídricos. No trabalho Relatório Técnico 015 do Ministério de Minas e Energia (2009), Análise das Informações sobre Recursos Hídricos Subterrâneos no País, foi citado que o aquífero Serra Grande era explotado principalmente sob condições de artesianismo, proporcionando poços jorrantes ao longo da borda oriental da bacia sedimentar, desde Pedro II ao norte, até São João do Piauí ao sul. Mostrou que, com o tempo, ficaram raros os casos de artesianismo jorrante, devido ao grande rebaixamento de níveis que ocorreu por conta da superexploração, notadamente na região de Picos e São João do Piauí. Detalhou ainda que os seus coeficientes hidrodinâmicos médios (ÁRIDAS – PI, 1995) são: Transmissividade -  $T = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ ; Permeabilidade -  $K = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  e Armazenamento -  $S = 4,3 \cdot 10^{-4}$ .

Em 1997, Soares Filho & Leal fizeram um diagnóstico das condições das águas subterrâneas no município de Picos onde o aquífero Serra Grande, nesta área, responde por 98% do volume captado de águas subterrâneas, enquanto os 2% restante refere-se a águas originadas do aquífero Pimenteiras. Quando encoberto pela Formação Pimenteiras, o aquífero Serra Grande exhibe vazões específicas de 0,41 a 25,75  $\text{m}^3/\text{h/m}$ . O trabalho mostra que os valores dos parâmetros hidrodinâmicos médios apresentados

para o aquífero Serra Grande são: i) transmissividade (T) de  $2,6 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s; ii) coeficiente de armazenamento de  $4,9 \times 10^{-4}$  e, iii) restituição de  $5,0 \times 10^{-3}$  m/s.

Através de isótopos ambientais e de condutividade elétrica, Batista et al (1998) apresentaram um estudo da água subterrânea captada no município de Picos, no Piauí no qual foram avaliados resultados que permitem identificar a origem, com relação ao sistema aquífero explorado, de cada água amostrada. Onde nesta área, os sistemas aquíferos analisados foram as formações Serra Grande e Cabeças separados pela formação Pimenteiras, um aquífero.

Com valores de rebaixamento do nível estático em poços de captação no aquífero Serra Grande, Vidal (2003) também avalia a diminuição do nível do aquífero ao tempo que analisa o gerenciamento das águas subterrâneas para demandas existentes. Nesse trabalho ainda foi estimado que os valores de infiltração são da ordem de 25% do total das precipitações, com uma taxa de recarga de 169 mm/ano, tendo sido considerada os aportes laterais do aquífero. Evidencia também que outra fonte de recarga considerada refere-se à infiltração descendente a partir do aquífero Pimenteiras. Finaliza apresentando também os valores de rebaixamentos na área do município de Picos que alcançaram 26,9 m em um intervalo de 43 anos.

Outro material que subsidiou o presente estudo foi a análise feita por Correia Filho (2009), Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que foi desenvolvido na região do município de São Raimundo Nonato com o objetivo de efetuar um mapeamento hidrogeológico da porção sudeste da bacia, na busca de uma melhor compreensão da distribuição espacial dos aquíferos e obtenção de estimativas das reservas hídricas.

Entre os trabalhos escritos sobre água subterrânea no Piauí, destaca-se também o Relatório Diagnóstico do aquífero Serra Grande (CPRM, Projeto RIMAS 2012) que faz uma análise do aquífero com descrição dos aspectos climáticos, fisiográficos, geológicos e hidrogeológicos da região e sua coluna litoestratigráfica.

### 3.9. Relevo

A região é composta por uma paisagem de morros com relevos tabulares e neste há a ocorrência de um relevo em forma de cuestas, conforme a Figura 18. Os processos de erosão estão desenvolvidos e as vertentes se alargam formando vales abertos, ainda com o relevo acidentado. Apresenta algumas regiões com altitude variando de 115 m a 740 m.

Figura 18 – Recortes do relevo da Bacia da Barragem de Bocaina



(a) Região de São João da Canabrava

(b) Área do vertedouro da barragem

Sales e Ramos (2000) elaboraram uma carta com as unidades geoambientais da área sob influência do reservatório de Bocaina. Definiram quatro unidades geoambientais representativas da região:

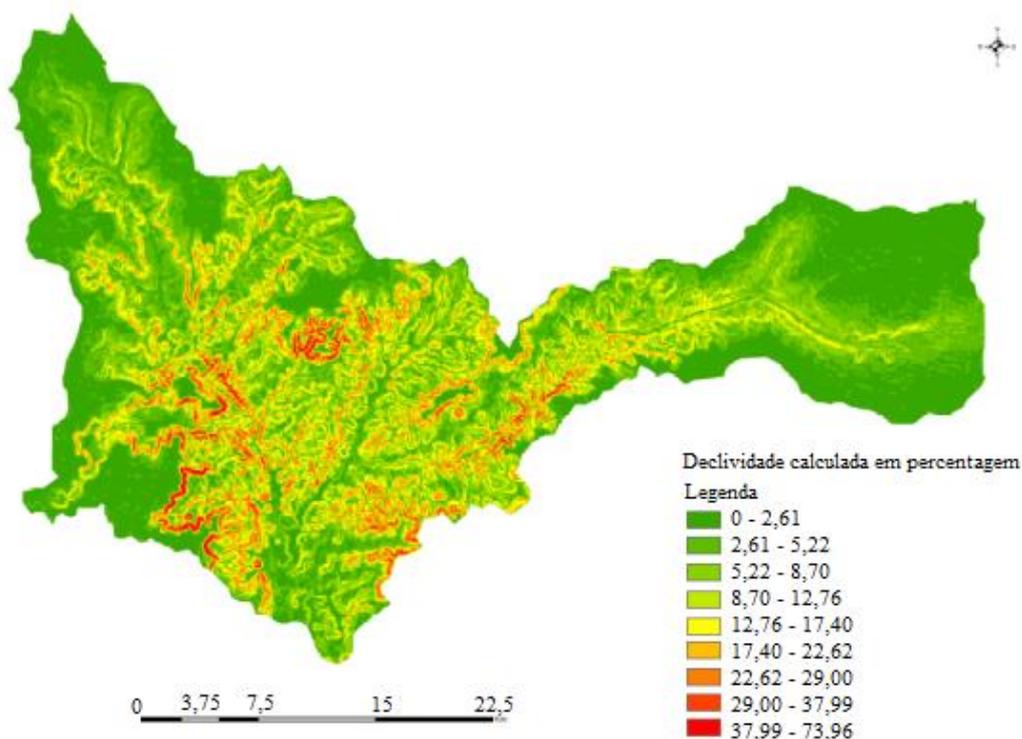
- Superfície plana conservada que corresponde as áreas mais elevadas da região, com um relevo plano em decorrência do processo de pediplanação, cotas altimétricas em torno de 500 metros, sobre as formações Pimenteiras, representadas pela serra do Batista, chapada do Forno, serra do Baixo e serra Sitio Salvador;
- Superfície dissecada em estreitos interflúvios que corresponde a áreas com cotas altimétricas que variam de 350 a 450 metros, com relevo tabular de topo plano dissecado em estreitos interflúvios e drenagem com vales bem encaixados, representada por pequenos cursos de água com intenso processo de erosão, contribui, juntamente com o escoamento superficial difuso, para o processo de dissecação do relevo;

- Superfície dissecada em largos interflúvios que compreende a áreas com relevo tabular e sub-tabular representado por cuestras, chapadas e morros testemunho em cota altimétrica que variam em torno de 250 a 350 metros onde a dissecção do relevo é resultado tanto dos processos erosivos provocados pelo curso d`água como de escoamento superficial difuso em lençol. Os solos são predominantemente a associação de podzólicos eutróficos litólicos e latossolos vermelho-amarelo.
- Superfície de acumulação, esta corresponde às áreas de relevo plano resultante da acumulação por inundações periódicas, fato verificado ao longo dos rios Guaribas e Riachão, esta superfície é representada litoestratigraficamente pelos arenitos, siltitos e folhelhos das formações Pimenteiras e Serra Grande.

Para Sales e Ramos (2000) a Superfície dissecada em largos interflúvios e a Superfície de acumulação são as unidades mais comprometidas por processo de degradação, exigindo, portanto, ações rápidas para de minimização dos problemas relacionados à erosão, empobrecimento do solo e perda da biodiversidade.

Numa visão pormenorizada do relevo da bacia verifica-se que no contorno da bacia hidráulica a declividade da bacia em questão, onde se encontra a área em estudo, a declividade varia aproximadamente entre 3 e 17% de acordo com a Figura 19.

Figura 19 - Declividade da Bacia da Barragem de Bocaina



### 3.10. Cobertura Vegetal

A Caatinga é um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas que cobre a maior parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e a parte nordeste de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha, estendendo-se por cerca de 735.000 km<sup>2</sup>.

A savana-estépica, doravante denominada Caatinga *sensu stricto*, ocorre especialmente nas terras baixas entre serras e planaltos, a chamada depressão sertaneja, que representa um extenso conjunto de pediplanos ora rodeado por extensos planaltos, ora entremeado por relevos residuais com variadas dimensões como chapadas e bacias sedimentares, maciços e serras (Rodal & Sampaio 2002).

As descrições de Caatinga apresentadas por autores como Andrade-Lima (1981) e Sampaio (1995) apontam na direção de que, em uma mesma região, as diferenças fisionômicas encontradas na vegetação de caatinga estão relacionadas com as variações ambientais como a proximidade de serras e corpos de água.

No semiárido predomina a vegetação tipo caatinga arbórea e Caatinga arbustiva. Apresenta também campo cerrado e parque cerrado com manchas de cerradão e de floresta secundária latifoliada.

No caso específico da Bacia da Barragem de Bocaina ocorre a caatinga arbustiva, conforme Figuras 20 e 21, raramente a arbórea, comportando folhas miúdas e hastes espinhentas adaptadas para conter os efeitos de uma evapotranspiração muito intensa.

Figura 20 – Vegetação Caatinga da Bacia da Barragem de Bocaina



A Caatinga arbustiva apresenta uma paisagem caracterizada pelo estrato arbustivo, entremeadas por plantas espinhosas como cactáceas e bromeliáceas. Este tipo de Caatinga representa uma das mais xerofíticas das formações vegetais da bacia dos rios Canindé/Piauí e sua presença geralmente encontra-se dissociada da agricultura, situação determinada pelas condições pedológicas amplamente desfavoráveis.

Figura 21 – Vegetação Caatinga da bacia da Barragem de Bocaina

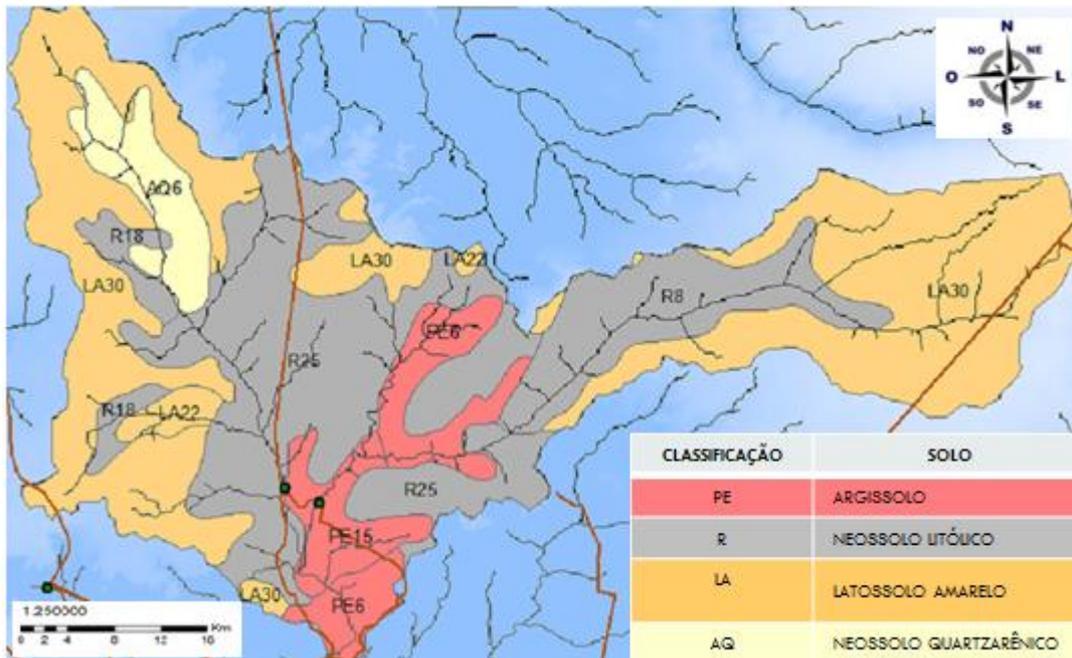


As chuvas na Caatinga (50-70%) são concentradas em três meses consecutivos, apesar da alta variação anual e dos longos períodos de seca serem frequentes (Nimer, 1972). O número de meses secos aumenta da periferia para o centro da região, e algumas localidades experimentam períodos de 7 a 11 meses de baixa disponibilidade de água para as plantas (Prado, 2003). A Caatinga é também caracterizada por um sistema de chuvas extremamente irregular de ano para ano, o que resulta em secas severas periódicas (Krol et al., 2001; Chiang & Koutavas, 2004).

### 3.11. Solos

Os solos que compõem a bacia da Barragem de Bocaina descritos no mapa da Figura 22 identificam quatro tipos de solos: os argilossolos (PE6 e PE15), os neossolos litólicos (R8, R18 e R25), os neossolos quartzarênicos (AQ6) e os latossolos amarelos (LA22 e LA30).

Figura 22 - Tipos de Solos que compõem a região da Barragem de Bocaina.



Os argilossolos compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. Grande parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este. Ocupa, na paisagem, a porção inferior das encostas onde o relevo apresenta-se ondulado (8% a 20% de declive) ou fortemente ondulado (20% a 45% de declive). (EMBRAPA, 2006). Na Barragem de Bocaina são os solos PE6 e PE15, que ocupam o leito da barragem.

Os neossolos litólitos são distribuídos geralmente em áreas de relevo movimentado, de ondulado a montanhoso, onde a vegetação dominante é do tipo floresta caducifólia e caatinga hipoxerófila. Também são solos minerais, pouco evoluídos e rasos, com horizonte A assente diretamente sobre a rocha sã, coerente e dura ou, em alguns casos, sobre horizonte C pouco espesso, ou mesmo sobre um horizonte B em início de formação. Sua textura predominante é arenosa, embora, esteja intimamente relacionada com seu material de origem, que em geral apresentam fragmentos de rocha (pedregosidade), parcialmente intemperizados, e/ou pedras e cascalhos no seu interior ou mesmo na superfície. Permeabilidade de moderada a excessivamente drenados (EMBRAPA, 2006). Na barragem são os solos R25, R8 e R18.

Os latossolos amarelos em geral são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, mineralogia da fração argila predominantemente caulínica ou caulínica-oxídica, que se reflete em valores de relação Ki baixos, inferiores a 2,2, e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização. Solos profundos, de coloração amarelada, perfis muito homogêneos, com boa drenagem e baixa fertilidade natural em sua maioria (EMBRAPA, 2006). Na barragem são os solos LA22 e LA30.

Neossolos quartzarênicos compreendem solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica, ou por influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. São solos sem contato lítico dentro de 50cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo).

A Figura 23 apresenta alguns exemplos de solos foram analisados ao longo da bacia.

Figura 23 – Exemplos de áreas com diferentes tipos de solos que compõem a bacia da Barragem de Bocaina.



Outro tipo de solo presente no leito da barragem são os sedimentos. Com a ocorrência do processo de deposição desses sedimentos, atualmente a bacia hidráulica apresenta áreas constituídas basicamente desse material. É o que acontece na proximidade da comunidade de Nova Varjota no leito da barragem (Figura 24).

Figura 24 – Área da barragem coberta de sedimentos próxima ao povoado de Nova Varjota



### 3.12. Dados Climáticos

Com clima muito quente e semiárido, com 6 a 8 meses secos; temperatura média em torno de 29°C durante todos os meses do ano, a seguir serão analisados os dados climáticos da Barragem de Bocaina durante o período estudado de 2013 a 2015.

Para descrever a região em análise foram considerados os dados médios de temperatura, evaporação, precipitação, umidade relativa do ar e insolação registrados pela estação meteorológica Picos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 82780, com distância de 20 km da Barragem de Bocaina. Para a precipitação foram utilizados os dados dos postos pluviométricos, monitorados pela Agência Nacional de Águas (ANA), circunvizinhos à Barragem de Bocaina.

#### 3.12.1. Temperatura

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), principal órgão científico internacional para as avaliações das alterações climáticas, publicou cinco relatórios, os quais confirmam a projeção de aumento da temperatura média da atmosfera. Evidências de mudanças globais foram apresentadas pelo quinto relatório-AR5, em decorrência do aumento da concentração dos gases de efeito estufa a partir de atividades humanas (SILVEIRA, 2016).

No Nordeste brasileiro, região em grande parte semiárida e muito vulnerável à variabilidade climática, as temperaturas apresentam-se altas na maior parte do ano.

A Tabela 4 apresenta as médias mensais das temperaturas para a estação de Picos, com a temperatura média sendo calculada através da média aritmética das médias mensais. Constata-se, portanto uma temperatura média anual é de 29 °C, com pequena variação ao longo do ano. As temperaturas mais baixas ocorrem nos meses de março e abril e os meses mais quentes são outubro e novembro, com temperatura média superior a 31 °C. Os registros do INMET apresentam ainda temperatura média das máximas de 30 °C, chegando a 35 °C de setembro a novembro; média das mínimas de 21 °C entre junho e julho.

A Tabela 4 apresenta a distribuição mensal da temperatura média na região no período estudado.

Tabela 4 - Temperatura Média Mensal (°C) – Estação Picos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
2013	28.6	29.9	29.5	28.0	28.7	28.7	28.3	29.3	30.8	31.5	31.0	30.1	29.5
2014	29.1	28.0	27.5	27.6	28.3	28.6	28.1	28.8	30.7	31.0	30.6	30.2	29.0
2015	29.7	28.1	27.8	27.4	27.9	28.2	28.4	28.3	29.0	32.0	32.6	30.2	29.1
<b>MÉDIA</b>	<b>29.1</b>	<b>28.7</b>	<b>28.3</b>	<b>27.7</b>	<b>28.3</b>	<b>28.5</b>	<b>28.3</b>	<b>28.8</b>	<b>30.2</b>	<b>31.5</b>	<b>31.4</b>	<b>30.1</b>	<b>29.2</b>

Fonte: INMET (2016)

### 3.12.2. Evaporação

Na maioria das regiões áridas e semiáridas, a precipitação é o único provedor da água para uma bacia hidrográfica. A evaporação caracteriza-se como elemento fundamental no decréscimo de água em uma bacia nas regiões áridas (YASUNARI, 2003; KURC E SMALL, 2004; YAMANAKA, 2007; SATOH, 2010). Estima-se que, dependendo das condições climáticas locais, da natureza da área circunvizinha ao açude e do tamanho da represa, a lâmina evaporada por ano situa-se no Nordeste Brasileiro entre 2.100 e 2.700 mm (SILANS, 2003). Um açude pequeno, com volume de 100.000 m<sup>3</sup> de água armazenado ao final da estação chuvosa, perde no primeiro mês subsequente a esta, em torno de 15.000 m<sup>3</sup>, e, a metade do volume armazenado é perdida em apenas 115 dias, se nenhuma utilização do açude é efetuada (SILANS, 2003).

Para entendimento da evaporação na bacia da Barragem na Bocaina foram utilizados dados do posto de Picos. Nos anos estudados esses dados são mostrados na tabela com evaporação anual entre 2000 mm e 3200 mm. Verificam-se os valores máximos nos meses de Agosto a Novembro, visto que em Dezembro não há registros nestes anos.

A Tabela 5 apresenta a evaporação média mensal na região no período estudado.

Tabela 5 – Evaporação média mensal (mm) – Estação Picos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
2013	216.9	259.9	232.1	167.8	246.5	271	312.7	359.1	381.1	418.5	364.9	313.3	3543.8
2014	261.6	171.9	142.4	145.2	245.6	332.5	333.2	376.6	415.4	449.5	363.7	265.3	3502.9
2015	166.8	180.9	158.1	135.2	222.2	202.1	181.9	382.5	393.5	414.9	315.0	265.1	3018.1
<b>MÉDIA</b>	<b>215.1</b>	<b>204.2</b>	<b>177.5</b>	<b>149.4</b>	<b>238.1</b>	<b>268.5</b>	<b>275.9</b>	<b>372.7</b>	<b>396.7</b>	<b>427.6</b>	<b>347.9</b>	<b>281.2</b>	<b>3354.9</b>

Fonte: INMET (2016)

### 3.12.3. Precipitação

Por ser informação essencial nos estudos hidrológicos, a precipitação média sobre uma área deve ser analisada com base na distribuição média espacial da chuva a partir de várias estações, pois monitoramentos pontuais não são bons representantes de uma área ou uma bacia hidrográfica (BAYRAKTAR et al., 2005).

Segundo Bethlahmy (1976) e Bayraktar et al. (2005), os métodos mais utilizados para determinação da chuva média são Isoietas, Thiessen e Média Aritmética. Destes, o de Thiessen envolve construção de polígonos através dos quais se estabelecem as médias das precipitações e é indicado quando as estações de monitoramento da chuva são mal distribuídas (BETHLAHMY, 1976).

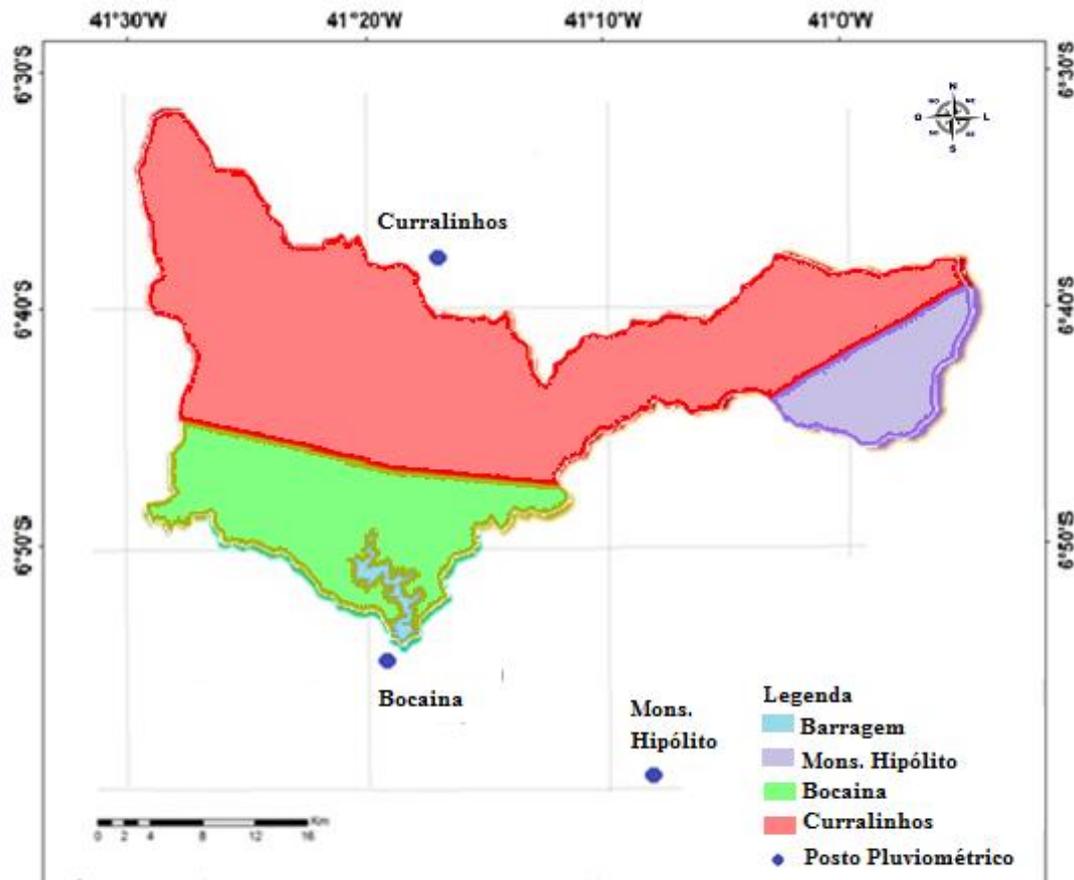
Para o estudo da precipitação na Bacia da Barragem da Bocaina tomou-se como base os postos de três municípios circunvizinhos com dados suficientes para estimativa da precipitação média na região, a saber: Bocaina, Currálinho e Monsenhor Hipólito. A tabela 6 traz o código de identificação nacional e da SUDENE, a localização geográfica (latitude e longitude) e a altitude (ANA / HIDROWEB, 2016). O período analisado foi de 1966 a 1996.

Tabela 6 – Postos pluviométricos circunvizinhos à Bacia da Barragem de Bocaina

Posto	Cód Nacional	Cód Adicional	Latitude	Longitude	Altitude (m)
<b>Bocaina</b>	641001	3737837	6°54'S	41°19'O	250
<b>Currálinho</b>	641002	3737246	6°38'S	41°17'O	420
<b>Mons.Hipólito</b>	641006	3737979	6°59'S	41°07'O	270

A Figura 25 apresenta os Polígonos de Thiessen, para os três postos pluviométricos estudados de Bocaina, Currálinhos e Monsenhor Hipólito com áreas de 211,18 km<sup>2</sup>, 767,14 km<sup>2</sup> e 92,48 km<sup>2</sup>, respectivamente, contidos ou circunvizinhos à Barragem de Bocaina, com área total da bacia de 1.070,80 km<sup>2</sup>.

Figura 25 – Postos pluviométricos contidos ou circunvizinhos à Barragem de Bocaina, Piauí.



A tabela 7 apresenta as precipitações médias mensais e anuais da região, calculadas a partir dos polígonos de Thiessen.

De acordo com as Tabelas 7 e 8, A precipitação anual média na bacia da Barragem de Bocaina durante o período oscilou entre 302 mm e 1.609,9 mm, com o índice pluviométrico médio anual para a bacia de 824 mm. O período chuvoso começa em meados de dezembro, prolongando-se descontinuamente até abril, quando as chuvas vão se tornando escassas. O mês de março é o que apresenta, em geral, a maior precipitação média (213,1 mm). A estação seca tem início em maio e estende-se até novembro; julho, agosto e setembro são os meses mais secos. O trimestre janeiro-fevereiro-março é responsável por mais da metade da precipitação anual.

Tabela 7 – Precipitações na Bacia da Barragem de Bocaina calculadas pelo Método de Thiessen

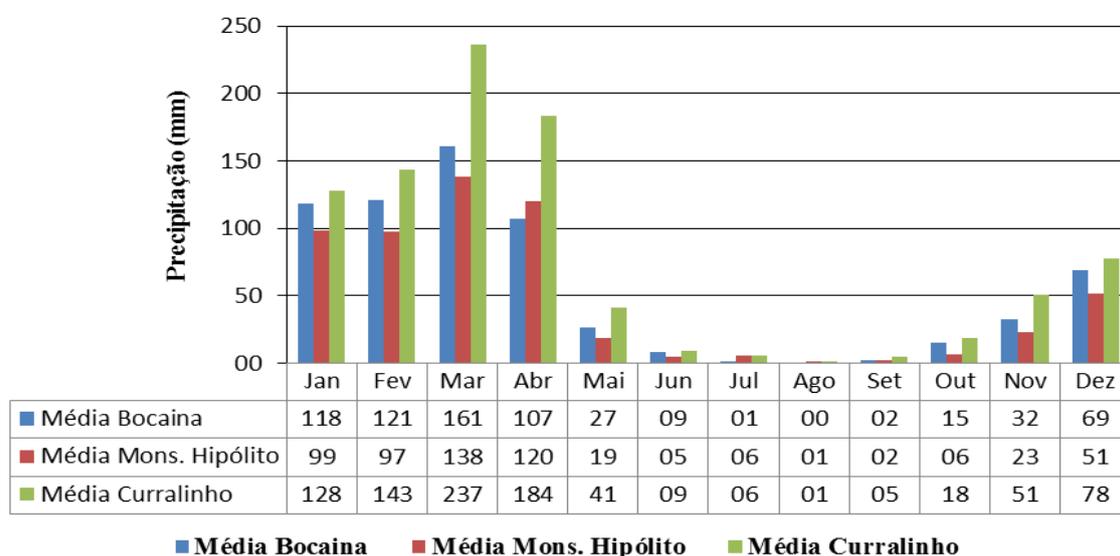
Ano\ Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
<b>1966</b>	128.7	250.1	138.1	405.8	10.7	8.8	0.0	0.0	16.9	12.6	6.4	107.1	<b>1.085,3</b>
<b>1967</b>	123.1	229.8	438.7	198.0	123.1	1.0	0.0	0.0	8.0	0.0	34.5	117.5	<b>1.273,6</b>
<b>1968</b>	66.4	172.4	456.6	91.2	55.3	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	197.7	99.2	<b>1.150,1</b>
<b>1969</b>	176.7	141.9	241.8	71.1	29.8	12.4	0.0	4.7	7.8	1.9	0.0	133.7	<b>821,7</b>
<b>1970</b>	116.9	32.1	190.2	17.6	0.0	4.8	0.0	0.0	10.8	23.3	50.7	72.8	<b>519,2</b>
<b>1971</b>	90.0	116.2	124.6	349.5	98.5	12.6	0.9	0.0	0.0	12.9	0.0	54.3	<b>859,4</b>
<b>1972</b>	60.9	71.5	179.9	59.5	19.0	41.3	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	70.0	<b>517,5</b>
<b>1973</b>	105.5	117.7	269.9	189.0	21.8	26.2	17.7	2.8	15.8	65.2	119.2	114.2	<b>1.065,1</b>
<b>1974</b>	272.1	169.2	262.3	529.8	81.8	14.4	4.1	0.0	8.0	112.0	20.1	136.0	<b>1.609,9</b>
<b>1975</b>	124.5	166.5	344.2	191.8	39.4	4.2	7.8	0.0	0.2	30.9	54.1	46.7	<b>1.010,5</b>
<b>1976</b>	76.5	263.1	49.2	75.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	27.2	72.3	14.8	<b>581,6</b>
<b>1977</b>	172.0	47.6	154.9	94.5	30.9	11.4	0.0	0.0	1.3	9.4	62.1	185.4	<b>769,5</b>
<b>1978</b>	202.8	69.2	177.8	164.1	152.5	2.3	60.8	0.0	1.6	30.6	149.0	37.0	<b>1.047,7</b>
<b>1979</b>	200.7	99.2	94.7	99.8	28.5	0.0	7.8	2.9	0.0	23.2	85.3	9.3	<b>651,5</b>
<b>1980</b>	134.4	217.8	16.3	31.4	4.4	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	112.4	23.9	<b>552,1</b>
<b>1981</b>	142.0	3.5	396.1	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8	70.3	<b>658,2</b>
<b>1982</b>	54.7	75.0	118.5	74.7	1.9	0.9	0.0	0.0	0.0	14.1	8.7	37.3	<b>385,9</b>
<b>1983</b>	65.4	102.0	70.9	10.9	0.0	10.4	0.0	0.0	0.0	0.9	18.8	22.7	<b>302,0</b>
<b>1984</b>	109.0	147.8	206.8	250.1	28.1	1.8	0.0	2.4	5.3	28.8	24.0	63.9	<b>868,1</b>
<b>1985</b>	203.8	315.3	347.8	315.6	72.9	36.4	8.9	2.4	0.0	7.2	40.8	258.1	<b>1.609,2</b>
<b>1986</b>	10.0	160.7	400.0	111.7	7.4	5.4	9.6	0.7	1.3	1.4	29.1	30.6	<b>767,8</b>
<b>1987</b>	51.4	97.2	209.7	71.2	1.2	9.3	0.0	0.0	4.2	0.9	0.0	22.2	<b>467,3</b>
<b>1988</b>	168.9	204.1	263.5	314.5	12.6	3.4	5.2	0.0	5.2	48.7	49.4	177.0	<b>1.252,6</b>
<b>1989</b>	45.7	88.8	254.2	265.2	68.6	23.5	0.0	0.0	0.0	6.8	23.4	262.5	<b>1.038,7</b>
<b>1990</b>	15.7	87.5	90.2	98.7	65.4	0.0	12.0	1.4	14.9	23.5	3.7	11.1	<b>424,2</b>
<b>1991</b>	135.7	89.4	115.7	124.3	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.0	5.0	<b>531,9</b>
<b>1992</b>	219.4	83.1	64.6	100.8	0.0	0.0	5.6	0.0	7.1	0.0	2.0	5.0	<b>487,6</b>
<b>1993</b>	43.4	45.1	147.2	15.3	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	44.5	15.1	<b>316,3</b>
<b>1994</b>	170.8	180.4	302.6	200.4	25.1	34.6	0.5	0.0	0.0	1.6	18.0	54.9	<b>989,0</b>
<b>1995</b>	144.8	245.3	307.8	311.8	74.6	3.8	0.9	0.0	0.0	9.8	4.9	22.5	<b>1.126,1</b>
<b>1996</b>	199.5	94.3	171.1	193.8	35.3	0.8	2.9	0.0	0.0	11.7	84.8	10.8	<b>804,9</b>
<b>Média</b>	<b>123,6</b>	<b>135,0</b>	<b>213,1</b>	<b>163,0</b>	<b>36,1</b>	<b>8,7</b>	<b>4,7</b>	<b>0,6</b>	<b>4,0</b>	<b>16,7</b>	<b>44,8</b>	<b>73,9</b>	<b>824,0</b>

Tabela 8 – Resumo do método de Thiessen

	Bocaina	Curralinho	Mons Hip	Bacia
Pm (mm)	661,3	899,8	567,1	
Area (km <sup>2</sup> )	211,18	767,14	92,48	1.070,80
<b>Precipitação média da Bacia (mm)</b>				<b>824,03</b>

Analisando os dados pluviométricos (ANA / HIDROWEB, 2016) correspondentes ao período de 1966 a 1996 utilizados como base para cálculo da precipitação média da Bacia da Barragem de Bocaina, na Figura 26 as precipitações médias mensais de cada posto alcançaram valores máximos no mês de março. Nesses meses que correspondem a uma pluviometria mais elevada de janeiro a abril, as precipitações alcançaram máximas de 161, 138 e 237 mm para Bocaina, Monsenhor Hipólito e Curralinho, respectivamente. E para os meses de maior estiagem mínimas de 0, 0,8 e 0,7 mm para os três postos supracitados respectivamente.

Figura 26 – Precipitações Médias Mensais dos postos pluviométricos (1966 a 1996)



#### 3.12.4. Umidade Relativa

Os valores registrados de umidade relativa são bastante baixos, característica de regiões com aridez severa. A umidade relativa média anual é da ordem de 48%, com os maiores valores mensais coincidindo com o período mais chuvoso. Os valores extremos são encontrados nos meses de março (69%) e setembro (37%). Varia a mínima de 30% a 40% entre setembro e outubro e a máxima de 50% a 60% entre março e maio.

A Tabela 9 apresenta a distribuição mensal da umidade relativa do ar na região.

Tabela 9 - Umidade Relativa Média Mensal (%) – Estação Picos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA ANUAL
2013	53.5	43.25	53.8	60.9	47.23	42.33	39.8	38.32	37.33	40.13	39.8	44.9	45.1
2014	49.9	61.1	69.26	66.77	49.32	42.23	43.6	43.42	42.67	44	47.03	48.6	50.7
2015	50.25	64.82	66.2	67.57	56.26	49.2	42.06	42.84	39.6	40.71	39.07	45.1	50.3
<b>MÉDIA</b>	<b>51.2</b>	<b>56.4</b>	<b>63.1</b>	<b>65.1</b>	<b>50.9</b>	<b>44.6</b>	<b>41.8</b>	<b>41.5</b>	<b>39.9</b>	<b>41.6</b>	<b>42.0</b>	<b>46.2</b>	<b>48.7</b>

Fonte: INMET (2016)

### 3.12.5. Insolação

A insolação média anual situa-se próxima de 2.500 horas, o que equivale a uma incidência solar média diária ligeiramente superior a 7 horas/dia.

Os meses chuvosos têm os dias de menor insolação, a média mínima superando em pouco o limite de 6 horas diárias. O trimestre janeiro/março responde por aproximadamente 20% da insolação anual; por sua vez, 30% se concentram no trimestre julho/setembro, quando a média diária se aproxima de 10 horas de radiação. Os valores médios registrados no período em estudo são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Insolação Média Mensal (Horas) – Estação Picos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL ANUAL
2013	184.7	209.7	195.6	204.7	254.6	265.3	264.6	319.8	324.8	299.9	224.1	215.0	2962.8
2014	205.8	129	190.2	204.4	252.7	271.6	279.1	325.7	291	293.9	262.4	231.9	2937.7
2015	201.4	162.6	215.4	268.1	242.7	259.4	276.05	325.3	326.4	328.6	321.9	259.5	3187.2
<b>MÉDIA</b>	<b>197.3</b>	<b>167.1</b>	<b>200.4</b>	<b>225.7</b>	<b>250.0</b>	<b>265.4</b>	<b>273.3</b>	<b>323.6</b>	<b>314.1</b>	<b>307.5</b>	<b>269.5</b>	<b>235.4</b>	<b>3029.2</b>

Fonte: INMET

### 3.13. Mudanças Climáticas

Alterações significativas no ciclo hidrológico aconteceram com o aquecimento das últimas décadas, modificações dos padrões de precipitação e evapotranspiração, impactos resultantes na umidade do solo, na reserva subterrânea e na geração do escoamento superficial (IPCC, 2007; IPCC, 2013). Outro aspecto a ser somado a esse conjunto é o aumento da demanda por água projetada para as próximas décadas

(principalmente devido ao crescimento populacional), que poderão exercer grande pressão nos recursos hídricos brasileiros (PBMC, 2012; SALATI et al., 2008).

No Brasil, o aumento da demanda de água da irrigação pode levar à diminuição da segurança alimentar e maior vulnerabilidade dos agricultores rurais, especialmente nas regiões semiáridas (PBMC, 2012). Mudanças nos padrões de escoamento nas bacias podem atingir a geração de energia hidroelétrica no país (SILVEIRA et al., 2014).

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) é o principal órgão científico internacional para as avaliações das alterações climáticas, e foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) e pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) em 1988, para fornecer visões científicas claras sobre o estado atual do conhecimento das mudanças climáticas e seus possíveis impactos socioeconômicos e ambientais (IPCC).

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), um comitê com alguns dos maiores especialistas do país em climatologia, fez projeções sobre as alterações prováveis nas várias regiões. As mais confiáveis valem para a Amazônia (aumento de temperatura de 5 °C a 6 °C e queda de 40% a 45% na precipitação até o final do século, com 10% de redução nas chuvas já nos próximos cinco anos); para o semiárido, no Nordeste (respectivamente, 3,5 °C a 4,5 °C e -40% a -50%); e para os pampas, no Sul (2,5 °C a 3 °C de aquecimento e 35% a 40% de aumento de chuvas).

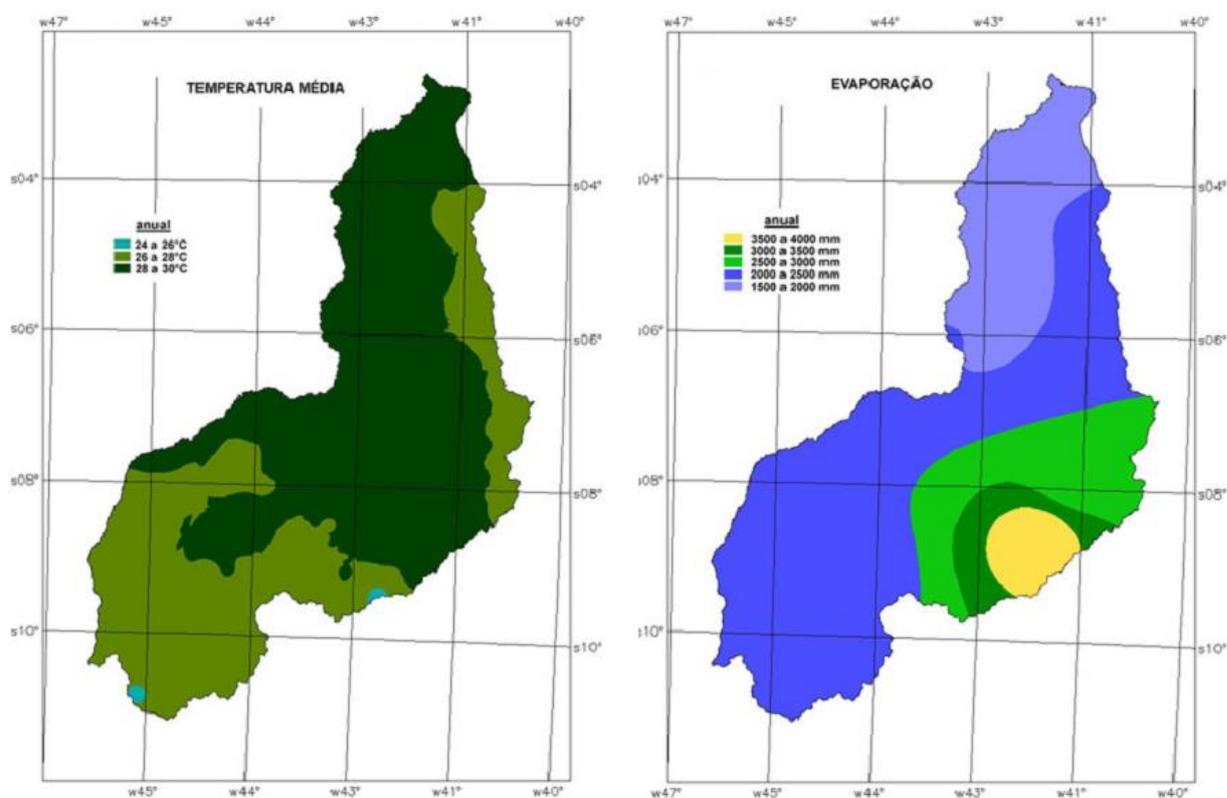
A região Nordeste do Brasil, marcada historicamente por condições desiguais de acesso à água, é a área que mais sofre com a seca no país. Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, a diminuição das chuvas no inverno deve chegar a 50% no fim do século (PBMC, 2012).

Alguns estudos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2016) e do Instituto Internacional de Ecologia (IIE) apontam que em 2014, por exemplo, foi registrada a pior seca no Nordeste e a maior enchente em Foz do Iguaçu, no Paraná, enquanto o Rio Grande do Sul e Santa Catarina são afetados por um volume de chuva excepcional, causando enchentes.

Mesmo com um histórico de longos períodos de estiagem, o semiárido do Nordeste brasileiro, no contexto da atual era das mudanças climáticas, com o aquecimento global, essa situação se agravará. Os extremos climáticos – como secas e inundações – tendem a se tornar mais severos e frequentes, isso tudo somado a crise hídrica da região Sudeste do nosso país, que confirma todas essas mudanças no nosso clima.

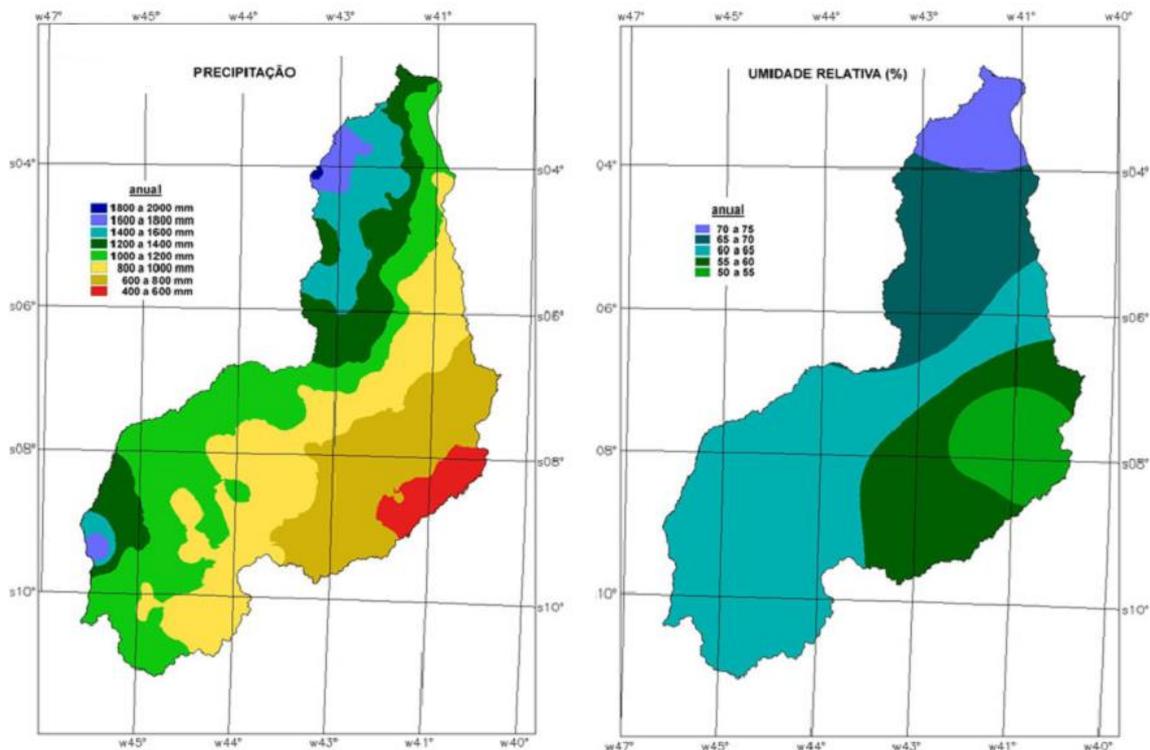
No Piauí, um estudo realizado em 2004 pela EMBRAPA apresenta dados climáticos num período de 1961 a 1990 (Figuras 27 e 28), onde os dados pluviométricos mensais utilizados no estudo foram publicados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) para o Estado do Piauí, abrangendo 207 postos pluviométricos, com 20 ou mais anos de registros completos, com base nos obtidos das estações meteorológicas da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no Estado do Piauí.

Figura 27 – Mapas Climatológicos de Temperatura e Evaporação anual do estado do Piauí



Fonte: EMBRAPA (2004)

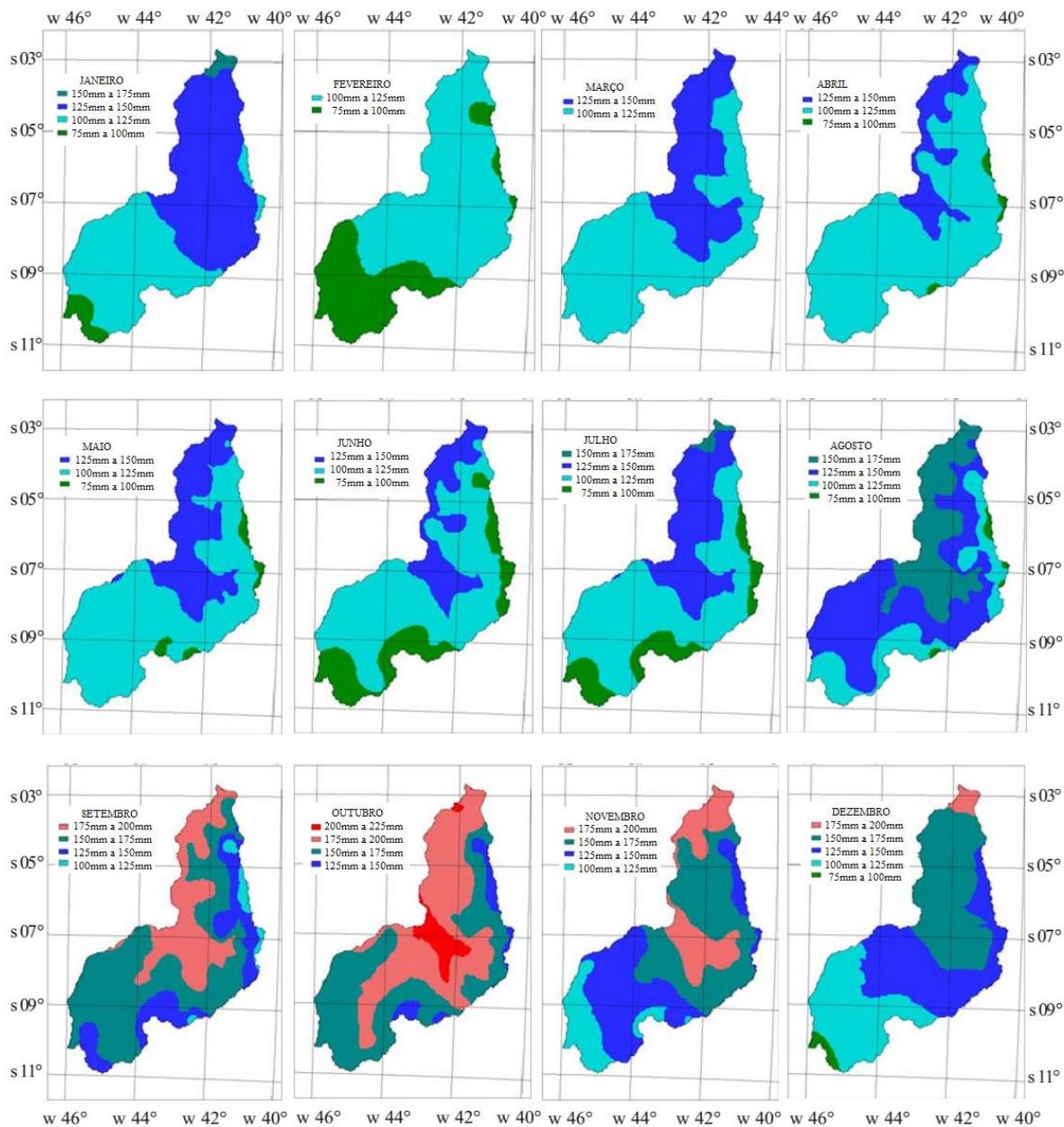
Figura 28 – Mapas Climatológicos de Precipitação e Umidade Relativa anual do estado do Piauí



Fonte: EMBRAPA (2004)

Nos estudos de Gomes, Andrade Júnior & Medeiros (2005) foi relatado que os valores de Evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) mensais variaram de 55,4 a 212,0 mm, evidenciando a variação na demanda evapotranspirativa das diversas regiões do Estado, conforme a Figura 29. O período de fevereiro a julho apresentou os menores valores mensais de  $ETo$ , enquanto de setembro a dezembro, os maiores valores. Esta tendência é um reflexo da variação espacial da temperatura média do ar mensal nas diferentes regiões do Estado.

Figura 29 - Mapas de ETo mensal para o Estado do Piauí



Fonte: GOMES, ANDRADE JÚNIOR & MEDEIROS (2005)

Ainda nesse estudo, em Picos, região próxima a Barragem de Bocaina a ETo anual resultou em 1824,8 mm no ano de 2005, variando de 199,8 mm (outubro) a 125,7 mm (abril), conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Valores mensais e anuais de ETo (mm) em Picos, Piauí.

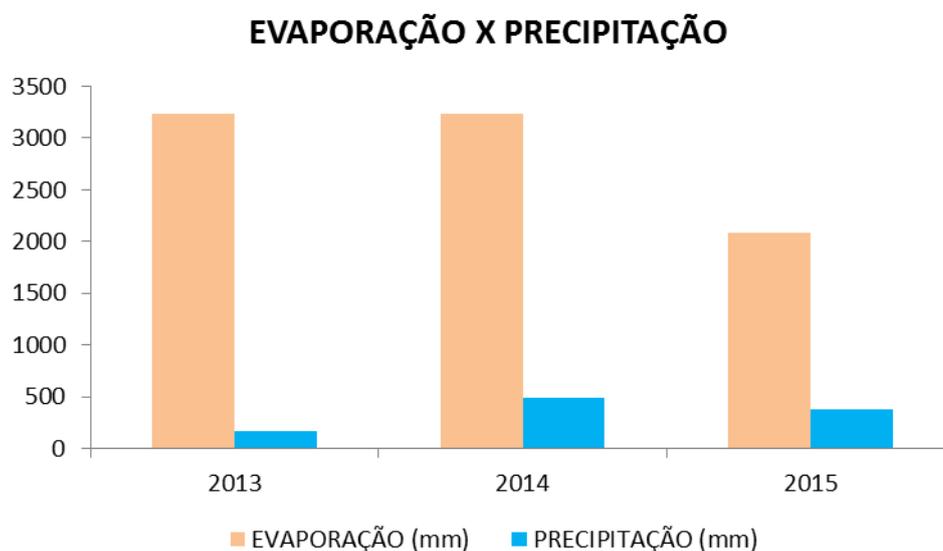
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
144,8	118,9	134,1	125,7	132,5	129,3	134,4	163,7	185,6	199,1	192,8	163,9	1824,8

Fonte: GOMES, ANDRADE JÚNIOR & MEDEIROS (2005)

Nas regiões áridas e semiáridas, a precipitação é o único provedor da água para uma bacia hidrográfica. A evaporação ocupa a maior porção do fator de decréscimo de água em uma bacia nas regiões áridas (YASUNARI, 2003; KURC & SMALL, 2004; YAMANAKA et al., 2007; SATOH, 2010).

Na região da Barragem de Bocaina, no período estudado, as estiagens prolongadas atestam as previsões para o Semiárido Brasileiro, onde, numa análise sumária de dois elementos do ciclo hidrológico, diante dos dados de evaporação do INMET no posto de Picos e dados coletados nos anos de 2013 a 2015 na Barragem de Bocaina, a evaporação anual superou significativamente a precipitação anual, como ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Precipitação e Evaporação durante o período de 2013 a 2015.



## 3.14. Infraestrutura Básica

São apresentados aqui dados sobre as condições de educação e saúde do município de Bocaina.

A Tabela 12 apresenta o número de estabelecimentos de saúde no município de Bocaina. Observa-se que, no município, a responsabilidade dos gastos com saúde pública concentra-se, na sua totalidade, na esfera municipal.

Tabela 12 - Número de Estabelecimentos de Saúde no Município de Bocaina

<b>Município</b>	<b>Bocaina</b>	
	Quantidade	Percentual
<b>Estabelecimentos de Saúde privado com fins lucrativos</b>	0	0%
<b>Estabelecimentos de Saúde privado sem fins lucrativos</b>	0	0%
<b>Estabelecimentos de Saúde SUS</b>	0	0%
<b>Estabelecimentos de Saúde públicos estaduais</b>	0	0%
<b>Estabelecimentos de Saúde públicos federais</b>	0	0%
<b>Estabelecimentos de Saúde públicos municipais</b>	7	100%
<b>Total de Estabelecimentos de Saúde</b>	7	100%

Fonte: IBGE (2009)

Na educação, são apresentados na Tabela 13 os números de instituições de acordo com a classe de ensino nas esferas federal, estadual e municipal.

Tabela 13 - Números de Escolas no Município de Bocaina

<b>Município</b>	<b>Bocaina</b>	
	Quantidade	Percentual
<b>Escola Privada</b>	0	0%
<b>Ensino fundamental</b>	0	0%
<b>Ensino médio</b>	0	0%
<b>Ensino pré-escolar</b>	0	0%
<b>Escola Pública Estadual</b>	3	13%
<b>Ensino fundamental</b>	2	8,7%
<b>Ensino médio</b>	1	4,3%
<b>Ensino pré-escolar</b>	0	0%
<b>Escola Pública Federal</b>	0	0%
<b>Ensino fundamental</b>	0	0%
<b>Ensino médio</b>	0	0%
<b>Ensino pré-escolar</b>	0	0%
<b>Escola Pública Municipal</b>	20	87%
<b>Ensino fundamental</b>	13	56,5%
<b>Ensino médio</b>	0	0%
<b>Ensino pré-escolar</b>	7	30,4%
<b>Total</b>	23	100%

Fonte: IBGE, 2009

#### 4. METODOLOGIA

Apesar da pesquisa ter sido realizada numa região com pouca ou nenhuma infraestrutura para o presente estudo, foi possível implantar rotinas de monitoramento que possibilitaram obter informações fundamentais sobre o comportamento dos níveis de água da Barragem de Bocaina e do aquífero Serra Grande, e a possível conexão entre eles através do aquífero Pimenteiras. Salienta-se ainda a adoção de uma abordagem sistêmica com metodologia quantitativa como base para análise de resultados.

A metodologia quantitativa é indicada em estudos de bacia hidrográfica para planejamento e gestão da mesma. Para tanto é preciso expressar, quantitativamente, características de forma, de processos e suas inter-relações (DAMBROS, 2011). Contudo, nenhum desses índices, quando analisados isoladamente, deve ser entendido como simplificador da complexidade e da dinâmica de uma bacia hidrográfica, a qual tem magnitude temporal (ARRAES e CAMPOS, 2007).

Com ênfase na análise do sistema, é importante o entendimento das relações entre as variáveis analisadas. A aplicação dessa análise, juntamente com a quantificação, favorece o entendimento do funcionamento do todo e a relação entre as variáveis. Assim, é parte do processo medir o comportamento de uma variável, como também, entender seu comportamento diante das outras variáveis, integrantes do sistema.

A metodologia utilizada para verificação da veracidade da hipótese de que existe conexão entre a água superficial do reservatório da Barragem de Bocaina com a água subterrânea do aquífero, e conseqüentemente dos respectivos níveis (superficial e potenciométrico), compreendeu a elaboração de um diagnóstico e a posterior avaliação da disponibilidade hídrica e demanda para abastecimento humano. Assim, o trabalho foi desenvolvido, na Barragem de Bocaina no período de 2013 a 2015, considerando a realização de atividades como: implantação/estruturação de infraestrutura para coleta de dados (régua limimétrica, amostragem de solos, estruturação dos poços); coleta de dados (pluviométricos e níveis d'água subterrânea); realização de análise granulométrica; cálculo das projeções populacionais (urbana, rural e total); cálculo da demanda hídrica para abastecimento humano e cálculo da disponibilidade hídrica.

#### 4.1. A implantação/estruturação de infraestrutura para coleta de dados

Essa atividade foi o conjunto de ações que tornou possível o processo de monitoramento. Iniciou com a instalação de réguas linimétricas: para acompanhamento da variação do volume de água da barragem, as leituras das cotas foram utilizadas réguas linimétricas. Para isso, além de uma régua linimétrica afixada numa torre de observação, foram fixadas outras em estacas de madeira posicionadas ao longo das margens, em lances de 2 em 2 m, Figura 31. As réguas utilizadas são de alumínio e as leituras foram realizadas diariamente.

Figura 31 – Instalação de réguas linimétricas na Barragem de Bocaina (PI)



(a) Estacas de madeira



(b) Fixação das réguas linimétricas

Para análise e obtenção de informações da camada superficial do solo foram coletadas 21 (vinte e uma) amostras amolgadas em diferentes lugares da bacia, inclusive no entorno da barragem, definidos a partir do mapa de solo da bacia, e considerando a proximidade dos poços, e no centro da barragem em área não alagada, no período de estiagem na região. Nas coletas dessas amostras de solo com estrutura deformada, fez-se inicialmente, uma limpeza no local da coleta, retirando-se a vegetação superficial, raízes e qualquer outra matéria estranha presente no solo, para posteriormente iniciar o processo de coleta do solo. Foram utilizadas nessas coletas ferramentas simples como, pá, enxada e picareta. Essas amostras foram coletadas em cilindros de PVC (Figura 32), e em seguida foram numerados e referenciados para registro do local de coleta.

Figura 32 – Coleta de amostras na Barragem de Bocaina



(a) Retirada de amostra de solo



(b) Acondicionamento e numeração da amostra

Após as coletas de campo, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório para realização dos ensaios no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

A Estruturação dos poços foi a etapa que consistiu na instalação de canos de proteção do medidor de nível nos poços (Figura 33). Esta proteção consistiu de um tubo de PVC em cada poço com comprimentos proporcionais às profundidades dos poços.

Figura 33 – Instalação dos canos de proteção nos poços



(a) Preparação



(b) Detalhe da saída do poço



(c) Vista do topo do poço



(d) Estrutura de apoio do poço



(e) Proteção do poço



(f) Detalhe do topo do poço

#### 4.2. Coleta de dados

O processo de coleta de dados foi executado com base na aferição das variáveis hidrológicas necessárias à comprovação da hipótese do trabalho em questão. A descrição dos procedimentos técnicos que nortearam a realização do monitoramento dessas variáveis está relatada a seguir.

#### **Precipitação**

Considerando que a precipitação é a variável utilizada para observar a variação nos níveis de água da barragem e das águas subterrâneas, foram coletadas as informações referentes a esta variável durante os três anos de estudo. Os dados pluviométricos foram coletados de um pluviômetro convencional (Figura 34) montado numa estação do DNOCS próxima ao vertedouro da barragem, salientando que na região próxima à barragem só existe esta estação. As leituras foram realizadas diariamente, registradas manualmente em tabelas para construção de séries pluviométricas, que foram empregadas na consolidação do monitoramento integrado dos níveis do reservatório e das águas subterrâneas, contribuindo no diagnóstico do equilíbrio hídrico da região.

Figura 34 – Pluviômetro convencional da Barragem de Bocaina



## Níveis de Água Subterrânea

A água subterrânea como parte do ciclo hidrológico apresenta características dinâmicas se mantendo em constante movimento, mesmo que seja mínimo. Este movimento é chamado flutuação do nível de água subterrânea. Assim, analisando esta variável como parte de um sistema integrado conduz a um entendimento da funcionalidade local, no poço, em relação ao sistema, bacia hidrográfica (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2008).

Com vista a caracterizar o comportamento dos níveis de água subterrânea foram monitorados a partir da leitura mensal de seis poços de propriedades localizadas nas margens da barragem (Figura 35), ao longo dos três anos (2013, 2014 e 2015).

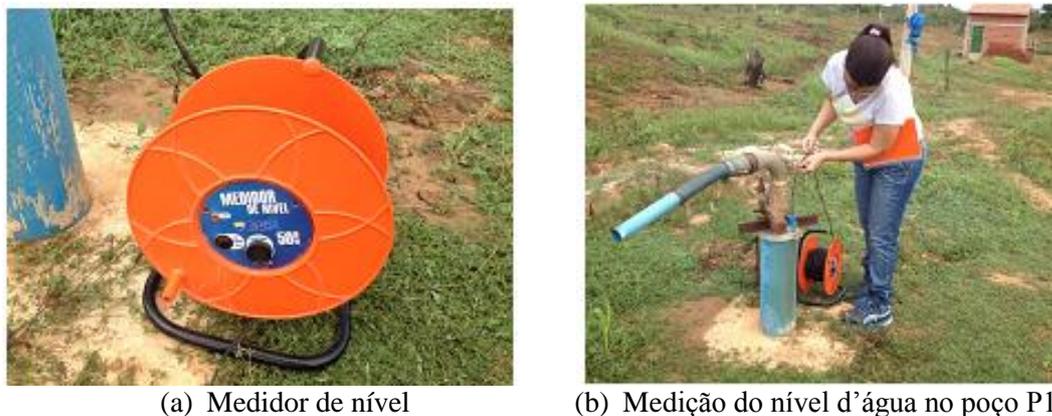
Figura 35 – Localização dos poços de monitoramento (SIAGAS, acesso em 2016)



Nesta atividade foi utilizado um medidor de nível de 50 m (Figura 36). Do total de poços, dois estavam desativados (P5 e P6), um estava ativo (P4) e três eram bombeados

esporadicamente (P1, P2 e P3). As leituras nos poços em funcionamento foram afetadas quando estes estavam há 48 h sem bombear.

Figura 36 – Medição do Nível D'água no P1 e Medidor de Nível de 50m



(a) Medidor de nível

(b) Medição do nível d'água no poço P1

Na Tabela 14 estão apresentadas a localização e altitude da boca do poço dos seis poços de observação monitorados. De acordo com levantamento topográfico, foram determinados a altitude da boca de cada poço, tendo como referência o nível de água da barragem; e a partir desta altitude foi medido os níveis estáticos dos poços neste dia. Todos os seis poços estão na profundidade de 110,00 m.

Tabela 14 – Dados dos Poços de Observação

Poços	Localização	Nível de Água (m)	Altitude (m)
P1	6°54'32"S; 41°19'10"O	15,67	265,676
P2	6°54'26"S; 41°18'55"O	22,59	275,082
P3	6°54'2,36"S; 41°19'3,55"O	29,20	284,710
P4	6°53'1"S; 41°19'25"O	32,24	286,654
P5	6°52'23"S; 41°20'21"O	22,00	286,178
P6	6°53'42"S; 41°18'04"O	32,24	300,000

### Análise Granulométrica

Visando auxiliar no entendimento do movimento da água no solo, e considerando que a relação dos atributos físicos como tipo de solo e permeabilidade do meio (OLIVEIRA, 2002; LOUSADA, 2005; GASPAR, 2006), e porosidade do solo (MESQUITA E MORAIS, 2004), influenciam na condutividade hidráulica, realizou-se a análise granulométrica do solo, para estimar as percentagens correspondentes a cada fração granulométrica do solo.

A distribuição granulométrica foi realizada de forma conjunta (peneiramento e sedimentação) em laboratório de acordo com a NBR 7217 (1987). Para caracterização dos materiais granulares, areias e pedregulhos foi realizado o processo de peneiramento de uma amostra seca em estufa, juntamente com siltes e argilas, utilizando-se à sedimentação dos sólidos no meio líquido. Separadas as porções, o solo foi destorroado e realizado o ensaio de granulometria. A determinação das frações areia foi por peneiramento, às peneiras apresentam-se em gradação de tamanho das suas malhas e com um sistema de encaixe, no formato de uma coluna, onde, ao movimentá-las, os grãos são retidos conforme seu tamanho. Normalmente é utilizado uma série de malhas de variação de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm, 0,125 mm e 0,063 mm. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Pernambuco. A determinação da textura do solo das áreas em estudo obedeceu a classificação textural adotada pela Sociedade Brasileira de Ciências do Solo (SBCS).

### Projeções Populacionais

Com fundamental importância no abastecimento humano da região, a demanda hídrica populacional é estudada nesse trabalho levando em consideração duas fontes de recursos naturais, a Barragem de Bocaina e o aquífero Serra Grande. A Barragem de Bocaina que abastecerá, através da adutora, as populações de Bocaina, Sussuapara e Picos, e o aquífero Serra Grande que já supre a demanda dessas três cidades através dos poços. Na definição de um futuro cenário de demanda, foi realizada a projeção populacional dos três municípios visando a investigação sobre a sustentabilidade hídrica na região em estudo. Assim sendo, foram utilizados, como ponto de partida os dados dos Censos realizados 1970, 1980, 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística disponibilizados no site [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), para os municípios de Bocaina, Sussuapara e Picos (Tabelas 15, 16 e 17).

Tabela 15 – Dados da população de Bocaina

Ano	1970	1980	1991	1996	2000	2007	2010
<b>Pop. Urbana</b>	913	872	1197	1350	1493	1693	1730
<b>Pop. Rural</b>	3049	2914	2693	2651	2715	2346	2616
<b>Total</b>	3962	3786	3890	4001	4208	4039	4369

Fonte: IBGE (1970, 1980, 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010).

Tabela 16 – Dados da população de Sussuapara

Ano	1970	1980	1991	1996	2000	2007	2010
<b>Pop. Urbana</b>				1013	1191	1414	1582
<b>Pop. Rural</b>					3851	4123	4653
<b>Total</b>				1013	5042	5537	6235

Fonte: IBGE (1970, 1980, 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010).

Tabela 17 – Dados da população de Picos

Ano	1970	1980	1991	1996	2000	2007	2010
<b>Pop. Urbana</b>	18263	33129	45571	47507	52547	54648	58295
<b>Pop. Rural</b>	34494	37889	32838	28446	16427	15802	15122
<b>Total</b>	52757	71018	78409	75953	68974	70450	73417

Fonte: IBGE (1970, 1980, 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010).

Com áreas de 268,678 km<sup>2</sup> (Bocaina), 202,758 km<sup>2</sup> (Sussuapara), 577,304 km<sup>2</sup> (Picos), o abastecimento dessas três localidades são realizados através das águas do aquífero Serra Grande e, em breve, pelo volume ofertado pela adutora Bocaina, tendo como fonte a Barragem de Bocaina. Como o volume de água para abastecimento provém da Barragem de Bocaina e do aquífero Serra Grande, a projeção populacional para cálculo do consumo foi avaliada para as três localidades com previsões para os próximos 50 anos.

Quanto às metodologias de projeção populacional, podemos classificar os procedimentos em três: interpolação ou extrapolação estritamente matemática; métodos que envolvem variáveis sintomáticas; e os métodos que consideram a dinâmica populacional.

Os métodos matemáticos são mais indicados para estimativas através de interpolações, pois a sua utilização em projeções de população está vinculada à ideia de que as tendências observadas no passado permanecerão no futuro.

A metodologia adotada para a determinação da projeção populacional da área de estudo foi realizado a partir dos dados da evolução histórica da população dos municípios, calculando essas projeções por meio de regressões matemáticas identificando a mais provável, com base na análise do ajustamento das curvas de regressão aos dados disponíveis.

Desta forma, neste estudo foram utilizados Método de Ajuste Logarítmico, Curva Logística e Taxa Decrescente de Crescimento (1985 apud VON SPERLING, 1996).

## Município de Bocaina

A projeção populacional de Bocaina foi calculada mediante a aplicação do modelo de crescimento logístico para população urbana. Uma justificativa para adoção desse método, além do melhor ajuste, foi a aplicação da ideia que a população crescerá até que um ou vários recursos limitantes inibam o crescimento exponencial. Com isso, cada população alcança sua capacidade de suporte, ou seja, o número de indivíduos que o ambiente pode suportar. No caso de Bocaina, uma cidade que tem a lavoura como atividade principal, o desemprego é um dos fatores limitantes, ocasionando um êxodo para grandes centros urbanos. Já a população rural descreve uma trajetória de diminuição e, portanto, adotou-se o método de Taxa Decrescente de Crescimento para população rural, totalizando assim a projeção da cidade de Bocaina até o ano de 2066 (50 anos). Esse cálculo serviu como base para análise do consumo per capita juntamente com a demanda hídrica da cidade para abastecimento humano.

A escolha dos métodos para cidade de Bocaina considerou a população estimada no modelo de crescimento logístico calculada pelas Equações 8, 9, 10 e 11:

$$P = \frac{P_S}{1+c \times e^{K_i \times (t-t_0)}} \quad (\text{Eq 8})$$

Onde:

$$P_S = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \times P_2 - P_1^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - P_1^2} \quad (\text{Eq 9})$$

$$c = \frac{(P_S - P_0)}{P_0} \quad (\text{Eq 10})$$

$$K_i = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \left[ \frac{P_0 \times (P_S - P_1)}{P_1 \times (P_S - P_0)} \right] \quad (\text{Eq 11})$$

Considerando que: P é a população estimada no ano t (hab); P<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> são as populações nos anos t<sub>0</sub>, t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub>, respectivamente; P<sub>s</sub> é a população de saturação (hab); K<sub>i</sub>, c são coeficientes de ajuste; t é o ano da população estimada.

Para projeção da população rural foi utilizada o método da Taxa Decrescente de Crescimento, em que se emprega a Equação 12.

$$P = P_0 + (P_S - P_0) \times [1 - e^{-K_d \times (t - t_0)}] \quad (\text{Eq 12})$$

Onde:

$$K_d = \frac{-\ln[(P_S - P_2) / (P_S - P_0)]}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq 13})$$

$$P_S = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \times P_2 - P_1^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - P_1^2} \quad (\text{Eq 14})$$

### **Município de Sussuapara**

A projeção populacional de Sussuapara apresenta nos seus dados de evolução populacional um crescimento conjunto da população urbana e rural. Mas nessa localidade, salienta-se que a população rural é maior que a população urbana.

Para projeção de Sussuapara foi utilizado para os cálculos de projeção populacional com o modelo de curva logarítmica para as populações total e urbana, pela equação que relaciona a população em um determinado ano com o valor do ano, equação 15:

$$p = b_0 + b_1 \times \ln(t) \quad (\text{Eq 15})$$

Onde: P é a população projetada para o ano t, b<sub>0</sub> e b<sub>1</sub> são os parâmetros de ajuste, sendo necessária a avaliação da qualidade do ajuste através do coeficiente de determinação r<sup>2</sup>.

A população rural em Sussuapara foi deduzida como a diferença entre a total e a urbana.

### **Município de Picos**

A projeção populacional de Picos foram calculadas através do método exponencial. Observa-se, entretanto, de acordo com os dados do IBGE (2000), que os desmembramentos ocorridos na região diminuiram a população rural ao longo dos anos

de forma acentuada e como consequência a projeção populacional foi estimada com base nos três últimos dados censitários (2000, 2007 e 2010). Neste caso foi utilizada a Equação 16:

$$p = b_0 \times e^{t \times b_1} \quad (\text{Eq 16})$$

Considerando: P é a população projetada para o ano t,  $b_0$  e  $b_1$  são os parâmetros de ajuste, sendo necessária a avaliação da qualidade do ajuste através do coeficiente de determinação  $r^2$ .

A população rural foi definida como a diferença da população total e urbana.

### **Demanda Hídrica**

Com fundamental importância no abastecimento humano da região, a demanda hídrica populacional é estudada nesse trabalho levando em consideração duas fontes de recursos naturais, a Barragem de Bocaina e o aquífero Serra Grande. A Barragem de Bocaina que abastecerá, através da adutora, as populações de Bocaina, Sussuapara e Picos, e o aquífero Serra Grande que já supre a demanda dessas três cidades através dos poços, foram analisados as projeções populacionais dos três municípios para conclusões acerca dos componentes de sustentabilidade hídrica que possam interferir na região em estudo.

A partir do resultado do estudo populacional foram definidos alguns parâmetros para cálculo da demanda solicitada pelas cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos. Para esse estudo foi tomado como base os parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Integração Nacional (Manual Operativo do PROÁGUA/Semiárido, 2000).

A Tabela 18 a seguir apresenta os parâmetros utilizados no cálculo da demanda, considerando o índice de abastecimento de 100% para todos os dados de previsão.

Tabela 18 – Parâmetros de demanda adotados

Parâmetro	Valor
Consumo <i>per capita</i> de água (q)	
População acima de 50.000 hab	200 L/hab/dia
População entre 4.000 e 50.000 hab	150 L/hab/dia
População inferior a 4.000 hab	120 L/hab/dia
Índice de Abastecimento (iab)	100 %
Índice de Perdas (ip)	48 %
Coefficiente do dia de maior consumo (K1)	1,2
Coefficiente da hora de maior consumo (K2)	1,5

Fonte: Adaptada de Ministério da Integração Nacional (Manual Operativo do PROÁGUA/Semiárido, 2000)

Nos cálculos foi considerado um índice de perda de 48%. Para obtenção das vazões demandadas foram utilizadas as Equações 17, 18 e 19:

$$QM = P \times \frac{ip \times q \times iab}{86.400 \times (1 - ip)} \quad (\text{Eq 17})$$

$$Qd = QM \times K_1 \quad (\text{Eq 18})$$

$$Qh = Qd \times K_2 \quad (\text{Eq 19})$$

Onde: QM é a vazão média em L/s; Qd é a vazão máxima diária em L/s; Qh é a vazão máxima horária em L/s; P é a população;  $i_p$  é o índice de perdas (%); q é o consumo per capita de água (L/hab/dia);  $i_{ab}$  é o índice de abastecimento (%);  $K_1$  é o coeficiente do dia de maior consumo;  $K_2$  é o coeficiente da hora de maior consumo.

Com base no resultado do estudo populacional e dos parâmetros supracitados, as demandas hídricas solicitadas foram calculadas por cada cidade ano a ano até o fim do horizonte da estimativa, 2066.

### Disponibilidade Hídrica

A disponibilidade hídrica pode ser entendida como a vazão de uma bacia hidrográfica, à medida que parte é utilizada pela sociedade para seu desenvolvimento e parte é mantida

na bacia para conservação da integridade de seu sistema ambiental, bem como para atender a usos que não necessitam extrair ou derivar de um curso natural (KRAMER 1998). Os estudos sobre disponibilidade hídrica numa bacia baseiam-se prioritariamente na análise das séries históricas de vazões.

A avaliação de disponibilidades hídricas de bacias hidrográficas é condição necessária para o estudo de: (i) aproveitamentos de recursos hídricos, (ii) preservação ambiental e; (iii) instrução de processos para a outorga de uso dos recursos hídricos (SILVEIRA E TUCCI, 1998).

A disponibilidade hídrica de uma região é resultante de duas parcelas: a disponibilidade subterrânea, caracterizada pela quantidade de água passível de ser explorada, através de poços, das camadas aquíferas existentes; e a disponibilidade superficial, caracterizada pelas vazões mínimas dos rios presentes na região. No semiárido brasileiro, região caracterizada pela intermitência da maioria de seus rios, a disponibilidade hídrica está associada à existência de grandes reservatórios de acumulação capazes de promover uma regularização plurianual dos deflúvios, que se concentram em poucos meses do ano (FERNANDES, 2002).

Ainda segundo VIEIRA (1999), a disponibilidade hídrica corresponderia “à quantidade máxima de água, efetivamente disponível, de forma duradoura e permanente”. Para regiões com rios perenes, a disponibilidade superficial corresponderia às vazões mínimas naturais. No caso dos rios intermitentes do semiárido nordestino, a disponibilidade natural é nula. Entretanto, a construção de reservatórios de acumulação permite a regularização plurianual dos deflúvios. Desta forma, as vazões regularizadas pelos açudes constituem a disponibilidade de águas superficiais.

Como os rios na região são intermitentes, a disponibilidade hídrica superficial foi avaliada com base no reservatório da Barragem Bocaina que tem capacidade de armazenamento de, aproximadamente, 114,95 milhões de m<sup>3</sup>, de acordo com a Curva Cota x Área x Volume corrigida (SEMAR, 2016). A sua operação é realizada pelo DNOCS, e apenas durante o período chuvoso (dezembro a abril, dependendo do ano) a válvula da tomada d'água é fechada, sendo a mesma aberta quando se inicia o período seco (em maio, dependendo do término do período chuvoso).

Dado o caráter de intermitência dos cursos de água da região, a disponibilidade hídrica superficial corresponde à vazão regularizada a partir do reservatório de Bocaina.

Em Hidrotterra (1982), as vazões regularizadas anuais para o projeto da Barragem Bocaina, considerando um volume morto de  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$  foram:  $0,76 \text{ m}^3/\text{s}$  para 100% de garantia; e  $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$  para 90% de garantia.

Geralmente a determinação da disponibilidade hídrica subterrânea de uma região é fundamentada no conceito de Disponibilidade Efetiva (MARWELL, 1995), onde esta seria a multiplicação do número de poços existente pela vazão média extraída destes.

Segundo os registros de poços no SIAGAS (acessado em 2016), existem nos municípios de Bocaina, Sussuapara e Picos, 75, 177 e 552 poços profundos, respectivamente, explotando o aquífero Serra Grande, com uma vazão média de  $6,67 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Então, para análise da oferta subterrânea da região atualmente tomou-se como base número de poços cadastrados no SIAGAS (acessado em 2016) com uma vazão média dos poços de  $6,67 \text{ m}^3/\text{hora}$  (SEMAR, 2016) cada poço.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Distribuição Pluviométrica

A Tabela 19 mostra os valores mensais e totais anuais de pluviometria na área estudada, no período de 2013, 2014 e 2015. Com precipitação anual média de 342,3 mm, constata-se, que o ano de maior pluviometria foi o de 2014 e o ano com menor índice pluviométrico foi o ano de 2013.

A área de toda a bacia da barragem de Bocaina 1.070,80 km<sup>2</sup> apresenta média pluviométrica entre 302 e 1609,9 mm com precipitação média anual na bacia de drenagem de 824 mm, que caracteriza a área em estudo. O período utilizado foi de 1966 a 1996 (30 anos de dados). Com isso, a precipitação média de 342,3 mm no período estudado confirma o cenário de seca nestes últimos cinco anos, previsto por pesquisadores com base nas projeções climáticas estimadas a partir da aplicação ao Nordeste dos modelos climáticos globais do 5º Relatório de Avaliação (AR5) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), de 2014 (MARENGO, J.A., TORRES, R.R. & ALVES, L.M, 2016).

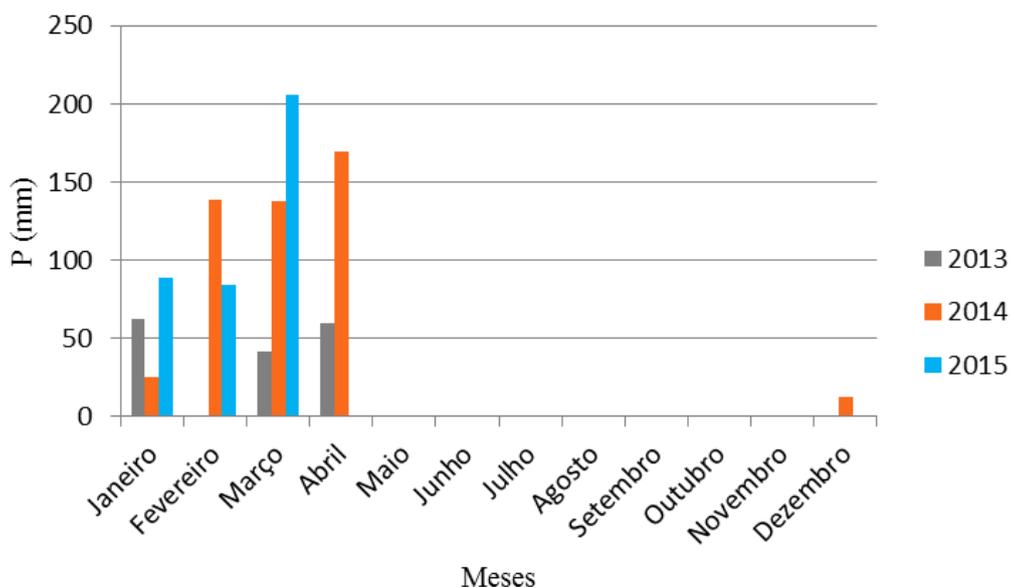
Tabela 19 – Pluviometria mensal e anual na Barragem de Bocaina nos anos estudados.

	<b>P (mm) 2013</b>	<b>P(mm) 2014</b>	<b>P(mm) 2015</b>	<b>Pm (mm)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Janeiro</b>	62	25	89	58,7	32,1
<b>Fevereiro</b>	0	139	84	74,3	70,0
<b>Março</b>	42	138	206	128,7	82,4
<b>Abril</b>	60	169	0	76,3	85,7
<b>Maió</b>	0	0	0	0	0
<b>Junho</b>	0	0	0	0	0
<b>Julho</b>	0	0	0	0	0
<b>Agosto</b>	0	0	0	0	0
<b>Setembro</b>	0	0	0	0	0
<b>Outubro</b>	0	0	0	0	0
<b>Novembro</b>	0	0	0	0	0
<b>Dezembro</b>	0	13	0	4,3	7,5
<b>Total Anual</b>	164	484	379	342,3	

Nos meses de maio a novembro verifica-se a ausência total de chuvas, com ocorrência do evento em dezembro apenas no ano de 2014. Os meses de março e abril registraram nos três anos os maiores valores de precipitação. O mês de março, em 2015, registrou o

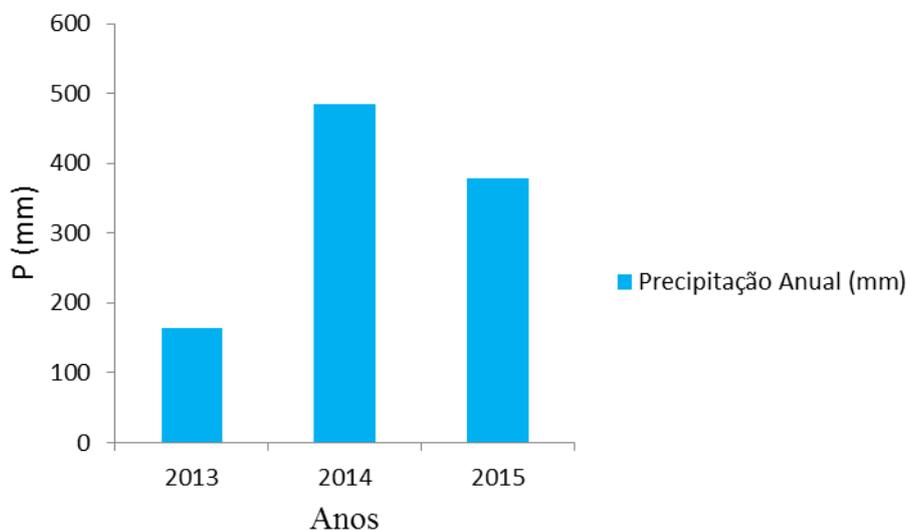
maior volume precipitado quando comparado aos outros anos, 206 mm. No gráfico da Figura 37 são mostradas as distribuições pluviométricas mensais observadas.

Figura 37 – Distribuição mensal pluviométrica na Barragem de Bocaina nos anos de 2013 a 2015.



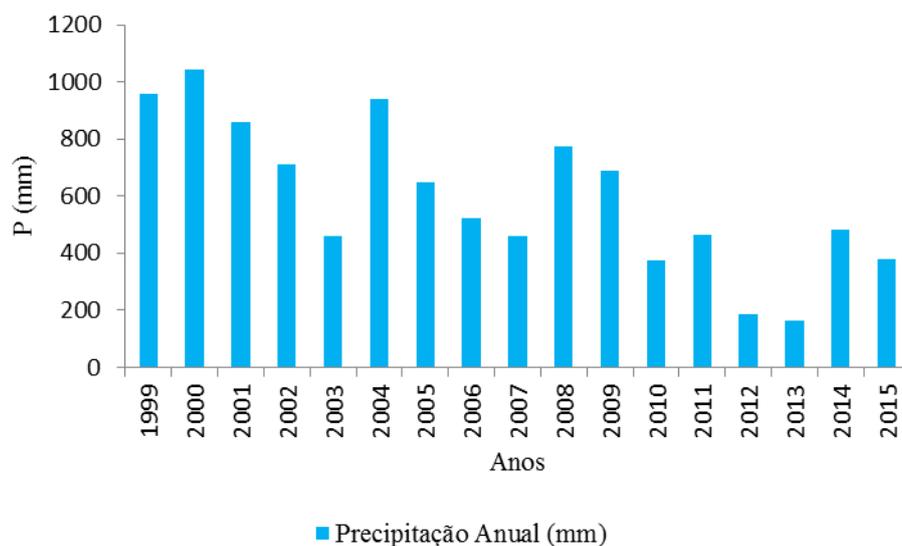
A distribuição da precipitação anual sobre a barragem é representada no gráfico da Figura 38 para o período estudado. Neste gráfico é possível avaliar sumariamente os dados apresentados na Tabela 19, destacando-se a amplitude entre os volumes precipitados nos três anos com o valor de 320 mm.

Figura 38 – Precipitação anual na Barragem de Bocaina durante os anos de 2013 a 2015.



De acordo com os dados obtidos no DNOCS e analisando um número maior de anos, a pluviometria na região da Barragem de Bocaina evidencia ao longo desse tempo a ocorrência de um volume mínimo precipitado no valor de 164 mm no ano de 2013, conforme Figura 38. As mudanças extremas nas condições climáticas da região são observadas quando se compara os volumes precipitados na Figura 39 durante o período de 1999 a 2016.

Figura 39 – Precipitação anual na Barragem de Bocaina durante os anos de 1999 a 2015.



## 5.2. Variação dos Níveis de Água Subterrânea sob a Influência da Precipitação

Nesse contexto, coube analisar resultados da distribuição pluviométrica numa escala de tempo maior, já que se percebe o comportamento cíclico de chuvas num intervalo de tempo. Nos períodos de 2000 a 2003 (4 anos), 2004 a 2007 (4 anos), 2008 a 2010 (3 anos), 2011 a 2013 (3 anos) e 2014 a 2015 (2 anos), observa-se um padrão decrescente da precipitação em cada um dos intervalos, ilustrando um panorama preditivo para próximas décadas.

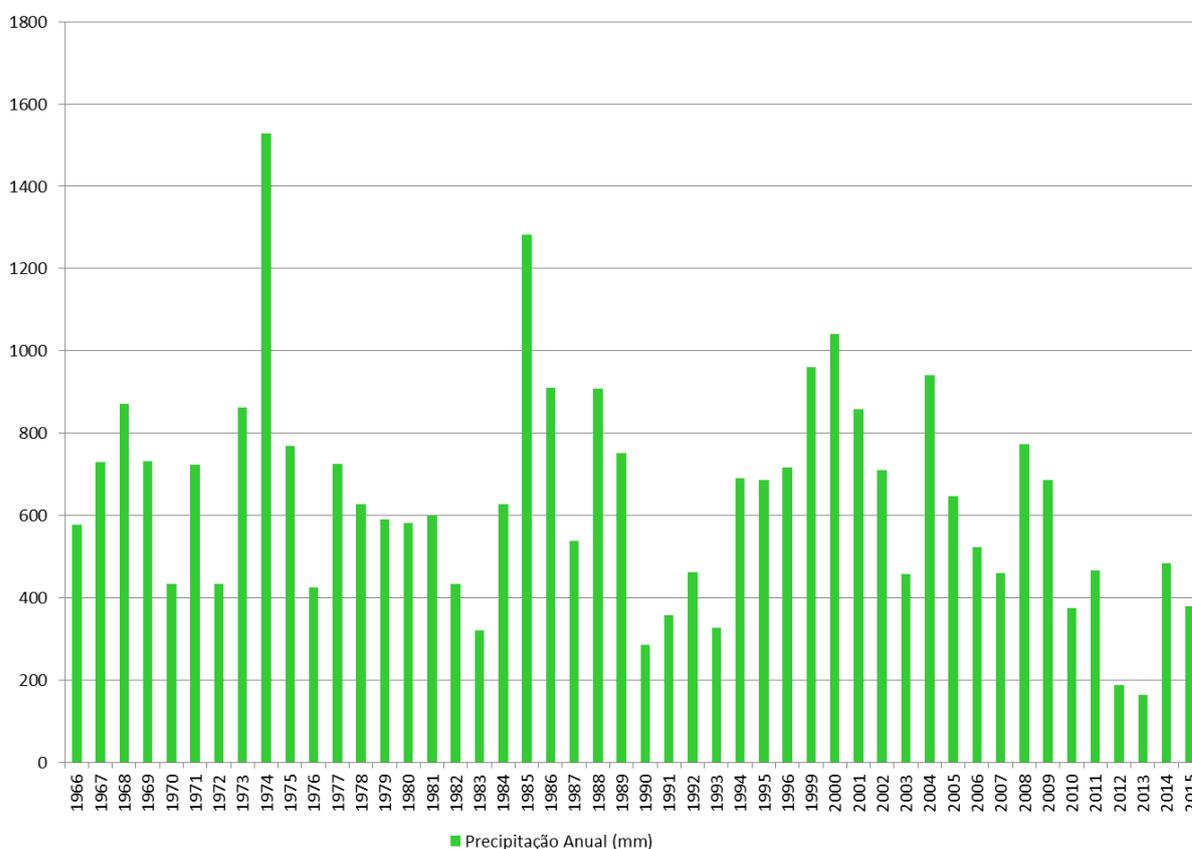
Os estudos sobre o assunto relatam que das principais configurações de teleconexões que afetam a variabilidade climática global e, em particular da América do Sul, estão os fenômenos El Niño Oscilação Sul - ENOS e a Oscilação Decadal do Pacífico – ODP (CAVALCANTI e AMBRIZZI, 2009; GRIMM, 2009a).

Considera-se o ENOS como principal modulador da variabilidade interanual e a ODP como um importante modo de variabilidade de baixa e baixíssima frequência em escalas decadal e multidecadal (CAVALCANTI e OLIVEIRA, 1996; KAYANO e ANDREOLI, 2006; 2009; CAVALCANTI e AMBRIZZI, 2009; GRIMM, 2009a).

No território brasileiro, esses padrões climáticos são associados principalmente à precipitação. Os ENOS indicam marcada variação interanual e intersazonal, sendo o principal modulador das chuvas nessas escalas (GRIMM et al., 1997; GRIMM, 2009a; 2009b). Os padrões ODP são associados à explicação de que determinadas décadas se apresentam mais ou menos chuvosas do que outras (CAVALCANTI e AMBRIZZI, 2009; KAYANO e ANDREOLI, 2006; 2009).

De maneira ampliada, com um maior número de anos, a **Figura 40** descreve o comportamento das precipitações anuais na Barragem de Bocaina no intuito de ilustrar a frequência de chuvas em intervalos de tempo decadal e multidecadal, confirmando as variações cíclicas e o decréscimo do volume precipitado ao longo dos anos, mais nitidamente no ano de 2013 com a menor precipitação da série histórica.

Figura 40 – Precipitação anual na Barragem de Bocaina durante os anos de 1966 a 2015.



Para fundamentar os resultados de mudanças climáticas na região as Figuras 41 e 42 mostram o comportamento de variáveis hidrológicas que também exercem influência marcante no clima ao longo do tempo, a temperatura e a evaporação.

Figura 41 – Temperatura Média anual na Barragem de Bocaina entre 1966 a 2015.

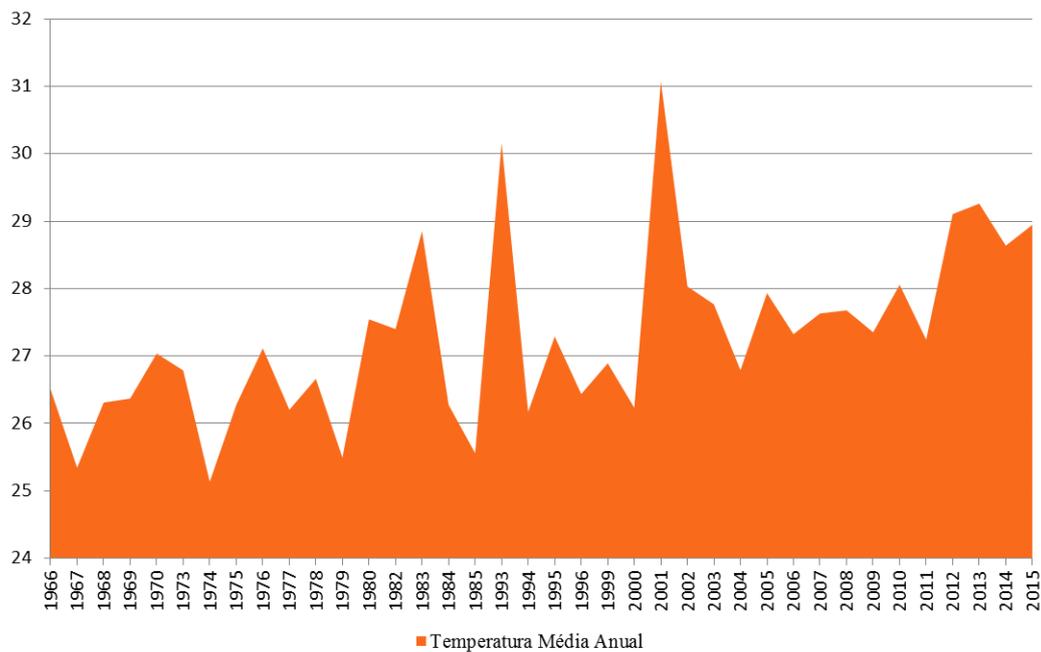
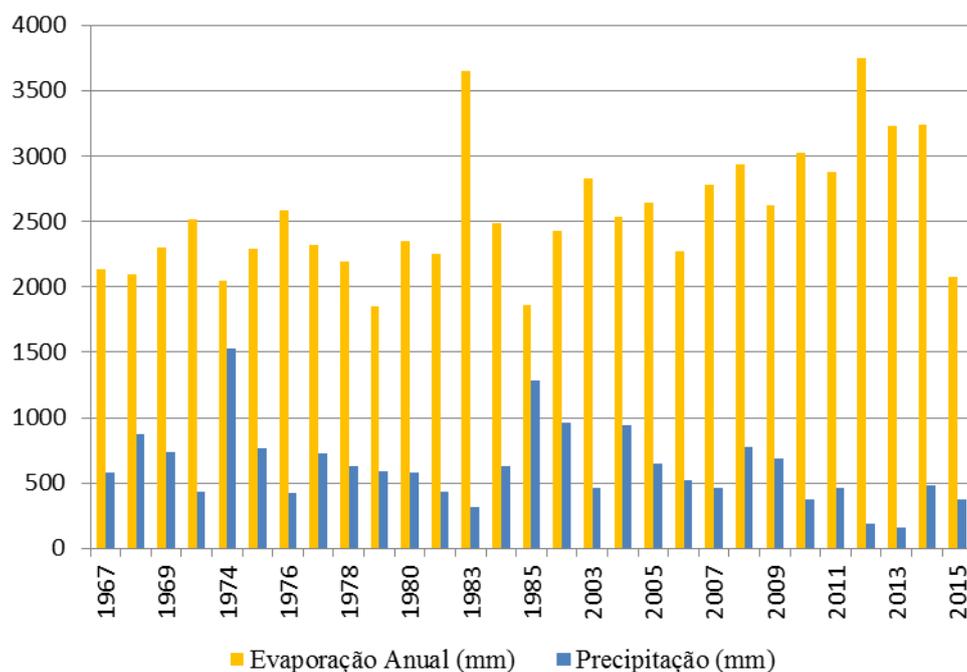


Figura 42 – Evaporação e Precipitação anuais na Barragem de Bocaina entre 1966 a 2015.



Com base nos dados obtidos do INMET (2016) pode ser observado que nos gráficos das Figuras 41 e 42, mesmo apresentando valores extremos em alguns anos, a temperatura média na região (estação de Picos) tem aumentado, e a evaporação durante todo período atingiu valores maiores que a precipitação.

A seguir, nas Figuras 43 a 48 apresentam as flutuações dos níveis de água subterrânea na bacia da barragem de Bocaina bem como eventos de precipitação. O monitoramento dos poços permitiu uma aproximação da realidade das águas subterrâneas na área das margens da barragem caracterizada pela ausência da camada impermeável de sedimentos. Os resultados obtidos estão relacionados à ocorrência de chuvas nesta área para avaliação de sua influência sobre o aquífero Pimenteiras e deste no aquífero Serra Grande.

Os poços cujos dados de monitoramento foram utilizados para análise captam água do aquífero Serra Grande para diversos usos, com ênfase nesse estudo para abastecimento humano.

Todos os poços de monitoramento apresentaram relação entre a variação do nível de água subterrânea com a precipitação, com exceção do P6. As Figuras 43 a 48 confirmam a oscilação dos níveis de água subterrânea durante o período estudado, com aumento destes em resposta aos períodos chuvosos, e diminuição nos períodos de estiagem.

Observa-se também que os níveis de água subterrânea no final de cada ano decrescem e que sua elevação se dá de forma mais acentuada num ano que a precipitação acumulada for maior, caracterizando um comportamento de recarga parcial do aquífero.

As Tabelas 20 a 25 apresentam as variações dos níveis de água subterrâneas de todos os poços confirmando os comportamentos evidenciados nas Figuras 43 a 48, e as variações totais (amplitudes) dos níveis durante os três anos.

Figura 43 – Variação do nível de água e precipitações no poço 1 no período de 2013 a 2015.

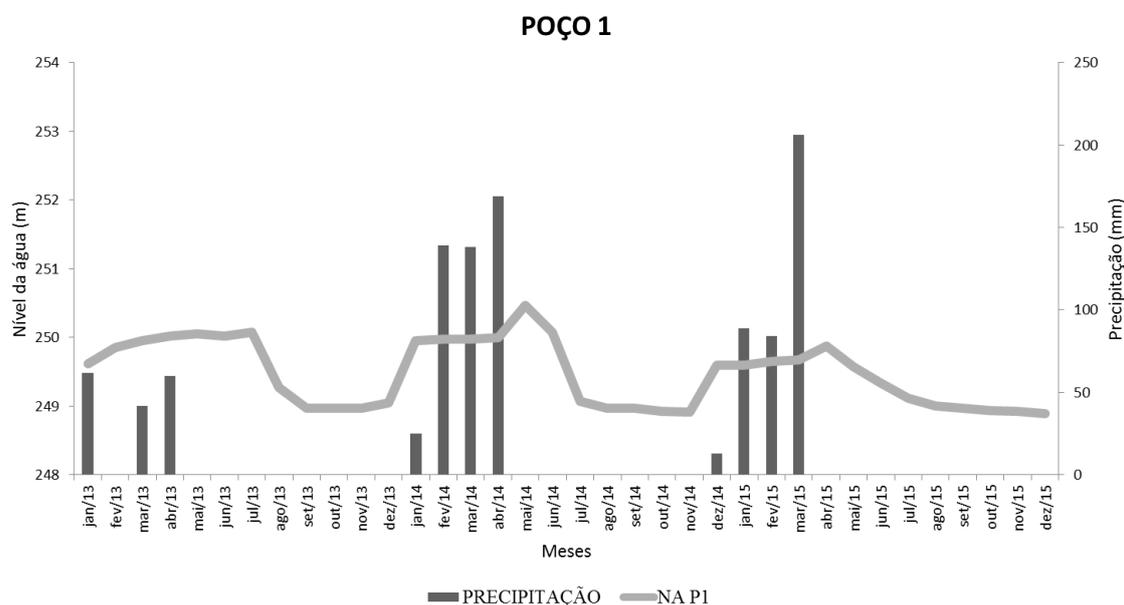


Tabela 20 – Variações do nível estático de água no poço 1

Ano	Nível de água (m) (mín.)	Nível de água (m) (máx.)	Variação dos níveis de água (m)
<b>2013</b>	248,97	250,07	1,10
<b>2014</b>	248,91	250,47	1,56
<b>2015</b>	248,89	249,87	0,98
<b>VARIAÇÃO TOTAL (m)</b>			1,58

Figura 44 – Variação do nível de água e precipitações no poço 2.

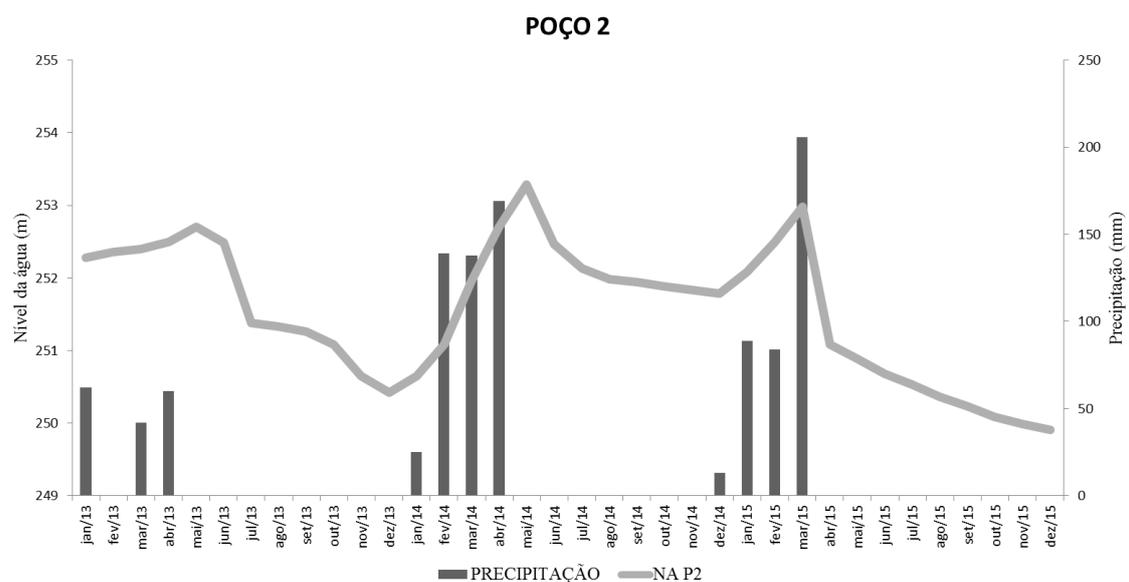


Tabela 21 – Variações do nível estático de água no poço 2

Ano	Nível de água (m) (mín.)	Nível de água (m) (máx.)	Variação de Níveis de água (m)
2013	250,42	252,70	2,28
2014	250,65	253,28	2,63
2015	249,90	252,98	3,08
<b>VARIACÃO TOTAL (m)</b>			<b>3,38</b>

Figura 45 – Variação do nível de água e precipitações no poço 3

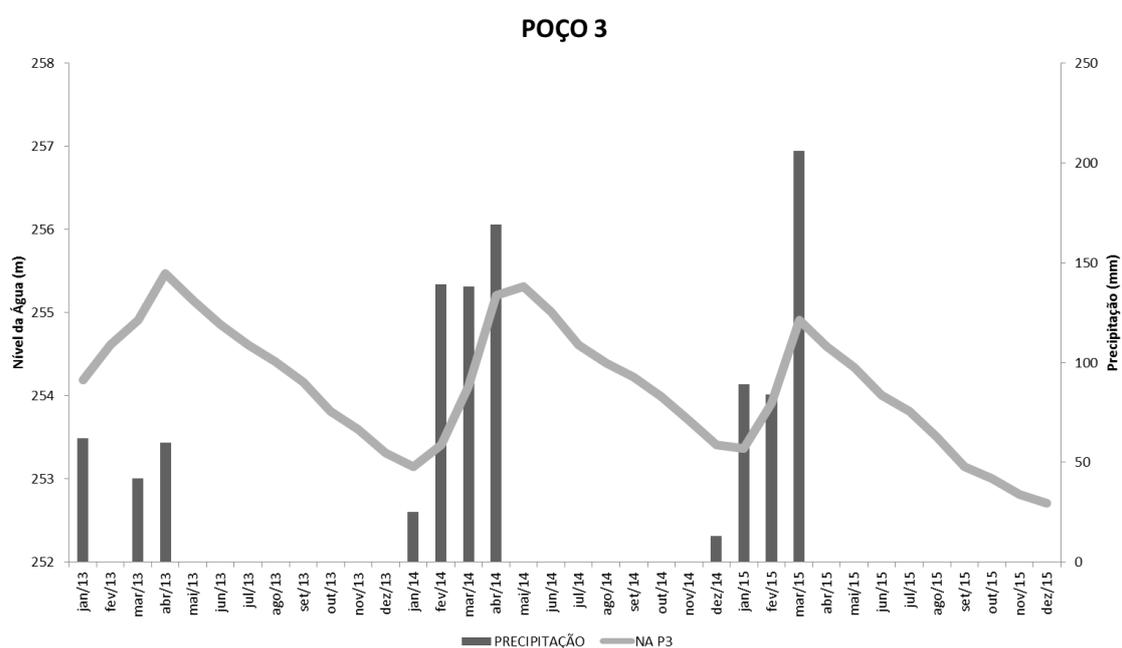


Tabela 22 – Variações do nível estático de água no poço 3

Ano	Nível de água (m) (mín.)	Nível de água (m) (máx.)	Variação de Níveis de água (m)
2013	253,31	255,15	1,84
2014	253,15	255,31	2,16
2015	252,71	254,91	2,20
<b>VARIACÃO TOTAL (m)</b>			<b>2,6</b>

Figura 46 – Variação do nível de água e precipitações no poço 4

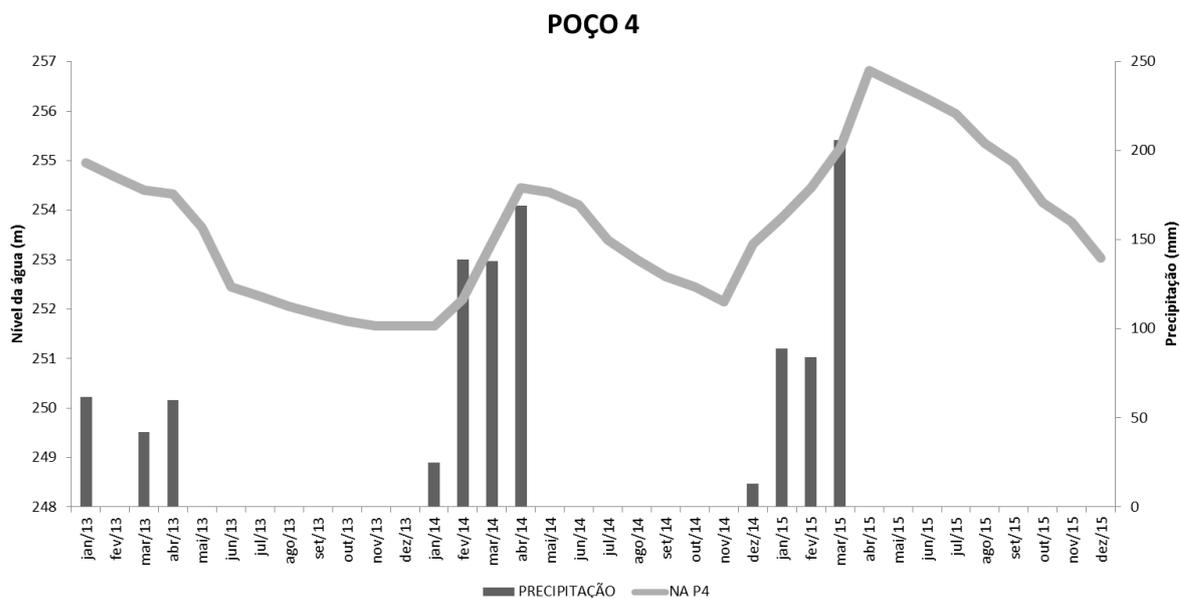


Tabela 23 – Variações do nível estático de água no poço 4

Ano	Nível de água (m) (mín.)	Nível de água (m) (máx.)	Variação de Níveis de água (m)
2013	251,65	254,95	3,3
2014	251,65	254,45	2,8
2015	253,03	256,82	3,8
<b>VARIAÇÃO TOTAL (m)</b>		<b>5,17</b>	

Figura 47 – Variação do nível de água e precipitações no poço 5

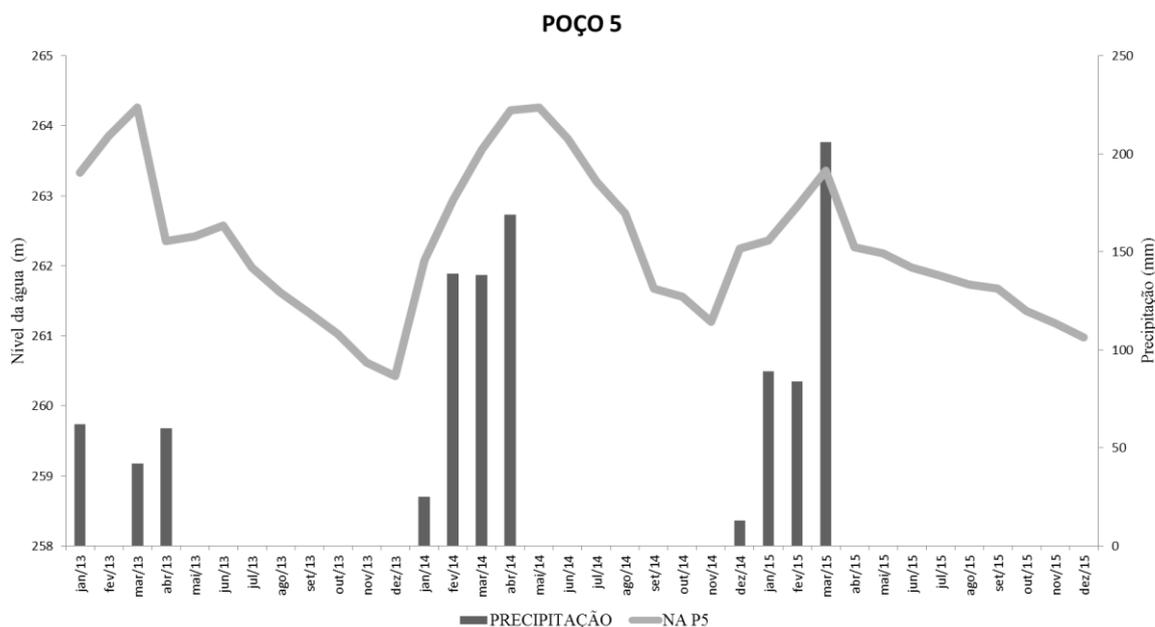


Tabela 24 – Variações do nível estático de água no poço 5

Ano	Nível de água (m) (mín.)	Nível de água (m) (máx.)	Variação de Níveis de água (m)
2013	260,43	264,25	3,80
2014	261,20	264,26	3,06
2015	261,00	263,36	2,38
<b>VARIACÃO TOTAL (m)</b>			<b>3,83</b>

Figura 48 – Variação do nível de água e precipitações no poço 6

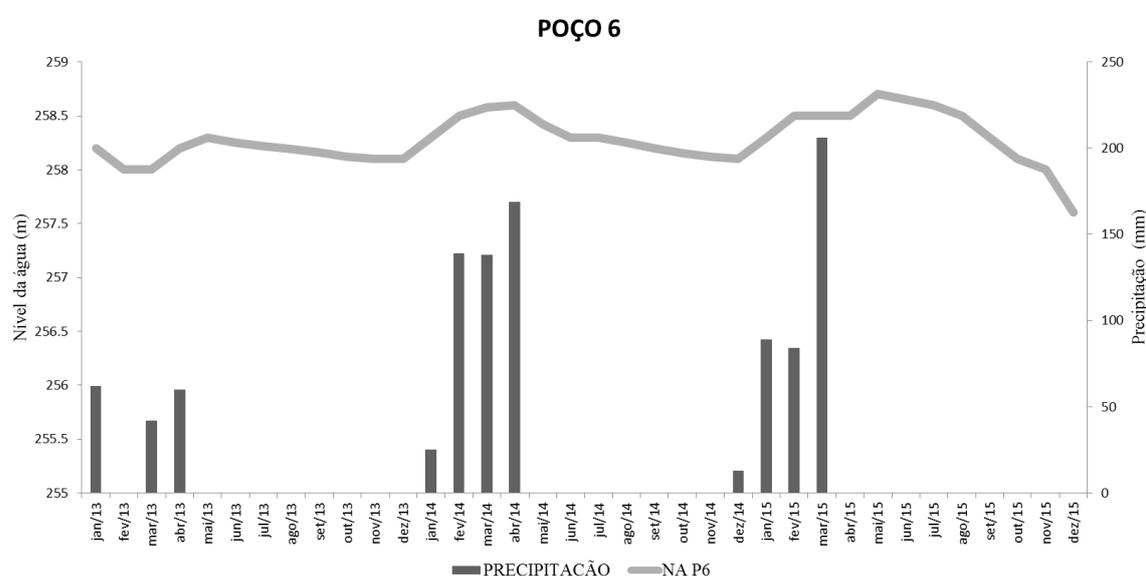


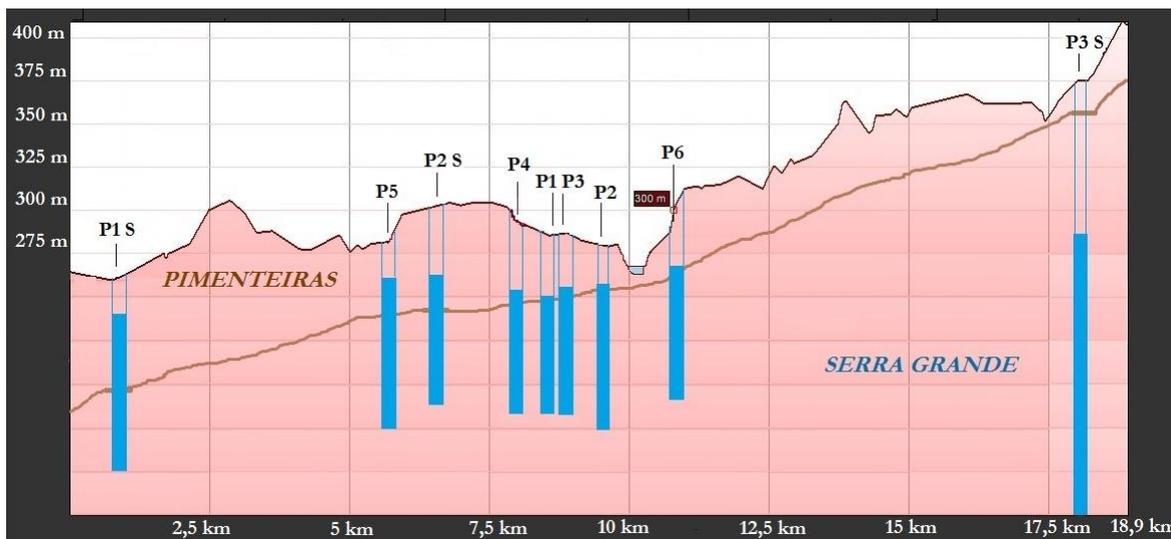
Tabela 25 – Variações do nível estático de água no poço 6

Ano	Nível de água (m) (mín.)	Nível de água (m) (máx.)	Variação de Níveis de água (m)
2013	258,10	258,30	0,2
2014	258,10	258,60	0,5
2015	257,60	258,70	1,1
<b>VARIACÃO TOTAL (m)</b>			<b>1,1</b>

Diversos elementos influenciam a dinâmica dos níveis de água dos poços além da precipitação. Fatores como topografia, uso e ocupação do solo, geologia, espessura e inclinação das camadas de solo, condutividade hidráulica, granulometria da camada superficial do solo, entre outros, compõem um conjunto de agentes modificadores da variação no volume de água subterrânea numa região.

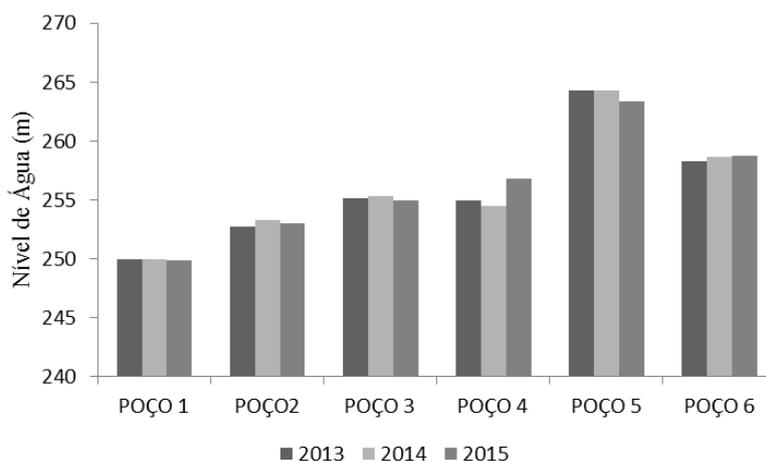
Com o relevo ondulado e altitudes das bocas dos poços variando de 248 até 300m, verificou-se que (Figura 49) o comportamento do poço 6 é largamente influenciado pela sua localização (margem leste da barragem) e com isso seu nível não apresenta variações significativas relacionadas aos períodos de chuva e estiagem.

Figura 49 – Corte esquemático da área em estudo



Com altitude de 300m, este poço encontra-se numa região íngreme com declividade acentuada induzindo uma maior velocidade de escoamento superficial, com menor tempo de concentração e conseqüentemente menor infiltração do volume precipitado. No estudo dos níveis estáticos máximos de água subterrânea nos poços verifica-se na Figura 50 que estes na sua maioria foram alcançados no ano de 2014, quando ocorreu a maior precipitação.

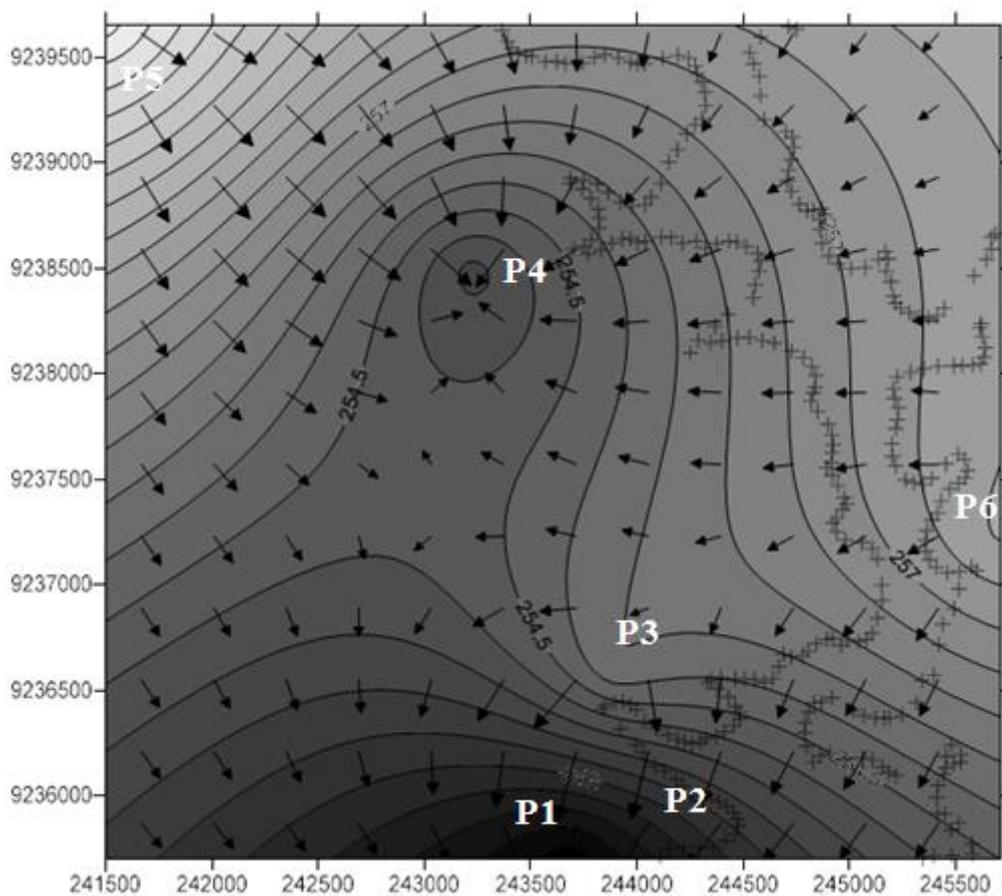
Figura 50 – Níveis Máximos de Água Subterrânea.



Outro aspecto importante para avaliar em estudos de aquíferos é o direcionamento de fluxo que a superfície potenciométrica descreve, construída com base nas cotas dos níveis estáticos dos poços. A Figura 51 retrata o comportamento do fluxo do aquífero Serra Grande na região da Barragem de Bocaina considerando um cenário onde o aquífero é autônomo, plotado no programa Surfer 12.

Analisando o mapa de tendência de direção de fluxo subterrâneo apresentado na Figura 51, observa-se também que os vetores indicam uma convergência na direção da água subterrânea para os poços P1, P2 e P4. A partir dessa espacialização é possível que ocorra uma contribuição do Aquífero Serra Grande para o Aquitardo Pimenteiras e deste para o reservatório e para os poços localizados na sua margem esquerda.

Figura 51 – Superfície Potenciométrica na região da Barragem de Bocaina (PI)

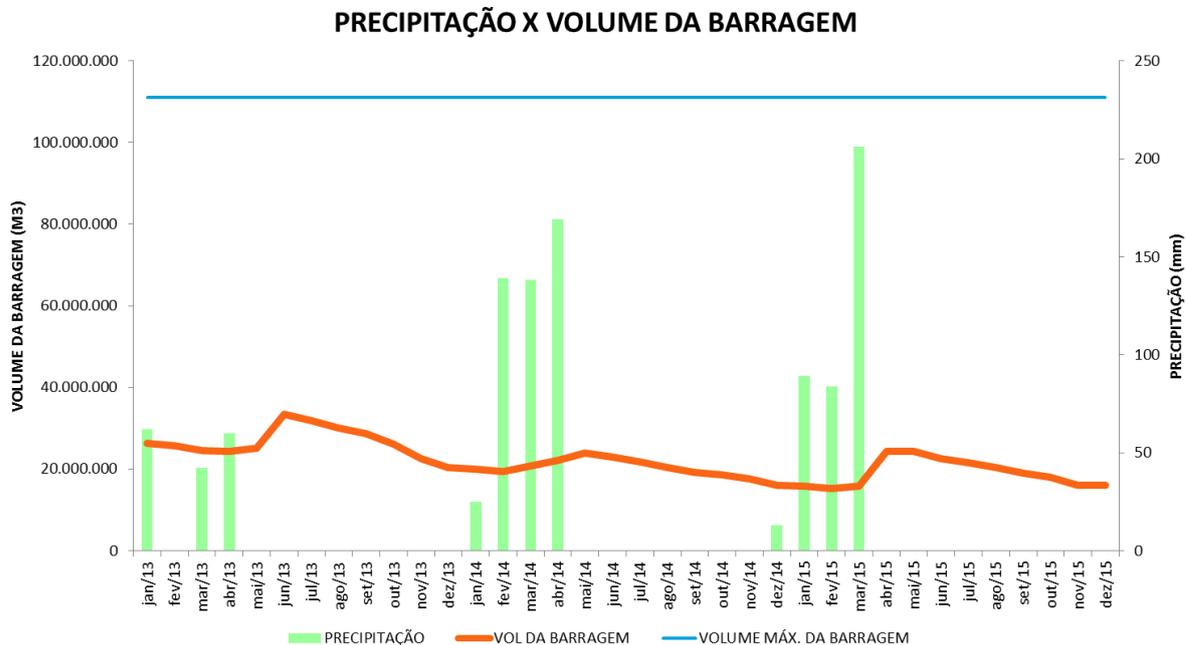


### 5.3. Variação do Nível de Água da Barragem de Bocaina sob a influência da precipitação

A precipitação anual na área estudada nos anos de 2013, 2014 e 2015 foram respectivamente 164 mm, 471 mm e 379 mm. Na comparação entre os períodos chuvosos e de estiagem observa-se a concentração pluviométrica nos meses de dezembro a abril, salientando que nos meses de fevereiro e março a intensidade foi maior.

Em primeira análise, conforme o gráfico apresentado na Figura 52 a seguir, o comportamento do volume da barragem acompanha o volume precipitado durante o período estudado. Nos meses de ocorrência de chuva a quantidade de água do reservatório apresenta um acréscimo no seu volume, e na situação inversa, um decréscimo. Parte desse decréscimo é explicado pela Figura 30 da página 63 deste estudo com os valores de evaporação bem superiores aos de precipitação.

Figura 52 – Variação do volume da barragem e precipitações



Observa-se também que o volume da barragem variou entre 32% e 13,5% da sua capacidade máxima (114,95 Mm<sup>3</sup>) ao longo do período estudado, não atingindo em nenhum momento seu volume máximo.

No que diz respeito ao volume da barragem ao final de cada ano constata-se que, mesmo acontecendo uma recuperação parcial no período de chuva, o nível de água na Barragem tem diminuído ano a ano. Entre os fatores que influenciam esse declínio, além da diminuição da precipitação, estão os efeitos da evaporação com altos valores anuais, nos anos estudados, entre 2000 mm e 3200 mm (Tabela 5).

#### 5.4. Variação dos níveis de água subterrânea e do nível de água da barragem

Em geral, os níveis das águas da barragem e dos poços apresentados nas Figuras 53 a 58 descrevem um padrão de comportamento com reflexos resultantes dos períodos secos e chuvosos. De maneira mais lenta os níveis dos poços respondem com uma variação moderada a períodos curtos de estiagem, enquanto que a barragem diminui acentuadamente seu volume. Assim também no período chuvoso o nível da água da barragem responde ascendentemente de maneira mais rápida que os níveis de água subterrânea nos poços.

Figura 53 – Variação do nível de água do poço 1 e da Barragem de Bocaina

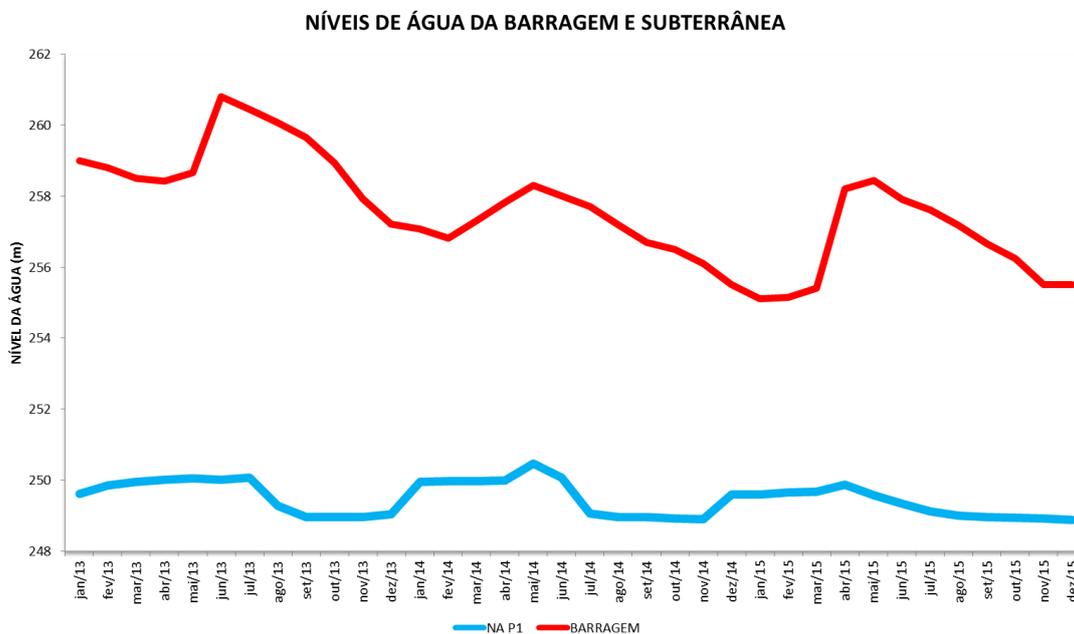


Figura 54 – Variação do nível de água do poço 2 e da Barragem de Bocaina

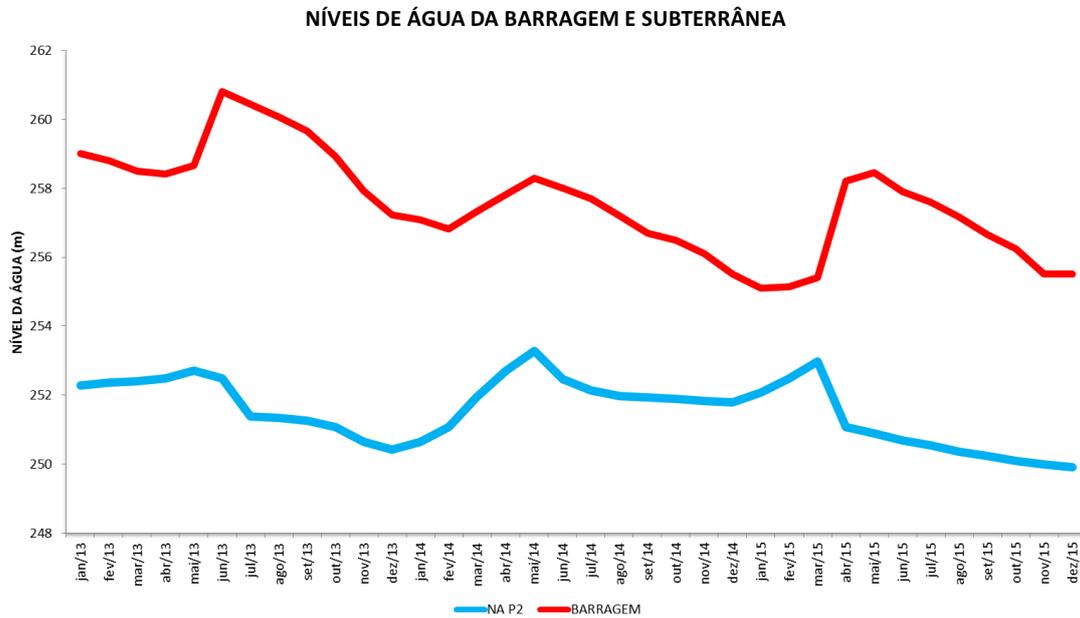


Figura 55 – Variação do nível de água do poço 3 e da Barragem de Bocaina

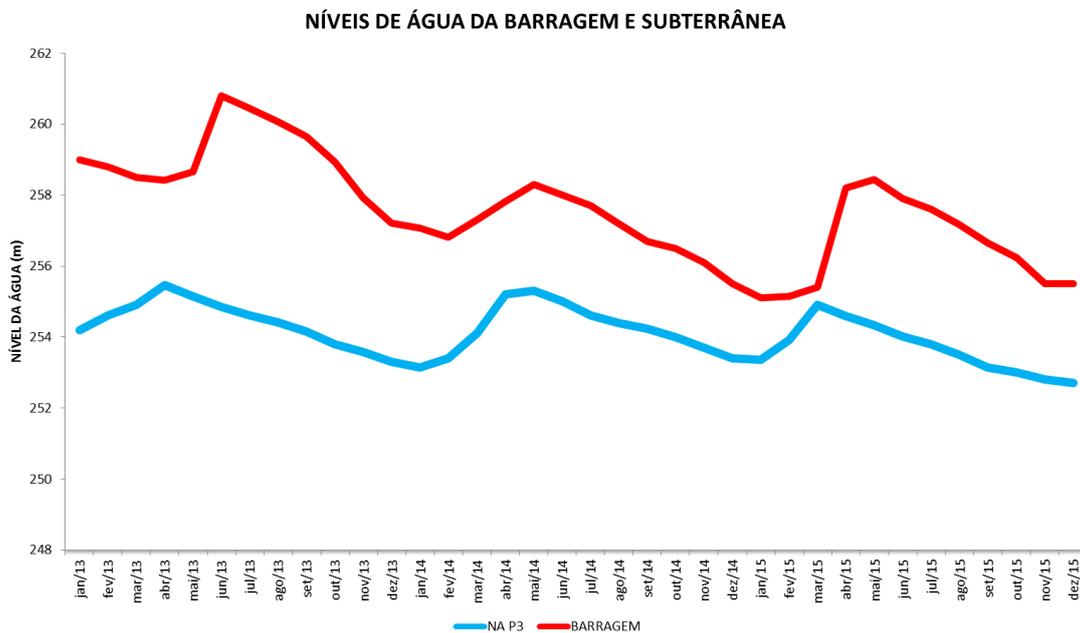


Figura 56 – Variação do nível de água do poço 4 e da Barragem de Bocaina.

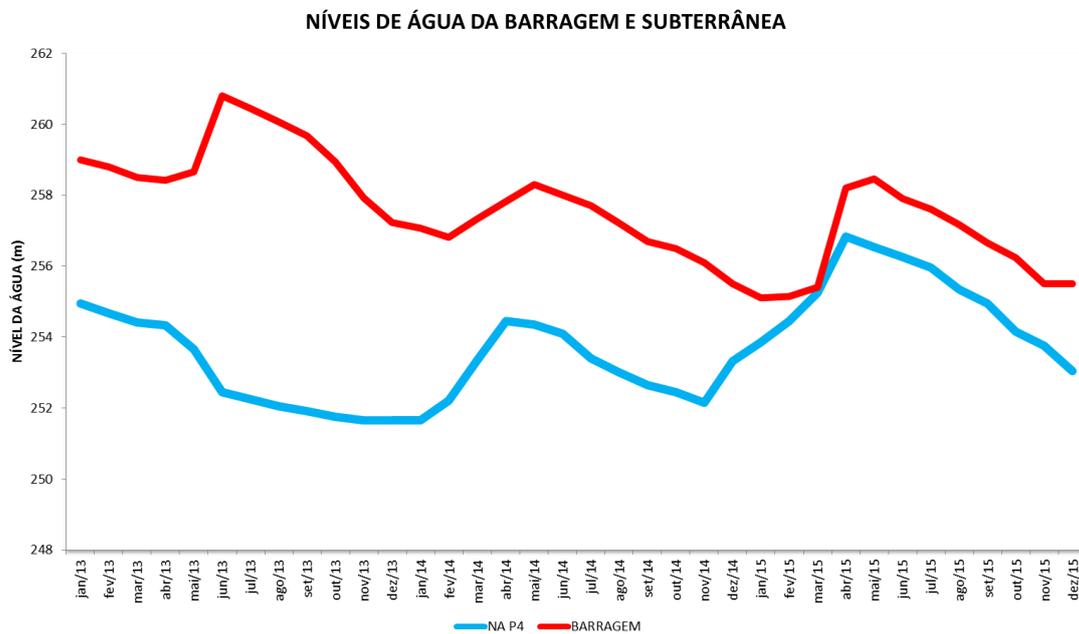
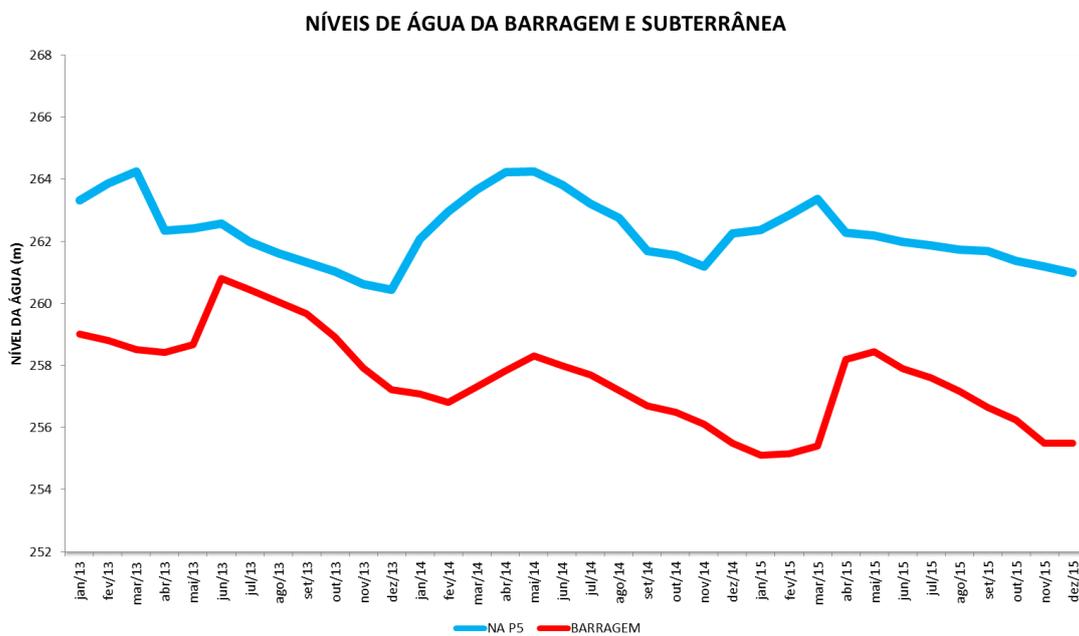


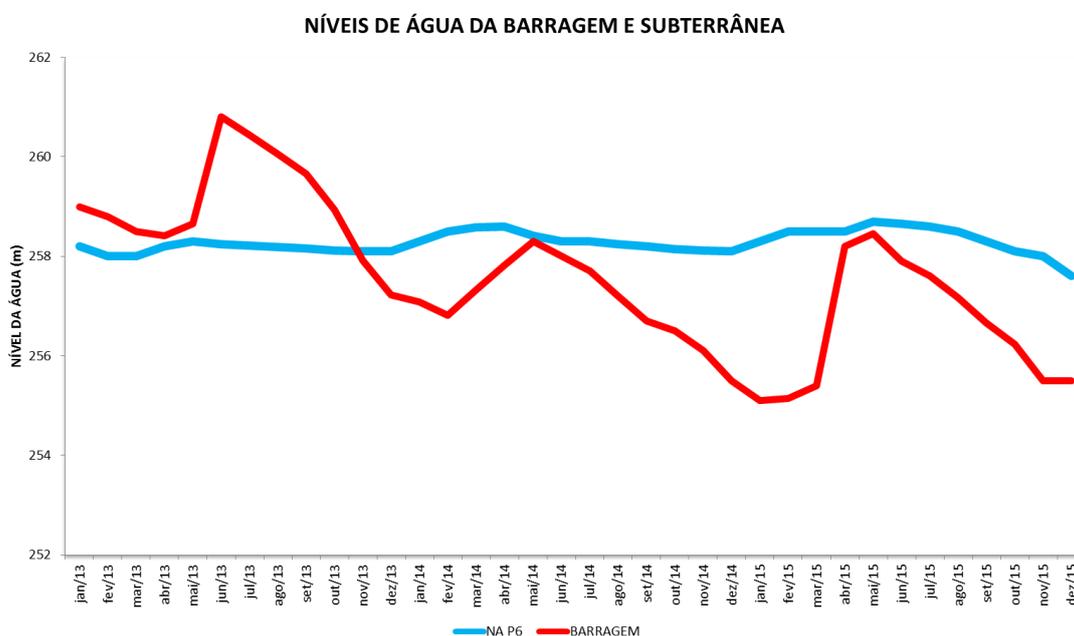
Figura 57 – Variação do nível de água do poço 5 e da Barragem de Bocaina.



No poço 6 (Figura 58), diferente dos outros poços, o nível estático quase não varia nos períodos de chuva e estiagem. Contudo, foi observado que, em 2013, este nível encontra-se abaixo do nível de água da barragem, mas a partir de 2014, quando a

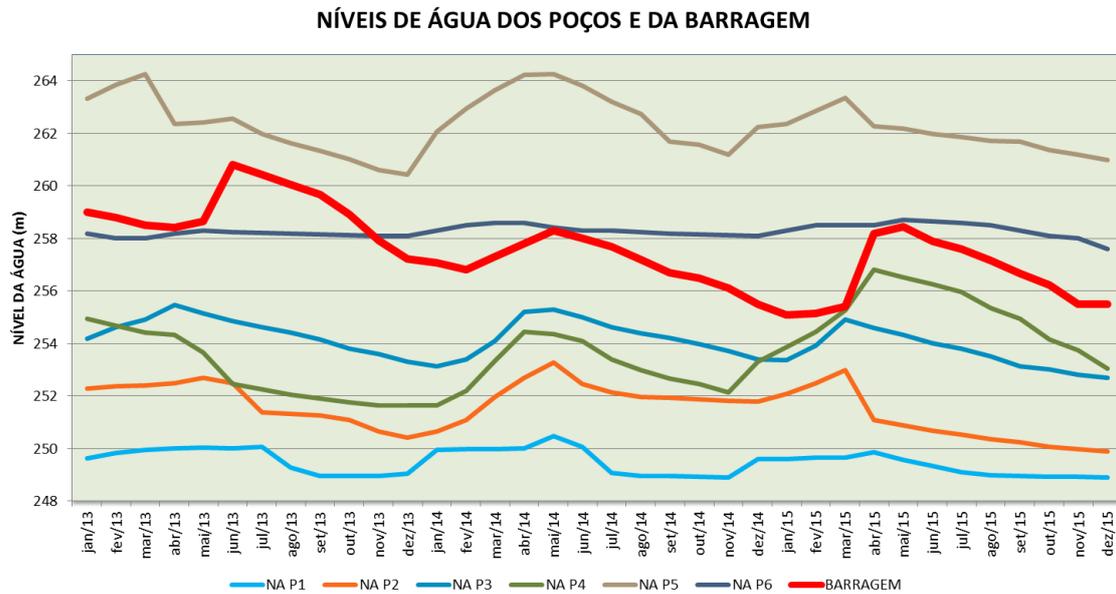
barragem tem seus níveis mais baixos, o nível deste poço atinge cota superior ao nível de água da barragem. Com um comportamento constante, é possível que o nível de água nesse caso não responda aos eventos de precipitação, o que foi explicado anteriormente que relaciona esse comportamento a sua localização em relevo íngreme. Desta forma, na área do poço 6 o nível de água do aquífero Serra Grande praticamente não responde à precipitação e sua variação fica vinculada fundamentalmente à precipitação na sua zona de afloramento.

Figura 58 – Variação do nível de água do poço 6 e da Barragem de Bocaina.



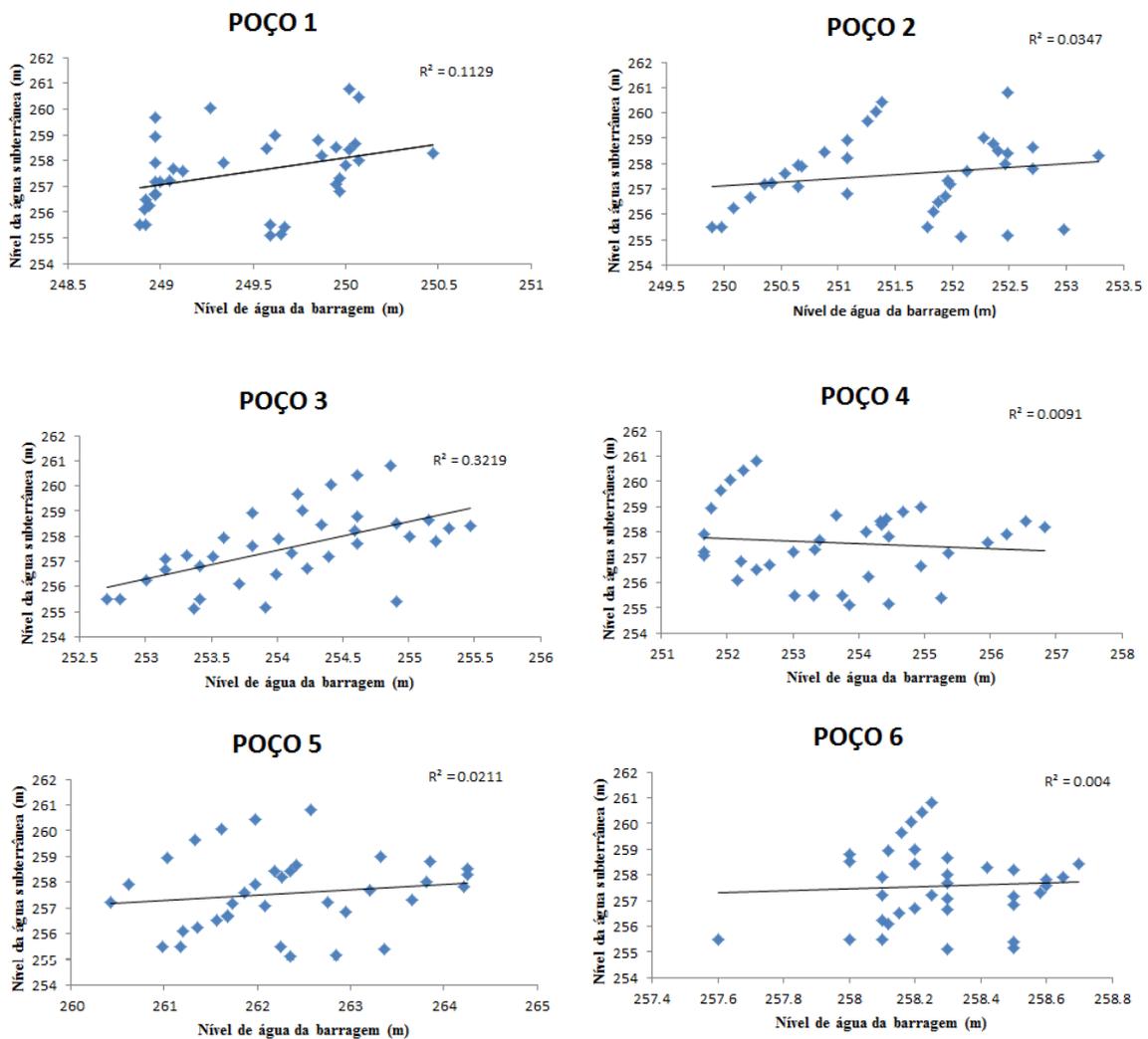
Estabelecendo uma comparação entre os comportamentos do nível de água subterrânea e do volume da barragem (Figura 59), observa-se um comportamento similar quanto às respostas dos níveis de água subterrânea e do nível da barragem nos períodos chuvosos e de estiagem, com exceção do poço 6 que tem comportamento constante diante dos períodos de chuva e estiagem.

Figura 59 – Variação do nível de água dos poços e da barragem



Para estabelecer uma correlação entre os níveis de água subterrânea e os níveis de água da barragem foi realizada uma análise estatística de dados por regressão linear na planilha eletrônica EXCEL. Com base na afirmação de Franzblau (1958) que correlações com  $R^2$  próximo a 1 são significativas, foi analisada a correlação entre a precipitação mensal e o nível estático de cada poço em todo período estudado apresentada na Figura 60. Como resultado dessa análise pode-se inferir que quando utilizados todos os valores do período e não somente dos eventos chuvosos, o valor de  $R^2$  não foi significante.

Figura 60 – Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período de 2013 a 2015.



Por outro lado, quando analisamos a correlação das duas variáveis, níveis de água subterrânea e da barragem, nos períodos chuvosos, pode-se afirmar que a variação do nível de água subterrânea tem relação com o comportamento do nível da barragem como observado nos gráficos das Figuras 61 a 66. Com exceção de 2015 que não apresenta uma correlação significativa.

Figura 61 – Regressão linear dos níveis de água subterrânea e da Barragem - POÇO 1.

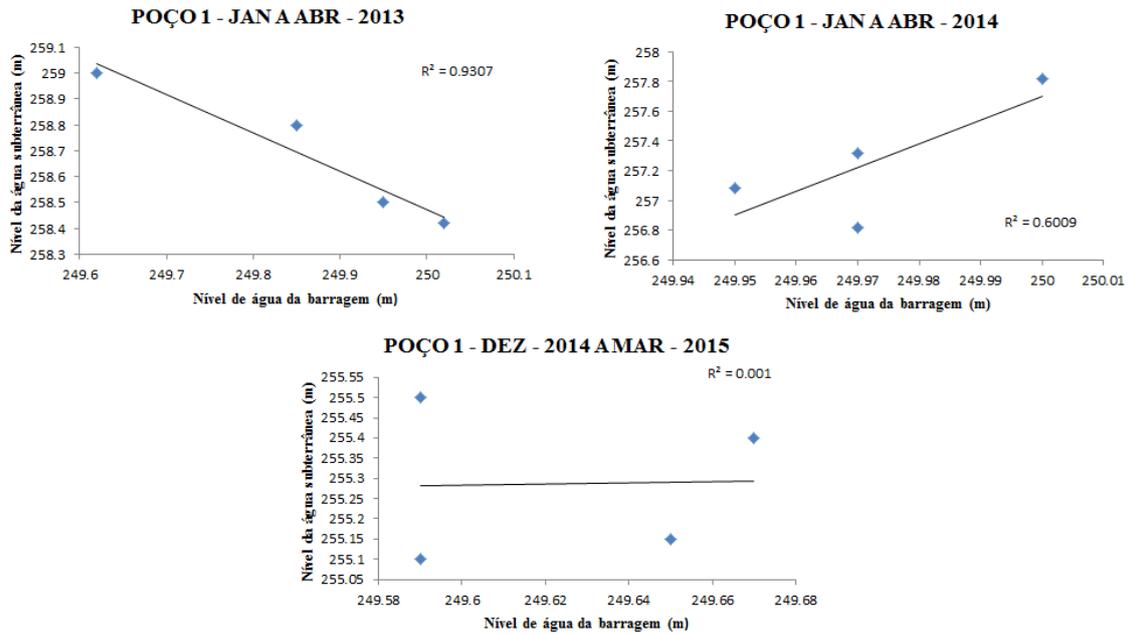


Figura 62- Regressão linear dos níveis de água subterrânea e da Barragem POÇO 2.

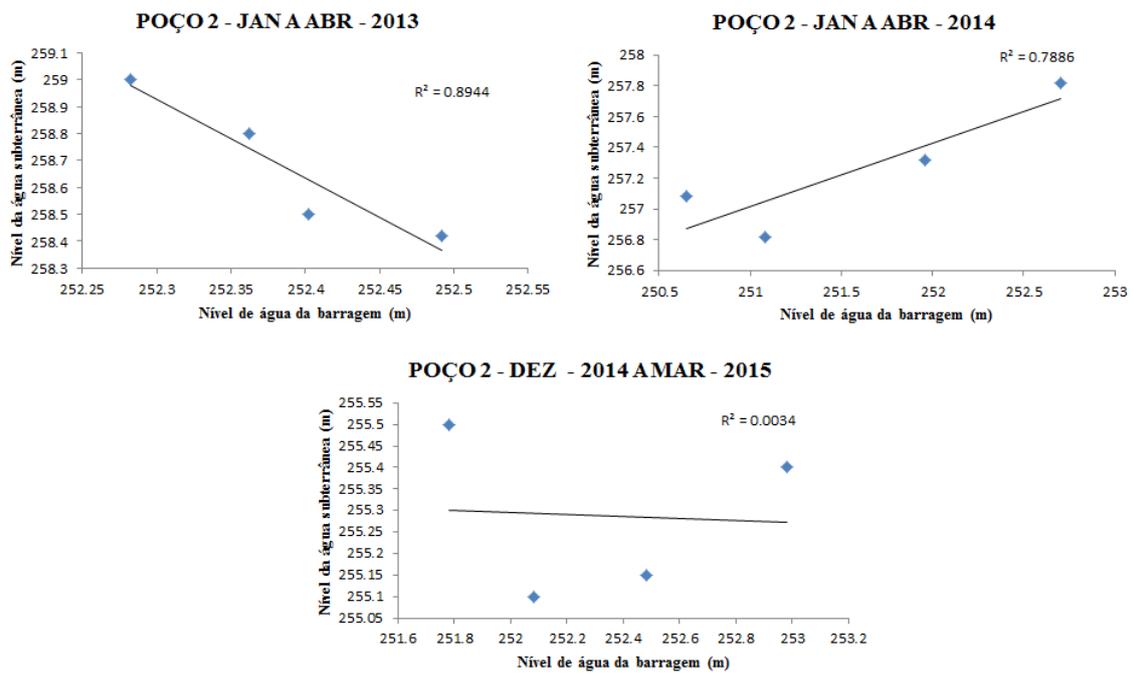


Figura 63 - Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 3.

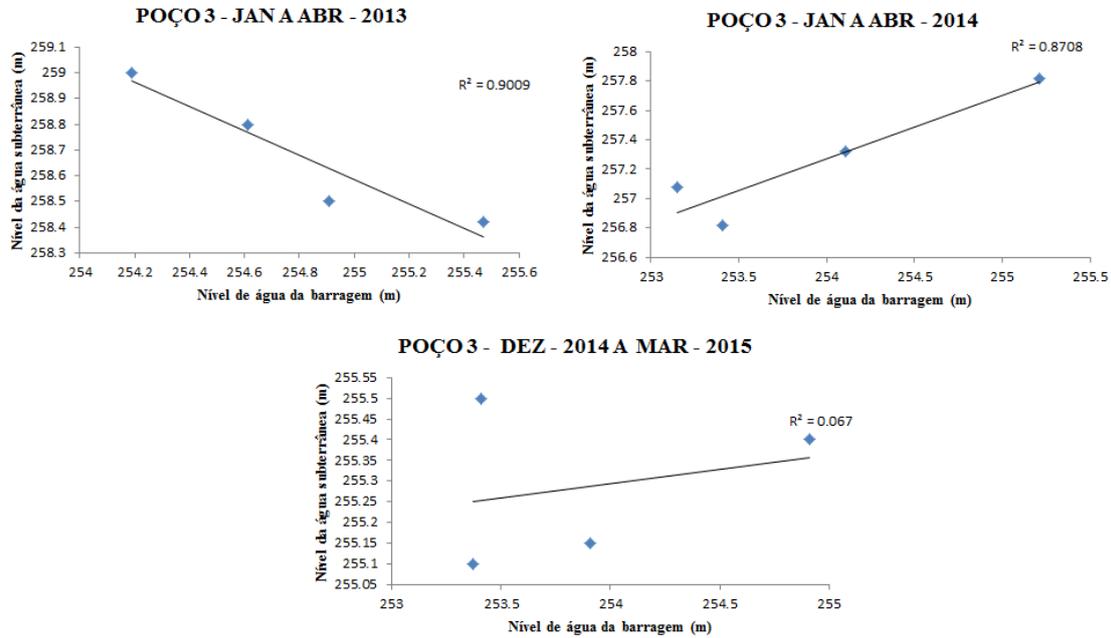


Figura 64 - Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 4.

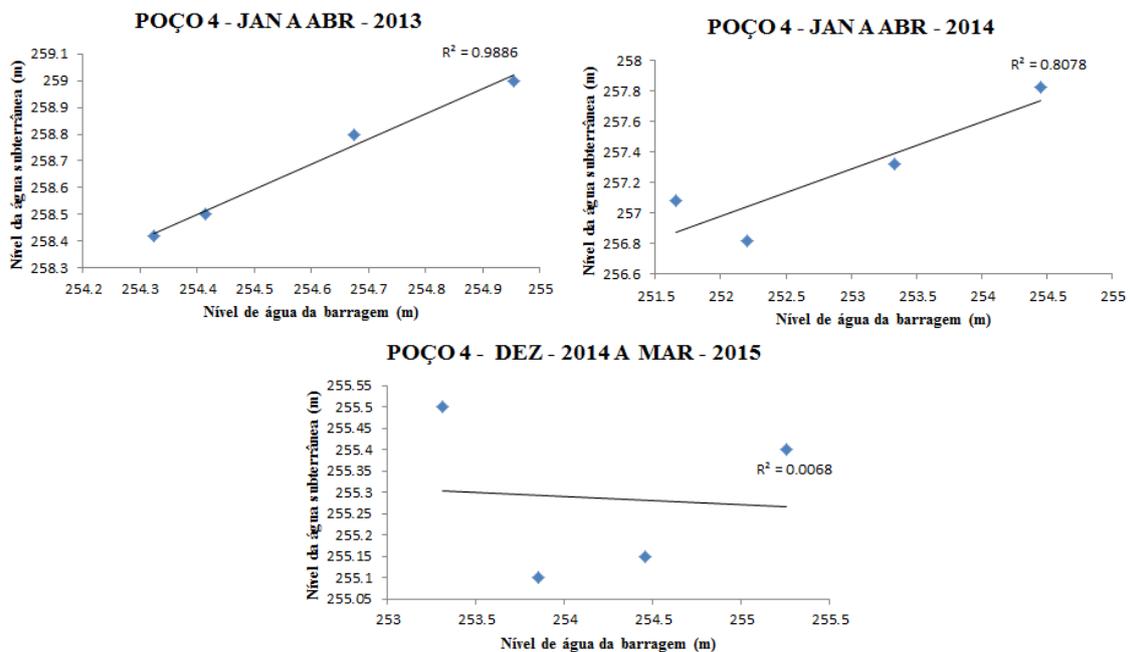


Figura 65 - Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 5.

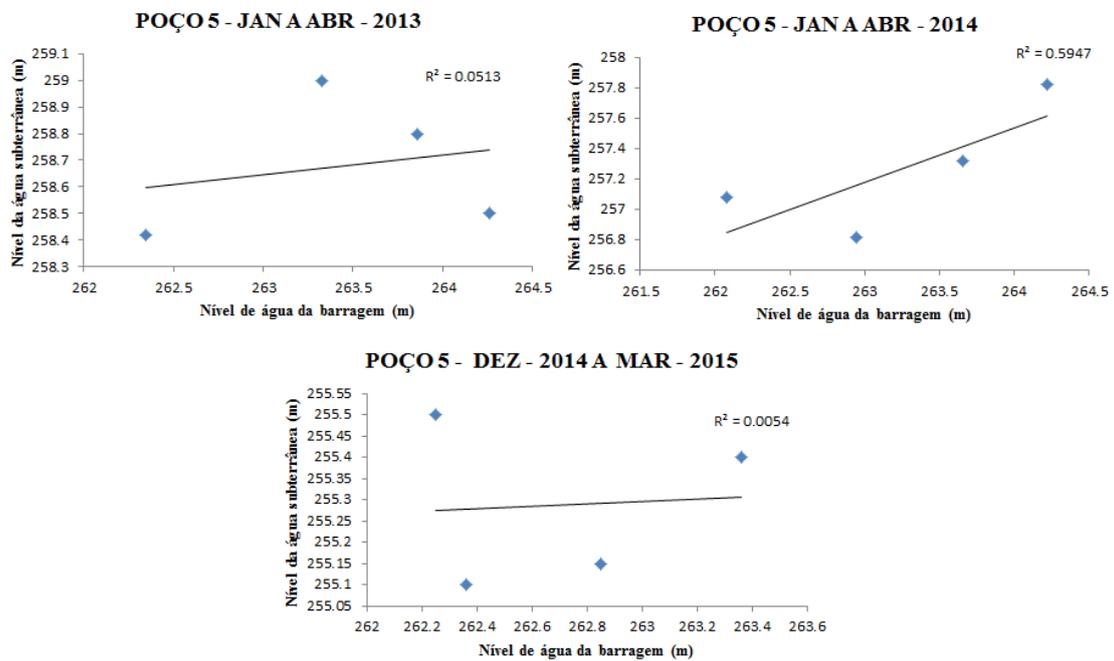
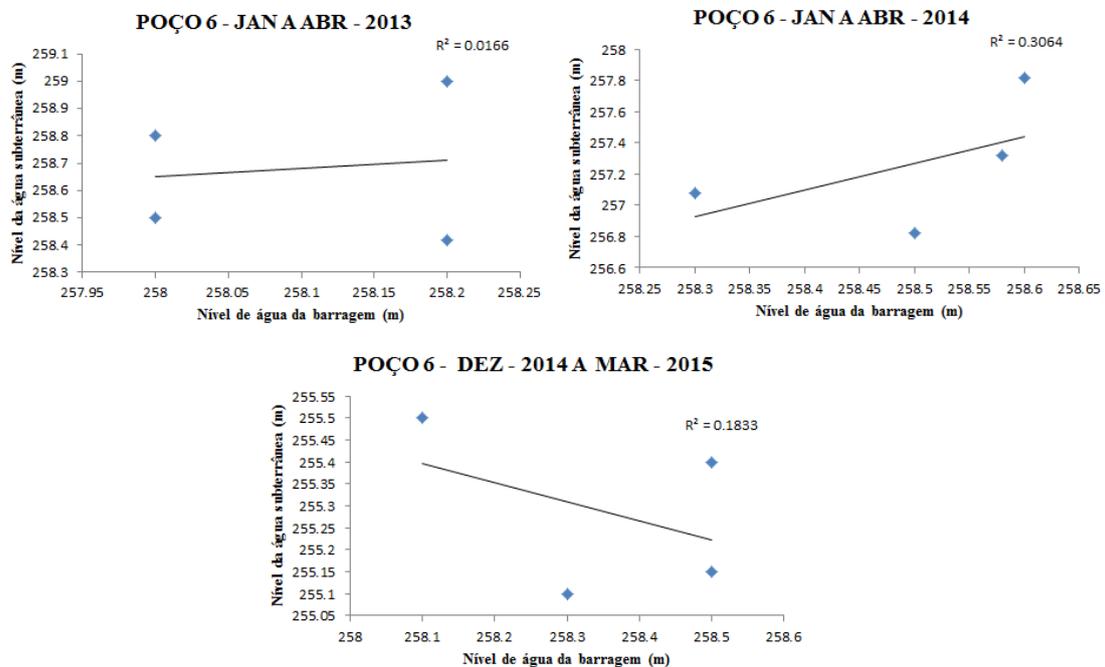


Figura 66 - Comportamento da regressão linear entre os níveis de água subterrânea e da Barragem de Bocaina no período chuvoso entre os anos de 2013 a 2015 no POÇO 6.



### 5.5. Análise granulométrica do solo do entorno da barragem

A camada superficial do solo é importante por representar elemento de entrada no processo de infiltração do volume precipitado. DAMBROS (2011) ressalta a importância de conhecer as características granulométricas do solo, pois estas são responsáveis pela capacidade de recarga e transmissividade de água subterrânea.

O meio poroso de um solo pode dividir-se em dois domínios para analisar o fluxo hídrico, segundo Chen & Wagenet (1992): os microporos que se comportam como um meio homogêneo e os macroporos onde a água é conduzida com maior velocidade que o domínio anterior. Solos com uma textura grosseira mostrarão intervalos de  $k_{sat}$  mais elevados que os solos de textura fina (Ward & Robinson, 1990).

Dentre as variáveis que influenciam este fluxo, a condutividade hidráulica do solo ( $K$ ) é um parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água. O valor máximo de condutividade hidráulica é atingido quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica saturada (REICHARDT, 1990).

A condutividade hidráulica saturada ( $k_{sat}$ ) de um solo é determinada pela geometria e continuidade dos poros preenchidos por água, tornando-se dependente, portanto da forma, arranjo, quantidade e continuidade dos poros no solo, tendo uma relação direta com a capacidade de transporte de solutos e substância química (MESQUITA E MORAIS, 2004).

Os dados relativos à análise granulométrica dos solos da área de estudo estão sumariados na Tabela 26, organizados de acordo com os pontos de coleta (1 a 12), todos coletados na superfície da bacia.

Verifica-se nessa análise que o maior percentual de argila e silte estão nas amostras localizadas no leito da barragem, enquanto que os solos presentes nas margens tem na maioria de sua composição a presença de areia.

Tabela 26 – Análise Granulométrica de solos da Bacia da Barragem de Bocaina

Amostra No.	Tipo Solo	Localização	Coordenadas Geog. Graus Decimais		RESULTADOS LABORATÓRIO DE SOLOS							
			Latitude S	Longitude	Densidade Real grãos	M.O. (%)	Pedreg %	% Areia			% Silte	% Argila
								Grossa	Média	Fina		
1	R25	Três Morrinhos, Canabrava	-6,83806	-41,33695	2,63	4,97	0,00	0,00	0,00	36,00	40,00	24,00
2	PE15	Rio Guaribas, São Luís do PI	-6,79806	-41,30167	2,69	1,69	0,00	0,00	2,00	83,00	8,00	7,00
3	PE15	Leito da barragem, Nova Varjota	-6,86668	-41,33644	2,68	13,03	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	85,00
4	R25	Nova Varjota 2 - Mirante, Bocaina	-6,87168	-41,33746	2,72	2,55	20,00	14,00	10,00	44,00	8,00	4,00
5	PE15	Leito da barragem, Três Morrinhos, São Luís	-6,84378	-41,33186	2,67	4,30	0,00	0,00	0,00	28,00	46,00	26,00
6	PE15	Leito da barragem - Delta , Três Morrinhos, São Luís	-6,84533	-41,33122	2,68	6,52	0,00	4,00	1,00	19,00	46,00	30,00
7	R25	Rio Canabrava, São João da Canabrava	-6,80094	-41,34644	2,70	3,23	20,000	4,00	2,00	36,00	26,00	12,00
8	LA30	Serra de Buenos Aires, São João da Canabrava	-6,79850	-41,40656	2,70	2,80	0,00	0,00	10,00	79,00	3,00	8,00
9	LA22	Buriti das Éguas, São João da Canabrava	-6,77961	-41,42950	2,68	3,17	4,00	2,00	1,00	53,00	14,00	26,00
10	AQ6	Conceição, São João da Canabrava	-6,63856	-41,43300	2,65	4,51	7,00	2,00	4,00	63,00	4,00	20,00
11	R18	Colônia, São João da Canabrava	-6,67530	-41,41279	2,63	2,53	0,00	0,00	3,00	79,00	7,00	11,00
12	AQ6	Colônia, São João da Canabrava	-6,68528	-41,41208	2,64	1,51	0,00	0,00	3,00	90,00	2,00	5,00

Alguns estudos utilizando modelos matemáticos estimam a condutividade hidráulica do solo com base na estrutura do solo e assim obtém informações sobre o movimento de água e solutos nos solos, como é o caso da Tabela 27, calculada por Ciria (2007).

Tabela 27 – Valores típicos da condutividade K baseados na estrutura do solo

<b>Tipo de solo</b>	<b>Condutividade K (m/h)</b>
<b>Material de boa infiltração</b>	
<b>Pedregulho</b>	10 a 1000
<b>Solo arenoso</b>	0,1 a 100
<b>Solo franco</b>	0,01 a 1
<b>Solo franco arenoso</b>	0,05 a 0,5
<b>Solo franco</b>	0,001 a 0,1
<b>Solo franco siltoso</b>	0,0005 a 0,05
<b>Material de calcário sedimentar (chalk)</b>	0,001 a 100
<b>Solo franco argiloso arenoso</b>	0,001 a 0,1
<b>Material de baixa infiltração</b>	
<b>Solo franco argiloso siltoso</b>	0,00005 a 0,005
<b>Solo argiloso</b>	<0,0001
<b>Argila, areia depositada por geleira (Till)</b>	0,00001 a 0,01
<b>Rocha</b>	0,000001 a 0,1

Fonte: CIRIA (2007)

Nos ensaios de granulometria realizados com a camada superficial do solo constatou-se a presença de 20% de pedregulho, 68% de areia, 8% de silte e 4% de argila na constituição dos solos no entorno da Barragem. Considerando a Tabela 27 e a influência das características do solo na condutividade hidráulica, e desta na variação do nível da água nos poços, esses dados podem estimar uma maior influência da precipitação nas margens da barragem. Já nas amostras no leito da Barragem o solo é composto de 85% de argila e 5% de silte, caracterizando um solo propenso à baixa condutividade hidráulica, e conseqüentemente baixa infiltração da água da chuva.

### 5.6. Projeção Populacional

Como componentes preponderantes nos cálculos para estimativa de demanda hídrica, os resultados das projeções populacionais das cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos para os próximos 50 anos estão apresentados nas Figuras 67 a 72.

Numa análise até o ano de 2066, obteve-se um crescimento da população da cidade de Bocaina para 5.523 habitantes. Salienta-se como tendência que o processo de crescimento da população urbana ultrapassa a rural (Figuras 67 e 68).

Figura 67 - Projeção Populacional de Bocaina nos anos de 2010, 2016 e 2066.

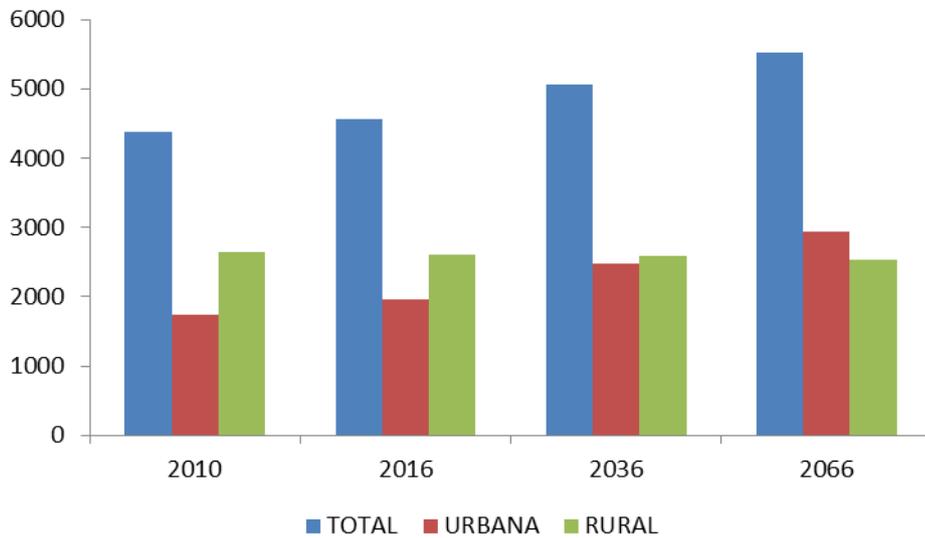
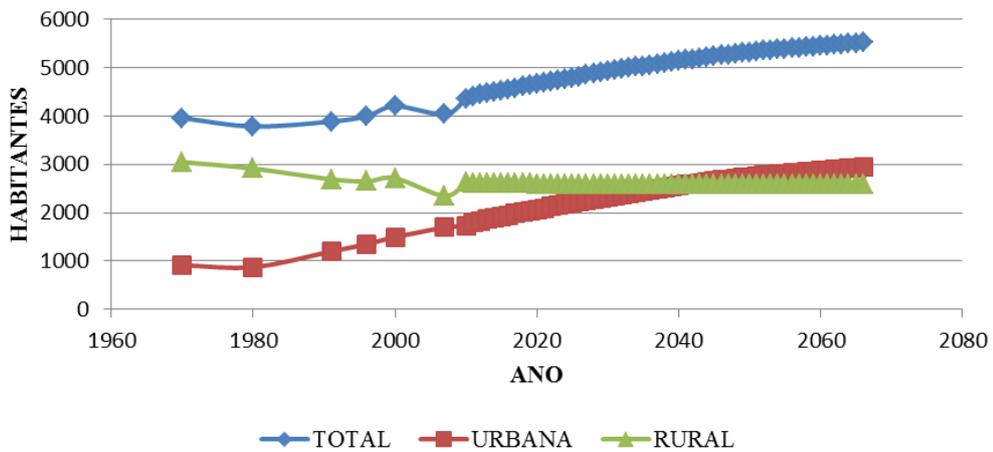


Figura 68 - Projeção Populacional de Bocaina de 2016 a 2066.



Para Sussuapara, até o ano de 2066, obteve-se um crescimento para população da cidade para 24.194 habitantes. Nas figuras 69 e 70 o gráfico comprova a tendência do aumento da população rural em detrimento da urbana.

Figura 69 – Projeção Populacional de Sussuapara nos anos de 2010, 2016, 2036 e 2066

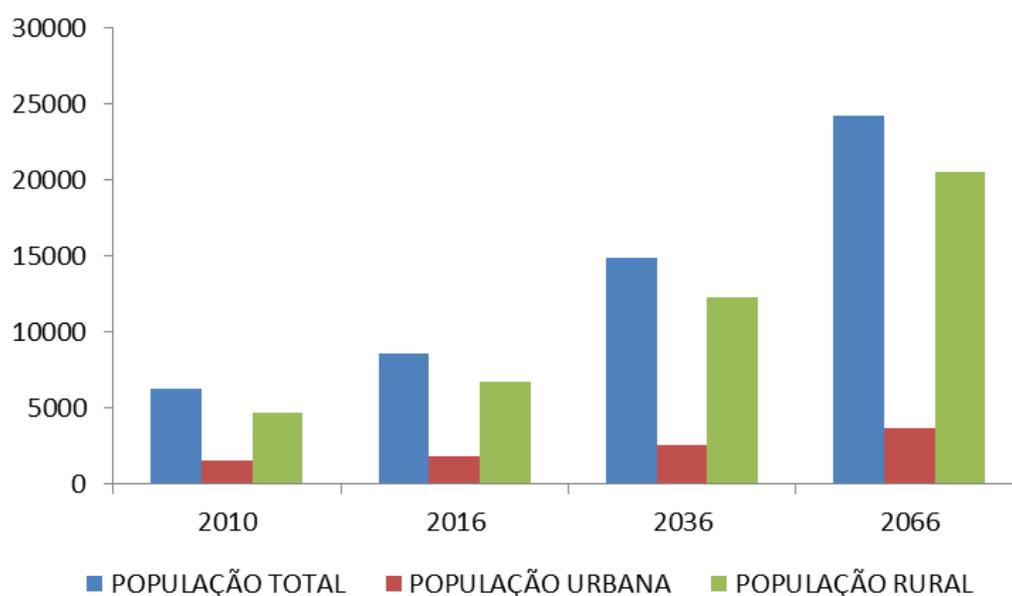
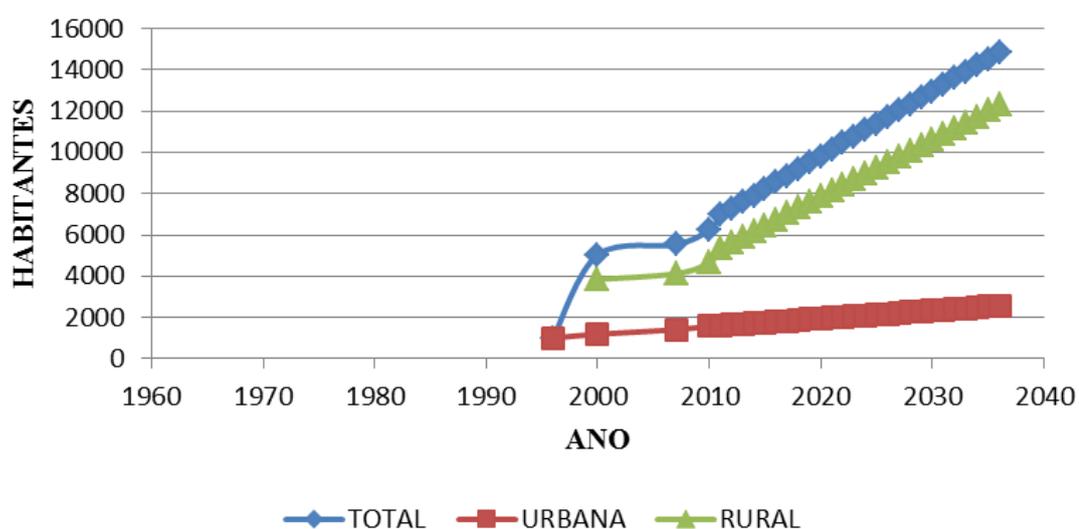


Figura 70 – Projeção Populacional de Sussuapara de 2016 a 2066



Como resultado, de acordo com as Figuras 71 e 72, numa análise até o ano de 2066, obteve-se um crescimento para população da cidade de Picos para 105.734 habitantes. Verifica-se

também que a população rural tende a diminuir significativamente, presume-se que por consequência da criação de quatro instituições de cursos superiores.

Figura 71 – Projeção Populacional de Picos nos anos de 2010, 2016 e 2066

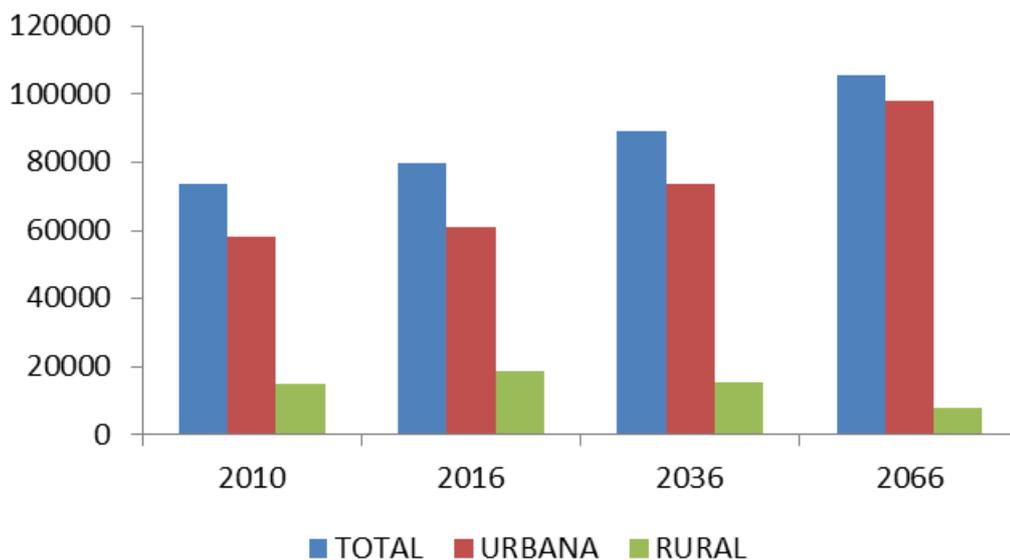
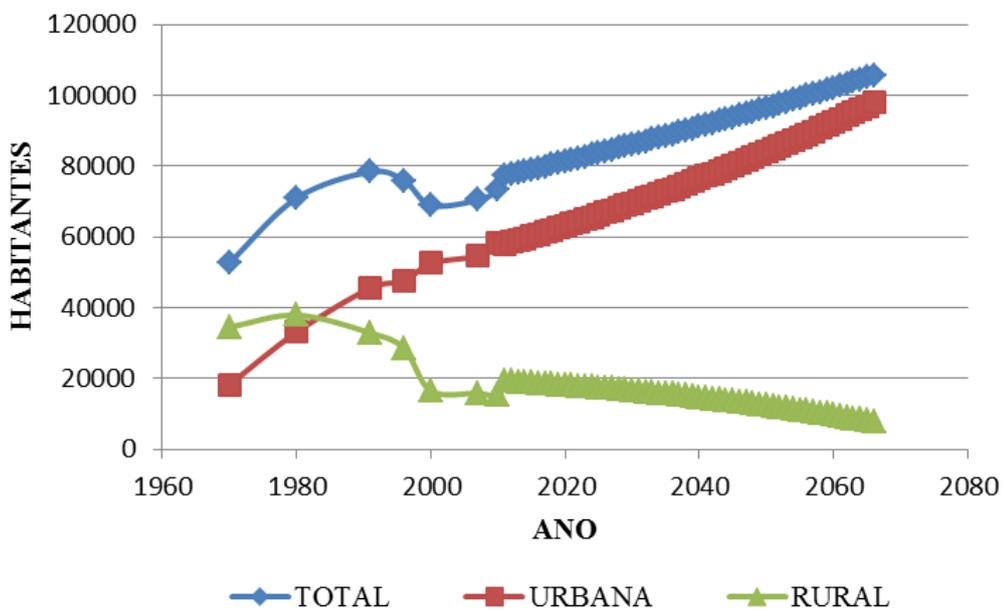


Figura 72 – Projeção Populacional de Picos de 2016 a 2066.



### 5.7. Demanda Hídrica para Abastecimento Humano

A partir do resultado do estudo populacional foram definidos alguns parâmetros para cálculo da demanda solicitada pelas cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos. Para o estudo de demanda tomou-se como base os parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Integração (Manual Operativo do PROÁGUA/Semiárido, 2000). Como o somatório da população das três cidades supera 50.000 hab. adotou-se um consumo per capita de 200 L/hab.dia. Considerou-se um Índice de Abastecimento de 100% para todo o horizonte de projeto. A Tabela 28 apresenta os parâmetros utilizados no cálculo da demanda.

Tabela 28 – Parâmetros de demanda adotados.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Consumo <i>per capita</i> de água (q)</b>	
<b>População acima de 50.000 hab</b>	200 L/hab/dia
<b>População entre 4.000 e 50.000 hab</b>	150 L/hab/dia
<b>População inferior a 4.000 hab</b>	120 L/hab/dia
<b>Índice de Abastecimento (iab)</b>	100 %
<b>Índice de Perdas (ip)</b>	48 %
<b>Coefficiente do dia de maior consumo (K1)</b>	1,2
<b>Coefficiente da hora de maior consumo (K2)</b>	1,5

Para cálculo das projeções também verificou-se no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Ministério das Cidades (2016), que o consumo médio per capita para cidade de Picos (PI) é de 143,3 litros/habitantes/dia.

Vidal (2003) admitiu nos seus estudos que o volume de 200 L/hab/d seria suficiente para abastecimento de uma cidade do porte e das características de Picos. Com a comparação entre o volume total bombeado o volume explorado pela AGESPISA, o autor estimou que o índice de perda d'água da AGESPISA seria da ordem de 48%, valor coerente com os apresentados por outras concessionárias de abastecimento público no Brasil.

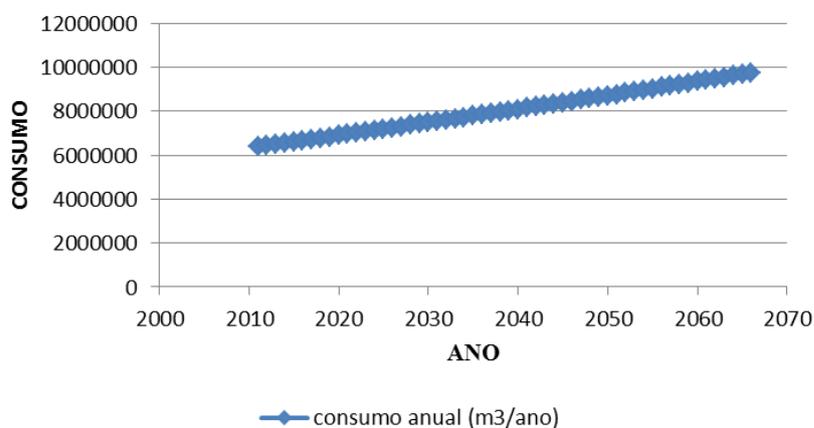
Com base nos cálculos das projeções populacionais, a demanda hídrica estimada para atender os habitantes até o ano de 2066 foi descrita na Tabela 29 abaixo.

Tabela 29 – Demanda Hídrica das cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos.

ANO	População	Demanda Média (L/s)	Demanda Máx Dia (L/s)	Consumo Méd (m <sup>3</sup> /ano)
2011	87697	395	474	6.471.981
2016	92218	412	495	6.668.497
2026	100711	448	538	7.251.218
2036	109030	485	582	7.850.162
2046	117581	523	628	8.465.806
2056	126380	563	675	9.099.349
2066	135431	603	724	9.887.896

Com os valores de demanda hídrica da região descritos na Tabela 29 foi possível prever o consumo anual, mostrado na Figura 73, para abastecimento humano das três cidades no intervalo de 50 anos, chegando a um volume anual de 9.752.446 m<sup>3</sup>.

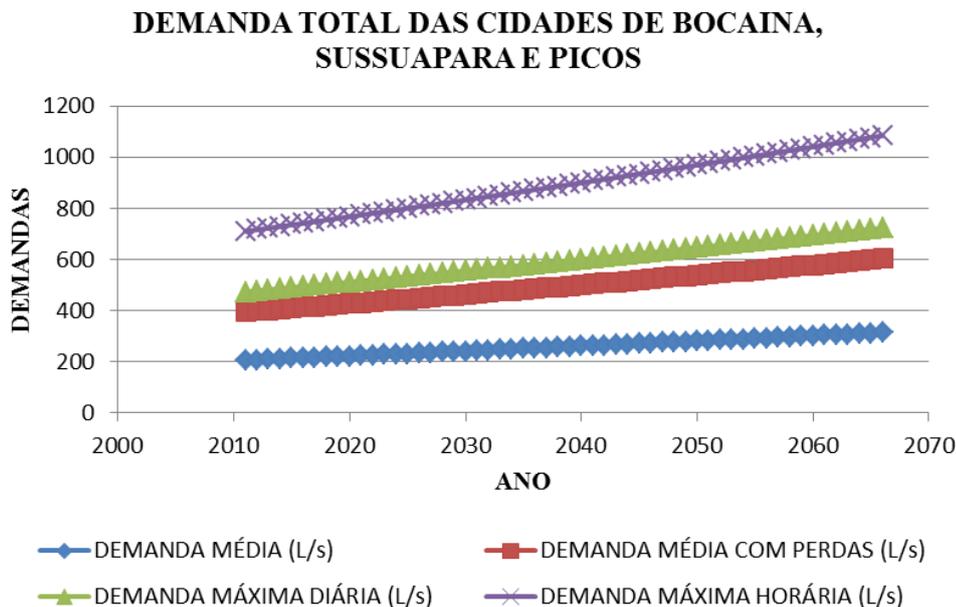
Figura 73 – Projeção do consumo anual de 2016 a 2066



O abastecimento urbano dos municípios está atualmente vinculado a AGESPISA, Companhia Estadual de Saneamento do Piauí, e aos poços perfurados por alguns moradores. Numa situação futura a adutora Bocaina abastecerá as cidades de Bocaina – Sussuapara – Picos com uma vazão de 300L/s, valor definido no Projeto Básico de Adequação do Sistema Adutor Bocaina (SEMAR, 2012).

Quanto às demandas, a previsão para 2066 foram: demanda média de 314 L/s, demanda máxima diária de 502 L/s e consumo no ano de 2066 de 9.752.446 m<sup>3</sup>, tomando como base de cálculo a população estimada, a vazão de 200 L/hab.dia em 365 dias no ano.

Figura 74 – Projeção das demandas de 2016 a 2066



Para melhor detalhamento nas previsões da demanda hídrica para população das três cidades, calcularam-se as demandas média, média com perdas, máxima diária e máxima horária ao longo dos 50 anos conforme mostrado no gráfico da Figura 74. Pelos resultados apresentados na Tabela 29, os valores iniciais de demanda média, demanda média com perdas, demanda máxima diária e demanda máxima horária são respectivamente: 205 L/s, 395 L/s, 474 L/s e 710 L/s. E os valores máximos de demanda média, demanda média com perdas, demanda máxima diária e demanda máxima horária são respectivamente: 314 L/s, 603 L/s, 724 L/s e 1085 L/s. Salienta-se que todas as demandas apresentadas na Figura 74 ficaram acima da média.

## 5.8. Disponibilidade Hídrica

### 5.8.1. Disponibilidade Hídrica Superficial

Dado o caráter de intermitência dos rios da região, a disponibilidade hídrica superficial corresponde à vazão regularizada a partir do reservatório de Bocaina.

Em Hidroterra (1982), as vazões regularizadas anuais para o projeto da Barragem Bocaina, considerando um volume morto =  $6 \times 10^6 \text{ m}^3$  foram:

$$Q_{\text{reg}} = 0,76 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{para } 100\% \text{ de garantia}$$

$Q_{reg} = 0,94 \text{ m}^3/\text{s}$  para 90% de garantia

A disponibilidade hídrica superficial para região estudada corresponde à vazão regularizada com 90% de garantia, ou seja,  $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 5.8.2. Disponibilidade Hídrica Subterrânea

Com base na multiplicação dos poços cadastrados no SIAGAS (2016) pelo número de poços das cidades de Bocaina, Sussuapara e Picos, 75, 177 e 552 poços profundos respectivamente, explorando o aquífero Serra Grande, apresentando uma vazão média de  $6,67 \text{ m}^3/\text{h}$ , determinou-se Disponibilidade Efetiva (MARWELL, 1995). O número total de poços utilizado no cálculo foi de 804 poços que multiplicado pela vazão média resultou num valor de  $5.362,68 \text{ m}^3/\text{h}$ , com valor de um exploração anual de  $46.977.076,8 \text{ m}^3$ .

## 6. CONCLUSÕES

Como elemento fundamental no ciclo hidrológico, a precipitação no período estudado teve valores menores se comparada aos registros dos últimos 30 anos, confirmando as previsões climáticas de um período para o Nordeste. Nos meses de maio a novembro verifica-se a ausência total de chuvas na bacia, com precipitação média no período estudado de 342,3 mm. No estudo em questão foi realizada uma análise integrada das variações dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos. Considerando a precipitação o componente hidrológico de entrada nessa avaliação sistêmica, confirmou-se a influência da chuva na variação dos níveis de água subterrânea dos poços.

Na margem direita da barragem, no poço 6, a influência da precipitação é quase nula descrevendo um comportamento relativamente constante no nível estático de água do poço durante os três anos, presumindo que este seja influenciado pela declividade acentuada do terreno que induz a uma alta velocidade de escoamento superficial e conseqüentemente baixa infiltração da água da chuva na região.

Para o estudo foi realizado o monitoramento conjunto dos níveis de água subterrânea no aquífero Serra Grande e nos níveis de água da Barragem de Bocaina, assim como a análise granulométrica da camada superficial do solo. Durante esse tempo foi detectado que o aquífero Pimenteiras, que confina o aquífero Serra Grande, sofre influência das precipitações transmitindo esse comportamento para o aquífero Serra Grande.

Observando o nível de água da barragem, este descreve um comportamento análogo ao descrito nos níveis de água dos poços, de maneira mais rápida e acentuada, com exceção do poço 6 que praticamente não varia de nível. Para confirmar a correlação entre essas variáveis hidrológicas, os níveis de água subterrânea e da barragem, foi realizada uma análise estatística que teve uma correlação significativa nos períodos chuvosos de cada ano.

A análise granulométrica da camada superficial do solo contribuiu para confirmar a influência da infiltração da água proveniente da precipitação no aquífero Pimenteiras, e deste no aquífero Serra Grande. Justificando que, mesmo com baixa permeabilidade na camada superior da formação Pimenteiras, os níveis arenosos de pouca espessura que ocorrem intercalados, que acumulam água e constituem importantes horizontes aquíferos, armazenam e transmitem água para o aquífero Serra Grande no entorno da Barragem Bocaina.

Como resultado dos estudos realizados na demanda hídrica para abastecimento humano da região num período de 50 anos (2016 a 2066) obteve-se uma população estimada das cidades

de Bocaina, Sussuapara e Picos de 135.431 habitantes com demanda média de 314 L/s e demanda máxima diária de 724 L/s daqui a 50 anos. Com base nessa população e demanda estimada, o consumo anual da população em 2066 chegará a 9.752.446 m<sup>3</sup>.

Em relação ao volume da barragem que durante os três anos de pesquisa oscilaram entre 33.438.302 m<sup>3</sup> e 15.131.102 m<sup>3</sup>, este depende dos componentes do ciclo hidrológico, enfaticamente da precipitação. Com longos períodos de estiagem, os índices pluviométricos nos anos de 2013, 2014 e 2015 foram respectivamente 164 mm, 471 mm e 379 mm descrevendo uma concentração pluviométrica nos meses de dezembro a abril.

Para análise da sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneo da região fica estimado um volume anual de exploração de 46.977.076,8 m<sup>3</sup> para vazão média dos poços de 6,67 m<sup>3</sup>/h. Ademais, observando os poços em estudo, constata-se a influência da precipitação nos poços estudados através das variações de níveis estáticos observados após os eventos, descrevendo um comportamento de diminuição do aquífero ao longo dos anos.

O estudo em questão também avaliou alguns componentes da sustentabilidade hídrica da região da Barragem de Bocaina: projeção populacional, demanda hídrica, precipitação, variação do volume da barragem e variação dos níveis estáticos de poços. De acordo com o número atual de habitantes, da estimativa da população e consequente demanda para abastecimento e uso múltiplo dos recursos hídricos da região, fica evidente que a demanda de 724 L/s para população das três cidades nos próximos 50 anos será suprida pelo aquífero Serra Grande e complementada com o volume vindo da adutora. Com esses dois recursos evidenciando a diminuição de seus volumes ao longo dos anos, a que se projetar um sistema de controle e conscientização do uso desses componentes hídricos.

É necessário, no entanto, implementar políticas de gerenciamento sustentável, monitoramento frequente, práticas de uso racional da água individual e coletivo e propagação de informações para população usuária dos recursos hídricos, uma avaliação de outros parâmetros de consumo da água local deve ser feita para equalizar o volume necessário proveniente das águas superficiais e subterrâneas bem como manter a demanda de água sob controle.

A área de estudo foi escolhida por consistir em uma região do semiárido onde a população tem a exploração do aquífero Serra Grande e uso da água da Barragem de Bocaina como fontes únicas de abastecimento para as diversas atividades existentes. Portanto, o conhecimento dos comportamentos da barragem e do aquífero, pluviometria da região, características granulométricas da barragem e seu entorno, e estimativa da demanda hídrica para abastecimento humano é fundamental para o uso sustentável destes recursos hídricos.

Todos esses itens embasaram a premissa que o controle dos recursos hídricos da região através do monitoramento contínuo e integrado fortalece o ideal de sustentabilidade do bem comum: a água.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Algumas recomendações para trabalhos futuros são necessárias para um gerenciamento sustentável na análise integrada de recursos superficiais e subterrâneos, destacando:

- Monitoramento de um maior número de poços para monitoramento da influência da barragem sobre o aquífero, ou o comportamento oposto num maior intervalo de tempo;
- Implantação de uma rede de monitoramento automatizada na medição do nível estático diário dos poços, detectando mudanças num intervalo de tempo menor;
- Aplicação de modelos de estimativa de recarga do aquífero estudado e análise da influência dos aquíferos vizinhos, Serra Grande e Cabeças, observando possíveis influências nos volumes de águas superficiais;
- Realização de estudo sobre a gestão da barragem e dos aquíferos da região como requisito para estudos sobre sustentabilidade hídrica e mitigação de conflitos entre os irrigantes;
- Avaliação do impacto da construção da adutora na barragem e nos aquíferos;
- Elaboração de plano de conscientização dos moradores sobre o uso das águas superficiais e subterrâneas.

## REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregados - Determinação da composição granulométrica - NBR 7217. 1987.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. A questão da Água no Nordeste. Brasília-DF. 436p. 2012

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos/SNIRH. Hidroweb. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. SEMAR. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Atlas do Abastecimento de Água. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/acudessemiario/PI/Bocaina/MapaBocaina.JPG>. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO – ANP. BACIA DO PARNAÍBA. Sumário Geológico e Setores em Oferta. 2015.

ALBUQUERQUE, J. P. T. Água subterrânea no planeta água. Estudos geológicos. V 17 (1). p. 23 – 39, 2007.

ALBUQUERQUE, J. P. T.. Sustentabilidade de aquíferos. Anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luiz – MA, 30 nov a 03 dez, meio digital, 2004.

Anais do I Seminário Solo e Água no Contexto de Desenvolvimento em Bacias Hidrográficas, Brasília, 2015. 53 p.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A. Precipitação Pluviométrica Provável em Municípios do Cerrado Piauiense. Teresina, EMBRAPA-CPAMN, 1997.

ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. Revista Brasileira de Botânica 4: 149-153.1981.

ARANTES, E. J.; CHAUDRY, F. H.; MARCUSSI, F. F. N.. Caracterização da interação entre rio e aquífero com o uso de infiltrômetros. Águas Subterrâneas, 20 (2): 97-108, 2006.

ARAUJO, J. K.; CAMPOS, J. N. B. Utilização do Método dos Fragmentos no Estudo da Disponibilidade Hídrica de Açudes no Semiárido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

RECURSOS HÍDRICOS, 9., Rio de Janeiro, 1991. Anais. Rio de Janeiro, ABRH/APRH, 1995. Vol. 1, p.467-474.

ÁRIDAS - PI. Tema 3: Proposta de conservação de recursos hídricos e de meio ambiente do Estado do Piauí. Piauí. 1995.

ARRAES, T. M.; CAMPOS, J.E.G. Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. Revista Brasileira de Geociências, v. 37, p. 81-89, 2007.

ASCE – American Society of Civil Engineers. Task Committee on Sustainability Criteria, UNESCO-IHP IV Project M-4.3. Sustainability Criteria for Water Resource Systems. Reston, Va., ASCE Publications, 1999.

BALEK, J. Groundwater recharge concepts. In: SIMMERS, I. (ed.) Estimation of Natural Groundwater recharge, "Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Estimation of Natural Recharge of Groundwater", Antalya (Side), Turkey, 8-15 march, 1987, 528p.

BANERJEE, P., PRASAD, P.K. AND SINGH, V.S. (2009) Forecasting of Groundwater Level in Hard Rock Region Using Artificial Neural Network. Environmental Geology, 58, 1239-1246.

BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. Revista de Engenharia Agrícola. Jaboticabal. Vol. 29 nº1, jan/mar, 2009.

BARTORELLI, A.; HARALYI, N. Geologia do Brasil. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A., edit. Geologia de Engenharia. São Paulo, ABGE, 1998. p.57-67.

BATISTA, J.R.X.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. & FOSTER, M. 1998. Isótopos ambientais na água subterrânea de Picos - PI. In: CONG. BRAS. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 1998, São Paulo. CD-ROM. São Paulo, ABAS.

BAYRAKTAR, H.; TURALIOGLU, F. S.; XEN, Z. The estimation of average areal rainfall by percentage weighting polygon method in Southeastern Anatolia Region, Turkey. Atmospheric Research, v. 73, p. 149-160, 2005.

BELLEN, H. M.V. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.. Manual de irrigação. 8 ed. EDUFV, 626 p., 2006.
- BETHLAHMY, N.. The two-axis method: a new method to calculate average precipitation over a basin. Hydrological. Sciences Bulletin des Sciences Hydrologiques, XXI, 3, 1976.
- BORGES, A. S.; MARQUES, C. S.; BRITO, L. P. G.; SILVA, V. R. L.; JANNUZZI, P. M.. Projeções populacionais no Brasil: subsídios para seu aprimoramento. Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 26 p., 2006.
- BRANCHE, E.. Sharing the water uses of multipurpose hydropower reservoirs: the concept. Multipurpose Water Uses of Hydropower Reservoirs, 111 p., 2015.
- BRASIL. Lei Federal nº 9433, de 8 de janeiro 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- BRASIL/CPRM, 2014. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br>>.
- BRASIL/CPRM/SIAGAS, 2014. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br>>.
- BRASIL/IBGE, 2014. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>.
- BRUDEKI, N. M.. Expansão estrutural como possibilidade de uma universalização dos serviços de água e esgoto no estado do Paraná até 2020. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba - PR, 100p., 2005.
- CABRAL, J. J. S. P. Movimento das águas subterrâneas. In.: FEITOSA, F.A.C. et al. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Organização e coordenação científica: – 3. ed. ver. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.
- CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M. Considerações sobre indicadores de sustentabilidade na exploração de água subterrânea. XIV Congresso Brasileiro de Água Subterrânea. 2006.
- CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, S. M., PONTES FILHO, I. D. S. P. Bombeamento intensivo de água subterrânea e riscos de subsidência do solo. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 11, No. 3, p. 147-157. 2006.
- CARDOSO, F.B.F.; ALMEIDA, L.; GONÇALVES, M.V.C.; OLIVEIRA, F.R.; NASCIMENTO, F.S.N.; FERREIRA, A.N.P.1; GASPAR, M.T.P. Mapa das Áreas Aflorantes dos Aquíferos e Sistemas Aquíferos do Brasil. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2014.

- CARNIER NETO, D. Monitoramento de nível d'água em poços no Aquífero Rio Claro. 2006, 88 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – UNESP – Rio Claro, Rio Claro/SP. 2006.
- CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. J.. Economia dos recursos hídricos. Salvador: EDUFBA, 2003.
- CAVALCANTI, Clóvis. (org.). Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo: Cortez, 2003.
- CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro pelo Desenvolvimento Sustentável. Gerenciamento de Riscos Hídricos no Brasil e o Setor Empresarial: Desafios e Oportunidades, Rio de Janeiro – RJ, 56 p., 2015.
- CHEN, C. AND R.J. WAGENET. Simulation of water and chemicals in macropore soils. Part 1 . Representation of the equivalent macropore influence and its effect on soilwater flow, J. Hydrol. 1992.
- CHIANG, J.C.H. & A. KOUTAVAS. Tropical flip-flop connections. Nature 432: 684-685. 2004.
- CIRIA-Construction Industry Research and Information Association. The SUDS manual. London, 2007.
- CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso futuro comum. 2a ed. Tradução de Our common future. 1a ed. 1988. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- COLLISCHONN, B. E CLARKE, R. T. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Versão On-line ISSN 2318-0331. RBRH, Porto Alegre. 2016.
- CORREIA FILHO, F.L. Mapa Geológico do Estado do Piauí. CPRM. 2006.
- CORREIA FILHO, F.L. Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba –PI/BA. CPRM. 2009.
- COSTA, W. D.; COSTA FILHO, W. D. Disponibilidade de Águas Subterrâneas no Semi-Árido do Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., Recife, 1995. Anais. Vitória, ABRH, 1995. Vol. 2, p.127-132.
- CPRM. Mapa Geológico do estado do Piauí. Serviço Geológico do Brasil. 2008.

- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas): relatório diagnóstico Aquífero Serra Grande, Bacia Sedimentar do Parnaíba/Mickaelon B. Vasconcelos, Carlos Antônio da Luz, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte, 2012.
- CRUZ, H. C.; FABRIZY, N. L. P.. Impactos Ambientais de Reservatórios e Perspectivas de Uso Múltiplo. Revista Brasileira de Energia, 4 (1), 1995.
- CRUZ, J. C.. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. Tese de Doutorado em Engenharia – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, 189p., 2001.
- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. Revista de Gestão de Água da América Latina, 4 (2), 51-64, 2007.
- CRUZ, W. B.; FRANÇA, H. P. M. Água subterrânea sob condições artesianas na área de Picos - Piauí. Recife, SUDENE. 79p. 1967.
- CRUZ, W. B.; FRANÇA, H. P. M. 1970. Inventário hidrogeológico do Nordeste. Recife, SUDENE. 222p.
- 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.; LLAMAS, M. R. Hidrologia subterrânea. 2.ed. Barcelona:Omega, 1983.
- DAMBRÓS, C. Recarga e flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias com floresta e campo nativo. 2011.119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- DAMBRÓS, C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Comportamento do nível da água subterrânea em sub-bacia representativa em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. Anais... XIV World Water Congress. Recife/PE. 2011.
- DÖLL, P.; FLÖRKE, M.. Global-Scale Estimation of Diffuse Groundwater Recharge. Frankfurt Hydrology Paper 03, Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt am Main, Germany, 21p., 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIO - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIO - EMBRAPA. Atlas Climatológico do Estado do Piauí. Teresina. 2004.

FAHMA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Canindé/Piauí, no Estado do Piauí. Teresina, MMA, SEMAR, 2000.

FAPESP. 2016. Disponível em: <[http://agencia.fapesp.br/crises\\_hidricas\\_tendem\\_a\\_se\\_agravar\\_afirma\\_especialista/21526/](http://agencia.fapesp.br/crises_hidricas_tendem_a_se_agravar_afirma_especialista/21526/)>.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Organização e coordenação científica: – 3. ed. ver. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008.

FERNANDES, R. J. A. R., Instrumentos para a Avaliação da Sustentabilidade Hídrica em Regiões Semi-Áridas. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 177 f. São Paulo. 2002.

FOSTER, S; HIRATA R. A. C; GÓMEZ D., D'ELIA, M.; PARIS, M. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Mundi Prensa, 105p. 2002.

FRANZBLAU, A. A primer of statistics for non-statisticians. New York: Harcourt, Brace & world. 1958.

GASPAR, M. T. G. Sistema Aquífero Urucuaia: caracterização regional e propostas de gestão. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília, 2006. 158 p.

GAUDENCIO, L. M. A. A viabilidade de empreendimentos energéticos: a dimensão ambiental, econômica e social. XIV Congresso Brasileiro de Energia. ANP. 2012.

GÓES, A. M. O.; TRAVASSOS, W. A. S.; NUNES, K. 1993. Projeto Parnaíba: reavaliação da bacia e perspectivas exploratórias. Rio de Janeiro. Relatório Interno. Rio de Janeiro: Petrobrás – Depex. 1993.

GOMES, A. A. N., ANDRADE JÚNIOR, A. S. & MEDEIROS, R. M. Evapotranspiração de referência mensal para o Estado do Piauí. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.560-564. Campina Grande, PB. 2005.

GOUVÊA, T. H. Análise estatística da influência da precipitação e de características do solo na variação do nível d'água em área de recarga do Aquífero Garani. 2009. 149 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2009.

HANCOCK, P. J.. Human Impacts on the Stream–Groundwater Exchange Zone. *Environmental Management*, 29 (6): 763–781, 2002.

HEALY, R. W., COOK, P. G.. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, p. 91 - 109, 2002.

HEALY, R. W.. Estimating groundwater recharge. Cambridge University Press, 2010.

HEATH, R. C. Hidrologia básica de água subterrânea. Geological survey water-supply paper. 1983.

HELLER, L. & PÁDUA. V. L.. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: editora UFMG, 859 p., 2010.

HIDROTERRA S. A. Projeto Executivo da Barragem Bocaina. Teresina. Piauí. 1982.

IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York, p.1535, 2013

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change: Synthesis Report. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A., editors. 2007.

KALBUS, E.; REINSTORF, F.; SCHIRMER, M. Measuring groundwater-surface water interactions: a review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 873-887, 2006.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In.: TEIXEIRA, W. et. al. (Org.). Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008. p. 113-138.

KATZ, B. G., DEHAN, R. S., HIRTEN, J. J., CATCHES, J. S. (1997). Interactions between ground water and surface water in the Suwannee river basin, Florida. *Journal of the American Water Resources Association*, 33, p.1237-1254.

KEGEL, W. Estudos no Estado do Piauí. Teresina, DNPM. Relatório, 18p. 1953.

KEGEL, W.. As inconformidades na Bacia do Parnaíba e zonas adjacentes. Teresina, DNPM. Relatório, 59p. 1956.

KEGEL, W. Pesquisa sistemática da água subterrânea na Bacia do Parnaíba (Piauí e Maranhão) e Bacia do Apodi. SUDENE, Recife. 12 p. 1961.

KRESIC, N.. Hydrogeology and groundwater modeling. Segunda ed. CRC Press, 828 p., 2007.

KRAMER, K. The challenge of protecting instream flows in Texas closing the barn door after the horse has left? 25 th Water for Texas Conference: Water planning strategies for Senate Bill 1. Dec, 1-2; 1998.

KROL, M.S., A. JAEGAR, A. BRONSTERT & J. KRYWKOW. The semiarid integrated model (SDIM), a regional integrated model assessing water availability, vulnerability of ecosystems and society in NE-Brazil. Physics and Chemistry of the Earth (B) 26: 529-533. 2001.

KUNZLER, J. C. S. Estimativa da Recarga da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe através da Modelagem Matemática do Fluxo Subterrâneo. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, Paraíba, 2007.

KURC, S. A.; E. E. SMALL: Dynamics of evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems during the summer monsoon season, central New Mexico. Water Resource Research, 40, W09305, 2004. LAMBS, L.. Interactions between groundwater and surface water at river banks and the confluence of rivers. Journal of Hydrology, 288: 312-326, 2004.

LAMBS, L. Interactions between groundwater and surface water at river banks and the confluence of rivers. Journal of Hydrology, 288, pp. 312–326. 2004.

LANNA, A. E.. Gestão dos Recursos Hídricos. Hidrologia – Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 3ª ed., cap. 19, pp. 727–768, 2002.

LEÃO, J. C. Metodologia para outorga de uso das águas reservadas em regiões semi-áridas aplicada à bacia do Canindé-PI. 2008. 114 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Piauí.

LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Embrapa-SNLCS, 1984. 46p.

LIMA, E. A. A.; LEITE, J. F. Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: integração geológica-metalogenética – Relatório Final da Etapa III. Recife, CPRM. 437p. 1978.

LOUSADA, E. O. Estudos hidroquímicos e isotópicos no Distrito Federal: modelos conceituais de fluxo. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília, 2005. 128 p.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C. et al. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Organização e coordenação científica: – 3. ed. ver. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 53-64 p.

MARCUZZO, F. F. N. Modelagem Hidrológica Utilizando Regressão: Conceituação Matemática, Logaritmização e Avaliação. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2014.

MARENGO, J.A., TORRES, R.R. & ALVES, L.M, 2016. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology* pp 1–12.

MARTELLI, G. V.. Monitoramento da Flutuação dos Níveis de água em Aquíferos Freáticos para avaliação do Potencial de Recarga em Área do Afloramento do Sistema Aquífero Guarani em Cacequi – RS. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Santa Maria, 151 f., 2012.

MARWELL Fº, Pedro. Projeto Áridas Tema 7: Análise de sustentabilidade do Estado do Piauí quanto aos recursos hídricos. Teresina, SEPLAN, 1995.

MELATI, M. D. E MARCUZZO, F. F. Regressões simples e robusta na regionalização da vazão Q95 na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas. *Ciência e Natura*, Santa Maria v.38 n.2, p. 722 – 739. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM*. Santa Maria. Rio Grande do Sul. 2016.

MELO, D. C. D.. Estimativa de impacto de mudanças climáticas nos níveis do aquífero livre em zona de recarga do sistema Aquífero Guarani. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 180 p., 2013.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL – MI. PROÁGUA / Semi-árido - Manual Operativo volumes I e II; Brasília: MMA - Ministério do Meio Ambiente; abril de 2000.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Relatório Técnico 015. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO PAÍS. 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba /, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília. 2006. 184 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Águas Subterrâneas, um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília/DF. 2007. 40 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Volume II: Estratégias Setoriais e Temáticas, Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima – Versão Consulta Pública, 394 p. 2015.

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil. Introdução à climatologia dinâmica. Revista Brasileira de Geografia 34: 3-51. 1972.

OCDE – Organisation for Economic Co-operation and Development. Water Security for Better Lives. OECD Publishing, Paris, 171 p., 2013.

OLIVEIRA, E.; SOUZA, J. C. S. Águas Subterrâneas: conservação e gerenciamento. In: MACHADO, R. (org.) As Ciências da Terra e sua importância para a Humanidade: a contribuição brasileira para o Ano Internacional do Planeta Terra – AIPT. 1 ed. São Paulo: Editora Sociedade Brasileira de Geologia. Curitiba/PR, 2008.

OLIVEIRA, L. A. O Sistema Aquífero Bauru na Região de Araguari/MG: parâmetros dimensionais e propostas de gestão. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília, 2002. 121 p.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. 2012. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 p.

PNRH. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Informações: Região Hidrográfica do Parnaíba. I Reunião com consultores regionais. Brasília. 2005.

- POMPEU, R. D. M. et al., A outorga de direito de uso de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2014, Natal. Anais... . Natal: ABRH, 2014. p. 1 - 9.
- PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L.. Gestão de bacias hidrográficas. Estudos Avançados, 22 (63), 43-59, 2008.
- PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds.). Ecologia e conservação da Caatinga. pp. 3-73. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. 2003.
- PRADO, R. B.. Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água. Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado. Ed. Rima, São Carlos, 2002.
- REBOUÇAS, A. da C. Uso inteligente da água. Ed.: Escrituras, São Paulo, 2004.
- REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUDINISI, J. G. Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2002.
- REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 188.
- RIGHES, A. A. Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para a irrigação. Ciência & Ambiente, Santa Maria, v.11, n.21, p.90-102, 2000.
- RODAL, M.J.N. & SAMPAIO, E.V.S.B. A vegetação do bioma Caatinga. In: E.V.S.B. Sampaio; A.M. Giuliatti, J. Virgínio & C.F.L. Gamarra-Rojas (eds.). Vegetação e Flora da Caatinga. Associação Plantas do Nordeste/ Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, Recife, pp. 11-24. 2002.
- SALATI, T., SCHINDLER, W., VICTORIA, D.C., SALATI, E., SOUZA, J.C.S., NOVA, N.A.V. Economia das Mudanças Climáticas no Brasil. Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, p80 ,2008.
- SALES, M.C. L; RAMOS, V.M. Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaína (PI) com base na compartimentação geomorfológica. IN: Carta Cepro, Teresina, v. 18, nº 1, p. 1471 – 148. 2000.

- SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of the Brazilian Caatinga. In: H.A. Mooney, S.H. Bullock & E. Medina (eds.). Dry tropical forests. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 35-63. 1995.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, D.; LAUTERT, L. F. Hidrometria Aplicada. Curitiba, 372p. 2001.
- SATOH, T. Study on Vapor Transfer Processes into the Atmosphere from Vegetated Surface in an Arid Region. Universidade de Tsukuba. Japão. 2010.
- SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal, vol. 10, number 1 (february), 2002.
- SEMAR. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Piauí. Relatório Síntese. Teresina. Piauí. 2010.
- SEMAR. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Relatório Final de Serviço de Criação de Modelo Geoidal Local para o Açude Bocaina, Bocaina, Piauí. Elaborado por Geoffshore Engenharia e Serviços Marítimos Ltda. Teresina. Piauí. 2016.
- SHELTON, C. W. An analytical and numerical investigation of stream/aquifer interaction methodologies. Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Washington State University, 163 p., 2011.
- SILANS, A. M. B. P. Redução da evaporação em açudes e reservatórios. Conferência pública proferida para o concurso para Professor Titular do DTCC/CT. Universidade Federal da Paraíba. Agosto. 1996.
- SILANS, 2003. Redução da Evaporação de Açudes - O Estado da Arte. *sta Brasileira de Recursos Hídricos* Volume 8 n.2 Abr/Jun 2003, 101–109.
- SILVA, A. M. Princípios Básicos de Hidrologia. Departamento de Engenharia. UFLA. Lavras - MG. 1995.
- SILVA, F. C. Análise integrada de usos de água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica: O caso do Alto Rio Parnaíba. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 188p, 2007.
- SILVA, R. K. O. Aspectos do Relevo e da Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Guaribas. XIV Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2013.

SILVEIRA, C. S., SOUZA FILHO, F. A. , LOPES, J. E. G., BARBOSA, P. S. F., TIEZZI, R. O. Análise das projeções de vazões nas bacias do setor elétrico brasileiro usando dados do IPCC-AR4 para o século XXI. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v . 19, n. 4, p. 59-71, 2014.

SILVEIRA, C. S., SOUZA FILHO, F. A. , COSTA, A. A., CABRAL, S. L. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP 8.5. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 28, n. 3, p.317-330, 2013

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.3, n.3, p.97-110. 1998.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 3. n. 3. p. 111-131. 1998.

SILVEIRA, C. S. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e Temperatura. RBRH vol. 21 no. 2 Porto Alegre abr./jun. 2016 p. 416 – 428.

SOARES FILHO, A. R.; LEAL, A. de S. Perfil Hidrogeológico do Município de Picos Piauí. (CPRM). 1997.

SOARES FILHO, A.R. Picos-perfil hidrogeológico do município. Teresina: CPRM. 38p. 1993.

SOUZA, J. A.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L.. Gestão das Águas Subterrâneas no Estado da Paraíba: Proposta de Modelos de Cobrança. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 15 (4): 121-132, 2010.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P.. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. - 2.ed.- São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 548p., 2000.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: BRAGA, B., REBOUÇAS, A. e TUNDISI, J. G. (orgs.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3.<sup>a</sup> ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 4.<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: ABRH/EDUFRGS, 2007.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos, SP: RiMa, 2003. 248 p.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Water and Sustainability - A Review of Targets, Tools and Regional Cases, 48 p., 2012.

UN-WATER – United Nations Water. Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief. [http://www.unwater.org/downloads/watersecurity\\_analyticalbrief.pdf](http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf) (acessado em 10/01/16).

VASCONCELOS S. M. S., TEIXEIRA Z. A.; CARNEIRO NETO, J. A.; LUNA, R. M. Estimativa da Reserva Renovável dos Sistemas Aquíferos da Porção Oriental da Bacia Sedimentar do Araripe. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 18, n.1,99-109. 2013.

VASCONCELOS, M. B.; LUZ, C. A.; CORREIA FILHO, F. L.; SOARES FILHO, A. R. S. Monitoramento de aquíferos: considerações metodológicas e situações no Nordeste do Brasil. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010.

VASCONCELOS, M. B.; SOUSA, N. G.; GENARO, D. T.; LUZ, C. A.; TUPINAMBÁ, M. K. F. Histórico das Perfurações de Poços Tubulares no Estado do Piauí. Revista de Geologia, vol. 27, n 2, p. 111-126, 2014.

VAZ, P. T. et al. Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263. 2007.

VEIGA, J. E. Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI. Rio de Janeiro: Garamond. 2<sup>a</sup> ed. 2006.

VERHAGEN, B.T.; MEBUS, M. A.; FRÖHLI, K.; WIRTH, K. Isotope hydrological methods for the quantitative evaluation of groundwater resources in arid and semiarid areas. Federal Ministry for Economic Cooperation, Bonn. Relatório. p 60 – 71. 1991.

VIDAL, C. L. R. Disponibilidade e gerenciamento sustentável do aquífero Serra Grande no município de Picos – Piauí. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. 2003.

VIEIRA, V. P. B.; VIEIRA, L. A. A. Recursos Hídricos e o Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido Nordeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., Recife, 1995. Anais. Vitória, ABRH, 1995. Vol. 2, p.17-23.

VIEIRA, V. P. P. B.; GONDIM FILHO, J. G. C.. Água no Semi-Árido. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil; capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 3.ed. p. 481-540, 2006.

VIEIRA, V. P. B. Água Doce no Semi-Árido. In: REBOUÇAS, A. C. et al. Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação. São Paulo, Escrituras Editora, 1999. p.509-532.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 245p, 1975.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto/ Marcos Von Sperling. - 2.ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VRIES, J. J.; SIMMERS, I.. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. Hydrogeology Journal, 10: 5-17, 2002.

WAHNFRIED, I; HIRATA, R. Comparação de métodos de estimativa de recarga de aquíferos em uma planície aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V.10. N.2, abr/Jun 2005. p15-25.

WARD,R.C. Y ROBINSON, M.: Principles of hydrology. Mc.Graw Hill, 365 p. 1990.

WINTER, T. C.; HARVEY, J. W.; FRANKE, O. L.; ALLEY, W. M. Groundwater and surface water: a single resource. U. S. Geological Survey Circular 1139. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/#pdf>>. 1998.

WOESSNER, W. W.. Stream and fluvial plain ground water interactions: Rescaling hydrogeologic thought. Ground Water, 38 (3): 423-429, 2000.

WRG – Water Resources Group. The Water Resources Group: Background, Impact and the Way Forward. 2030 Water Resources Group. [http://www3.weforum.org/docs/WEF/WRG\\_Background\\_Impact\\_and\\_Way\\_Forward.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF/WRG_Background_Impact_and_Way_Forward.pdf). 2012.

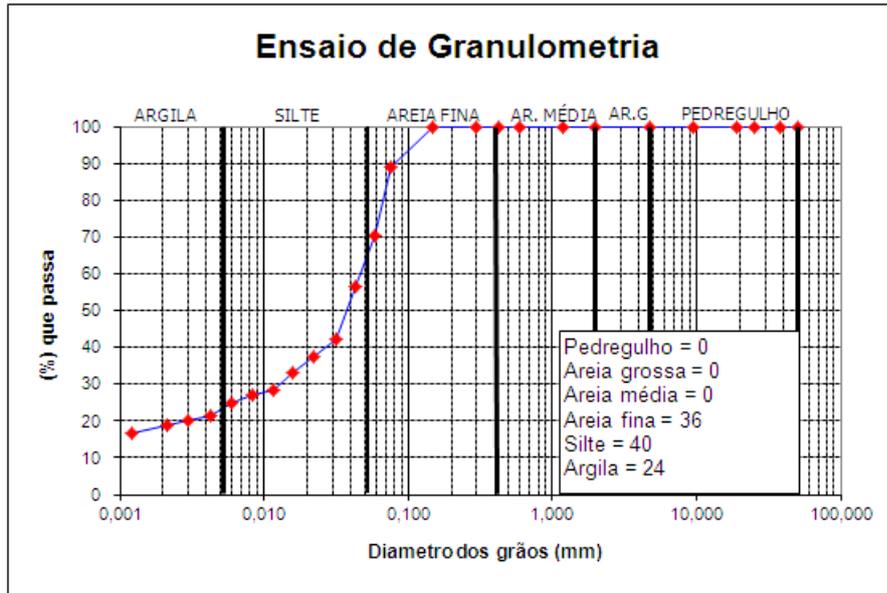
YAMANAKA, T., I. KAIHOTSU, D. OYUNBAATAR, T. GANBOLD: Summertime soil hydrological cycle and surface energy balance on the Mongolian steppe. *Journal Arid Environment*, v.69, p.65-79, 2007.

YASUNARI, T.: How did Mongolian grassland maintained? Preface of *ecological Climatology*. *Kagaku - Japan*, v.73, p.555-558, 2003.

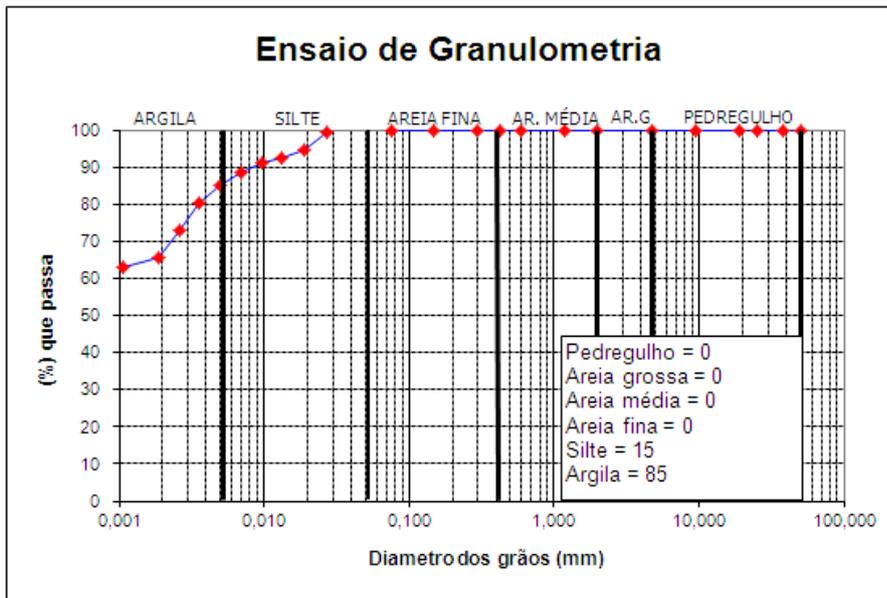
ZOBY, J.; MATOS, B.. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. *Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, 12, Florianópolis: ABAS, Anais, 19p., 2002.

APÊNDICES

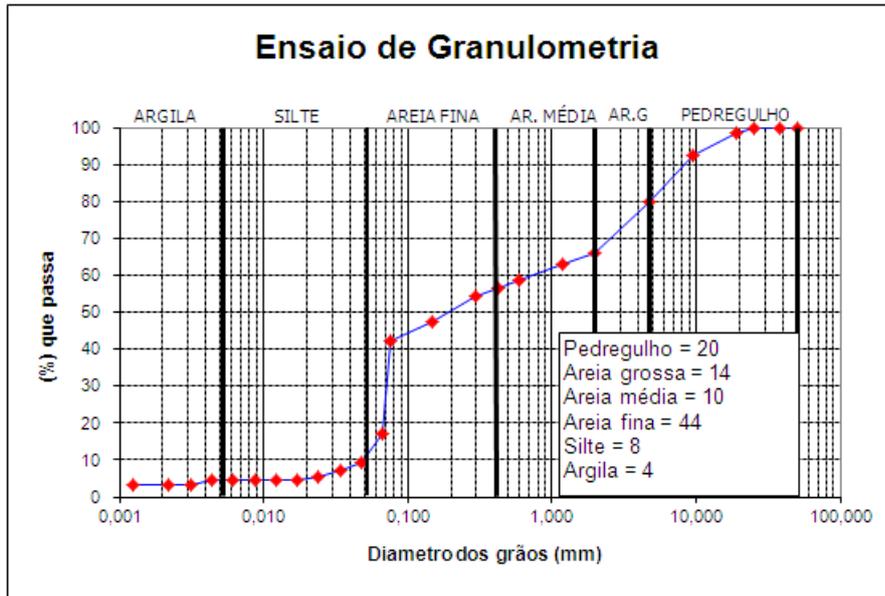
CURVAS GRANULOMÉTRICAS



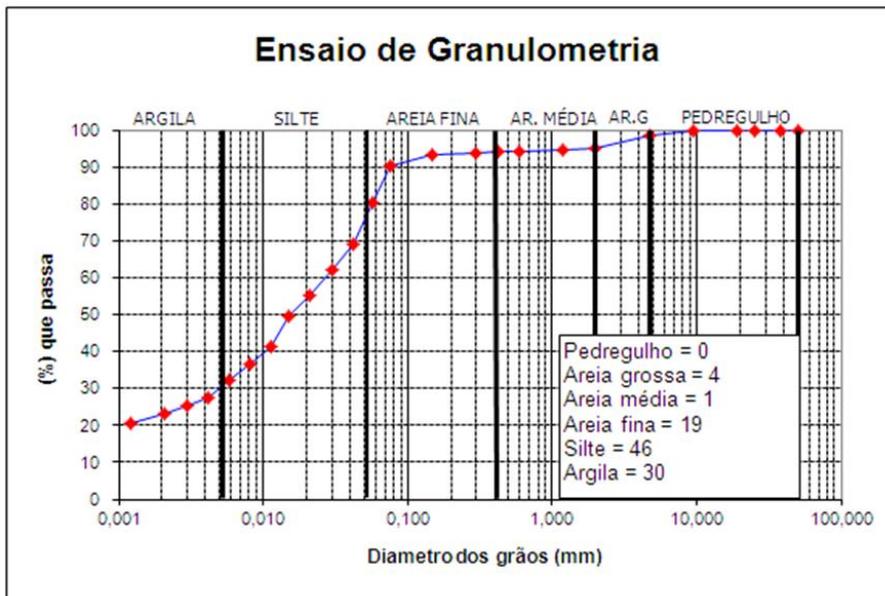
AMOSTRA: 1



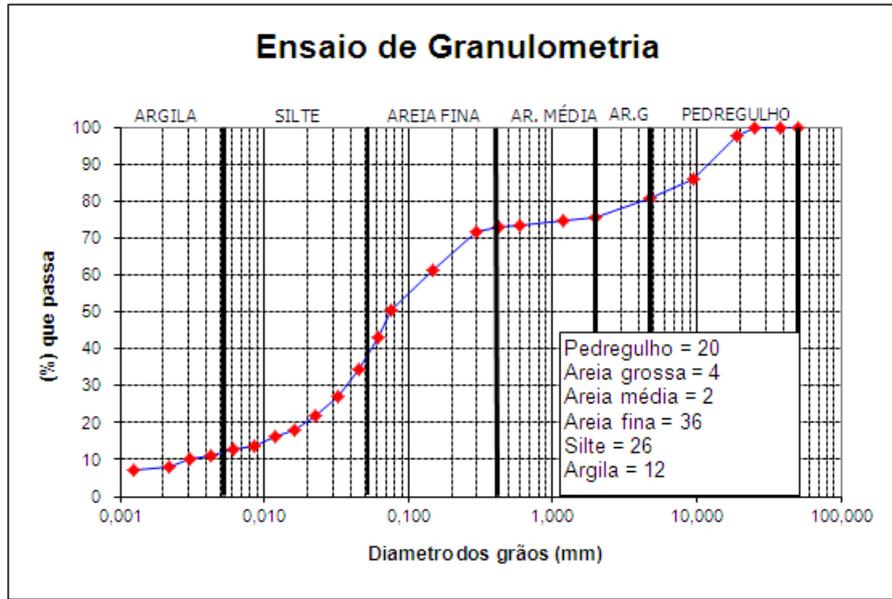
AMOSTRA: 3



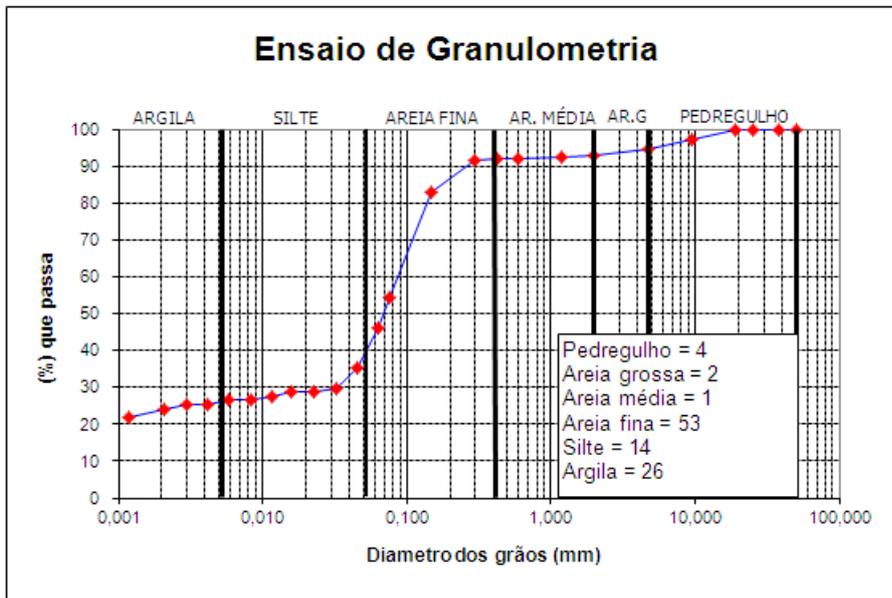
AMOSTRA: 4



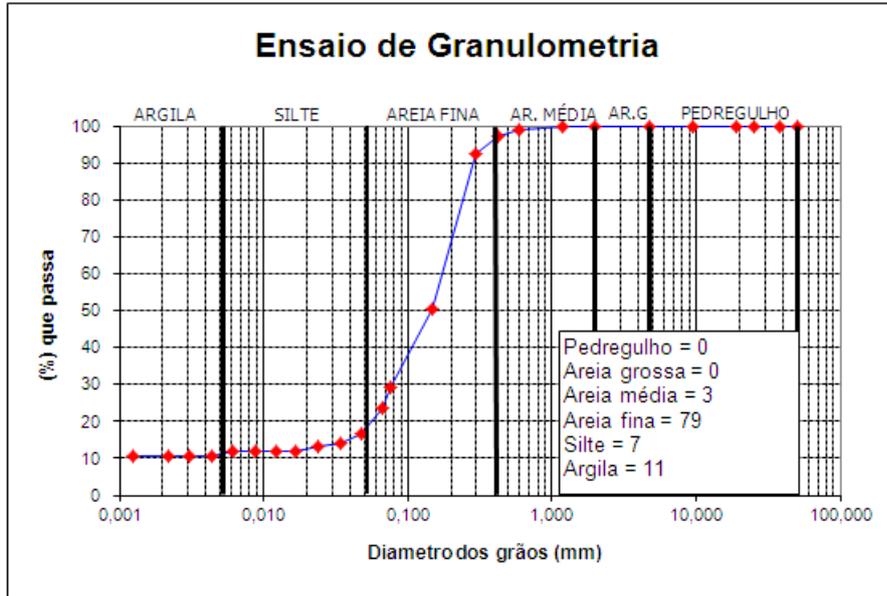
AMOSTRA: 6



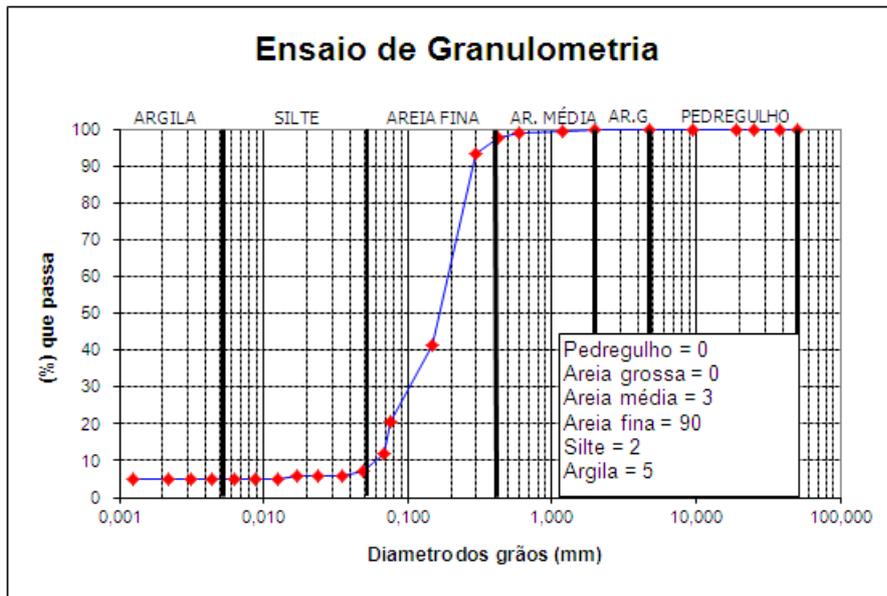
AMOSTRA: 7



AMOSTRA: 9



AMOSTRA: 11



AMOSTRA: 12

## PROJEÇÕES POPULACIONAIS DA CIDADE DE BOCAINA

<b>TOTAL</b>		<b>URBANA</b>		<b>RURAL</b>	
<b>1970</b>	3962	1970	913	1970	3049
<b>1980</b>	3786	1980	872	1980	2914
<b>1991</b>	3890	1991	1197	1991	2693
<b>1996</b>	4001	1996	1350	1996	2651
<b>2000</b>	4208	2000	1493	2000	2715
<b>2007</b>	4039	2007	1693	2007	2346
<b>2010</b>	4369	2010	1730	2010	2639
<b>2011</b>	4415	2011	1801	2011	2614
<b>2012</b>	4443	2012	1832	2012	2611
<b>2013</b>	4471	2013	1862	2013	2609
<b>2014</b>	4500	2014	1892	2014	2607
<b>2015</b>	4528	2015	1922	2015	2606
<b>2016</b>	4556	2016	1952	2016	2604
<b>2017</b>	4584	2017	1981	2017	2603
<b>2018</b>	4611	2018	2010	2018	2601
<b>2019</b>	4639	2019	2039	2019	2600
<b>2020</b>	4666	2020	2068	2020	2599
<b>2021</b>	4694	2021	2096	2021	2598
<b>2022</b>	4720	2022	2124	2022	2597
<b>2023</b>	4747	2023	2152	2023	2596
<b>2024</b>	4774	2024	2179	2024	2595
<b>2025</b>	4800	2025	2206	2025	2594
<b>2026</b>	4825	2026	2232	2026	2593
<b>2027</b>	4851	2027	2258	2027	2592
<b>2028</b>	4876	2028	2284	2028	2592
<b>2029</b>	4900	2029	2309	2029	2591
<b>2030</b>	4925	2030	2334	2030	2591
<b>2031</b>	4949	2031	2359	2031	2590
<b>2032</b>	4972	2032	2383	2032	2590
<b>2033</b>	4995	2033	2406	2033	2589
<b>2034</b>	5018	2034	2429	2034	2589
<b>2035</b>	5040	2035	2452	2035	2588
<b>2036</b>	5062	2036	2474	2036	2588
<b>2037</b>	5084	2037	2496	2037	2588
<b>2038</b>	5105	2038	2517	2038	2588
<b>2039</b>	5125	2039	2538	2039	2587
<b>2040</b>	5145	2040	2558	2040	2587
<b>2041</b>	5165	2041	2578	2041	2587
<b>2042</b>	5184	2042	2598	2042	2587
<b>2043</b>	5203	2043	2617	2043	2586
<b>2044</b>	5222	2044	2635	2044	2586

<b>2045</b>	5239	2045	2653	2045	2586
<b>2046</b>	5257	2046	2671	2046	2586
<b>2047</b>	5274	2047	2688	2047	2586
<b>2048</b>	5291	2048	2705	2048	2586
<b>2049</b>	5307	2049	2721	2049	2585
<b>2050</b>	5323	2050	2737	2050	2585
<b>2051</b>	5338	2051	2753	2051	2585
<b>2052</b>	5353	2052	2768	2052	2585
<b>2053</b>	5368	2053	2783	2053	2585
<b>2054</b>	5382	2054	2797	2054	2585
<b>2055</b>	5395	2055	2811	2055	2585
<b>2056</b>	5409	2056	2824	2056	2585
<b>2057</b>	5422	2057	2837	2057	2585
<b>2058</b>	5435	2058	2850	2058	2585
<b>2059</b>	5447	2059	2862	2059	2585
<b>2060</b>	5459	2060	2874	2060	2585
<b>2061</b>	5470	2061	2886	2061	2584
<b>2062</b>	5481	2062	2897	2062	2584
<b>2063</b>	5492	2063	2908	2063	2584
<b>2064</b>	5503	2064	2918	2064	2584
<b>2065</b>	5513	2065	2929	2065	2584
<b>2066</b>	5523	2066	2939	2066	2584

## PROJEÇÕES POPULACIONAIS DA CIDADE DE SUSSUAPARA

<b>TOTAL</b>		<b>URBANA</b>		<b>RURAL</b>	
<b>1970</b>		1970		1970	
<b>1980</b>		1980		1980	
<b>1991</b>		1991		1991	
<b>1996</b>	1013	1996	1013	1996	
<b>2000</b>	5042	2000	1191	2000	3851
<b>2007</b>	5537	2007	1414	2007	4123
<b>2010</b>	6235	2010	1582	2010	4653
<b>2011</b>	6963	2011	1601	2011	5362
<b>2012</b>	7280	2012	1639	2012	5641
<b>2013</b>	7598	2013	1678	2013	5920
<b>2014</b>	7915	2014	1716	2014	6198
<b>2015</b>	8232	2015	1755	2015	6477
<b>2016</b>	8549	2016	1794	2016	6755
<b>2017</b>	8865	2017	1832	2017	7033
<b>2018</b>	9182	2018	1871	2018	7311
<b>2019</b>	9498	2019	1909	2019	7589
<b>2020</b>	9814	2020	1948	2020	7867
<b>2021</b>	10131	2021	1986	2021	8144
<b>2022</b>	10446	2022	2025	2022	8422
<b>2023</b>	10762	2023	2063	2023	8699
<b>2024</b>	11078	2024	2102	2024	8976
<b>2025</b>	11393	2025	2140	2025	9253
<b>2026</b>	11708	2026	2178	2026	9530
<b>2027</b>	12024	2027	2217	2027	9807
<b>2028</b>	12339	2028	2255	2028	10083
<b>2029</b>	12653	2029	2294	2029	10360
<b>2030</b>	12968	2030	2332	2030	10636
<b>2031</b>	13283	2031	2370	2031	10912
<b>2032</b>	13597	2032	2408	2032	11188
<b>2033</b>	13911	2033	2447	2033	11464
<b>2034</b>	14225	2034	2485	2034	11740
<b>2035</b>	14539	2035	2523	2035	12016
<b>2036</b>	14853	2036	2561	2036	12291
<b>2037</b>	15166	2037	2600	2037	12567
<b>2038</b>	15480	2038	2638	2038	12842
<b>2039</b>	15793	2039	2676	2039	13117
<b>2040</b>	16106	2040	2714	2040	13392
<b>2041</b>	16419	2041	2752	2041	13667
<b>2042</b>	16732	2042	2790	2042	13942
<b>2043</b>	17044	2043	2828	2043	14216
<b>2044</b>	17357	2044	2866	2044	14491
<b>2045</b>	17669	2045	2904	2045	14765
<b>2046</b>	17982	2046	2942	2046	15039

<b>2047</b>	18294	2047	2980	2047	15313
<b>2048</b>	18605	2048	3018	2048	15587
<b>2049</b>	18917	2049	3056	2049	15861
<b>2050</b>	19229	2050	3094	2050	16134
<b>2051</b>	19540	2051	3132	2051	16408
<b>2052</b>	19851	2052	3170	2052	16681
<b>2053</b>	20163	2053	3208	2053	16955
<b>2054</b>	20474	2054	3246	2054	17228
<b>2055</b>	20784	2055	3284	2055	17501
<b>2056</b>	21095	2056	3322	2056	17773
<b>2057</b>	21406	2057	3359	2057	18046
<b>2058</b>	21716	2058	3397	2058	18319
<b>2059</b>	22026	2059	3435	2059	18591
<b>2060</b>	22336	2060	3473	2060	18864
<b>2061</b>	22646	2061	3510	2061	19136
<b>2062</b>	22956	2062	3548	2062	19408
<b>2063</b>	23266	2063	3586	2063	19680
<b>2064</b>	23575	2064	3624	2064	19951
<b>2065</b>	23884	2065	3661	2065	20223
<b>2066</b>	24194	2066	3699	2066	20495

## PROJEÇÕES POPULACIONAIS DA CIDADE DE PICOS

<b>TOTAL</b>		<b>URBANA</b>		<b>RURAL</b>	
<b>1970</b>	52757	1970	18263	1970	34494
<b>1980</b>	71018	1980	33129	1980	37889
<b>1991</b>	78409	1991	45571	1991	32838
<b>1996</b>	75953	1996	47507	1996	28446
<b>2000</b>	68974	2000	52547	2000	16427
<b>2007</b>	70450	2007	54648	2007	15802
<b>2010</b>	73417	2010	58295	2010	15122
<b>2011</b>	77279	2011	57986	2011	19294
<b>2012</b>	77721	2012	58541	2012	19180
<b>2013</b>	78166	2013	59102	2013	19064
<b>2014</b>	78612	2014	59668	2014	18944
<b>2015</b>	79062	2015	60240	2015	18822
<b>2016</b>	79514	2016	60817	2016	18697
<b>2017</b>	79968	2017	61399	2017	18569
<b>2018</b>	80425	2018	61987	2018	18438
<b>2019</b>	80885	2019	62581	2019	18304
<b>2020</b>	81347	2020	63181	2020	18167
<b>2021</b>	81812	2021	63786	2021	18026
<b>2022</b>	82280	2022	64397	2022	17883
<b>2023</b>	82750	2023	65014	2023	17736
<b>2024</b>	83223	2024	65637	2024	17587
<b>2025</b>	83699	2025	66265	2025	17434
<b>2026</b>	84178	2026	66900	2026	17277
<b>2027</b>	84659	2027	67541	2027	17118
<b>2028</b>	85143	2028	68188	2028	16955
<b>2029</b>	85629	2029	68841	2029	16788
<b>2030</b>	86119	2030	69501	2030	16618
<b>2031</b>	86611	2031	70166	2031	16445
<b>2032</b>	87106	2032	70839	2032	16268
<b>2033</b>	87604	2033	71517	2033	16087
<b>2034</b>	88105	2034	72202	2034	15903
<b>2035</b>	88609	2035	72894	2035	15715
<b>2036</b>	89115	2036	73592	2036	15523
<b>2037</b>	89624	2037	74297	2037	15327
<b>2038</b>	90137	2038	75009	2038	15128
<b>2039</b>	90652	2039	75727	2039	14925
<b>2040</b>	91170	2040	76453	2040	14717
<b>2041</b>	91691	2041	77185	2041	14506
<b>2042</b>	92216	2042	77925	2042	14291
<b>2043</b>	92743	2043	78671	2043	14072
<b>2044</b>	93273	2044	79425	2044	13848
<b>2045</b>	93806	2045	80185	2045	13620
<b>2046</b>	94342	2046	80954	2046	13389

<b>2047</b>	94881	2047	81729	2047	13152
<b>2048</b>	95424	2048	82512	2048	12912
<b>2049</b>	95969	2049	83302	2049	12667
<b>2050</b>	96518	2050	84100	2050	12418
<b>2051</b>	97070	2051	84906	2051	12164
<b>2052</b>	97624	2052	85719	2052	11905
<b>2053</b>	98183	2053	86540	2053	11642
<b>2054</b>	98744	2054	87369	2054	11374
<b>2055</b>	99308	2055	88206	2055	11102
<b>2056</b>	99876	2056	89051	2056	10825
<b>2057</b>	100447	2057	89904	2057	10542
<b>2058</b>	101021	2058	90766	2058	10255
<b>2059</b>	101598	2059	91635	2059	9963
<b>2060</b>	102179	2060	92513	2060	9666
<b>2061</b>	102763	2061	93399	2061	9364
<b>2062</b>	103351	2062	94294	2062	9057
<b>2063</b>	103942	2063	95197	2063	8744
<b>2064</b>	104536	2064	96109	2064	8427
<b>2065</b>	105133	2065	97030	2065	8104
<b>2066</b>	105734	2066	97959	2066	7775

## CÁLCULO DA DEMANDA HÍDRICA TOTAL

Ano	População	Ip (%)	q (L/hab.dia)	IA (%)	Demanda Média (L/s)	Demanda Média Com Perdas (L/s)	Demanda Máxima Diária (L/s)	Demanda Máxima Horária (L/s)	Consumo Anual (m3/ano)
									P*q*30*12
2011	88657	48%	200	100%	205	395	474	710	6383324
2012	89445	48%	200	100%	207	398	478	717	6440020
2013	90235	48%	200	100%	209	402	482	723	6496886
2014	91027	48%	200	100%	211	405	486	729	6553922
2015	91821	48%	200	100%	213	409	490	736	6611126
2016	92618	48%	200	100%	214	412	495	742	6668497
2017	93417	48%	200	100%	216	416	499	749	6726034
2018	94219	48%	200	100%	218	419	503	755	6783736
2019	95022	48%	200	100%	220	423	508	761	6841602
2020	95828	48%	200	100%	222	427	512	768	6899632
2021	96636	48%	200	100%	224	430	516	774	6957825
2022	97447	48%	200	100%	226	434	521	781	7016180
2023	98260	48%	200	100%	227	437	525	787	7074697
2024	99075	48%	200	100%	229	441	529	794	7133375
2025	99892	48%	200	100%	231	445	534	800	7192216
2026	100711	48%	200	100%	233	448	538	807	7251218
2027	101533	48%	200	100%	235	452	542	814	7310381
2028	102357	48%	200	100%	237	456	547	820	7369706
2029	103183	48%	200	100%	239	459	551	827	7429192
2030	104012	48%	200	100%	241	463	556	833	7488841
2031	104842	48%	200	100%	243	467	560	840	7548652
2032	105675	48%	200	100%	245	470	565	847	7608626
2033	106511	48%	200	100%	247	474	569	853	7668763
2034	107348	48%	200	100%	248	478	573	860	7729064

<b>2035</b>	108188	48%	200	100%	250	482	578	867	7789530
<b>2036</b>	109030	48%	200	100%	252	485	582	874	7850162
<b>2037</b>	109874	48%	200	100%	254	489	587	880	7910960
<b>2038</b>	110721	48%	200	100%	256	493	591	887	7971925
<b>2039</b>	111570	48%	200	100%	258	497	596	894	8033059
<b>2040</b>	112422	48%	200	100%	260	500	601	901	8094362
<b>2041</b>	113275	48%	200	100%	262	504	605	908	8155835
<b>2042</b>	114132	48%	200	100%	264	508	610	915	8217481
<b>2043</b>	114990	48%	200	100%	266	512	614	921	8279299
<b>2044</b>	115851	48%	200	100%	268	516	619	928	8341292
<b>2045</b>	116715	48%	200	100%	270	520	623	935	8403461
<b>2046</b>	117581	48%	200	100%	272	523	628	942	8465806
<b>2047</b>	118449	48%	200	100%	274	527	633	949	8528331
<b>2048</b>	119320	48%	200	100%	276	531	637	956	8591035
<b>2049</b>	120193	48%	200	100%	278	535	642	963	8653921
<b>2050</b>	121069	48%	200	100%	280	539	647	970	8716990
<b>2051</b>	121948	48%	200	100%	282	543	651	977	8780245
<b>2052</b>	122829	48%	200	100%	284	547	656	984	8843686
<b>2053</b>	123713	48%	200	100%	286	551	661	991	8907315
<b>2054</b>	124599	48%	200	100%	288	555	666	998	8971134
<b>2055</b>	125488	48%	200	100%	290	559	670	1006	9035145
<b>2056</b>	126380	48%	200	100%	293	563	675	1013	9099349
<b>2057</b>	127274	48%	200	100%	295	567	680	1020	9163749
<b>2058</b>	128171	48%	200	100%	297	571	685	1027	9228346
<b>2059</b>	129071	48%	200	100%	299	575	689	1034	9293142
<b>2060</b>	129974	48%	200	100%	301	579	694	1041	9358139
<b>2061</b>	130880	48%	200	100%	303	583	699	1049	9423339
<b>2062</b>	131788	48%	200	100%	305	587	704	1056	9488743
<b>2063</b>	132699	48%	200	100%	307	591	709	1063	9554354
<b>2064</b>	133614	48%	200	100%	309	595	714	1071	9620173

<b>2065</b>	134531	48%	200	100%	311	599	719	1078	9686203
<b>2066</b>	135451	48%	200	100%	314	603	724	1085	9752446