

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA HIDRÁULICA**

**ESTIMATIVA DA TAXA DE RECARGA DA BACIA SEDIMENTAR DO  
RIO DO PEIXE (PB) PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GRACIELI LOUISE MONTEIRO BRITO**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2007**

**GRACIELI LOUISE MONTEIRO BRITO**

**ESTIMATIVA DA TAXA DE RECARGA DA BACIA SEDIMENTAR DO  
RIO DO PEIXE (PB) PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO**

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil e Ambiental – Área de Concentração  
Engenharia Hidráulica para obtenção do  
Título de Mestre em Engenharia Civil e  
Ambiental

**Orientador: Prof. Dr. Hans Dieter Max Schuster**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**AGOSTO de 2007**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B862e

2007 Brito, Gracieli Louise Monteiro.

Estimativa da taxa de recarga na bacia sedimentar do Rio do Peixe (PB) pelo método do balanço hídrico / Gracieli Louise Monteiro Brito. — Campina Grande, 2007.

135f. : il

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Dr. Hans Diexter Max Schuster.

1. BALSEQ. 2. Recarga de aquíferos. 3. Água Subterrânea. I. Título.

CDU- 556.143:556.332.6(043)

**ESTIMATIVA DA TAXA DE RECARGA NA BACIA SEDIMENTAR DO  
RIO DO PEIXE (PB) PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO**

**GRACIELI LOUISE MONTEIRO BRITO**

**Dissertação Aprovada em 03 de Agosto de 2007**



---

**PROF. Dr. HANS DIETER MAX SCHUSTER**

**ORIENTADOR**



---

**PROF. Dr. JOSÉ GEILSON ALVES DEMÉTRIO**

**EXAMINADOR**



---

**PROF. PhD. VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN**

**EXAMINADOR**

**CAMPINA GRANDE**

**AGOSTO de 2007**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meu pais, José Elísio Ferreira Brito e M<sup>a</sup> Graciéte Monteiro Brito por todo amor e incentivo, e a todas as pessoas que ofereceram carinho e estímulo. Dedico-lhes esta conquista.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, em sua Trindade Santa, pela força sempre presente em minha vida, pela luz mostrando o caminho a seguir;

Aos meus pais Elísio e Graciéte, irmãos e irmãs, Dida e Julianne, meu namorado Fábio pela compreensão que tiveram comigo principalmente nos momentos em que estive ausente do seu convívio, estudando, pesquisando para a realização dessa pesquisa;

Ao professor Hans Dieter Max Schuster pela orientação e paciência ao longo do desenvolvimento da dissertação;

Aos colegas Rosenílton (Maracuxá), Júlio Kunzler (Tchê), Paulo, Marcos Júnior, Laércio, João e Whelson pelo auxílio nos trabalhos, amizade e parceria;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG e seus professores, pela oportunidade e as contribuições para o meu desenvolvimento profissional;

Aos funcionários do laboratório, Ismael, Aurezinha, Haroldo, Raul, Vera e Lindimar;

Ao São Migo, que me acompanha ao longo da minha jornada de vida, Kaline, Andressa, Urbano, Fábio, Silvy, Bruna, Pollyana, Kelly, entre outros;

Aos demais amigos que conquistei e com quem aprendi, Neto, Marcelinha Vilar, Milena, Rojeane, Fabiano, que apesar da distância, o carinho e o respeito sempre estiveram presentes;

Enfim agradeço a todos aqueles que fizeram, de uma forma ou de outra, parte da caminhada neste trabalho;

Agradeço também à FINEP e ao CNPq/CT-Hidro, pela concessão de bolsa para realização dessa pesquisa.

*“Se teus esforços forem vistos com indiferença,  
nunca desanimes, pois o sol, ao nascer, dá o maior espetáculo e,  
mesmo assim, a maioria da platéia continua dormindo.”*

(Autor desconhecido)

## RESUMO

Para o gerenciamento integrada das bacias hidrográficas é fundamental o uso racional dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Geralmente, nas regiões que ocorre a escassez da água, a exploração das águas subterrâneas tende a ser super exploradas. Entretanto, no longo prazo esta pratica é insustentável e apenas a política em que a exploração esteja vinculada com a recarga seria apropriada. A sua reposição ocorre através da infiltração e percolação das águas das chuvas, o chamado processo de recarga de um aquífero. Este trabalho tem como objetivo aplicar dois modelos de balanço hídrico para estimar a taxa de recarga na bacia sedimentar do Rio do Peixe localizada no interior do estado da Paraíba. O primeiro modelo baseia-se método de Thornthwaite & Mather (1955) que ocorre me função dos parâmetros climatológicos para monitorar a variação do armazenamento de água no solo. O segundo modelo selecionado é o modelo de Balanço Hídrico Seqüencial Diário (BALSEQ) – uma combinação do modelo do tipo lisímetro virtual incorporado ao método de número de curvas (CN) aplicado pelo U.S. Soil Conservation Service (SCS) para estimar a taxa de recarga anual. Foram utilizados dados de precipitação e evapotranspiração no período de janeiro de 2004 à julho de 2007 da área de estudo.

Os resultados do método de Thornthwaite & Mather não são muitas vezes bem compatíveis com os resultados do modelo BALSEQ.

**Palavras-chaves:** BALSEQ, Recarga de aquíferos e Água Subterrânea

## ABSTRACT

Integrated management of hydrologic basins with respect to the water resources necessitates a rational usage of its surface and ground water resources. Generally, in regions of scarcity of water, the groundwater tends to be over exploited and such practices are unsustainable in the long term. The groundwater exploitation will be sustainable only if it is closely linked to the recharge of the aquifer. This paper deals with the estimation of annual groundwater recharge in the Rio Peixe river basin located in the semiarid region of the northeast of Brazil. The study uses two methods: (1) the first is the method of Thornthwaite & Mather (1955) to monitor the variation of water storage in the soil layer; (2) as a second a model of daily sequential water balance (BALSEQ) which combines a virtual lysimeter model together with the CN (curve number) method applied by the uses observed climatological data of the period 2004 – 2007.

Sometimes, the results of the method of Thornthwaite & Mather (1955) are not well compatible with the results of the BALSEQ method.

**Key words:** BALSEQ, Recharge of aquifers and Groundwater.

# SUMÁRIO

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1.0</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                   | <b>2</b>  |
| 1.1        | Objetivo geral.....                                       | 3         |
| 1.2        | Objetivos específicos.....                                | 3         |
| 1.3        | Etapas da dissertação .....                               | 4         |
| <b>2.0</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                        | <b>6</b>  |
| 2.1        | Ciclo Hidrológico Global .....                            | 6         |
| 2.2        | Ciclo Hidrológico Regional.....                           | 9         |
| 2.3        | Ciclo Hidrológico Local .....                             | 10        |
| 2.4        | Ciclo Hidrológico Pontual.....                            | 11        |
| 2.4.1      | Modelo Simples de Balanço de Teor de Umidade .....        | 11        |
| 2.5        | Recarga .....   | 13        |
| 2.5.1      | Processos de Recarga.....                                 | 15        |
| 2.5.2      | Métodos para Estimativa da Taxa de Recarga.....           | 16        |
| 2.6        | Modelos de Balanço Hídrico.....                           | 19        |
| 2.6.1      | Método de Thornthwaite & Mather.....                      | 21        |
| 2.6.2      | Modelo de Balanço Hídrico Sequencial Diário (BALSEQ)..... | 22        |
| <b>3.0</b> | <b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>                               | <b>24</b> |
| 3.1        | Solos .....   | 27        |
| 3.2        | Uso atual e cobertura vegetal .....                       | 30        |
| 3.3        | Classes de capacidade de uso das terras.....              | 30        |
| 3.4        | Usos das águas subterrâneas .....                         | 31        |
| <b>4.0</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                                   | <b>33</b> |
| 4.1        | Evapotranspiração Potencial.....                          | 33        |
| 4.2        | Método do Balanço Hídrico de Thornthwaite & Mather .....  | 33        |
| 4.3        | Modelo BALSEQ .....                                       | 36        |
| 4.3.1      | Etapas para Estimativa da Taxa de Recarga.....            | 36        |
| 4.3.2      | Precipitação Média .....                                  | 38        |
| 4.3.3      | Evapotranspiração .....                                   | 40        |
| 4.3.4      | Escoamento Direto .....                                   | 40        |
| 4.3.4.1    | Grupos Hidrológicos .....                                 | 41        |
| 4.3.4.2    | Cobertura do Solo.....                                    | 42        |
| 4.3.4.3    | Condições Antecedentes de Umidade do Solo.....            | 43        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 4.3.4.4    | Cálculo do Escoamento Superficial ou Direto .....                                    | 45         |
| 4.3.4.5    | Cálculo do Coeficiente de Escoamento .....   | 45         |
| 4.3.5      | Demais parâmetros do modelo .....  | 46         |
| 4.3.6      | Recarga Média.....   | 46         |
| <b>5.0</b> | <b>RESULTADOS .....</b>  | <b>49</b>  |
| <b>5.1</b> | <b>Ambiente Computacional .....</b>  | <b>49</b>  |
| <b>5.2</b> | <b>Divisão das Sub- bacias .....</b>   | <b>49</b>  |
| <b>5.3</b> | <b>Modelo de Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite &amp; Mather .....</b>          | <b>50</b>  |
| <b>5.4</b> | <b>Modelo BALSEQ .....</b>   | <b>68</b>  |
| <b>6.0</b> | <b>DISCUSSÃO .....</b>   | <b>91</b>  |
| <b>7.0</b> | <b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>   | <b>95</b>  |
| <b>8.0</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>98</b>  |
|            | <b>APÊNDICES .....</b>   | <b>105</b> |
|            | <b>Apêndice A - Dados de Precipitação nas Estações Pluviométricas .....</b>          | <b>105</b> |
|            | <b>Apêndice B - Dados Diários de Temperatura e Evapotranspiração Potencial. ....</b> | <b>108</b> |
|            | <b>Apêndice C - Resultados do Método de Thornthwaite &amp; Mather .....</b>          | <b>112</b> |
|            | <b>Apêndice D - Programa BALSEQ (MATLAB™).....</b>                                   | <b>120</b> |
|            | <b>Apêndice E - Resultados do Modelo BALSEQ .....</b>                                | <b>123</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2. 1 – Descrição representativa das fases associadas ao ciclo hidrológico ou ciclo da água.....  | 8  |
| Figura 2. 2 – Secção transversal de uma bacia hidrográfica com as variáveis hidrológicas envolvidas no seu balanço hídrico.....   | 10 |
| Figura 2. 3 – Conceito do modelo de balanço hídrico pontual.....  | 12 |
| Figura 2. 4 – Modelo esquemático de um tanque linear. ....  | 12 |
| Figura 2. 5 – Mecanismo de recarga para regiões secas (Fonte: Lerner et al., 1990). ....  | 16 |
| Figura 3. 1 – Localização da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe no estado da Paraíba.....   | 24 |
| Figura 3. 2 – Distribuição espacial da precipitação, em mm, na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. ....   | 26 |
| Figura 3. 3 - Horizontes aquíferos: a) Aluvião, b) Formação Antenor Navarro, c) Formação Rio Piranhas e d) Formação Sousa. ....   | 26 |
| Figura 4. 1 - Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ (Fonte: Paralta et. al, 2003).....                                       | 39 |
| Figura 4. 2 – Caracterização do tipo de solo (A, B, C e D) em função do teor de argila, silte e areia (Fonte: Lança,2007). ....   | 42 |
| Figura 5. 1– Bacia Sedimentar do Rio do Peixe com as 11 estações pluviométricas e suas respectivas áreas de influências.....  | 49 |
| Figura 5. 2 – Precipitação média mensal da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe.....  | 51 |
| Figura 5. 3 – Variação espacial da pluviometria total em mm na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe: A) no ano de 2004; B) no ano de 2005; C) no ano de 2006; D) no ano de 2007. .... | 52 |
| Figura 5. 4 – Relação mensal da evapotranspiração (ETP) na Bacia Sedimentar Rio do Peixe pelo método de Thornthwaite. ....  | 53 |
| Figura 5. 5 - Precipitação e evapotranspiração potencial mensal nos anos de 2004 a 2007. ...  | 54 |
| Figura 5. 6 – Resultados mensais do método de Thornthwaite & Mather para estação pluviométrica Antenor Navarro no ano de 2006. ....   | 57 |
| Figura 5. 7– Curvas do extrato do balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather da estação Antenor Navarro para os anos de 2004 -2007. ....                                       | 58 |
| Figura 5. 8 - Taxas mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico nas sub-bacias no ano de 2004.....                         | 61 |
| Figura 5. 9 - Taxas mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico nas sub-bacias no ano de 2005.....                         | 62 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5. 10 - Taxas mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico nas sub-bacias no ano de 2006.....                                | 63 |
| Figura 5. 11 - Taxas mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico nas sub-bacias no ano de 2007.....                                | 64 |
| Figura 5. 12 - As taxas médias anuais em [mm] da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico das sub-bacias nos anos de 2004 até 2007.....    | 65 |
| Figura 5. 13 – Comparação dos valores médios calculados da precipitação, do excedente hídrico e do déficit hídrico na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe no período de 2004 à 2007. ....    | 66 |
| Figura 5. 14 – Variação espacial do excedente hídrico pelo método de Thornthwaite & Mather para: A) ano 2004; B) ano 2005; C) ano 2006 e D) ano 2007.....                                 | 67 |
| Figura 5. 15 - Caracterização litológica (tipo do solo) da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (Fonte: CPRM/UFCG, 2005). ....  | 70 |
| Figura 5. 16 – Caracterização da classe do uso de solo da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (Fonte: PERH, 2006). ....  | 70 |
| Figura 5. 17 – Mapa-base sem considerar os aluviões, com o polígono de Thiessen (Cenário 1).....  | 71 |
| Figura 5. 18 - Mapa base com os aluviões e o polígono de Thiessen (Cenário 2).....  | 71 |
| Figura 5. 19 – Resultado da recarga mensal das estações pluviométricas calculada pelo modelo BALSEQ para o ano de 2006 nos dois cenários estudados na bacia sedimentar Rio do Peixe. .... | 78 |
| Figura 5. 20 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e do cenário 2 nas três sub-bacias no ano de 2004.....   | 81 |
| Figura 5. 21 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e cenário 2 das sub-bacias no ano de 2005.....   | 82 |
| Figura 5. 22 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e cenário 2 das sub-bacias no ano de 2006.....   | 83 |
| Figura 5. 23 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e cenário 2 das sub-bacias no ano de 2007.....   | 84 |
| Figura 5. 24 - Taxas de recarga anuais (2004-2007) das Sub-Bacias para cenário 1 e cenário 2. ....  | 85 |
| Figura 5. 25 – Distribuição espacial da recarga na Bacia Sedimentar Rio do Peixe para o cenário 1 : A) no ano de 2004; B) no ano de 2005; C) no ano de 2006 e D) no ano de 2007..         | 87 |

Figura 5. 26 – Distribuição espacial da recarga na Bacia Sedimentar Rio do Peixe para o cenário 2 : A) no ano de 2004; B) no ano de 2005; C) no ano de 2006 e D) no ano de 2007.. 88

Figura 5. 27 – Gráfico comparativo da recarga média por sub-bacia através dos métodos utilizados para período de 2004 à 2007 na bacia sedimentar Rio do Peixe..... 89

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2. 1 - Período de renovação da água em diferentes reservatórios na Terra .....   | 6  |
| Tabela 2. 2 – Adequação de métodos de estimativa de recarga .....   | 19 |
| Tabela 3. 1 – Precipitação Média Anual dos Postos Pluviométricos da região.....   | 25 |
| Tabela 4. 1 – Valores do armazenamento do solo quando ARM = 100mm. ....   | 35 |
| Tabela 4. 2 – Caracterização do solo .....  | 42 |
| Tabela 4. 3 – Valores do parâmetro CN para bacias rurais (Fonte: Tucci, 1993).....  | 43 |
| Tabela 4. 4 – Valores do parâmetro CN para bacias urbanas e suburbanas (Fonte: Tucci, 1993)<br>.....  | 44 |
| Tabela 4. 5 - Condições antecedentes de umidade do solo. (Fonte: Tucci, 1993) .....   | 44 |
| Tabela 5. 1 - Divisão das Sub-Bacias em áreas de influência das estações pluviométricas.....  | 50 |
| Tabela 5. 2– Resultados mensais do método de Thornthwaite & Mather para estação<br>pluviométrica Antenor Navarro no ano de 2006 .....                         | 56 |
| Tabela 5. 3 – Resultado do excedente hídrico e déficit hídrico total anual das estações em mm<br>.....  | 59 |
| Tabela 5. 4 – Precipitação, Evapotranspiração Potencial, Excedente Hídrico e Déficit Hídrico<br>mensais das Sub-Bacias nos anos de 2004 até 2007 .....        | 60 |
| Tabela 5. 5 - Precipitação, Evapotranspiração Potencial, Excedente Hídrico e Déficit Hídrico<br>médios anuais das Sub-Bacias nos anos de 2004 até 2007.....   | 65 |
| Tabela 5. 6 - Precipitação, Evapotranspiração Potencial, Excedente Hídrico e Déficit Hídrico<br>médios anuais das Sub-Bacias nos anos de 2004 até 2007.....   | 68 |
| Tabela 5. 7 – Áreas dos polígonos das estações pluviométricas instaladas nas três Sub-Bacias<br>sem considerar os aluviões (Fig. 5.17) .....                  | 69 |
| Tabela 5. 8 – Áreas dos polígonos das estações pluviométricas instaladas nas três Sub-Bacias<br>considerando os aluviões (Fig. 5.18).....                     | 69 |
| Tabela 5. 9 – Valor do CNII para o cálculo do escoamento direto .....   | 73 |
| Tabela 5. 10 - Parâmetros da capacidade de campo, Cc, do ponto de murchimento, PM,<br>profundidade de raiz, Rp e AGUT em função das Formações Geológicas..... | 73 |
| Tabela 5. 11 - Parâmetro AGUT em função da geologia da área de estudo. ....   | 73 |
| Tabela 5. 12 - Parâmetro AGUT para cada estação pluviométrica. ....   | 74 |
| Tabela 5. 13 – Resultados do modelo BALSEQ, cenário 1, no ano de 2006 para todas as<br>estações pluviométricas consideradas no estudo .....                   | 75 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 5. 14 - Recarga Médias Mensais [mm] nas Sub-Bacias nos anos de 2004 a 2007 obtidas pelo modelo BALSEQ .....   | 80 |
| Tabela 5. 15 - Taxas de recarga anuais (2004-2007) das Sub-Bacias e médias na bacia para cenário 1 e cenário 2 ..... | 85 |

**Capítulo**

**1**

---

**INTRODUÇÃO**

## 1.0 INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso natural imprescindível para a vida e para a integridade dos ecossistemas, representando mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do globo.

No entanto, a água subterrânea não é inesgotável e, como qualquer recurso natural, tem que ser conservada e usada adequadamente para assegurar a disponibilidade no futuro. A sua reposição ocorre através da infiltração das águas das chuvas, processo este, denominado de recarga.

Entendendo-se as leis gerais que governam a distribuição e circulação da água e coletando-se dados básicos para o balanço hídrico em bacias hidrográficas, em continentes e no planeta como um todo, pode-se mais adequadamente racionalizar e proteger os corpos hídricos da Terra. O balanço hídrico, além da evapotranspiração potencial, possibilita estimar a evapotranspiração real, a disponibilidade hídrica, a deficiência hídrica e as fases de reposição e retirada de água no solo.

Sabe-se que um dos maiores problemas das regiões semi-áridas do mundo é a irregularidade das chuvas conjuntamente com a ocorrência de elevadas temperaturas, ocasionando grandes taxas de deficiências hídricas provocando grandes impactos sociais.

No Brasil e no mundo, a questão do gerenciamento de recursos hídricos se tornou vital para o desenvolvimento sustentável. Com o aumento da população mundial, a demanda por produtos agrícolas e industriais aumentou e, conseqüentemente, a utilização da água em lavouras irrigadas, indústria e na geração de energia elétrica tornou-se bem maior.

Neste contexto, dentre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, destaca-se o desenvolvimento sustentável, o qual visa assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade da água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, bem como a utilização racional e integrada desses recursos.

A recarga das águas subterrâneas é um fator determinante nos estudos hidrogeológicos e na gestão das extrações de água subterrânea, tendo em vista a definição de um valor de extração seguro (em termos de manutenção, a longo prazo, da quantidade e da qualidade da água).

A quantificação da recarga de águas subterrâneas é um processo estimativo, uma vez que não é passível de ser medido diretamente, e existem normalmente dificuldades no que concerne à validação dos resultados obtidos pela aplicação de qualquer método. Devido a esta

complexidade inerente de tratar o problema de recarga, existem vários métodos com resultados, mais ou menos confiáveis para fazer uma boa estimativa da recarga da água subterrânea. (Oliveira et. al, 2004b)

A primeira fase de avaliação da recarga aquífera consiste na disponibilidade de informações relativa a diversos parâmetros do sistema, seja como dados climáticos, hidrológicos, geomorfológicos, geológicos e ocupação do solo, uma vez que a cobertura vegetal depende a evapotranspiração e o escoamento direto que são parâmetros fundamentais do balanço hídrico. (Paralta et. al, 2003)

Os estudos de recarga aquífera são fundamentais em Hidrogeologia para a estimação do volume de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis e têm implicações diretas

- ✚ Aplicar e avaliar o balanço hídrico climatológico através do programa "BHnorm" elaborado em planilha EXCEL por Rolim *et. al* (1998).
- ✚ Elaborar o modelo BALSEQ na plataforma MATLAB;

### 1.3 Etapas da dissertação

Este trabalho foi desenvolvido em 9 capítulos:

CAPÍTULO 1, INTRODUÇÃO: neste capítulo compreende um explanação sobre a situação das águas subterrâneas no planeta. Como também da um idéia da importância do conhecimento da recarga dos aquíferos principalmente nas regiões semi-áridas e ainda sobre os objetivos do pesquisa;

CAPÍTULO 2, REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: apresentam-se neste capítulo uma descrição do ciclo hidrológico, de modelos para o cálculo do balanço hídrico e os processos de recarga;

CAPÍTULO 3, ÁREA DE ESTUDO: descreve-se a região em estudo, seus aspectos fisiográficos, climáticos, hidrológicos e geológicos;

CAPÍTULO 4, METODOLOGIA: é apresentando neste capítulo as etapas e os métodos utilizados para o cálculo da precipitação média, a evapotranspiração potencial, o escoamento direto. Enfim, as metodologias utilizadas para aplicação do balanço hídrico com o objetivo de estimar a recarga;

CAPÍTULO 5, RESULTADOS: apresenta todos os resultados obtidos através da aplicação do modelo Método de Thornthwaite & Mather (1955) e BALSEQ;

CAPÍTULO 6, DISCUSSÃO: este capítulo apresenta as análises dos resultados obtidos;

CAPÍTULO 7, CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES: apresenta as idéias conclusivas da pesquisa e algumas recomendações para futuras pesquisas na região em estudo;

CAPÍTULO 8, BIBLIOGRAFIA: este capítulo apresenta as bibliografias utilizadas, bem como os sites pesquisados.

APÊNDICE: capítulo referente à complementação dos resultados expostos no capítulo 5.

**Capítulo**

**2**

---

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Ciclo Hidrológico Global

O termo ciclo hidrológico apresentado na Figura 2.1 refere-se ao constante movimento da água sobre, na e sob a superfície da terra. O movimento da água no ciclo hidrológico é determinado pela energia radiante de origem solar, no solo e no subsolo pela ação da gravidade, bem como pelo tipo e densidade da cobertura vegetal e na atmosfera e superfícies líquidas (rios, lagos, mares e oceanos) pelos elementos e fatores climáticos, tais como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, ventos, insolação, que são os responsáveis pelos processos de circulação da água dos oceanos para atmosfera, em uma dada latitude terrestre.

O ciclo hidrológico é responsável pelo movimento de enormes quantidades de água ao redor do mundo. Parte desse movimento é rápido, pois, em média, uma gota de água permanece aproximadamente 16 dias em um rio e cerca de 8 dias na atmosfera (Tab. 2.1). Entretanto, esse tempo pode estender-se por milhares de anos para a água que atravessa lentamente um aquífero profundo. Assim, as gotas de água reciclam-se continuamente (OMM/UNESCO, 1997).

**Tabela 2.1 - Período de renovação da água em diferentes reservatórios na Terra**  
(Fonte: Shiklomanov, 1997, apud Setti, 2000)

| Reservatórios                    | Período médio de renovação |
|----------------------------------|----------------------------|
| Oceanos                          | 2.500 anos                 |
| Água subterrânea                 | 1.400 anos                 |
| Umidade no Solo                  | 1 ano                      |
| Águas permanentemente congeladas | 9.700 anos                 |
| Geleiras em montanhas            | 1.600 anos                 |
| Solos congelados                 | 10.000 anos                |
| Lagos                            | 17 anos                    |
| Pântanos                         | 5 anos                     |
| Rios                             | 16 dias                    |
| Biomassa                         | Algumas horas              |
| Vapor na atmosfera               | 8 dias                     |

A contribuição de um único componente do ciclo hidrológico para a circulação global de água não depende apenas do volume est436(s)-1.2312((,-69())85(-)0.147792( )-2200.2955895585(e

de permanência muito curto em relação aos outros reservatórios, ela favorece substancialmente a elevação da taxa de renovação da água através do ciclo hidrológico.

O mesmo ocorre com o armazenamento da água na atmosfera, que é de aproximadamente 8 dias, isto é, no prazo de uma a duas semanas, a água que sobe à atmosfera retorna à superfície da Terra, podendo reabastecer o fluxo dos rios, a umidade do solo, as reservas de água subterrânea, ou cair diretamente nos espelhos líquidos dos lagos, oceanos e outros reservatórios, renovando as suas reservas e melhorando a sua qualidade à medida que proporciona a diluição de seus constituintes.

A precipitação é o ponto de partida para todas as análises hidrológicas. Uma parte dela é retida nas construções, árvores, arbustos e plantas, essa quantidade é chamada de perda por interceptação e pode chegar até a 25% da precipitação anual total. Os fatores que mais influenciam na quantidade de água interceptada são: tipo e densidade da vegetação, estágio de crescimento, estação do ano e velocidade do vento.

A água que se acumula nas depressões da superfície começa a evaporar diretamente. A água que infiltra no solo fica primeiro na zona do solo que contém as raízes das plantas, podendo retornar para a atmosfera através da evaporação do solo e/ou da transpiração das plantas, a chamada evapotranspiração. Essa parte superior do solo pode reter uma quantidade limitada de água, conhecida como capacidade de campo, que repõe a umidade do solo, constituindo a zona não saturada. Ao atingir seu ponto máximo, o excesso percola lentamente para a zona saturada.

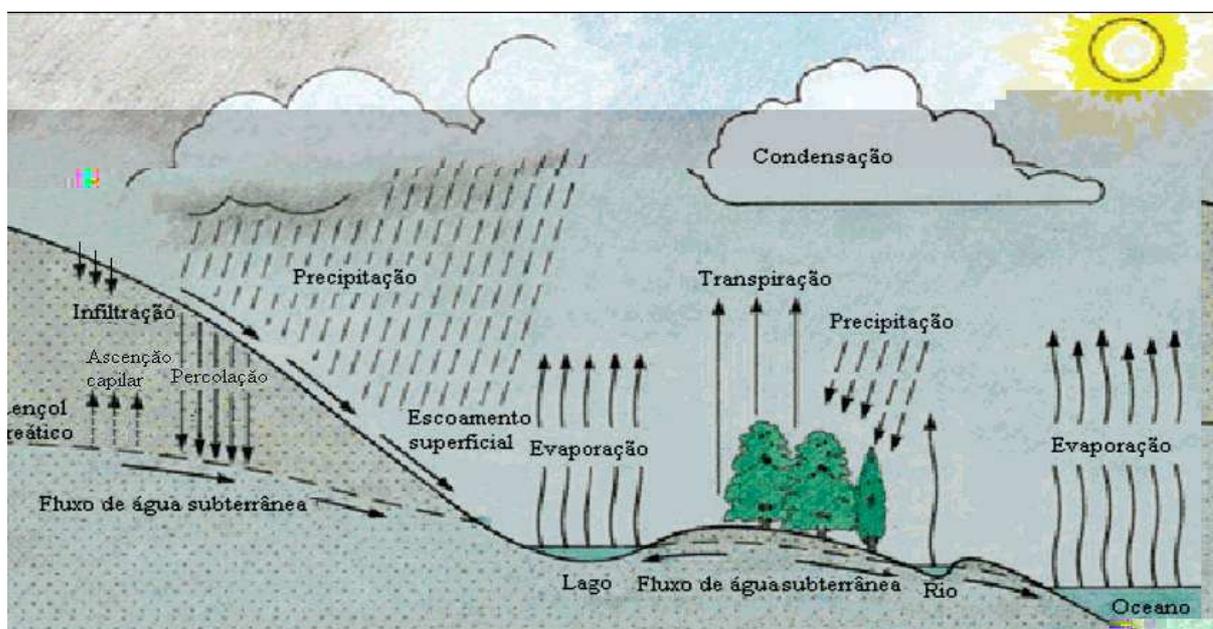
A evapotranspiração potencial (*ETP*) consiste na quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água, enquanto que a evapotranspiração real (*ETR*) é quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo. A evapotranspiração real é igual ou menor que a evapotranspiração potencial ( $ETR < ETP$ ). Informações confiáveis sobre evapotranspiração real são escassas e de difícil obtenção, pois, demandam um longo tempo de observação e custam muito caro. Já a evapotranspiração potencial, pode ser obtida a partir de modelos baseados em leis físicas e relações empíricas de forma rápida e suficientemente precisas. Várias teorias relacionam a *ETR* e *ETP* em função da disponibilidade de água no solo.

Quando a taxa de precipitação excede a taxa de infiltração ocorre o escoamento superficial.

O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação, e cessa pouco tempo depois que ela acaba. O escoamento subterrâneo, entretanto, ocorre com lentidão e continua a alimentar os cursos de água por longo tempo após o término da precipitação que o originou. A divisão da água que precipita nos continentes é condicionada por vários fatores, de ordem climática e referentes às características físicas do local onde ocorre a precipitação como tipo de vegetação e condições da topografia e do solo. (Da Silva, 2002)

A água ao atingir as correntes, tanto por escoamento superficial quanto por descarga de água subterrânea tanto da zona não-saturado (fluxo intermediário) como principalmente da zona-saturada (fluxo de base), move-se ao mar, onde novamente é evaporada perpetuando o ciclo hidrológico.

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada.



**Figura 2. 1 – Descrição representativa das fases associadas ao ciclo hidrológico ou ciclo da água. (Fonte: Da Silva, 2002)**

## 2.2 Ciclo Hidrológico Regional

O balanço hídrico se completa na bacia hidrográfica (unidade geomorfológica). Qualquer ponto da superfície faz parte de uma bacia hidrográfica. Desde os menores vales até a grande bacia Amazônica, sempre existe uma discreta área de terreno que capta a água da chuva, perde água por evaporação, e produz o restante como deflúvio ou escoamento superficial.

A equação clássica do balanço hídrico, que representa o conceito de conservação de massa de água, considera os fluxos de água que entram e que saem de um volume unitário de solo, delimitado pela superfície do solo e por embasamento impermeável.

A equação básica do balanço hídrico para uma bacia hidrográfica pode ser escrito como:

$$P - ETR - E_d - I = \Delta S \quad (2.1)$$

onde  $P$  é precipitação,  $ETR$  é evapotranspiração real,  $E_d$  é deflúvio ou escoamento superficial,  $I$  é infiltração, e  $\Delta S$  são as variações no armazenamento na bacia hidrográfica.

O termo desconhecido  $ETR$  expressa-se:

$$ETR = P - E_d - I - \Delta S \quad (2.2)$$

Nesta equação de cinco variáveis se permitem medir apenas duas variáveis com certa exatidão, a precipitação  $P$  nas estações pluviométricas e o escoamento superficial  $E_d$  nas estações fluviométricas instaladas nas saídas dos respectivos rios. As restantes três variáveis são incógnitas. A equação acima pode ser apenas resolvida com certas simplificações tais como, que a área da bacia superficial é aproximadamente igual da área da bacia subterrânea, quer dizer que o escoamento superficial  $E_d$  e a infiltração  $I$  na forma de escoamento subterrâneo reúne-se em um rio principal da bacia que passa pela limite inferior da bacia. Uma outra simplificação é que as variações no armazenamento  $\Delta S$  é igual à zero durante os anos de observação, usando estas simplificações, a equação acima se reduz à:

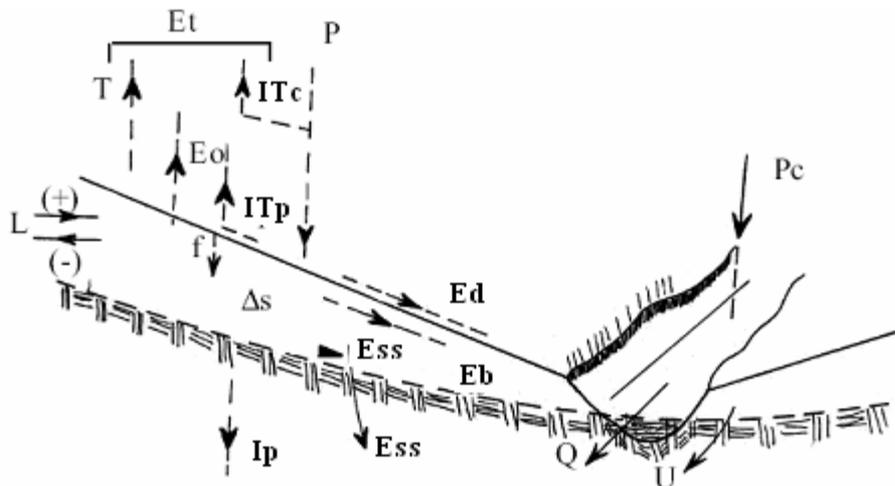
$$ETR = P - E_d \quad (2.3)$$

O valor para a evaporação real  $ETR$  é uma aproximação grosseira mas serve como um valor de orientação em estudos de planejamento de recursos hídricos.

## 2.3 Ciclo Hidrológico Local

Na figura 2.2 representa esquematicamente os processos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.

Sendo:  $P$  = precipitação;  $T$  = transpiração;  $ITc$  = interceptação pelas copas;  $ITp$  = interceptação pelo piso;  $Eo$  = evaporação do solo e de superfícies líquidas;  $Et$  = evapotranspiração (total de perdas por evaporação);  $Q$  = deflúvio;  $\Delta S$  = variação do armazenamento da água do solo;  $L$  = vazamento freático;  $Ip$  = percolação/infiltração profunda (vazamento por falhas na rocha);  $Ed$  = escoamento direto ou superficial (em canais ou para superfície);  $Ess$  = escoamento sub-superficial;  $Eb$  = escoamento básico (água subterrânea);  $I$  = infiltração;  $Pc$  = precipitação direta nos canais;  $U$  = vazamento (água que flui por fora do leito).



**Figura 2. 2 – Seção transversal de uma bacia hidrográfica com as variáveis hidrológicas envolvidas no seu balanço hídrico.**

A equação da continuidade apresenta-se da seguinte forma:

$$P = (T + ITc + ITp + Eo + I) + Q + \Delta S \pm L + U \quad (2.4)$$

Na prática, todavia, considera-se uma bacia hidrográfica ideal, isto é, onde todos os fluxos positivos e negativos possam estar sob controle experimental, e onde não ocorram vazamentos ( $L$  ou  $U$ ), e nem perdas por percolação profunda ( $Ip$ ), para um dado período a equação completa acima pode ser simplificada de acordo com o seguinte modelo:

$$P - ETR - Q + I = \Delta S \quad (2.5)$$

A dificuldade de se resolver problemas repousa principalmente na inabilidade em se medir ou estimar adequadamente os vários termos da equação. Para estudos locais, são feitas frequentemente medidas seguras, mas a avaliação em uma escala global é usualmente grosseira. A precipitação é avaliada por medidores dispostos em uma área (pluviômetros). O escoamento superficial pode ser medido de várias, formas, tais como medidores em barragens, medidores de velocidades de fluxo, entre outros. Segundo Tucci (1993), em boas condições, estas medições são frequentemente 95% precisas, mas grandes vazões não podem ser medidas por métodos tradicionais. A umidade do solo pode ser determinada usando-se provas de nêutrons e métodos gravimétricos; a infiltração determinada localmente por infiltrômetros ou estimada através dos dados chuva-escoamento. Contudo as estimativas de umidade de solo e infiltração são geralmente muito pobres. Também a determinação da quantidade de água evaporada e transpirada é extremamente difícil no atual estágio de desenvolvimento da ciência. A equação do balanço hídrico é um instrumento extremamente útil e que pode ser usado de várias maneiras para estimar a magnitude e distribuição no tempo das variáveis hidrológicas.

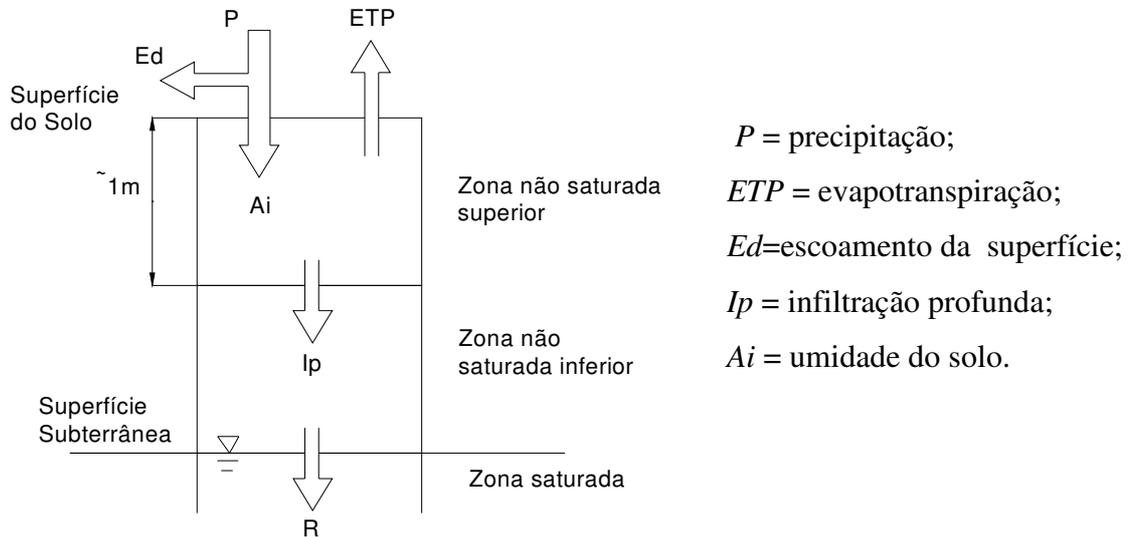
## 2.4 Ciclo Hidrológico Pontual

### 2.4.1 Modelo Simples de Balanço de Teor de Umidade

O ciclo hidrológico pontual compreende de um lisímetro virtual que estima o balanço hídrico em uma área superficial unitária. Kinzelbach (1986) apresenta um método bastante simples para a estimativa da recarga a partir da precipitação, utilizando o balanço hídrico de uma seção transversal de área unitária de solo que se estende da superfície do solo até a zona saturada. Apesar de ser um modelo simples de balanço hídrico, produz resultados satisfatórios que pode ser usados nos modelos de escoamento.

O modelo esquemático na figura 2.3 consiste em dividir o solo em duas zonas não saturadas, a superior de espessura de cerca de 1 metro (zona de raízes) caracteriza-se pela precipitação ( $P$ ) e perdas de água através da evapotranspiração ( $ETP$ ) e o escoamento superficial ( $E_d$ ). Devido à entrada de água através da infiltração e da percolação ( $I_p$ ) ocorre a recarga subterrânea ( $R$ ). A franja capilar é desconsiderada. Através do balanço de massa da

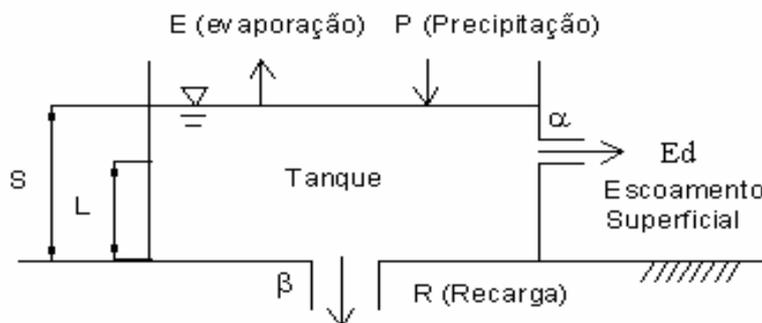
água na zona superior, a taxa de percolação por unidade de área,  $I_p$ , para camada inferior é determinada, o que corresponde a quantidade registrada no lisímetro.



**Figura 2.3 – Conceito do modelo de balanço hídrico pontual (Fonte: modificado Kinzelbach, 1986)**

### 2.4.2. Modelo Simples de Tanque Linear

Um modelo de simulação de recarga ainda mais simples é um tanque linear como é apresentada na figura. 2.4.



**Figura 2.4 – Modelo esquemático de um tanque linear. (Fonte: Michiue et al, 1985, apud Correia, 2007)**

Os componentes do tanque linear se definem pelas expressões analíticas das seguintes fórmulas:

A recarga  $R$  é definida como:

$$R = \beta S \text{ [L/T]} \quad (2.6)$$

O escoamento superficial  $E_d$  é definido como:

$$E_d$$

evapotranspiração por parte das plantas através da manutenção de vegetação que substitui a vegetação com raízes mais profundas por vegetação com raízes mais superficiais, ou substituir por solo sem vegetação;

A recarga induzida é realizada através da colocação de furos, relativamente perto de cursos de água, permitindo que uma maior quantidade de água proveniente do rio recarregue o aquífero subjacente à medida que se rebaixa o nível da água na proximidade do rio pela extração realizada nestes furos;

A recarga acidental é uma consequência de determinadas atividades humanas que não se destinam à recarga artificial de aquíferos. Estas atividades incluem a disposição de efluentes em fossas sépticas não impermeabilizadas, a drenagem ou percolação em profundidade a partir de campos irrigados, o escoamento superficial gerado em zonas urbanas durante episódios de precipitação.

A recarga do aquífero é o elemento mais importante para o gerenciamento sustentável de recursos hídricos subterrâneos (abrangendo avaliações de quantidade e qualidade). Entretanto, a recarga é a variável do ciclo hidrológico mais complexa a ser determinada porque é um processo que ocorre dentro da terra, não é visível, e que ocorre de forma difusa. Não sendo assim possível sua medição diretamente. (Oliveira, 2004)

Atualmente é difícil estabelecer um único método de recarga seguro devido à complexidade dos fenômenos e grande variedade de situações encontradas nos processos pelos quais se dá a recarga. (Oliveira, 2004)

Daí que dar-se a procura por metodologias que, a partir de observações de outras variáveis (climatológicas, hidrológicas, de ocupação do território), permitam estimar a recarga das águas subterrâneas.

A recarga do lençol compreende:

- a) Percolação ( $Q_p$ ) proveniente da precipitação e irrigação através da zona insaturada do solo (zona de transmissão);
- b) Infiltração ( $Q_{inf}$ ) proveniente de canais e cursos de água naturais, cujo nível é superior ao nível freático;
- c) Fluxo ascendente ( $Q_a$ ) do aquífero devido ao fluxo vertical proveniente das camadas inferiores;
- d) Fluxo de entrada lateral ( $Q_{el}$ ) proveniente do fluxo horizontal a montante para a jusante.

A taxa de recarga depende tanto de tipo de solo tais como litologia, estratigrafia e estrutura geológica como o uso e a cobertura de solo, tais como a vegetação natural e/ou agrícola.

As atividades antrópicas, em alguns casos é um elemento que interfere na processo de recarga, devido à alteração das condições de permeabilidade do solo e da redistribuição espacial da recarga (decorrentes de construções e atividades em áreas urbanas), desmatamento ou troca de cobertura nativa por vegetação de necessidade hídrica naturalmente incomum.

### **2.5.1 Processos de Recarga**

De acordo com Lerner et al. (1990), os principais mecanismos de recarga foram conceitualmente definidos e as respectivas terminologias que melhor se adequa às regiões secas (Fig.2.5), são:

- a.) Recarga direta corresponde à recarga por precipitação, que atinge o nível freático;
- b.) Recarga indireta corresponde à recarga por drenança oriunda das camadas sobrepostas do aquífero;
- c.) Recarga localizada corresponde à recarga pelos rios influentes;

Segundo os próprios autores de Lerner et al.(1990), nessas regiões os solos são geralmente rasos, com alta taxa de evapotranspiração e os rios intermitentes recarregam os aquíferos (rios influentes).

Para Rabelo (2006), é comum igualar a recarga sobre um certa área à infiltração excessiva sobre essa mesma área, esse excesso não necessariamente atinge o nível freático e/ou passa a compor o aquífero, pode se converter em escoamento subsuperficial, em seguida, superficial e, posteriormente, evapotranspirada. Logo, este processo determina a recarga potencial, isto é, a quantidade de água, através do solo, que pode ou não alcançar a zona saturada e a recarga real, que é a que realmente atinge o aquífero

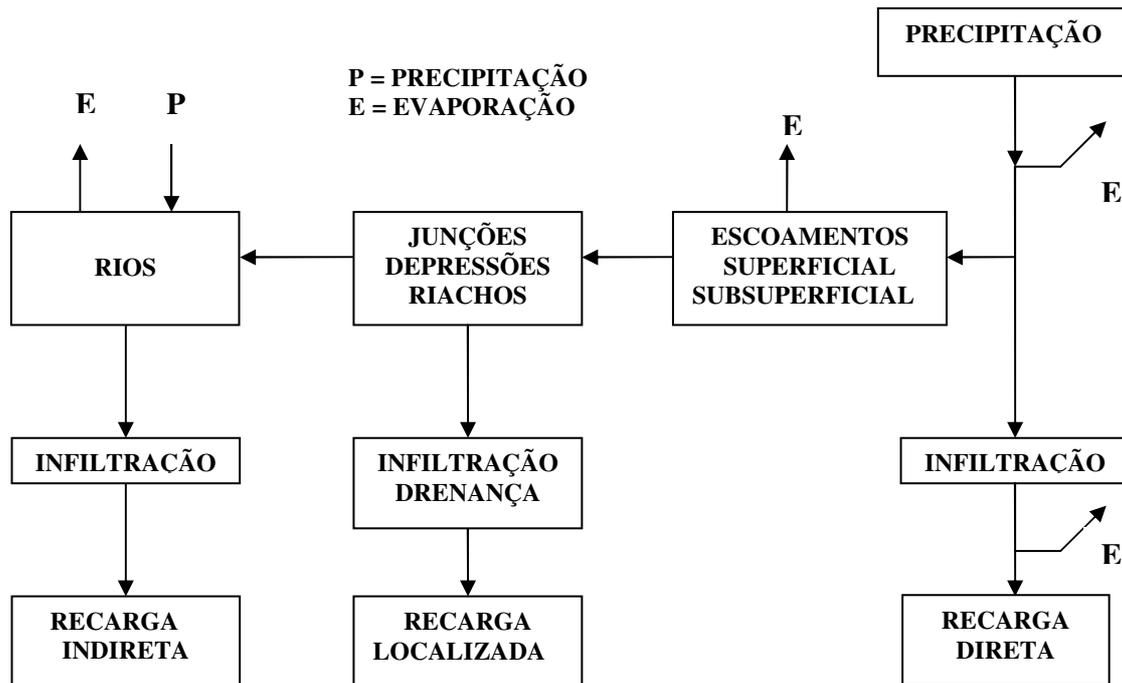


Figura 2. 5 – Mecanismo de recarga para regiões secas (Fonte: Lerner et al., 1990).

### 2.5.2 Métodos para Estimativa da Taxa de Recarga

Nas regiões semi-áridas, a evapotranspiração potencial normalmente ultrapassa as taxas médias de precipitação que significa que apenas em situações favoráveis a água precipitada permite a recarga. A recarga dos aquíferos é irregular e a observação e as análises dos processos dinâmicos nos aquíferos são muito limitadas. Estes fatores junto com a variação na topografia, na cobertura vegetal, os tipos de solo e outros elementos hidrológicos dificultam extremamente o monitoramento e a medição do processo de recarga.

Para Paralta et. al (2003), dividem-se em 2 grupos:

#### I. Métodos Diretos

- Balanco hídrico (formulação empírica);
- Modelos Físicos (balanço entre águas subterrâneas e superficiais);
- Modelos de circulação da zona vadosa (modelos determinísticos);
- Traçadores (químicos, bacteriológicos, orgânicos e isotópicos).

#### II. Métodos Indiretos (zona saturada)

- Oscilação Piezométrica;
- Lei Darcy.

Os métodos diretos descrevem a recarga como um mecanismo de percolação da água desde o solo até o aquífero, entrando com parâmetros como a variação de umidade no solo, evapotranspiração (*ETP*), vazão de escoamento superficial, etc., para obter uma estimativa da recarga. Enquanto que, os métodos indiretos utilizam informação piezométrica como indicadores da recarga efetiva, ou seja, sempre que há variações positivas do nível piezométrico estamos perante um episódio de recarga possível de quantificar, desde que se conheçam alguns parâmetros básicos do sistema hidrogeológico, como o coeficiente de armazenamento (*S*), o coeficiente de recessão *CR* (período de tempo entre o episódio de precipitação e a resposta do aquífero), a condutividade hidráulica (*K*), entre outros.

Arbeitskreis Grundwasserneubildung (1977) e UNEP/DEWA/UNESCO (2002) , classificam mais detalhadamente os atuais métodos de recarga em uso,são eles:

- I. Medidas Diretas
- II. Balanços Hídricos
- III. Métodos Darcianos
- IV. Métodos de Traçadores

### **Grupo I.**

área de drenagem da bacia. (7) O método da análise da curva de recessão do rio ou nascente (*Spring or River Flow Recession Curves*) interpreta a curva exponencial da depleção, na qual o constante do tempo de depleção será determinado. Junto com o conhecimento estimado do volume armazenado do aquífero drenado, o constante de recessão permite uma estimativa da recarga. (8) O método de Precipitação-Recarga (*Rainfall-Recharge Relationship*) expressa a quantidade da recarga como uma porcentagem da bem conhecida taxa de precipitação e baseada numa considerada relação linear entre chuva e infiltração, é possível estimar uma taxa de recarga.

**Grupo III.** Todos os métodos Darcianos estimam o fluxo a partir do gradiente hidráulico e da condutividade hidráulica. Por isso, estes métodos requerem uma determinação exata das duas quantidades na escala onde o fluxo será determinado. Na zona não-saturada, uma taxa de recarga pontual, mas não a real, pode ser simulada pela solução numérica da equação de Richard (10). Na zona saturada, a taxa de recarga distribuída sobre a área pode ser estimada através da simulação numérica do fluxo (11) no procedimento de calibração do modelo.

**Grupo IV.** Os métodos de traçadores usam substâncias dissolvidas injetadas no ciclo hídrico. Eles são capazes de traçar o movimento d'água no subsolo durante longos períodos de tempo e são utilizados para estimar o tempo de percurso e residência (métodos radioativos de trítio e trítio-hélio 3), indicar a fração de mistura das águas de origens diferentes (métodos dos isótopos estáveis de deutério (D) e oxigênio ( $^{18}\text{O}$ )) e estimar fluxos verticais através do traçador conservativo de cloreto (método de cloreto).

A tabela 2.2 discrimina os métodos mais significativos citados anteriormente, especificando sua adequação com o clima como também atribuindo para alguns métodos ordens de precisão baseadas nas magnitudes dos erros associados (grau de incerteza), essa distribuição é feita em três classes:

classe 1: até um fator;

classe 2: até um fator 5;

classe 3: até um fator 10 ou superior.

**Tabela 2. 2 – Adequação de métodos de estimativa de recarga  
(Fonte: UNEP/DEWA/UNESCO, 2002; Scalon et al., 2002 )**

| Zona  | Técnica   | Classe | Clima |       |
|---|---|--------|-------|-------|
|   |   |        | Seco  | Úmido |
| <b>Água Superficial</b>                             | Balanço Hídrico do Canal                        | 2 - 3  | x     | X     |
|   | Medidores de Seepage                            | -      | x     | X     |
|   | Modelos de Bacias                               | -      | x     | X     |
|   | Traçadores Isotópicos                           | 3      | x     | X     |
|   | Descarga de Base                                | 1      |       | X     |
| <b>Não Saturada</b>                                 | Lisímetros                                      | 1      | x     | X     |
|   | Plano de Fluxo de Zero                          | -      | x     | X     |
|   | Lei de Darcy                                    | 3      | x     | X     |
|   | Traçadores [histórico - (Cl, H), ambiental(Cl)] | 2 - 3  | x     |       |
|   | Traçadores Aplicados                            | 2 - 3  |       | X     |
|   | Modelagem Numérica                              | -      | x     | X     |
| <b>Saturada</b>                                     | Flutuação do Nível Frático                      | 2 - 3  |       | X     |
|   | Lei de Darcy                                    | 3      |       | X     |
|   | Traçadores [históricos - (CFCs, H/He)]          | 2 - 3  | x     | X     |
|   | Traçadores Ambientais (Cl, C)                   | 3      | x     |       |
|   | Modelagem Numérica                              | -      | x     | X     |
| x - Adequado; ( ) Inadequado; (-) Sem classificação |   |        |       |       |

## 2.6 Modelos de Balanço Hídrico

Oliveira (2004) divide os modelos de balanço hídrico em duas classes: 1. Modelos de previsão que consiste em estimar a recarga a partir da quantificação dos processos que a antecedem podendo citar o balanço hídrico sequencial diário que consiste em um modelo de cálculo através do armazenamento na zona vadosa; 2. Os modelos de resposta que permitem estimar a recarga a partir da reação do meio subterrâneo ao processo de recarga, podendo ainda considerar as extracções por parte do homem, fornecendo estimativas de valores de recarga por episódios, temos como exemplo a decomposição dos hidrogramas de escoamento superficial, a variação do armazenamento da zona saturada (variação de níveis piezométricos), a quantificação dos escoamentos em secções da zona saturada, a quantificação dos caudais de nascentes, ou as combinações de alguns destes métodos.

Em relação a escala temporal, os balanços hídricos podem ser classificados em sequencial (contínuos) e cíclicos (Pereira et al., 1997).

As escalas de tempo mais utilizadas estão entre a diária e a anual, no entanto, a escolha da escala temporal depende especialmente da finalidade da contabilidade hídrica. Nos estudos geológicos e climáticos é mais frequente a utilização das escalas anuais e mensais, respectivamente. Para fins irrigacionais, períodos de 1 a 10 dia, dependendo das condições climáticas e capacidade de armazenamento de água no solo da região.

O balanço hídrico pondera os seguintes componentes: precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e subterrâneo (Tucci, 1998) Baseada nessa afirmação, vários procedimentos podem ser realizados para determinar o balanço hídricos.

Gomes (2005) explica as principais características de alguns modelos, são eles:

- ⇒ **Balanço Hídrico Aerológico:** utiliza dados climáticos para estabelecer a conservação de massa na atmosfera. Calcula a diferença efetiva entre a precipitação e a evaporação. Este tipo de método apresenta limitação quanto à disponibilidade de dados;
- ⇒ **Balanço Hídrico Isotópico:** através da utilização das propriedades químicas da água determina a sua fonte e quantifica cada componente do sistema. A água representa um tipo particular de isótopos para cada fonte específica, o que ajuda a compreender os processos hídricos sub-superfície. Os isótopos mais utilizados em estudos hidrogeológicos no Brasil são  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  e  $^3\text{H}$ , especialmente porque são os principais constituintes da água;
- ⇒ **Balanço Hídrico Energético:** através do balanço de calor disponível na superfície considerada, determina-se a evaporação ou a evapotranspiração, componentes essenciais do balanço hídrico. É empregado principalmente em lagos, reservatórios ou trechos de rios;
- ⇒ **Balanço Hídrico por Modelos Matemáticos:** os modelos matemáticos destinados ao balanço hídrico utilizam equações para estimar, no tempo e no espaço, os principais fenômenos envolvidos na dinâmica hídrica do sistema;
- ⇒ **Balanço Hídrico Agrícola:** é direcionado à determinação da necessidade ou disponibilidade hídrica real aos cultivos agrícolas. O objetivo mais comum do balanço agrícola é quantificar o volume a ser irrigado para manutenção da umidade do solo cultivado próximo da capacidade de campo;
- ⇒ **Balanço Hídrico Climatológico:** consiste na contabilidade hídrica no solo para fins climatológicos, ou seja, para classificação climática. Através desse método delimita-se intervalos de deficiências e excedentes hídricos para a região em estudo. Em geral, o balanço hídrico climatológico é realizado com os dados climáticos normais da região, as normais climatológicas que estabelecem a condição do clima local. De acordo com Gomes (2005), nada impede que o mesmo seja determinado a partir de dados instantâneos. Pereira et al. (2002) recomenda para dados de precipitação pluvial

uma série histórica maior que 30 anos para obtenção de normais confiáveis. A metodologia mais frequente é a de Thornthwaite & Mather (1955).

- ⇒ **Balanço Hídrico Superficial:** consiste na utilização da relação da continuidade entre os termos de precipitação, evapotranspiração e escoamento;
- ⇒ **Balanço de Cloreto:** este tipo de balanço avalia de forma aproximada a recarga das águas subterrâneas. Baseia-se no fato de que o íon cloreto é conservativo e não sofre modificações durante a infiltração. Os resultados do balanço do íon cloreto são bons em zonas áridas e zonas arenosas, porém não tanto em zonas úmidas ou com elevado escoamento superficial. (Melo et al., 2006)

### 2.6.1 Método de Thornthwaite & Mather

Um dos modelos mais conhecidos para o cálculo do balanço hídrico foi aquele proposto por Thornthwaite em 1948, e posteriormente modificado por Mather, em 1955, que ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite & Mather (1955).

O balanço hídrico climatológico, desenvolvido por Thornthwaite & Mather (1955) é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva ( $P$ ), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial ( $ETP$ ), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível ( $CAD$ ) apropriada ao estudo em questão, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real ( $ETR$ ), da deficiência hídrica ( $DEF$ ), do excedente hídrico ( $EXC$ ) e do armazenamento de água no solo ( $ARM$ ), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (Camargo, 1971).

De acordo com Amorim (1989), o balanço hídrico é uma ferramenta indispensável em distintas áreas de estudo. Na meteorologia agrícola, é aplicado na avaliação e delimitação dos potenciais hídricos regionais; na irrigação, para determinação dos períodos com excesso ou escassez de água e para quantificação, principalmente das deficiências hídricas de uma região; na hidrologia, estuda as bacias hidrográficas, dimensionando reservatórios e na quantificação das disponibilidades hídricas para confecção de reservatórios para armazenamento de água. De acordo com a aplicabilidade, o balanço hídrico ( $BH$ ) pode vir a ser calculado para várias escalas de tempo: diária, decendial e mensal.

### **2.6.2 Modelo de Balanço Hídrico Sequencial Diário (BALSEQ)**

O modelo BALSEQ é um modelo numérico de Balanço Hídrico Sequencial Diário, desenvolvido em 1981 por Lobo Ferreira para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na Ilha de Porto Santo (Paralta et. al, 2003).

Segundo Oliveira et al. (2004b), o modelo consiste em dividir a precipitação em cinco componentes: o escoamento direto, a infiltração superficial, a evapotranspiração real, a água retida no solo e a infiltração profunda.

Sempre que o meio geológico subjacente ao solo saturado é capaz de receber a água de infiltração profunda esta é equivalente à recarga, isto é, admite-se que não há camadas menos permeáveis na zona vadosa abaixo do solo, resultando que o valor da infiltração profunda, calculado para cada dia, traduzirá o valor da recarga que ocorrerá no dia seguinte.

O modelo BALSEQ permite obter estimativas de infiltração profunda por incremento do tempo considerado no balanço. Pelo processo de escoamento na zona vadosa os impulsos de infiltração profunda estimados para cada incremento de tempo são atenuados pela redistribuição da umidade na zona vadosa obtendo-se, assim, um valor de infiltração profunda que não reflete, necessariamente, o mesmo valor do impulso de recarga um determinado tempo depois.

Este modelo já teve diversas aplicações em Portugal (no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Paralta et. al, 2003) e concelho de Montenor- o- Novo (Oliveira, 2004) na Índia, no concelho de Bardez, estado de Goa (Chachadi et al. apud Paralta, 2001), entre outras.

Oliveira (2004) classifica o modelo BALSEQ como modelo de balanço hídrico acima da zona saturada, ou seja, como modelos de previsão. Esses modelos podem nos fornecer estimativas da recarga distribuída (ou mais corretamente, da infiltração profunda distribuída) por uma região de estudo. Sugere que, em caso de se caracterizar uma região em estudo pelas suas séries médias de precipitação e evapotranspiração potencial e pelos parâmetros médios característicos dessa região, pode-se obter uma estimativa da recarga média; no entanto este procedimento não é recomendado porque o processo de recarga distribuída não é linear, portanto, recomenda-se o cálculo da recarga distribuída dessa região, dividindo a região em áreas homogêneas onde se possa considerar que as séries utilizadas e os parâmetros caracterizadores do meio sejam constantes.

Oliveira (2004) desenvolveu o modelo BALSEQ\_MOD que possui outras formas de cálculo de alguns dos processos do balanço hídrico que foram incluídas em um modelo de balanço hídrico sequencial diário.

**Capítulo**

**3**

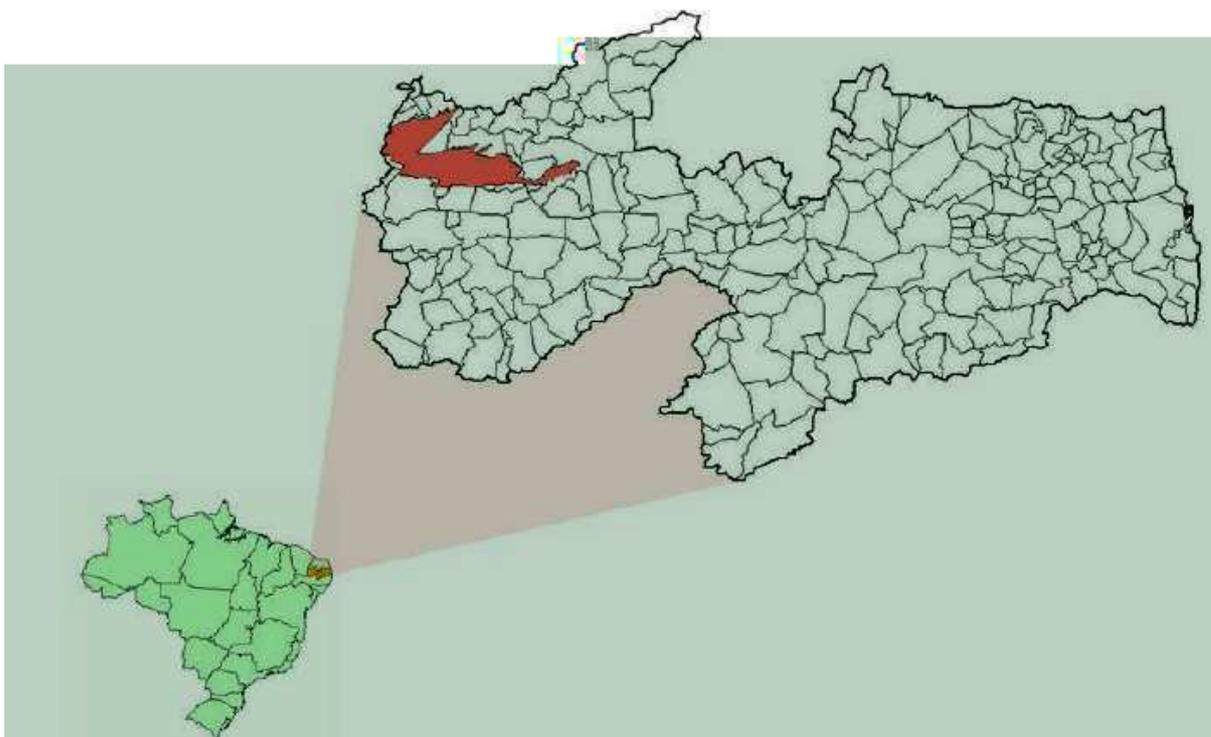
---

**ÁREA DE ESTUDO**

### 3.0 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, localiza-se na porção semi-árida do nordeste no Brasil, mas especificamente, na região noroeste do estado da Paraíba, limitada aproximadamente pelos meridianos 37° 40'00'' e 38°45'00'' de Longitude W de Greenwich e entre os paralelos 6°25'00'' e 6°55'00'' de Latitude Sul (Fig. 3.1).

Possui uma área aproximada de 1.300 km<sup>2</sup> com cerca de 12 municípios, dos quais 11 deles pertencem ao Estado da Paraíba (Aparecida, Marizópolis, Santa Helena, Poço José de Moura, Cajazeiras, Uiraúna, Triunfo, Pombal, Sousa, São Domingos do Pombal, São João do Rio do Peixe) e apenas um, Umari, pertence ao Estado do Ceará.



**Figura 3. 1 – Localização da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe no estado da Paraíba.**  
(Fonte: Kunzler, 2007)

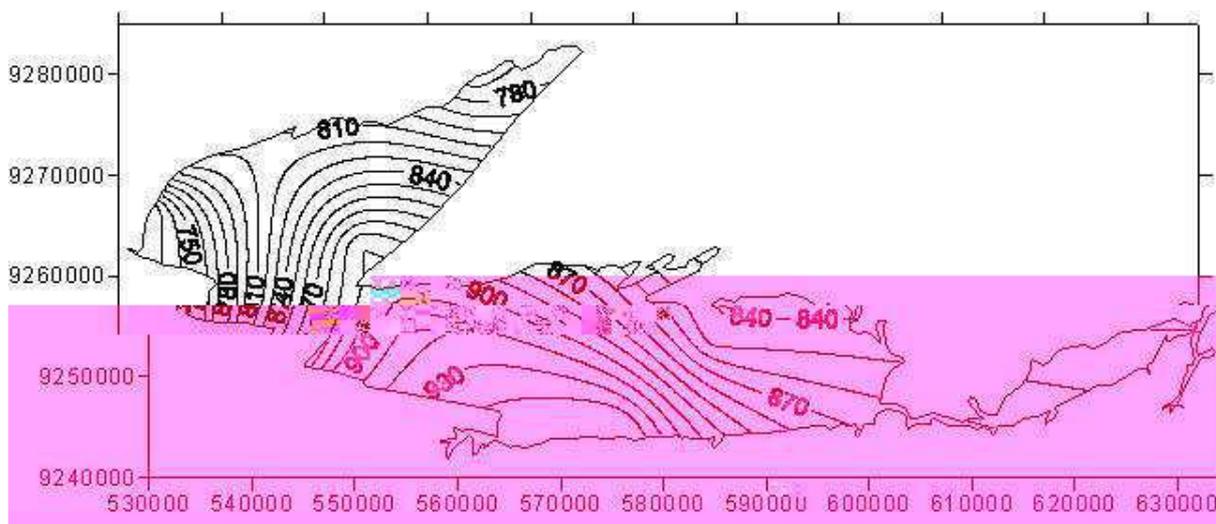
Caracterizada por chuvas irregulares, alto índice de evaporação e salinidade. Na região onde se encontra a bacia do Rio do Peixe, a pluviometria média anual através do método de Thiessen é de 850 mm/ano, duas estações climáticas são observadas por ano: a chuvosa, janeiro à maio (4 meses), e a seca, junho à dezembro (8 meses). A tabela 2.1 mostra a área de influência e a precipitação média das estações consideradas para a pesquisa. E a figura 3.2 a distribuição espacial das chuvas na região.

Considerando a média da estação de São Gonçalo, a temperatura média anual fica em torno de 26,5° C, enquanto que a evapotranspiração potencial média do local é de cerca de 1600 mm/ano.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH, 2006), o Sistema Rio do Peixe é classificado como do tipo multiaqüífero. A sua alimentação faz-se ou pela infiltração de parte da chuva ou pela relação de troca entre os aquíferos ditada pelas suas respectivas cargas hidráulicas. A saída de água desses sistemas faz-se pelos rios do Peixe e Piranhas. Na sub-bacia de Brejo das Freiras, o açude de Pilões, localizado no interior desta, nas proximidades do Alto de Santa Helena, constitui-se em outro ponto de descarga do escoamento subterrâneo natural. O Sistema Rio do Peixe oferece, como um todo, restrições qualitativas ao consumo humano e irrigação, não havendo impedimentos ao consumo pelo gado de qualquer espécie.

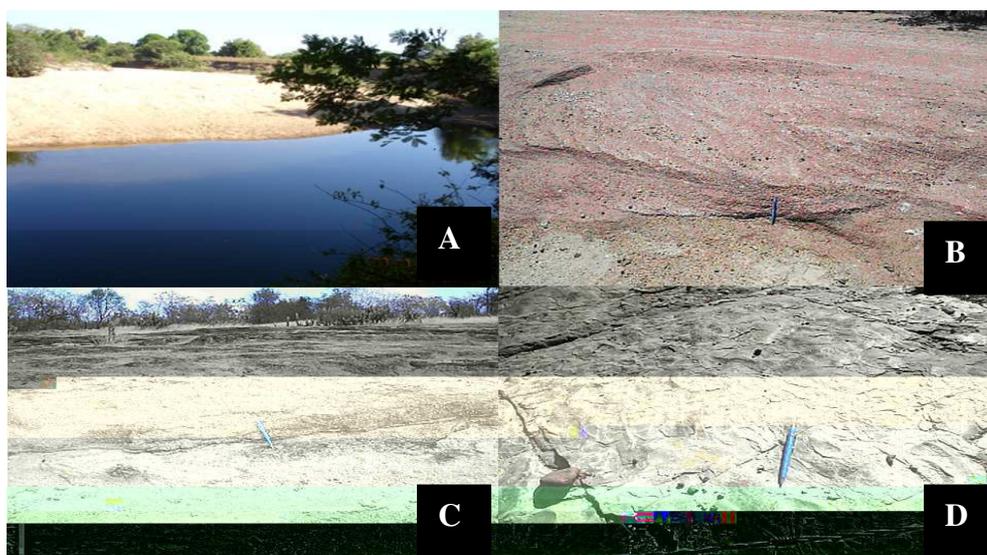
**Tabela 3. 1 – Precipitação Média Anual dos Postos Pluviométricos da região**

| <b>Estação</b>  | <b>Latitude Sul</b> | <b>Longitude W de Greenwich</b> | <b>Chuva média anual (mm)</b> | <b>Área (Km<sup>2</sup>)</b> | <b>Fator do Peso (%)</b> |
|---|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Açude de Pilões   | 6°40'00"            | 38°31'00"                       | 899,62                        | 198,55                       | 15,10%                   |
| Açude Lagoa do Arroz  | 6°49'00"            | 38°36'00"                       | 900,49                        | 26,37                        | 2,00%                    |
| Antenor Navarro   | 6°44'07"            | 38°26'56"                       | 916,30                        | 204,97                       | 15,58%                   |
| Aparecida   | 6°46'00"            | 38°40'00"                       | 729,58                        | 116,90                       | 8,89%                    |
| Barra do Juá/Triunfo  | 6°32'00"            | 38°34'00"                       | 795,22                        | 68,93                        | 5,24%                    |
| Pombal  | 6°46'00"            | 37°49'00"                       | 843,48                        | 62,83                        | 4,78%                    |
| Santa Helena  | 6°34'00"            | 38°42'00"                       | 853,57                        | 57,88                        | 4,40%                    |
| São Gonçalo   | 6°50'00"            | 38°19'00"                       | 955,86                        | 139,07                       | 10,57%                   |
| Sousa   | 6°45'00"            | 38°14'00"                       | 845,23                        | 250,16                       | 19,02%                   |
| Uiraúna   | 6°31'00"            | 38°25'00"                       | 764,45                        | 99,76                        | 7,58%                    |
| Umari   | 6°38'00"            | 38°42'00"                       | 723,18                        | 89,90                        | 6,83%                    |
| <b>Área Total = 1.315,42 km<sup>2</sup> Precipitação Média Mensal (mm) = 850,24</b> |                     |                                 |                               |                              |                          |



**Figura 3. 2 – Distribuição espacial da precipitação, em mm, na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe.**

Com relação ao conhecimento geológico, Albuquerque (1986) após realizar uma revisão bibliográfica dos diversos trabalhos executados sobre a bacia e com base no cadastro de poços da CDRM, realizado em 1981, caracteriza os principais aquíferos que ocorrem na Bacia Sedimentar Rio do Peixe, sendo: o inferior, de arenitos grosseiros e médios da Formação Antenor Navarro, o médio, composto por arenitos finos e siltitos ocorrente na porção superior da Formação Sousa, ambos definidos pelo autor como do tipo confinado, e, finalmente, os aquíferos livres representados pelos arenitos médios a grosseiros da Formação Rio Piranhas e pelos aluviões que atapetam os vales da rede hidrográfica da Bacia, compostos por areias de granulometria variada. (Fig. 3.3)



**Figura 3. 3 - Horizontes aquíferos: a) Aluvião, b) Formação Antenor Navarro, c) Formação Rio Piranhas e d) Formação Sousa.**



#### B) Significado Hidrológico

São solos que apresentam uma tendência muito forte à erosão e ocorrência de forte pedregosidade na superfície. Possuem um escoamento superficial médio, no entanto, quando erodidos ou truncados a lâmina escoada aumenta.

### **Podzólico**

#### A) Características

São solos bem definidos, pois apresenta um gradiente de textura em profundidade, como consequência do acúmulo de argila dos horizontes superiores. Geralmente, são profundos, no entanto, na região Semi-Árida podem ser rasos e poucos profundos. Este gradiente de textura denota ao solo diferentes classes de drenagem interna, fazendo com que estes solos sejam susceptíveis à erosão hídrica. A coloração do horizonte B depende das condições de drenagem interna do solo, bem como do tipo e quantidade de óxidos de ferros e alumínio. Na bacia sedimentar do Rio do Peixe encontra-se o domínio do solo podzólico vermelho-amarelo.

#### B) Significado Hidrológico

Os solos Podzólico rasos, plínticos, argilosos e/ou acinzentados proporcionam um escoamento forte. Para os demais, o escoamento superficial pode ser médio ou fraco.

#### C) Variações

Podzólico Vermelho-Escuro (PE), Podzólico Vermelho-Amarelo (PE), Podzólico Amarelo (PA), Podzólico Acinzentado (PA).

### **Solonetz Solodizado**

#### A) Características

Compreende solos minerais hidromórficos ou não, com mudança textural abrupta. O horizonte A de textura arenosa ou média está sobre um horizonte B de textura argilosa, a presença de maiores teores de saturação com sódio trocável superiores a 15% apresentam uma maior dispersão das argilas, como consequência, maior desenvolvimento de estruturas colunares e/ou prismáticas.

#### B) Significado Hidrológico

A espessura do horizonte A de textura arenosa condiciona o escoamento superficial. No entanto, os valores de escoamento superficial tende a ser maior, devido à baixa taxa de infiltração.

#### C) Variações

Solonetz e Solonetz solodizado

### **Solos Aluviais**

#### A) Características

São solos desenvolvidos por sedimento recentes, geralmente de origem fluvial, constituído de camadas alternadas, e frequentemente, de classes texturais distintas (dependente do depósito aluvial transportado), sem guardar correspondências pedogenética entre si.

#### B) Significado hidrológico

O escoamento varia muito, quando profundos e de textura arenosa, escoamento fraco, quando de textura argilosa e/ou solódicos, apresentam um escoamento muito forte.

#### C) Variações

Solos aluviais solódicos, solos aluviais com carbonato, solos aluviais sódicos e solos aluviais gleizados.

### **Solos Litólicos**

#### A) Características

São solos jovens rasos (inferior a 50 cm de profundidade) de textura siltosa, arenosa, média ou argilosa. Quase sempre se encontram em afloramento de rocha.

#### B) Significado hidrológico

A presença desse tipo de solo é bastante favorável ao escoamento, quando erodidos o seu escoamento é muito elevado.

### **Vertissolo**

#### A) Características

São solos cinza-escuros, pretos ou marrons, arigilosos a muito argilosos, com elevado teor de argila do tipo 2:1, que se caracteriza por provocarem expansões e contrações, respectivamente, quando úmidos e secos. Em consequência da contração das argilas na estação seca, a superfície desses solos apresenta uma grande quantidade de fendilamentos, característica marcante desses solos. As fendas, em muitos casos, podem atingir 10 a 20cm de largura na superfície e estendem-se até profundidades de 50 a 100cm. Estes solos situam-se normalmente em baixadas planas.

#### B) Significado Hidrológico

São solos que apresentam textura argilosa a muito argilosa proporcionando um escoamento fraco ou médio no início das chuvas, período em que apresentam profundas fendas. Entretanto, quando saturados com água, devido /á expansão de suas argilas e

consequentemente fendas, podem provocar um escoamento elevado. Devido a essas características, os Vertissolos aumentam a irregularidade dos escoamentos.

### 3.2 Uso atual e cobertura vegetal

As atividades antrópicas se mostra bastante acentuada, não apenas na bacia em estudo mas sim no estado da Paraíba que atinge em torno de 65%.

A área que engloba a Bacia Sedimentar do Rio do Peixe tem uma vegetação tipicamente de caatinga arbóreo-arbustiva densa caracterizada por possuir vegetais de aspecto raquítico lenhoso, composta de arbustos e subarbustos, espinhosos que bem se adaptam ao clima semi-árido típico da região.

Dentre as espécies mais frequentes ocorrem: Aroeira (*Lythraea brasiliensis*), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), Facheiro (*Cereus squamosus*), Jurema (*Mimosa* sp), Mofumbo (*Cobretum leprosum*), Pinhão-bravo (*Jatropha pohliana*), Xique-xique (*Pilocereus gounellei*) e Imburana (*Bursera leptophlocos*). Na área correspondente aos leitos e margens dos cursos d'água da região, é comum a ocorrência de freatófitas, distinguindo-se a Carnaubeira (*Copernicia prunifera*) e a Oiticica (*Clarisia racemosa* Ruiz e Pav.).

### 3.3 Classes de capacidade de uso das terras

De acordo com o PERH (2006), os solos e os tipos de terrenos (aflorentamentos de rochas) foram enquadrados em Classes de Capacidade de Uso das Terras. É importante salientar que o uso 1 não ocorre na região em estudo. As principais características da classe de capacidade de uso são:

**Uso 1:** terras de boa qualidade, que podem ser cultivadas sem risco de erosão, mediante a fácil aplicação de medida simples de conservação;

**Uso 2:** são terras próprias para culturas permanentes, principalmente pastagens ou reflorestamento;

**Uso 3:** consistem em terras regulares, que podem ser cultivadas sem risco de erosão desde que sejam empregadas as práticas agrônômicas de terraço ou plantio em faixas;

**Uso 4:** são terras não cultivadas com severas limitações para culturas permanentes e reflorestamento

**Uso 5:** Terras íngremes mais susceptíveis a erosão, próprias para cultivos contínuos e que se prestam mais para lavoura esporádica

**Uso 6:** Terras com pedregosidade, severamente erodidas, arenosas e encharcadas, próprias para o abrigo de fauna silvestre e preservação de flora natural.

### **3.4 Usos das águas subterrâneas**

O Sistema Rio do Peixe tem um potencial da ordem de 9 milhões de metros cúbicos anuais. A qualidade de suas águas apresenta restrições para consumo humano, já que mais de 70% delas apresenta salinidade superior aos índices de potabilidade exigidos pela ABNT. Mesmo assim, o sistema é, atualmente, utilizado para o abastecimento da população rural e, principalmente, do rebanho. (PERH, 2006)

**Capítulo**

**4**

---

**METODOLOGIA**

## 4.0 METODOLOGIA

### 4.1 Evapotranspiração Potencial

Para a estimativa da evapotranspiração potencial, *ETP*, foi utilizado o método de Thornthwaite que é baseado na temperatura, a expressão é dado por (Tucci, 1993):

$$\begin{aligned}
 ETP &= B \cdot T_m^a \\
 a &= 67,5 \cdot 10^{-8} \cdot I^3 - 17,1 \cdot 10^{-6} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492 \\
 I &= \sum_1^{12} \left( \frac{T_m}{5} \right)^{1,51} \\
 b &= \frac{N}{12}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Onde: *b* = fator de ajuste do comprimento do dia; *ETP* = evapotranspiração potencial (mm/mês); *T<sub>m</sub>* = temperatura média mensal (°C); *a* = uma função do índice de calor *I*; *N* = fotoperíodo, função da latitude e mês (horas).

### 4.2 Método do Balanço Hídrico de Thornthwaite & Mather

Para aplicação do Método de Thornthwaite & Mather (1955), através do programa "BHnorm" elaborado em planilha EXCEL por Rolim et al. (1998), foram utilizados na elaboração do balanço hídrico climatológico dados de temperatura média mensal da estação de São Gonçalo e de chuva total mensal pertencentes às redes de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Superintendência de Recursos Hídricos da Paraíba (SEMARH).

Segundo Amorim (1989), o procedimento para a execução do balanço hídrico obedece as seguintes etapas:

- A. Precipitação (*P*): para um determinado ano, utiliza-se a precipitação total mensal.
- B. Evapotranspiração Potencial (*ETP*): calculada através do método de Thornthwaite a partir de dados de temperatura média mensal.
- C. Diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial (*P – ETP*): essa diferença indica quando a planta tem as suas exigências hídricas plenamente satisfeitas,

- ( $P - ETP > 0$ ) e há excesso d'água ou quando há deficiências hídricas ( $P - ETP < 0$ ) que prejudicam o seu desenvolvimento potencial.
- D. Negativa acumulada (*NEG. ACUM.*): corresponde ao somatório dos valores de  $P - ETP < 0$ . Esta coluna deve ser preenchida simultaneamente com a do armazenamento (*ARM*) porque quando existirem valores de  $P - ETP > 0$ , somam-se estes ao do *ARM* e encontra-se na tabela de retenção de umidade (Tab. 4.1), o valor de umidade o valor de correspondente a *NEG.ACUM.* O preenchimento desta coluna deve ser iniciado a partir do primeiro mês que apresente  $P - ETP > 0$  após o período chuvoso, quando este existir ( $P > ETP$ ), ou quando a diferença  $P - ETP$  for mínima.
- E. Armazenamento (*ARM*): representa a quantidade de água que o solo comporta na sua profundidade efetiva ou no caso da planta, na profundidade equivalente a 80% do comprimento do seu sistema radicular. Este parâmetro é também denominado de Água Disponível (*AD*) ou Capacidade de Água Disponível (*CAD*). Já no modelo BALSEQ é denominado de *AGUT*.
- F. Alteração (*ALT*): representa os ganhos (valores positivos) e perdas de água (valores negativos) do solo em função das alterações do armazenamento.
- G. Evapotranspiração Real (*ETR*): é obtida em dois casos distintos:
- ⇒ Quando a  $P \geq ETP$ , a evapotranspiração real é igual a evapotranspiração potencial ( $ETR = ETP$ ).
  - ⇒ Quando a  $P \leq ETP$ , a evapotranspiração real é igual a soma da precipitação mais o valor absoluto da alteração negativa ( $ETR = P + |ALT|$ ).
- H. Déficit hídrico (*DEF*): é dado pela diferença entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real ( $DEF = ETP - ETR$ ).
- I. Excesso hídrico (*EXC*): ocorre nos casos em que a precipitação é maior do que a evapotranspiração potencial. É obtido através da relação  $EXC = (P - ETP > 0) - ALT$ .
- J. Elaboração da figura do balanço hídrico – é automaticamente elaboradas as figuras do extrato do balanço hídrico, dos valores de precipitação, evapotranspiração potencial e real, possibilitando visualizar, além da deficiência e excedente hídrico, as áreas de retirada de água do solo (alteração negativa, *ALT-*), de reposição de água no solo (alteração positiva, *ALT+*) e da variação do *ARM* ao longo do ano.

Tabela 4. 1 – Valores do armazenamento do solo quando ARM = 100mm.  
(Fonte: Amorim, 1989)

**ÁGUA RETIDA NO SOLO PARA DIFERENTES DE NEG. ACUM.**

| NEG.<br>ACUM. | 0                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
|---------------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|               | <b>ÁGUA RETIDA NO SOLO</b> |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 0             | 100                        | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 94 | 93 | 92 | 91 |
| 10            | 90                         | 89 | 88 | 88 | 87 | 86 | 85 | 84 | 83 | 82 |
| 20            | 81                         | 81 | 80 | 79 | 78 | 77 | 77 | 76 | 75 | 74 |
| 30            | 74                         | 73 | 72 | 71 | 70 | 70 | 69 | 68 | 68 | 67 |
| 40            | 66                         | 66 | 65 | 64 | 64 | 63 | 62 | 62 | 61 | 60 |
| 50            | 60                         | 59 | 59 | 58 | 58 | 57 | 56 | 56 | 55 | 54 |
| 60            | 54                         | 53 | 53 | 52 | 52 | 51 | 51 | 50 | 50 | 49 |
| 70            | 49                         | 48 | 48 | 47 | 47 | 46 | 46 | 45 | 45 | 44 |
| 80            | 44                         | 44 | 43 | 43 | 42 | 42 | 41 | 41 | 40 | 40 |
| 90            | 40                         | 39 | 39 | 38 | 38 | 38 | 37 | 37 | 36 | 36 |
| 100           | 36                         | 35 | 35 | 35 | 34 | 34 | 34 | 33 | 33 | 33 |
| 110           | 32                         | 32 | 32 | 31 | 31 | 31 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 120           | 29                         | 29 | 29 | 28 | 28 | 28 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 130           | 26                         | 26 | 26 | 26 | 25 | 25 | 25 | 24 | 24 | 24 |
| 140           | 24                         | 24 | 23 | 23 | 23 | 23 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 150           | 22                         | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 160           | 19                         | 19 | 19 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 170           | 18                         | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 180           | 16                         | 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 14 | 14 |
| 190           | 14                         | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| 200           | 13                         | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 210           | 12                         | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 220           | 10                         | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 230           | 9                          | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  |
| 240           | 8                          | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  |
| 250           | 8                          | 8  | 8  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  |
| 260           | 7                          | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| 270           | 6                          | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| 280           | 6                          | 6  | 6  | 6  | 6  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |
| 290           | 5                          | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |
| 300           | 5                          | 5  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 310           | 4                          | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 320           | 4                          | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 330           | 3                          | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 340           | 3                          | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| 350           | 3                          | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  |
| 360           | 2                          | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 370           | 2                          | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 380           | 2                          | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 390           | 2                          | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 400           | 2                          | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| 410           | 2                          | 2  | 2  | 2  | 2  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 420           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 430           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 440           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 450           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 460           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 470           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 480           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 490           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 500           | 1                          | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |

O excedente hídrico representa a recarga potencial que pode infiltrar no solo sem alcançar, necessariamente, o nível de água no aquífero. Apesar de ser um método clássico do balanço hídrico, tem-se apenas um valor limitado para a estimativa da recarga efetiva. O seu valor é mais qualitativo, indicando assim regiões que são mais afetadas pelos processos hidroclimatológicos

Os valores destas etapas (A – I) para os anos de 2004 até julho de 2007 são apresentados de forma resumida no Capítulo 5.2 na tabela 5.1 e, em detalhes, no Apêndice C.

### 4.3 Modelo BALSEQ

O modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ foi utilizado para a caracterização da recarga das águas subterrâneas.

A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe é formada por três sub-bacias: sub-bacia Brejo das Freiras, sub-bacia Sousa e sub-bacia Pombal. A metodologia utilizada para a determinação da recarga foi dividida em dois cenários em função da influência ou não dos aluviões no processo da recarga.

Segundo Oliveira et al. (2004b), para calcular a recarga utilizando este modelo são necessários:

Dados diários de precipitação ( $P$ );

Dados diários de evapotranspiração ( $ETP$ );

Valores do fator  $CN$  (Curva Número) do U.S. Soil Conservation Service – SCS (1972) para determinar o escoamento superficial;

Valores do parâmetro  $AGUT$ , que significa a quantidade de água disponível para a evapotranspiração, obtido através da capacidade de campo do solo ( $C_c$ ), do seu ponto de murchamento ( $PM$ ) e da profundidade das raízes das plantas ( $RP$ );

O valor da quantidade de água retida no solo no primeiro dia do balanço hídrico a ser efetuado ( $A_i$ ).

#### 4.3.1 Etapas para Estimativa da Taxa de Recarga

- i) Cálculo da precipitação média diária na bacia sedimentar ;
- ii) Cálculo da evapotranspiração potencial através dos métodos de Thorntwaite
- iii) Estimativa dos parâmetros  $CN$ ,  $AGUT$  e  $A_i$ ;

iv) Aplicação do BALSEQ, segundo o fluxograma da figura 4.1 levando em consideração as seguintes etapas:

Etapa 1: Ler as taxa de precipitação diária e de evapotranspiração potencial diária estimada pelo método Thornthwaite através da Equação 4.1;

Etapa 2: Determinar a taxa de escoamento  $E_d$ , em caso que a precipitação  $P$  ultrapasse o valor  $5080/CN - 50,8$  (vide Eqs. 4.10 – 4.12):

$$E_d = \frac{25,4 \cdot (P/25,4 - 200/NC + 2)^2}{P/25,4 + 800/NC - 8} \quad (4.2)$$

Etapa 3: Cálculo da taxa diária de infiltração superficial,  $I_s$ , e da taxa de água armazenada no solo ao longo de dia,  $H_i$ ; O valor de  $A_i$  para o primeiro dia foi considerado igual a zero.

Etapa 4: Comparação se a água armazenada,  $H_i$ , é menor ou maior que evapotranspiração,  $ETP$ ;

Etapa 5: Comparação se a água armazenada,  $H_i$ , é menor ou maior que a quantidade máxima de água disponível no solo para evapotranspiração,  $AGUT$ :

$$AGUT = (C_c - PM) \cdot R_p \quad (4.3)$$

onde  $C_c$  = capacidade de campo,  $PM$  = ponto de murchimento e,  $RP$  = profundidade das raízes.

Etapa 6: No caso SIM, a infiltração profunda,  $I_p$ , e a água armazenada no solo no final do dia,  $A_i$ , são:

$$\begin{aligned} I_p &= H_i - AGUT \\ A_i &= AGUT \end{aligned} \quad (4.4)$$

O balanço hídrico termina depois um ciclo de  $i$  dias.

Os resultados da simulação com BALSEQ para os anos de 2004 até julho de 2007 são apresentados de forma resumida no capítulo 5.3.

### 4.3.2 Precipitação Média

A precipitação é registrada pontualmente e utilizada nos modelos englobando uma área  $i$  no tempo  $t$ , ou seja  $P(i,t)$ . Esta entrada representa a precipitação entre  $t-\Delta t$ , ou a intensidade no período, ou seja,  $I = P(i,t) / \Delta t$ , onde  $\Delta t$  é o intervalo de tempo.

Para calcular a precipitação média numa superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dentro dessa superfície e nas suas vizinhanças. Aceita-se a precipitação média como sendo a lâmina de água de altura uniforme sobre toda área considerada, associada a um período de tempo dado (como uma hora, dia, mês,ano) Isso não deixa de ser uma abstração, a chuva real obedece a distribuições espaciais e temporais variáveis. (Tucci, 1993; Sanchez, 1986)

A altura média de precipitação em uma área específica é necessária em muitos problemas hidrológicos, notadamente na determinação do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, cujo estudo pode ser feito com base temporal isolado, ou com totais de uma estação do ano, ou ainda com base em totais anuais.

Existem diversos métodos para determinar a precipitação média numa área, conforme a ponderação que se faz das observações pontuais disponíveis. Os métodos mais usuais são: método da média aritmética, método de Thiessen e método das isoietas.

Na aplicação do modelo, utilizou-se o método de Thiessen com a finalidade de ponderar a influência de cada posto pluviométrico da área de estudo aplicado em uma série média diária de precipitação no período de janeiro/2004 à maio/2007 de 11 estações. Vale salientar que em algumas estações em determinados períodos não possuem dados registrados

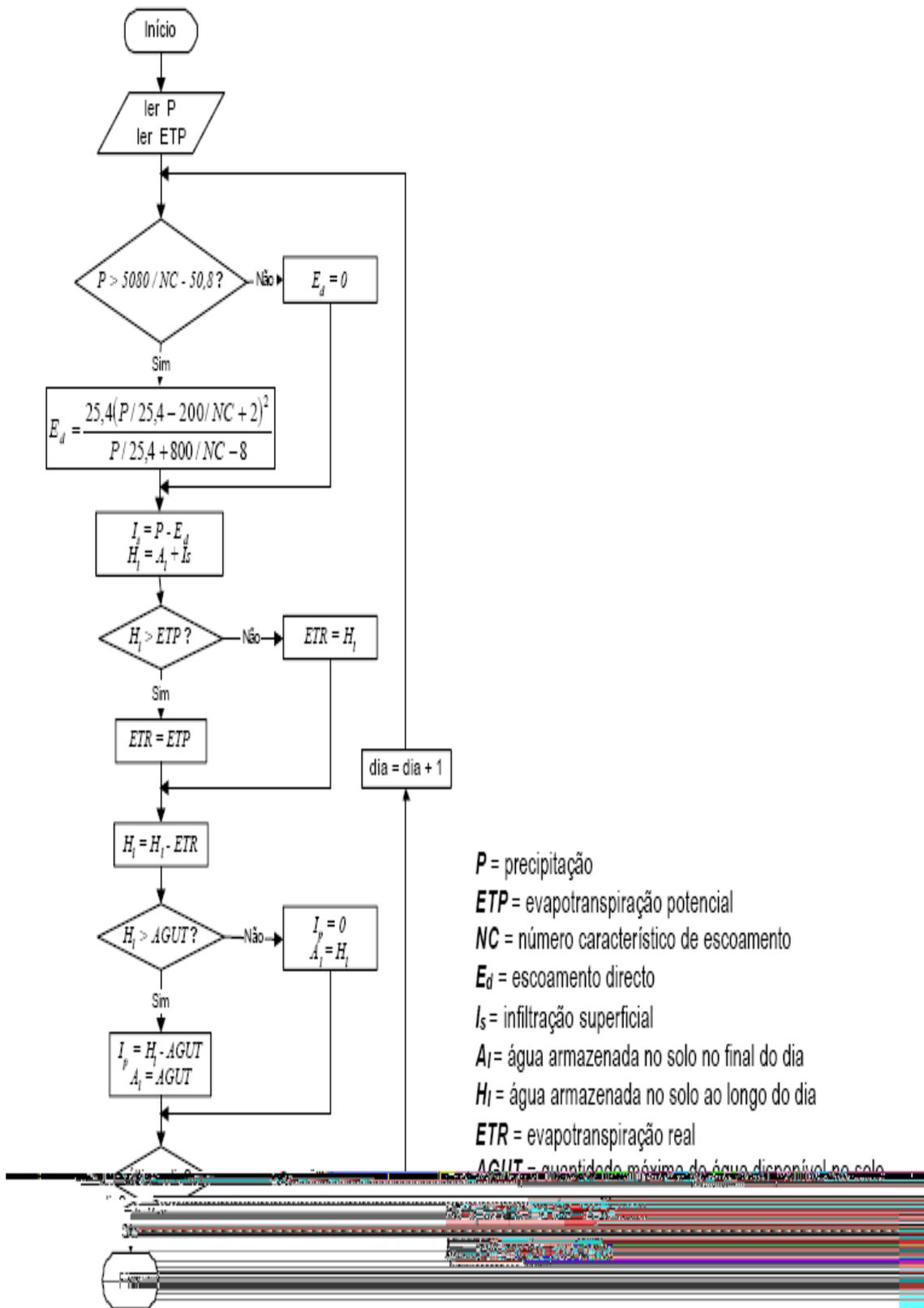


Figura 4. 1 - Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico seqüencial diário BALSEQ (Fonte: Paralta et. al, 2003).

O método de Thiessen considera a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos, sem levar em conta o relevo da bacia. A metodologia consiste na seguinte:

- a. ligar os pontos por trechos retilíneos;
- b. traçar linhas perpendiculares na metade do intervalo entre as linhas que ligam os postos;
- c. as interseções do prolongamento das linhas delimitam a área de influência de cada posto;
- d. a precipitação média é obtida por:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Area_i}{Area_t} \quad (4.5)$$

Onde:  $Area_i$  é a área de influência do posto  $i$  com precipitação  $P_i$ ;  $Area_t$  é a área total da bacia.

### 4.3.3 Evapotranspiração

Para a estimativa da evapotranspiração potencial,  $ETP$ , também foi utilizado o método de Thornthwaite. Para o cálculo da evapotranspiração real, o método é semelhante ao modelo criado por Kinzelbach (1986), no entanto de forma mais simplificada, a evapotranspiração real,  $ETR$ , é calculada a partir da comparação entre o valor da água armazenada do solo ao longo do dia,  $H_i$ , e da evapotranspiração potencial,  $ETP$ , dado por:

$$ETR \begin{cases} = ETP, \text{ se } H_i > ETP \\ = H_i, \text{ se } H_i < ETP \end{cases} \quad (4.6)$$

### 4.3.4 Escoamento Direto

Para estimar o escoamento superficial ou direto,  $E_d$ , utiliza-se o método do United States Soil Conservation Service (U.S.SCS), que define o número característico de escoamento,  $CN$ , em função do tipo e uso do solo. Os valores de  $CN$  variam entre 0 (correspondendo a um solo de permeabilidade vertical infinita, em que toda a água se infiltra no solo) e 100 (que corresponde a uma zona completamente impermeável). Segundo

Baumgarten et. al (2003), é importante acentuar que o valor de *CN* não exprime a porcentagem de zonas impermeáveis da bacia.

O escoamento direto,  $E_d$ , produzido por uma determinada chuva isolada (de um dia ou de duração menor), se calcula, a partir da precipitação total em função das condições antecedentes da umidade do solo e do valor do complexo hidrológico “tipo de solo e cobertura” que é um dos principais fatores que influencia a infiltração. (Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986)

#### 4.3.4.1 Grupos Hidrológicos

Para a caracterização do tipo de solo consideram-se quatro classes (A a D):

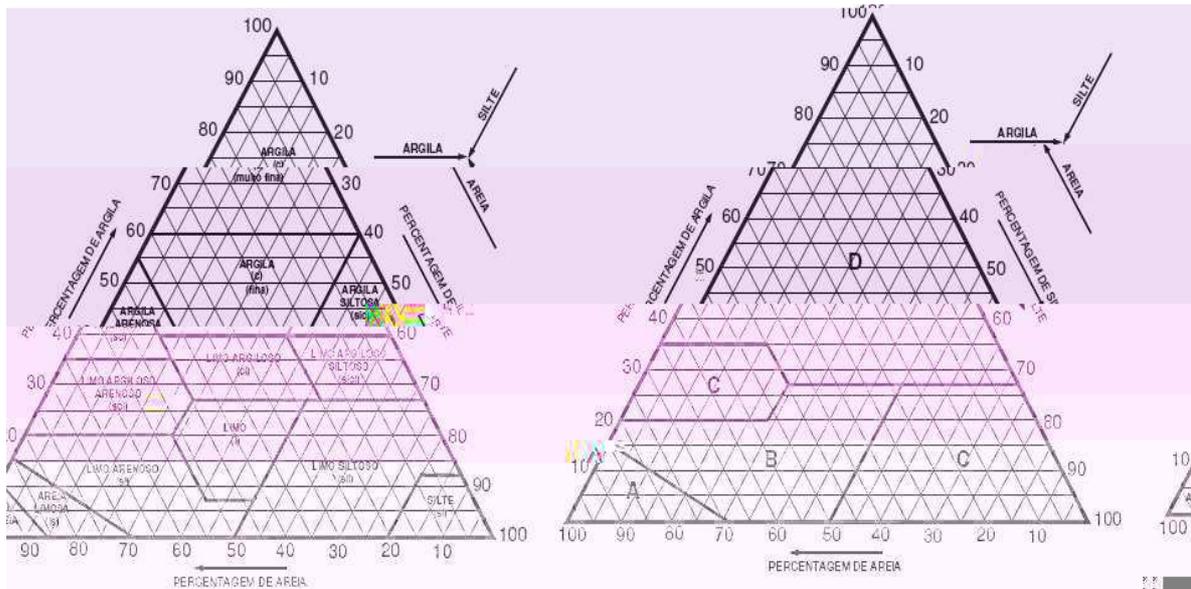
**Tipo A:** Apresentam baixo potencial de escoamento direto e elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente umedecidos. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila. Possuem uma elevada transmissividade.

**Tipo B:** São solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo que o tipo A com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira, e medianamente drenados. Apresentam potencial de escoamento direto abaixo da média e intensidades de infiltração moderadas, quando completamente umedecidos. Possuem uma transmissividade média e permeabilidade superior à media.

**Tipo C:** Possuem potencial de escoamento direto acima da média e baixa intensidade de infiltração, quando completamente umedecidos. Contém porcentagem considerável de argila e pouco profundo, solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina. Estes solos possuem uma transmissividade baixa.

**Tipo D:** Apresentam um potencial de escoamento direto elevado e intensidades de infiltração muito baixas quando completamente umedecidos. Incluem essencialmente solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade. Estes solos possuem uma transmissividade muito baixa.

A figura 4.2 apresenta o grupo hidrológico do solo em função da porcentagem da quantidade de argila, silte e areia.



**Figura 4.2 – Caracterização do tipo de solo (A, B, C e D) em função do teor de argila, silte e areia (Fonte: Lança,2007).**

A partir da figura anterior, estabelece a tabela 4.1 com a classificação do tipo de solo considerada na em cada formação geológica presente na área de estudo.

**Tabela 4.2 – Caracterização do solo**

| Formação Geológica | Tipo de Solo | Solo                  |
|--------------------|--------------|-----------------------|
| Aluviões           | A            | Areia não consolidada |
| Antenor Navarro    | C            | Arenito               |
| Rio Piranhas       | C            | Arenito               |
| Souza              | D            | Folhelho              |

#### 4.3.4.2 Cobertura do Solo

Nesta análise considera a parte superficial do terreno em relação com sua maior ou menor capacidade de infiltração, que depende da classe e densidade da vegetação e da forma e tipo das culturas realizadas.

Nas tabelas (4.2) e (4.3) estabelece-se os valores do parâmetro *CN* para bacias rurais, urbanas e suburbanas com graduações de pobres a boas para a infiltração em relação ao tipo e uso do solo.

**Tabela 4.3 – Valores do parâmetro CN para bacias rurais (Fonte: Tucci, 1993)**

| Uso do solo           | Superfície            | A  | B  | C  | D  |
|-----------------------|-----------------------|----|----|----|----|
| Solo lavrado          | com sulcos retilíneos | 77 | 86 | 91 | 94 |
|                       | em fileiras retas     | 70 | 80 | 87 | 90 |
| Plantações regulares  | em curvas de nível    | 67 | 77 | 83 | 87 |
|                       | terraceado em níveis  | 64 | 76 | 84 | 88 |
|                       | em fileiras retas     | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Plantações de cereais | em curvas de nível    | 62 | 74 | 82 | 85 |
|                       | terraceado em níveis  | 60 | 71 | 79 | 82 |
|                       | em fileiras retas     | 62 | 75 | 83 | 87 |

Verifica-se que, quanto mais denso é o cultivo, menor é sua condição hidrológica para a infiltração e menor é o valor do *CN* que representa o escoamento. (Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1986)

#### 4.3.4.3 Condições Antecedentes de Umidade do Solo

Os valores das constantes nas tabelas (4.2) e (4.3) são relativos às condições médias de umidade antecedente ( $CN_{II}$ ). O fator *CN* varia em função da chuva caída durante os cinco dias anteriores e assim, atribui a condição apresentada na tabela (4.4).

$CN_I$  – corresponde à curva número para a condição I de umidade, situação em que os solos estão secos;

$CN_{II}$  – corresponde à curva número para a condição II de umidade, ou seja, situação média em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo;

$CN_{III}$  - corresponde à curva número para a condição III de umidade, situação em que os solos estão saturados.

**Tabela 4. 4 – Valores do parâmetro *CN* para bacias urbanas e suburbanas (Fonte: Tucci, 1993)**

| Utilização ou cobertura do solo   | A  | B  | C  | D  |
|---|----|----|----|----|
| Zona: cultivada: sem conservação do solo  | 72 | 81 | 88 | 91 |
| com conservação do solo   | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Pastagens ou terrenos em más condições  | 68 | 79 | 86 | 89 |
| Baldios em boas condições   | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Prado em boas condições   | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Bosques ou zonas de cobertura ruim  | 45 | 66 | 77 | 83 |
| Florestais: cobertura boa   | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Espaços abertos, relevados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições |    |    |    |    |
| Com relva em mais de 75% da área  | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Com relva de 50 a 75% da área   | 49 | 69 | 79 | 84 |
| Zonas comerciais e de escritórios   | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Zonas industriais   | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Zonas residenciais  |    |    |    |    |
| Lotes de (m <sup>2</sup> )      % média impermeável                             |    |    |    |    |
| <500                    65  | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 1000                    28  | 61 | 75 | 80 | 87 |

**Tabela 4. 5 - Condições antecedentes de umidade do solo. (Fonte: Tucci, 1993)**

| Condição | Precipitação ocorrida durante os últimos cinco dias (mm) |                                |
|----------|--|--------------------------------|
|          | Período úmido: janeiro – maio                            | Período seco: junho – dezembro |
| I        | $P < 36$ mm  | $P < 13$ mm                    |
| II       | $36$ mm $< P < 53$ mm                                    | $13$ mm $< P < 28$ mm          |
| III      | $P > 53$ mm  | $P > 28$ mm                    |

As fórmulas (4.7) e (4.8) apresentam correções aos valores tabelados para situações diferentes da média em função das condições apresentadas na tabela anterior ( Tabela 4.4).

$$CN_I = \frac{4,2 \cdot CN_{II}}{10 - 0,058 \cdot CN_{II}} \quad (4.7)$$

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0,13 \cdot CN_{II}} \quad (4.8)$$

#### 4.3.4.4 Cálculo do Escoamento Superficial ou Direto

O cálculo do escoamento direto, ou chuva efetiva, é dado pela equação 4.9, no entanto, só é válida para  $P > 0,2 \cdot S$ , quando  $P < 0,2 \cdot S$ ,  $E_d = 0$ .

$$E_d = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad [\text{mm}] \quad (4.9)$$

Onde:  $P$  = precipitação (mm);

$S$  = capacidade máxima de armazenamento, dada por:

$$S = 25,4 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (4.10)$$

Colocando Eq. 4.10 na Eq. 4.9, obtém-se a Eq. 4.11:

$$E_d = \frac{25,4(P/25,4 - 200/CN + 2)^2}{P/25,4 + 800/CN - 8} \quad (4.11)$$

#### 4.3.4.5 Cálculo do Coeficiente de Escoamento

O cálculo do coeficiente de escoamento,  $C_s$ , é calculado pela razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Variando em função das características da bacia, bacias impermeáveis geram maior escoamento superficial relativamente. Nas áreas urbanas:  $0,7 < C_s < 0,9$  e nas áreas rurais:  $0,1 < C_s < 0,3$ .

$$C_s = \frac{V_s}{V} = \frac{A \cdot P_e}{A \cdot P} = \frac{P_e}{P} \quad (4.12)$$

Onde:  $P_e$  = a chuva efetiva, ou escoamento superficial (mm);

$P$  = a chuva total (mm).

### 4.3.5 Demais parâmetros do modelo

O *AGUT* tem um significado físico preciso, é dado por:

$$AGUT = (C_c - PM) \cdot RP \quad (4.13)$$

Onde:  $C_c$  = Capacidade de campo.

$PM$  = Ponto de murchimento;

$RP$  = Profundidade das raízes das plantas ou profundidade do solo sujeito a evaporação.

Os valores de capacidade de campo e o ponto de murchimento foram baseados nas análises de campo realizadas pelo Laboratório de Engenharia Agrícola da UFCG.

Para os dados de capacidade de campo, atribui-se intervalos em virtude da sua variação ao longo da região em estudo, conseqüentemente, surgiu diferentes valores de *AGUT*.

Para o valor inicial da água armazenada no final do dia,  $A_i$ , é atribuído o valor de *AGUT*, esse valor varia para os demais dias em função da capacidade de armazenamento do dia anterior.

A infiltração superficial ( $I_s$ ) é calculada pela diferença entre a precipitação ( $P$ ) e o escoamento superficial ( $E_s$ ).

A infiltração profunda ( $I_p$ ) é obtida através da análise da água armazenada no solo ao longo do dia ( $H_i$ ) o valor de *AGUT*, ou seja, para a água retida no solo e a infiltração profunda, o modelo faz um balanço hídrico, sujeito à condição de que a água retida no solo não pode ultrapassar um valor limite, designado de quantidade máxima de água utilizável para evapotranspiração, *AGUT*, que é outro parâmetro de entrada do modelo.

O valor da infiltração profunda ( $I_p$ ) calculado para cada dia traduzirá o valor de recarga ( $R$ ) que ocorrerá mais tarde, no entanto, considera-se que não há camadas menos permeáveis na zona vadosa abaixo do solo.

### 4.3.6 Recarga Média

A recarga média de uma sub-bacia ou bacia calcula-se da mesma forma como a precipitação média (Cap. 4.2.2)

Neste trabalho foi utilizado o método de Thiessen para determinar a recarga média como foi o caso para o cálculo da precipitação média:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot Area_i}{\sum_i Area_i} \quad (4.14)$$

Onde:  $Area_i$  é a área de influência do posto  $i$  com recarga  $R_i$ ;  $\sum Area_i$  é a área total da sub-bacia ou bacia.

**Capítulo**

**5**

---

**RESULTADOS**

## 5.0 RESULTADOS

### 5.1 Ambiente Computacional

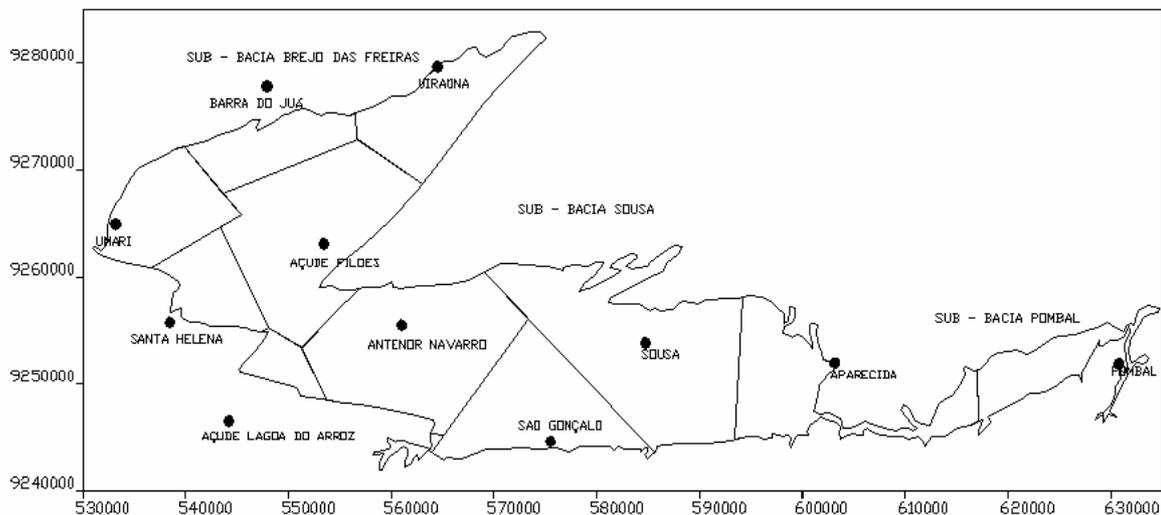
Os dois modelos foram desenvolvidos no ambiente EXCEL<sup>TM</sup>. No entanto, modelo BALSEQ também foi desenvolvido no MATLAB (Apêndice D).

Para o método de Thorthwaite & Mather (1955) foi utilizada as planilhas no ambiente EXCEL<sup>TM</sup> criada por Rolim et al. (1998) no qual se tem uma ferramenta para a confecção de gráficos e criação e manipulação de banco de dados. As planilhas possuem áreas que não são acessíveis ao usuário, reservadas para os cálculos básicos e para a lógica do programa.

### 5.2 Divisão das Sub- bacias

Para calcular valores médios atribuídos às formações geológicas das 03 sub-bacias, é necessário conhecer a distribuição areal dos 11 polígonos das estações pluviométricas nestas sub-bacias.

As três sub-bacias foram subdivididas em suas respectivas áreas de influência de 11 estações pluviométricas discretizada por polígonos de Thiessen mostrado na figura 5.1.



**Figura 5.1– Bacia Sedimentar do Rio do Peixe com as 11 estações pluviométricas e suas respectivas áreas de influências.**

As 11 estações pluviométricas consideradas foram: 1. Umari, 2. Triunfo/Barra do Juá e 3. Santa Helena (Formação Geológica de Antenor Navarro situada na Sub-Bacia Brejo das Freiras); 4. Açude de Pilões e 5. Uiráuna (Formação Geológica de Sousa situada na Sub-Bacia Brejo das Freiras); 6. Açude Lagoa do Arroz e 7a. Antenor Navarro (Formação Geológica de Antenor Navarro situada na Sub-Bacia Sousa), 7b. Antenor Navarro, 8. São Gonçalo, 9a Sousa e 10a. Aparecida (Formação Geológica de Sousa situada na Sub-Bacia Sousa); 9b Sousa (Formação Geológica de Rio Piranha situada na Sub-Bacia Sousa); 10b Aparecida e 11 Pombal (Formação Geológica de Antenor Navarro e Sousa situadas na Sub-Bacia Pombal).

As três sub-bacias foram subdivididas em suas respectivas áreas de influência de 11 estações pluviométricas, do modo como é indicado na tabela 5.1.

**Tabela 5. 1 - Divisão das Sub-Bacias em áreas de influência das estações pluviométricas**

| SUB - BACIA                            | ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS                         |
|--|---|
| <b>Brejo das Freiras</b>               |   |
| <i>Form. Geológica Antenor Navarro</i> | Umari, Triunfo/Barra do Juá e Santa Helena      |
| <i>Form. Geológica Sousa</i>           | Açude de Pilões e Uiráuna                       |
| <b>Sousa</b>                           |   |
| <i>Form. Geológica Antenor Navarro</i> | Açude Lagoa do Arroz e Antenor Navarro          |
| <i>Form. Geológica Sousa</i>           | Antenor Navarro, São Gonçalo, Sousa e Aparecida |
| <i>Form. Geológica Rio Piranhas</i>    | Sousa   |
| <b>Pombal</b>                          |   |
| <i>Form. Geológica Antenor Navarro</i> | Aparecida e Pombal                              |
| <i>Form. Geológica Sousa</i>           |   |

### 5.3 Modelo de Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather

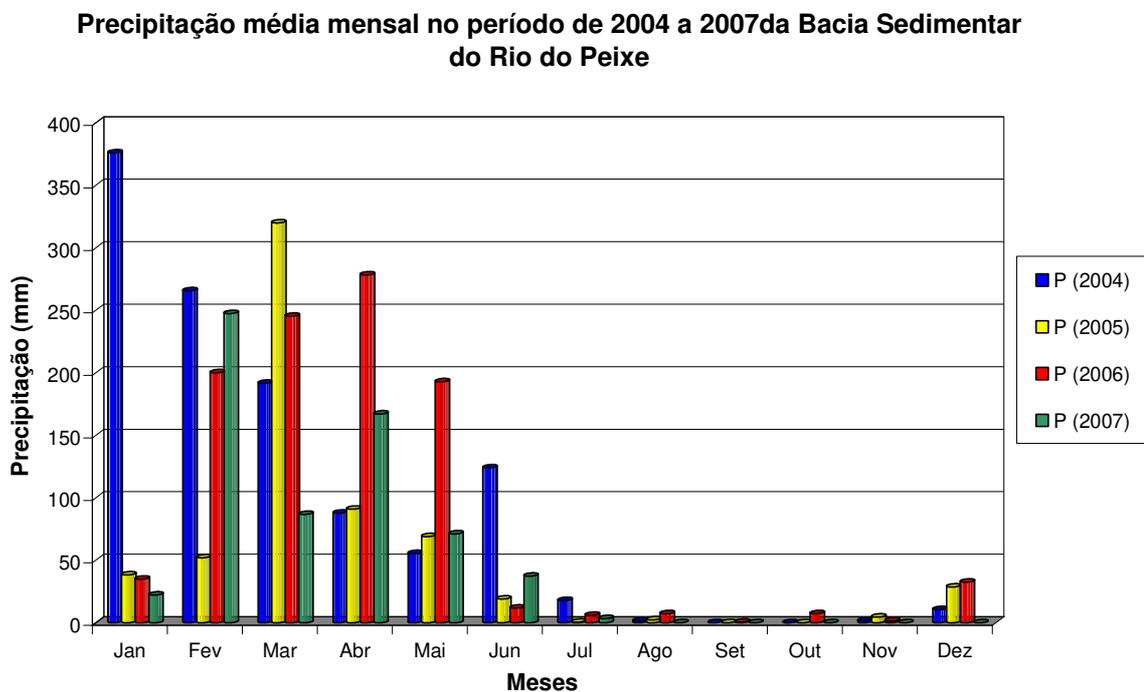
A variação da umidade do solo é o resultado da atuação conjunta dos regimes de precipitação e de evapotranspiração ocorrentes em um determinado local e/ou região. Na figura 5.2 apresenta a precipitação média calculada pelo método de Thiessen no período de 2004 até julho de 2007. As ocorrências das chuvas mensais medidas nas 11 estações pluviométricas que estão instaladas na área de estudo encontram-se no Apêndice A.

Verifica-se que o período chuvoso ocorre normalmente entre os meses de fevereiro à maio, tendo o ano de 2004 como anômalo, em virtude da grande ocorrência de chuva em janeiro. Os dados de chuva foram fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA

A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe é caracterizada por chuvas irregulares durante os meses chuvosos de janeiro a maio (4 meses), com uma média de 850 mm/ano, alto índice de

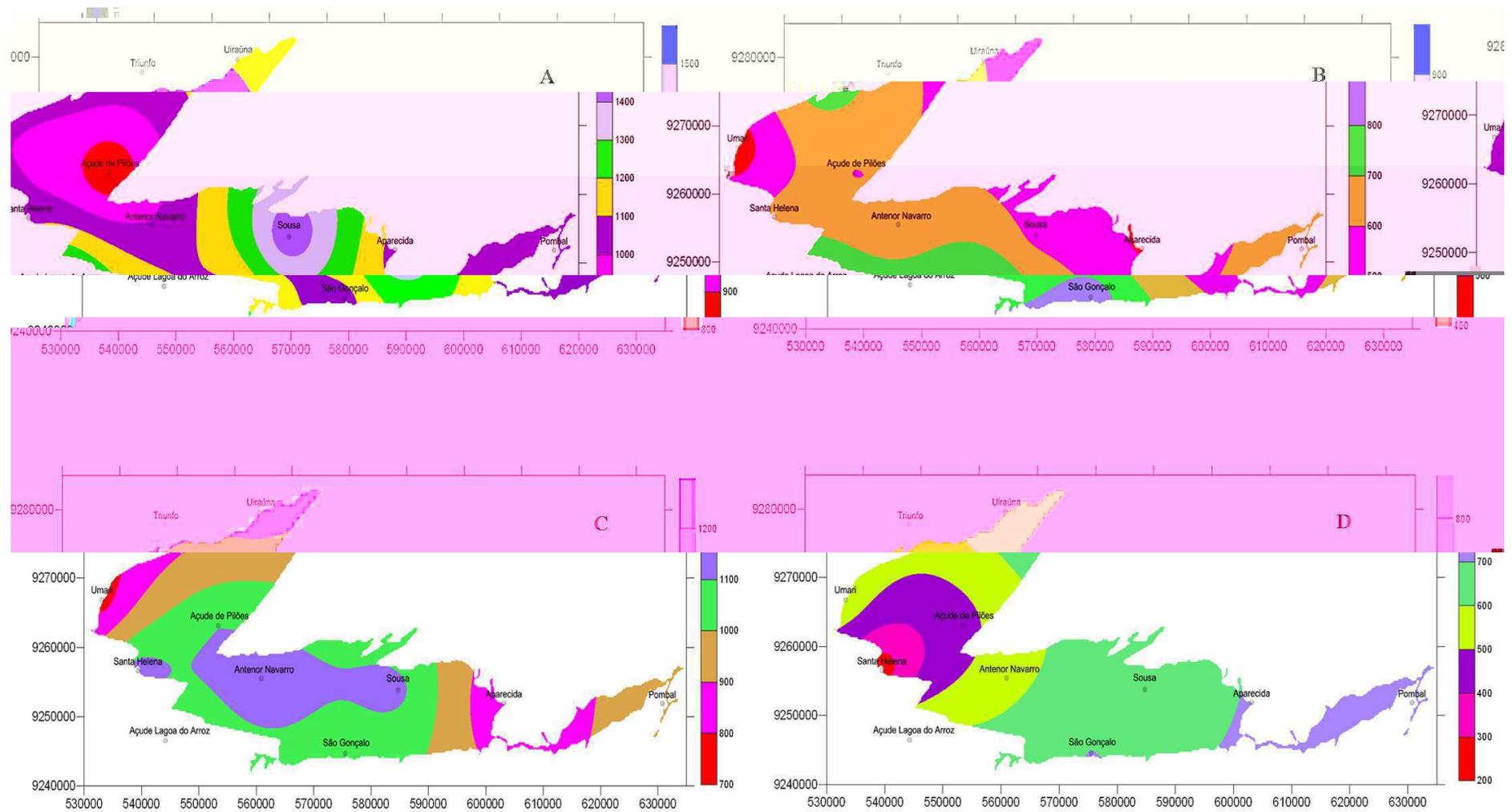
evaporação durante os meses secos (temperatura média anual de 26,5°C) de junho a dezembro (8 meses), com uma média de 1600 mm/ano.

Para os anos de 2004 e 2006 constatou que a média pluviométrica estava acima da média histórica de 850mm/ano, ou seja 33,10% ( $P_{2004} = 1131,18\text{mm}$ ) e 19,72% ( $P_{2006} = 1017,38\text{mm}$ ) respectivamente, enquanto que em 2005 ocorreu um decréscimo de 26,53% em relação à média histórica ( $P_{2005} = 624,65\text{mm}$ ). Enquanto que para o ano de 2007 apesar dos dados obtidos serem até julho, observa-se que neste ano já possui uma média de 636,53mm, superior ao ano de 2005. A figura 5.3 apresenta a variabilidade pluviométrica anual no período estudado na região.

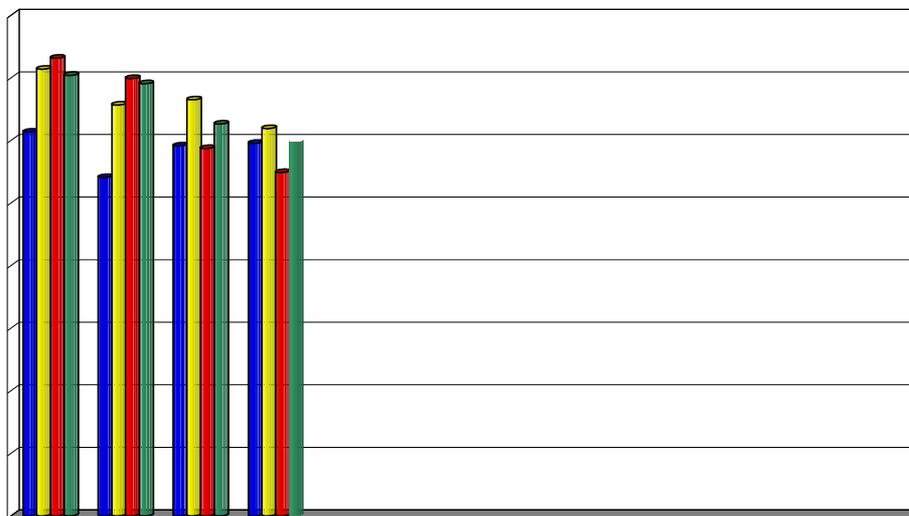


**Figura 5. 2 – Precipitação média mensal da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe.**

A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método Thornthwaite os resultados mensais obtidos encontram-se na figura 5.4, observa-se que no período de agosto à janeiro a taxa de evapotranspiração potencial é crescente chegando a picos de 140 mm/mês, e no período de fevereiro à junho a taxa decresce. Os resultados diários encontram-se no apêndice B. Os dados de temperatura foram fornecidos pelo INMET na estação de São Gonçalo, sendo extrapolado para toda a região em estudo.



**Figura 5. 3 – Variação espacial da pluviometria total em mm na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe: A) no ano de 2004; B) no ano de 2005; C) no ano de 2006; D) no ano de 2007.**



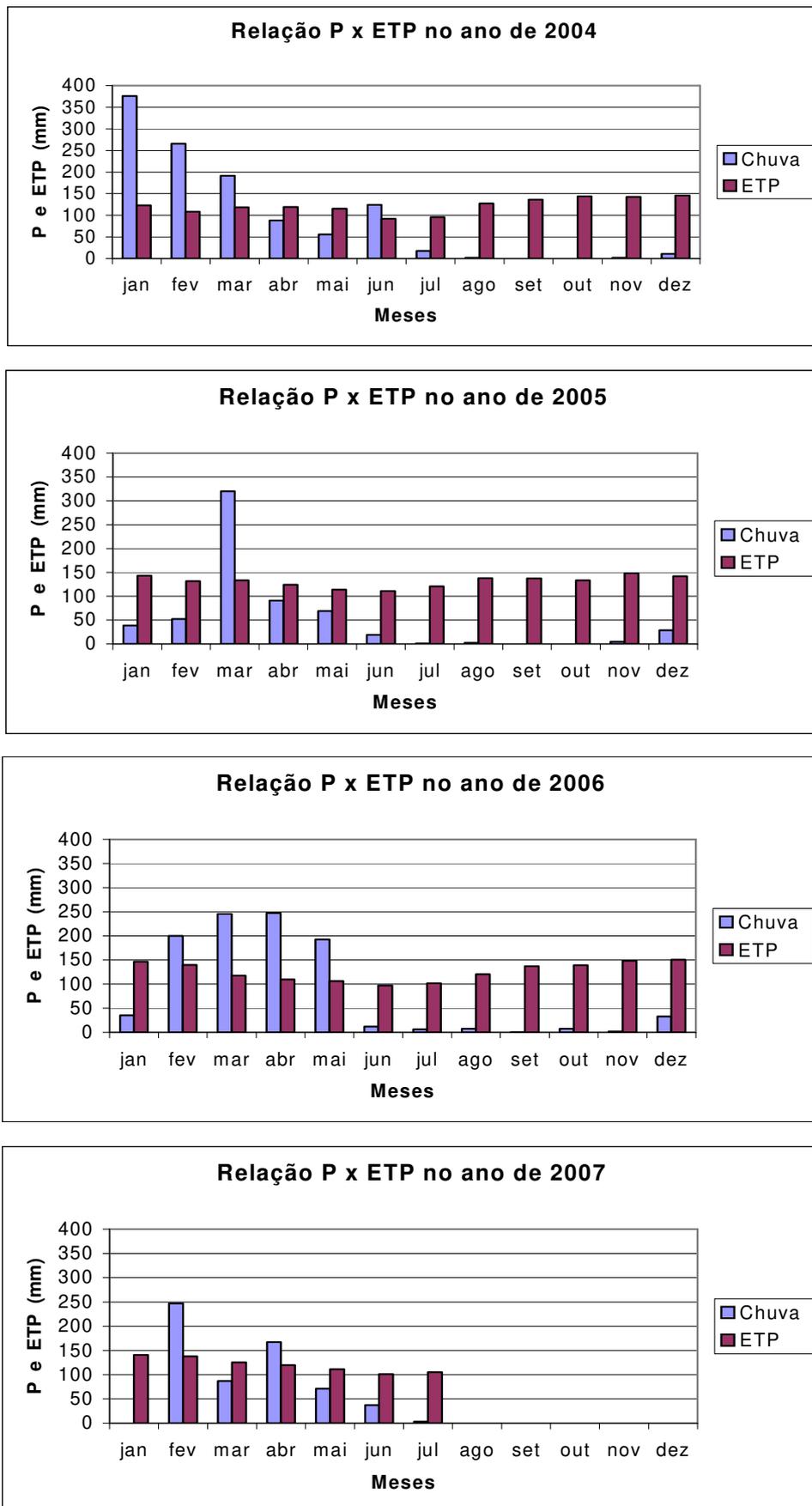


Figura 5.5 - Precipitação e evapotranspiração potencial mensal nos anos de 2004 a 2007.

Como demonstração do método de Thornwaite & Mather, os resultados mensais de 2006 de uma estação (Antenor Navarro) são apresentados na tabela 5.2 e figura 5.6.

Os gráficos apresentados na figura 5.6 tem como objetivo verificar os períodos de excedentes e de deficiências hídricas permitindo assim, avaliar os efeitos das carências e dos excessos de água no solo. A figura 5.6a mostra a relação mensal entre a precipitação, evapotranspiração potencial (*ETP*) e a real (*ETR*). Na Fig. 5.6b observa-se que apenas no período da estação chuvosa (fevereiro à junho) o solo consegue atingir sua capacidade de armazenamento máximo, neste caso, *CAD* = 100mm, representando sua recarga potencial (Fig. 5.6c), a taxa excedente. Figura 5.6d apresenta todos os processos do método de Thornthwaite. Para o período das retiradas hídricas não falta umidade no solo e nem para a vegetação, no entanto, não ocorre percolação. Nota-se também que a reposição ocorre normalmente em fevereiro.

Os demais anos desta estação são apresentados resumidos na figura 5.7. O balanço hídrico normal climatológico observado na figura 5.7 apresenta nos meses de janeiro à março de 2004 e fevereiro à maio de 2006 uma considerável taxa de excedente hídrico ou seja, uma recarga potencial para preencher o lençol freático. Em meados do mês de junho onde começa o período seco, ocorre o déficit hídrico. A lista completa dos valores do método de Thornthwaite & Mather desta estação para os anos 2004 -2007 encontra-se no apêndice C.

Os balanços hídricos anuais (2004 – 2007) das 11 estações pluviométricas, tais como taxa de excedente e deficit hídricos estão resumidos na tabela 5.3.

Os valores médios de excedente hídricos (*EXC*) ou déficit hídricas (*DEF*) para cada sub – bacia é baseado da fórmula geral, onde, neste caso,  $R_i$  equivalente ao excedente/deficit hídrico de cada estação multiplicada por sua respectiva área de influência.

$$\bar{R} = \frac{\sum_i R_i \cdot Area_i}{\sum_i Area_i}$$

As taxas mensais de excedente e déficit hídricos, calculadas para os anos de 2004 a julho de 2007 estão apresentadas na tabela 5.3 e nas correspondentes figuras 5.8 a 5.11.

Tabela 5. 2– Resultados mensais do método de Thornthwaite & Mather para estação pluviométrica Antenor Navarro no ano de 2006

**ESTAÇÃO** Antenor Navarro **LATITUDE** -6,44

**CAD (mm)** 100 **ANO** 2006

**ENTRADA DOS DADOS**

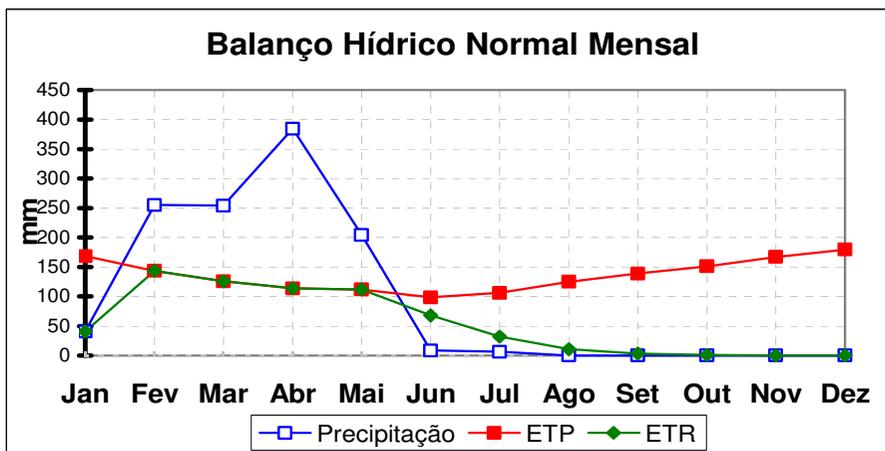
| Mês | Num de dias | NDA | T oC  | P mm   | N horas | I     | ETP Thornthwaite |
|-----|-------------|-----|-------|--------|---------|-------|------------------|
| Jan | 31          | 1   | 27,70 | 40,70  | 12,37   | 13,35 | 168,41           |
| Fev | 28          | 32  | 27,32 | 255,30 | 12,27   | 13,08 | 143,53           |
| Mar | 31          | 60  | 25,75 | 254,10 | 12,13   | 11,96 | 126,10           |
| Abr | 30          | 91  | 25,37 | 384,20 | 11,94   | 11,69 | 113,81           |
| Mai | 31          | 121 | 25,13 | 204,50 | 11,77   | 11,52 | 111,81           |
| Jun | 30          | 152 | 24,58 | 8,50   | 11,65   | 11,15 | 98,80            |
| Jul | 31          | 182 | 24,87 | 6,40   | 11,63   | 11,35 | 106,40           |
| Ago | 31          | 213 | 25,92 | 0,00   | 11,72   | 12,08 | 124,85           |
| Set | 30          | 244 | 26,80 | 0,00   | 11,88   | 12,71 | 138,73           |
| Out | 31          | 274 | 27,09 | 0,00   | 12,06   | 12,91 | 151,38           |
| Nov | 30          | 305 | 27,97 | 0,00   | 12,24   | 13,55 | 167,24           |
| Dez | 31          | 335 | 28,18 | 0,00   | 12,35   | 13,71 | 179,40           |

I = 149,1  
a = 3,70

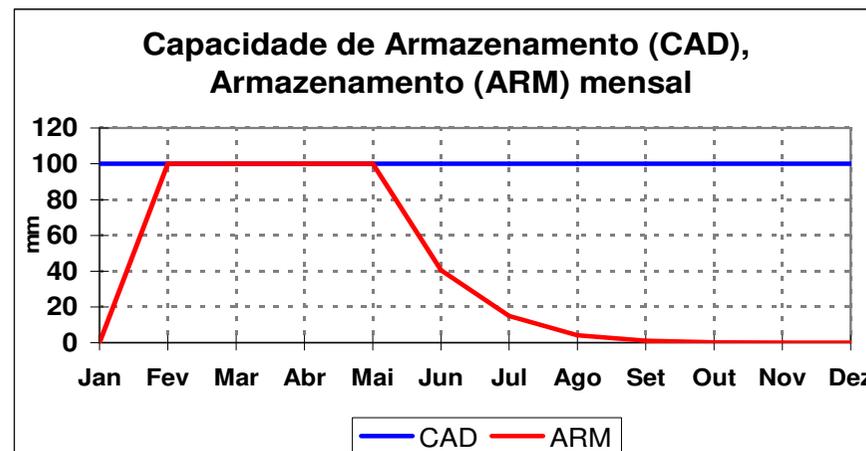
| Cálculo do Fotoperíodo |       |         |
|------------------------|-------|---------|
| d                      | hn    | N       |
| -23,01                 | 92,75 | 12,3664 |
| -17,52                 | 92,04 | 12,2722 |
| -8,29                  | 90,94 | 12,1257 |
| 4,02                   | 89,55 | 11,9394 |
| 14,90                  | 88,28 | 11,7705 |
| 22,04                  | 87,38 | 11,6508 |
| 23,12                  | 87,24 | 11,6317 |
| 17,91                  | 87,91 | 11,7212 |
| 7,72                   | 89,12 | 11,883  |
| -4,22                  | 90,48 | 12,0636 |
| -15,36                 | 91,78 | 12,237  |
| -22,11                 | 92,63 | 12,3504 |

**RESULTADOS**

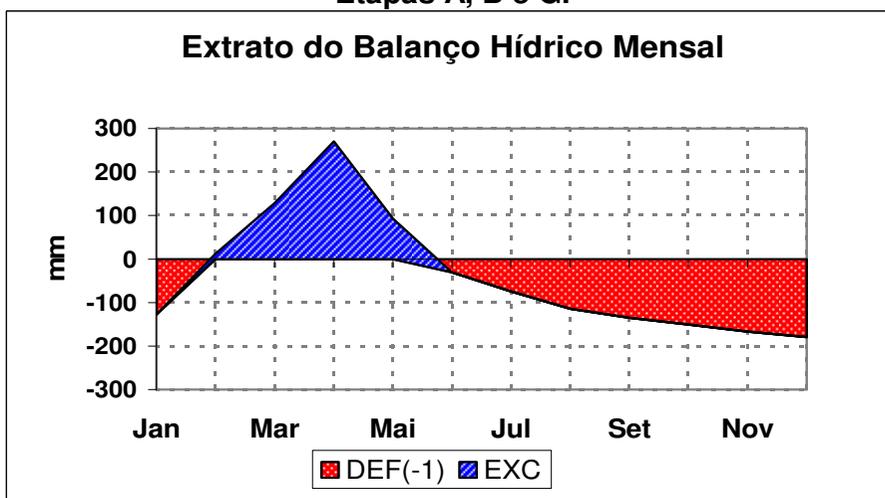
| ETAPAS        | A       | B                | C        | D        | E      | F      | G      | H      | I      |
|---------------|---------|------------------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mês           | P mm    | ETP Thornthwaite | P-ETP mm | NEG-AC   | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
| Jan           | 40,70   | 168,41           | -127,71  | -1079,60 | 0,00   | -0,01  | 40,71  | 127,71 | 0,00   |
| Fev           | 255,30  | 143,53           | 111,77   | 0,00     | 100,00 | 100,00 | 143,53 | 0,00   | 11,77  |
| Mar           | 254,10  | 126,10           | 128,00   | 0,00     | 100,00 | 0,00   | 126,10 | 0,00   | 128,00 |
| Abr           | 384,20  | 113,81           | 270,39   | 0,00     | 100,00 | 0,00   | 113,81 | 0,00   | 270,39 |
| Mai           | 204,50  | 111,81           | 92,69    | 0,00     | 100,00 | 0,00   | 111,81 | 0,00   | 92,69  |
| Jun           | 8,50    | 98,80            | -90,30   | -90,30   | 40,54  | -59,46 | 67,96  | 30,83  | 0,00   |
| Jul           | 6,40    | 106,40           | -100,00  | -190,30  | 14,91  | -25,62 | 32,02  | 74,38  | 0,00   |
| Ago           | 0,00    | 124,85           | -124,85  | -315,15  | 4,28   | -10,63 | 10,63  | 114,22 | 0,00   |
| Set           | 0,00    | 138,73           | -138,73  | -453,88  | 1,07   | -3,21  | 3,21   | 135,52 | 0,00   |
| Out           | 0,00    | 151,38           | -151,38  | -605,25  | 0,24   | -0,83  | 0,83   | 150,54 | 0,00   |
| Nov           | 0,00    | 167,24           | -167,24  | -772,49  | 0,04   | -0,19  | 0,19   | 167,05 | 0,00   |
| Dez           | 0,00    | 179,40           | -179,40  | -951,89  | 0,01   | -0,04  | 0,04   | 179,36 | 0,00   |
| <b>TOTAIS</b> | 1153,70 | 1630,45          | -476,75  |          | 461,08 | 0,00   | 650,84 | 979,61 | 502,86 |
| <b>MEDIAS</b> | 96,14   | 135,87           | -39,73   |          | 38,42  |        | 54,24  | 81,63  | 41,91  |



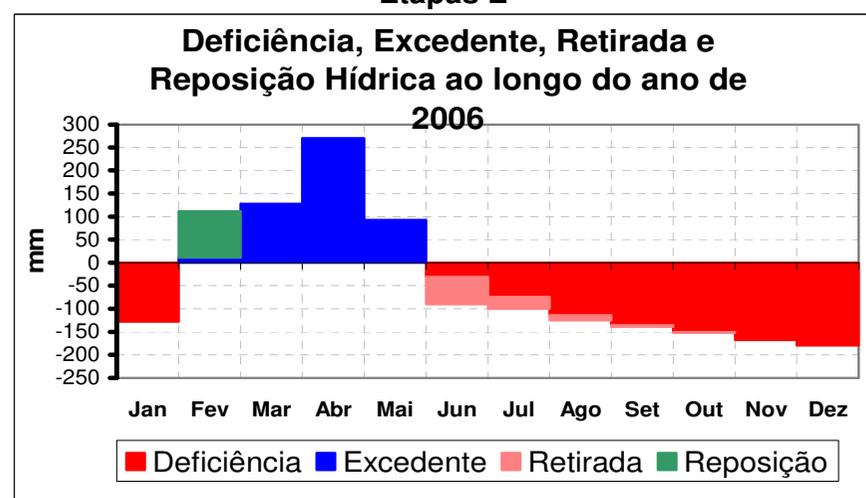
Etapas A, B e G.



Etapas E

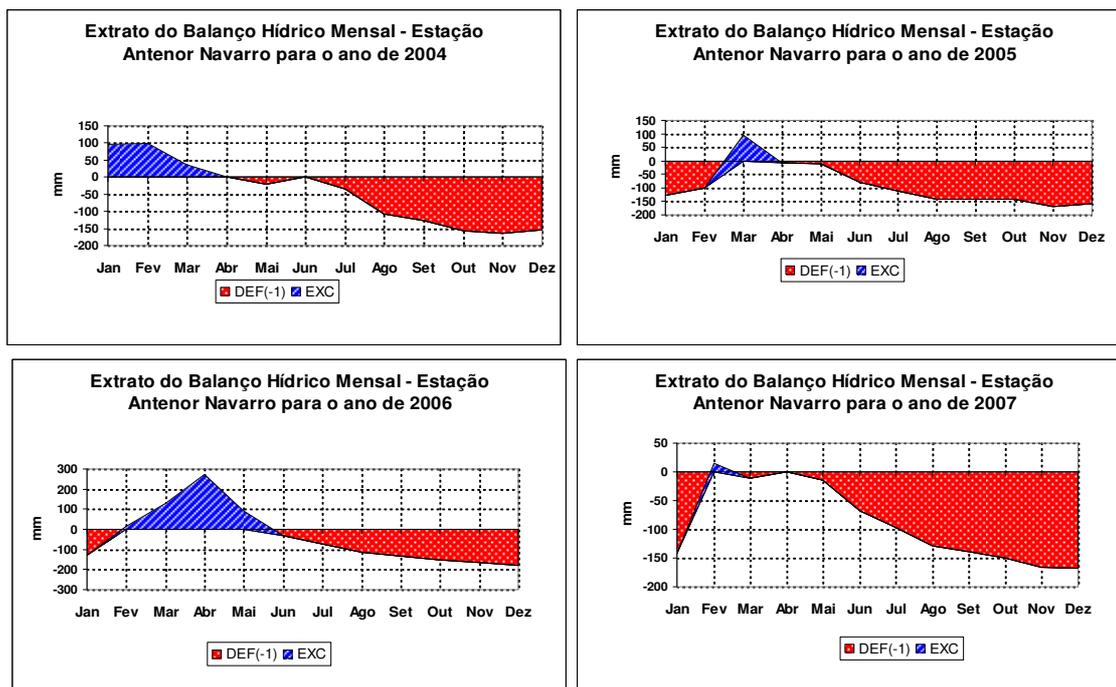


Etapas A, B e G.



Etapas F, H e I

Figura 5. 6 – Resultados mensais do método de Thornthwaite & Mather para estação pluviométrica Antenor Navarro no ano de 2006.



**Figura 5. 7– Curvas do extrato do balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather da estação Antenor Navarro para os anos de 2004 -2007.**

Observa-se na tabela 5.3 que no ano de 2004 com o advento do período chuvoso ocorre um armazenamento das reservas hídricas subterrâneas atingindo um excedente médio de 353,42mm, em seguida ao longo do período de estiagem, devido as altas taxas de evapotranspiração tem-se um déficit de 816,22mm. Com a chegada das chuvas do ano 2005 esse déficit foi suprido, porém, como os índices pluviométricos foram abaixo da média histórica, o excedente hídrico foi relativamente baixo, 85,68mm, consequentemente acarretou ao longo no período de estiagem um déficit maior, 1167,54mm. Enquanto que, em 2006 houve uma recuperação no armazenamento do solo, refletindo um excesso hídrico de 327,84mm, ao longo do período seco déficit de 940,93mm. Para o ano de 2007, tem-se até o mês de julho um excedente de 53,56mm.

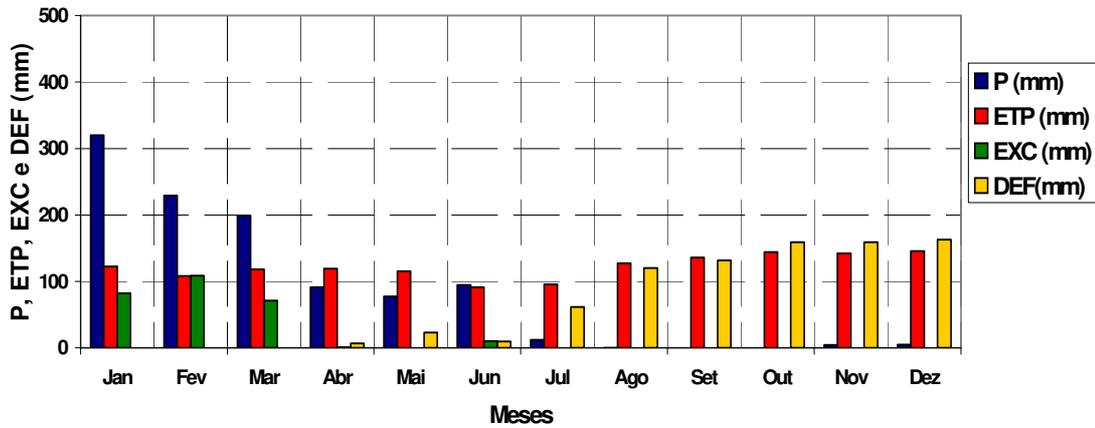
**Tabela 5.3 – Resultado do excedente hídrico e déficit hídrico total anual das estações em mm**

| <b>Estações<br/>Pluviométricas</b> | <b>Ptotal (mm)</b> | <b>EXC(mm)</b> | <b>DEF(mm)</b> | <b>Ptotal (mm)</b> | <b>EXC(mm)</b> | <b>DEF(mm)</b> |
|------------------------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
| <b>Umari</b>                       | 1010,00            | 212,28         | 796,22         | 436,20             | 0,00           | 1270,27        |
| <b>Barra do Juá/Triunfo</b>        | 1113,20            | 210,83         | 691,53         | 804,80             | 36,14          | 937,78         |
| <b>Santa Helena</b>                | 1011,40            | 268,45         | 851,16         | 637,70             | 16,70          | 1085,64        |
| <b>Açude de Pilões</b>             | 1114,20            | 310,15         | 894,89         | 597,60             | 0,00           | 1108,88        |
| <b>Uiraúna</b>                     | 1055,50            | 308,99         | 847,50         | 600,50             | 13,23          | 1119,27        |
| <b>Açude Lagoa do Arroz</b>        | 1114,20            | 363,36         | 843,31         | 830,20             | 262,68         | 1139,16        |

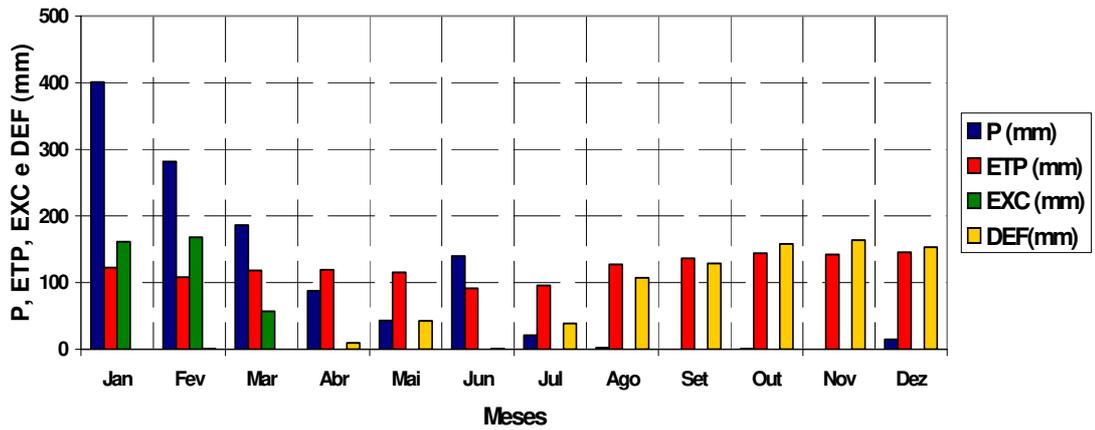
**Tabela 5.4 – Precipitação, Evapotranspiração Potencial, Excedente Hídrico e Déficit Hídrico mensais das Sub-Bacias nos anos de 2004 até 2007**

|          | Mês          | EIP (mm)       | Brejo das Freiras |                        |                      | Sousa             |                        |                      | Pombal            |                        |                      |
|----------|--------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
|          |              |                | Precipitação (mm) | Excedente Hídrico (mm) | Déficit Hídrico (mm) | Precipitação (mm) | Excedente Hídrico (mm) | Déficit Hídrico (mm) | Precipitação (mm) | Excedente Hídrico (mm) | Déficit Hídrico (mm) |
| ANO 2004 | Jan          | 122,69         | 319,90            | 82,50                  | 0,00                 | 400,87            | 161,47                 | 0,00                 | 482,80            | 243,41                 | 0,00                 |
|          | Fev          | 108,17         | 229,36            | 108,84                 | 0,00                 | 281,57            | 167,86                 | -0,82                | 336,74            | 228,20                 | -1,87                |
|          | Már          | 118,27         | 199,19            | 71,31                  | 0,00                 | 186,40            | 56,90                  | 0,00                 | 190,10            | 58,53                  | 0,00                 |
|          | Abr          | 119,11         | 91,32             | 0,70                   | -7,09                | 87,76             | 0,00                   | -9,50                | 65,99             | 0,00                   | -17,52               |
|          | Mai          | 115,35         | 77,33             | 0,00                   | -23,16               | 42,84             | 0,00                   | -42,60               | 35,11             | 0,00                   | -56,91               |
|          | Jun          | 91,57          | 94,80             | 10,28                  | -9,62                | 139,56            | 0,00                   | -0,99                | 157,89            | 0,00                   | 0,00                 |
|          | Jul          | 95,82          | 11,92             | 0,00                   | -61,50               | 21,17             | 0,00                   | -38,73               | 22,51             | 0,00                   | -34,11               |
|          | Ago          | 127,34         | 0,14              | 0,00                   | -120,03              | 2,17              | 0,00                   | -107,08              | 3,57              | 0,00                   | -103,02              |
|          | Sep          | 136,12         | 0,00              | 0,00                   | -131,67              | 0,00              | 0,00                   | -128,60              | 0,00              | 0,00                   | -127,75              |
|          | Out          | 143,94         | 0,00              | 0,00                   | -158,94              | 0,11              | 0,00                   | -157,98              | 0,00              | 0,00                   | -157,85              |
|          | Nov          | 142,32         | 4,38              | 0,00                   | -159,37              | 0,00              | 0,00                   | -163,58              | 0,00              | 0,00                   | -163,53              |
|          | Dez          | 145,51         | 4,96              | 0,00                   | -162,93              | 14,59             | 0,00                   | -153,28              | 8,83              | 0,00                   | -159,03              |
|          | <b>Total</b> | <b>1466,22</b> | <b>1033,30</b>    | <b>273,63</b>          | <b>-834,30</b>       | <b>1177,04</b>    | <b>366,22</b>          | <b>-803,16</b>       | <b>1302,54</b>    | <b>530,14</b>          | <b>-821,58</b>       |
| ANO 2005 | Jan          | 142,83         | 45,89             | 0,00                   | -116,33              | 33,58             | 0,00                   | -128,66              | 34,03             | 0,00                   | -128,20              |
|          | Fev          | 131,35         | 60,67             | 0,00                   | -94,34               | 45,34             | 0,00                   | -109,69              | 57,35             | 0,00                   | -97,67               |
|          | Már          | 133,03         | 229,32            | 0,11                   | 0,00                 | 336,75            | 146,59                 | 0,00                 | 232,69            | 14,18                  | 0,00                 |
|          | Abr          | 123,83         | 121,54            | 4,87                   | -10,26               | 71,54             | 0,00                   | -16,78               | 49,80             | 0,00                   | -40,80               |
|          | Mai          | 113,89         | 77,15             | 4,72                   | -22,52               | 57,29             | 0,00                   | -39,31               | 109,33            | 0,00                   | -12,11               |
|          | Jun          | 110,74         | 34,54             | 0,00                   | -53,67               | 9,50              | 0,00                   | -79,86               | 9,13              | 0,00                   | -82,23               |
|          | Jul          | 120,39         | 0,95              | 0,00                   | -101,28              | 0,16              | 0,00                   | -112,50              | 0,00              | 0,00                   | -114,44              |
|          | Ago          | 138,03         | 1,19              | 0,00                   | -138,51              | 3,35              | 0,00                   | -139,74              | 0,00              | 0,00                   | -143,63              |
|          | Sep          | 137,17         | 0,00              | 0,00                   | -141,29              | 0,00              | 0,00                   | -142,04              | 0,00              | 0,00                   | -142,21              |
|          | Out          | 133,35         | 0,00              | 0,00                   | -141,53              | 0,00              | 0,00                   | -141,72              | 0,00              | 0,00                   | -141,76              |
|          | Nov          | 148,33         | 0,00              | 0,00                   | -167,59              | 0,00              | 0,00                   | -167,65              | 67,38             | 0,00                   | -100,28              |
|          | Dez          | 142,00         | 31,16             | 0,00                   | -126,47              | 22,07             | 0,00                   | -135,58              | 67,38             | 0,00                   | -90,26               |
|          | <b>Total</b> | <b>1574,94</b> | <b>602,40</b>     | <b>9,70</b>            | <b>-1113,80</b>      | <b>639,60</b>     | <b>146,59</b>          | <b>-1213,51</b>      | <b>627,11</b>     | <b>14,18</b>           | <b>-1093,58</b>      |
| ANO 2006 | Jan          | 146,33         | 37,95             | 0,00                   | -130,46              | 36,37             | 0,00                   | -132,06              | 5,73              | 0,00                   | -162,70              |
|          | Fev          | 139,85         | 223,07            | 11,80                  | 0,00                 | 224,02            | 6,11                   | -1,29                | 408,44            | 173,11                 | 0,00                 |
|          | Már          | 117,47         | 169,52            | 36,21                  | -1,73                | 283,77            | 113,33                 | 0,00                 | 156,92            | 22,61                  | 0,00                 |
|          | Abr          | 109,77         | 215,53            | 78,40                  | 0,00                 | 322,19            | 208,38                 | 0,00                 | 194,27            | 80,46                  | 0,00                 |
|          | Mai          | 105,82         | 200,27            | 98,34                  | -2,26                | 182,91            | 74,86                  | -1,42                | 129,54            | 17,74                  | 0,00                 |
|          | Jun          | 96,93          | 11,72             | 0,00                   | -33,95               | 11,26             | 0,00                   | -30,57               | 15,65             | 0,00                   | -26,89               |
|          | Jul          | 101,68         | 6,69              | 0,00                   | -75,13               | 5,50              | 0,00                   | -75,05               | 5,57              | 0,00                   | -73,09               |
|          | Ago          | 120,52         | 9,12              | 0,00                   | -105,73              | 6,00              | 0,00                   | -108,50              | 6,50              | 0,00                   | -107,25              |
|          | Sep          | 137,12         | 1,45              | 0,00                   | -133,77              | 0,00              | 0,00                   | -135,31              | 0,00              | 0,00                   | -135,02              |
|          | Out          | 138,90         | 17,79             | 0,00                   | -132,72              | 0,48              | 0,00                   | -150,02              | 3,79              | 0,00                   | -146,64              |
|          | Nov          | 148,16         | 0,07              | 0,00                   | -166,92              | 2,56              | 0,00                   | -164,49              | 0,00              | 0,00                   | -167,02              |
|          | Dez          | 150,44         | 61,68             | 0,00                   | -117,69              | 16,42             | 0,00                   | -162,96              | 0,00              | 0,00                   | -173,37              |
|          | <b>Total</b> | <b>1512,99</b> | <b>954,86</b>     | <b>224,75</b>          | <b>-900,35</b>       | <b>1071,48</b>    | <b>402,68</b>          | <b>-951,67</b>       | <b>926,40</b>     | <b>293,92</b>          | <b>-997,98</b>       |
| ANO 2007 | Jan          | 140,83         | 22,29             | 0,00                   | 133,91               | 24,53             | 0,00                   | 131,68               | 2,10              | 0,00                   | 154,09               |
|          | Fev          | 138,17         | 206,25            | 15,60                  | 0,38                 | 259,17            | 29,58                  | 0,00                 | 379,70            | 147,64                 | 0,00                 |
|          | Már          | 125,29         | 80,72             | 0,00                   | 31,07                | 94,21             | 0,00                   | 9,20                 | 58,30             | 0,00                   | 22,78                |
|          | Abr          | 119,51         | 153,89            | 22,21                  | 14,31                | 170,55            | 17,03                  | 0,00                 | 210,30            | 34,17                  | 0,00                 |
|          | Mai          | 111,25         | 55,51             | 0,00                   | 39,76                | 74,17             | 0,00                   | 9,71                 | 132,30            | 15,07                  | 0,00                 |
|          | Jun          | 101,34         | 16,87             | 0,00                   | 65,03                | 56,38             | 0,00                   | 23,04                | 21,00             | 0,00                   | 26,06                |
|          | Jul          | 105,01         | 0,00              | 0,00                   | 99,96                | 3,26              | 0,00                   | 80,29                | 22,50             | 0,00                   | 61,68                |
|          | Ago          | -              | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    |
|          | Sep          | -              | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    |
|          | Out          | -              | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    |
|          | Nov          | -              | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    |
|          | Dez          | -              | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    | -                 | -                      | -                    |
|          | <b>Total</b> | <b>841,40</b>  | <b>535,53</b>     | <b>37,81</b>           | <b>394,42</b>        | <b>682,26</b>     | <b>46,62</b>           | <b>253,92</b>        | <b>826,20</b>     | <b>196,87</b>          | <b>264,61</b>        |

Sub - Bacia Brejo das Freiras - Ano 2004



Sub - Bacia Sousa - Ano 2004



Sub - Bacia Pombal - Ano 2004

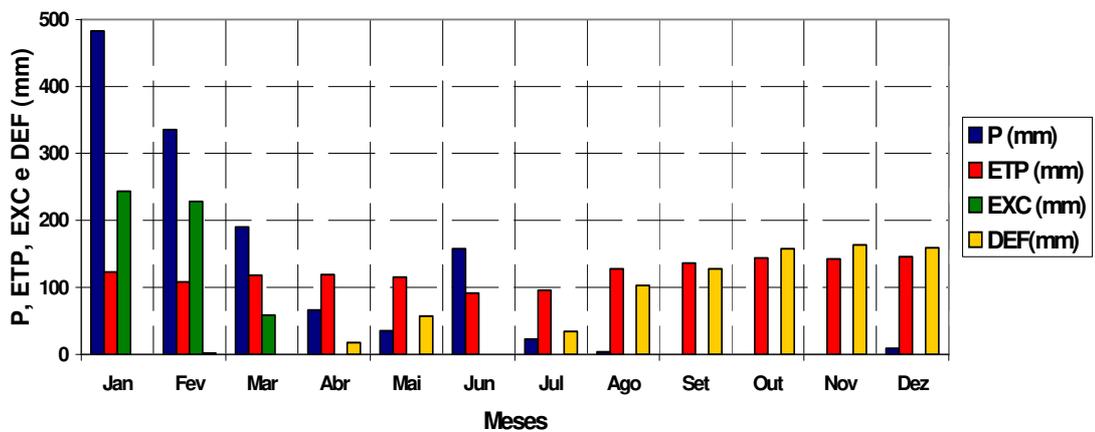
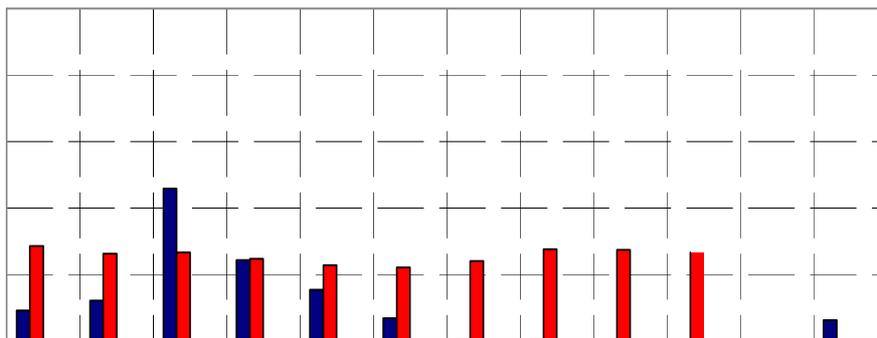
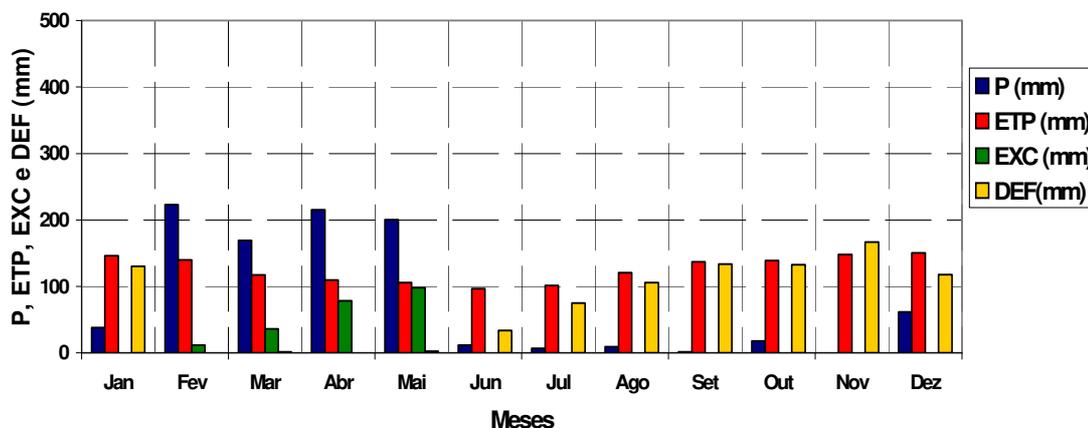


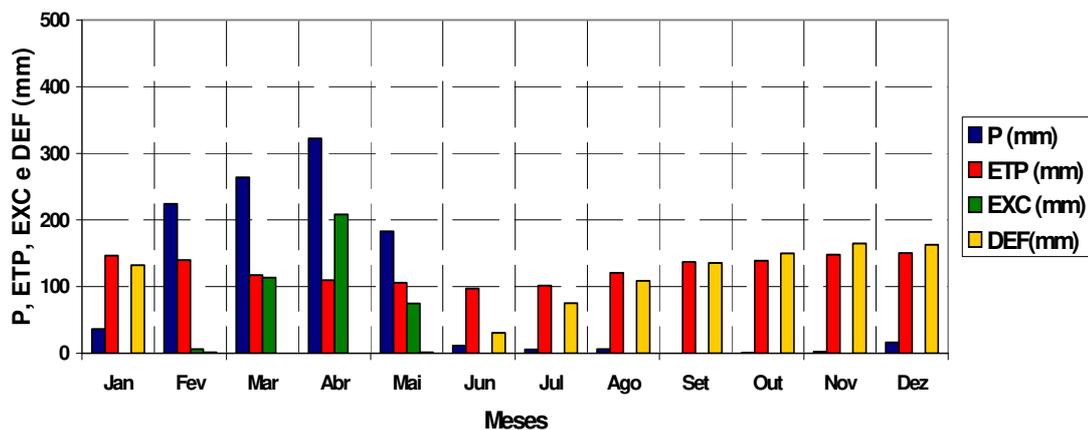
Figura 5. 8 - Taxas mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico nas sub-bacias no ano de 2004.



Sub - Bacia Brejo das Freiras - Ano 2006



Sub - Bacia Sousa - Ano 2006



Sub - Bacia Pombal - Ano 2006

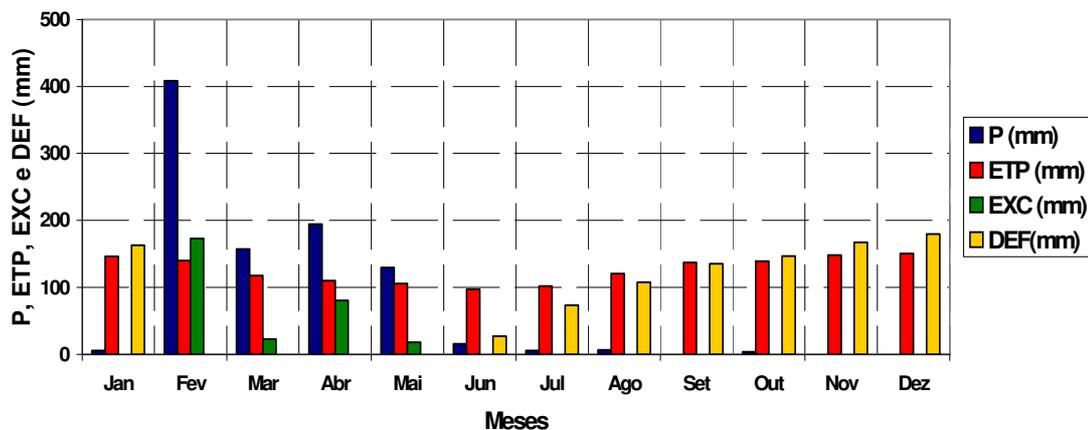
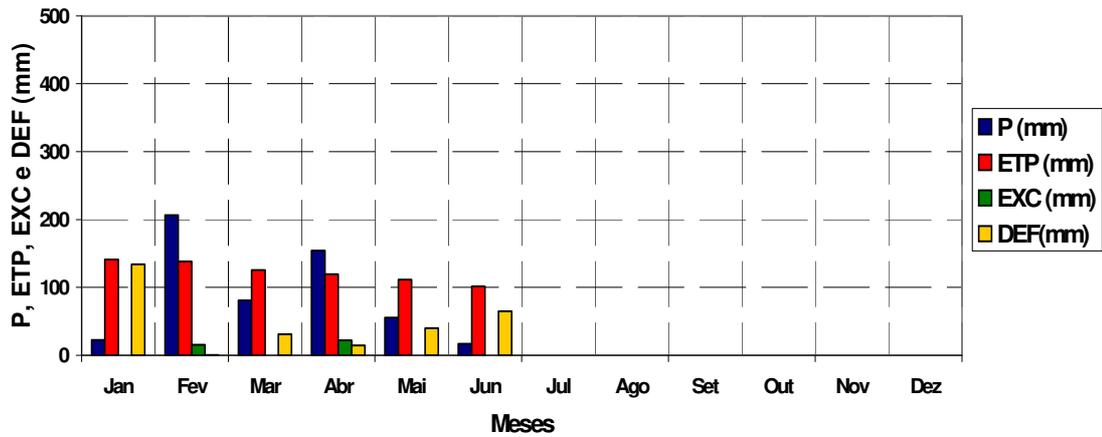
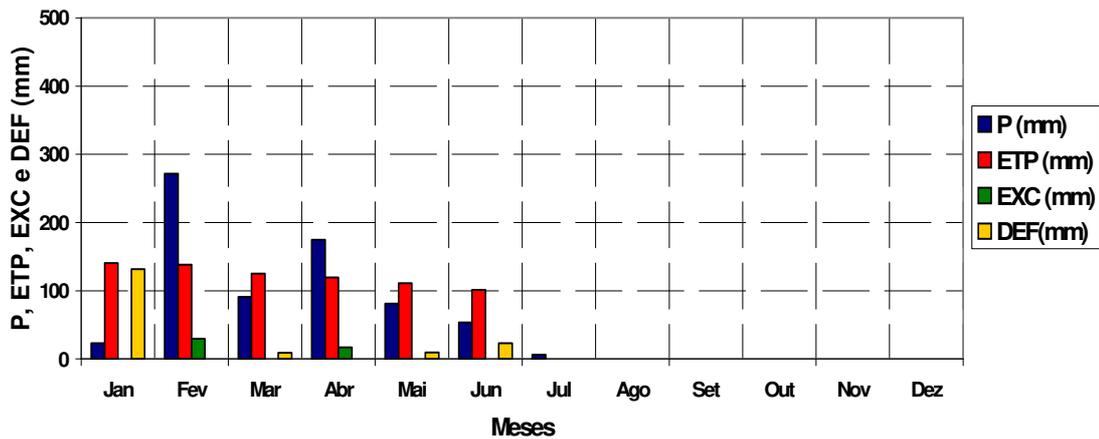


Figura 5. 10 - Taxas mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico nas sub-bacias no ano de 2006.

Sub - Bacia Brejo das Freiras - Ano 2007



Sub - Sousa - Ano 2007



Sub - Pombal- Ano 2007

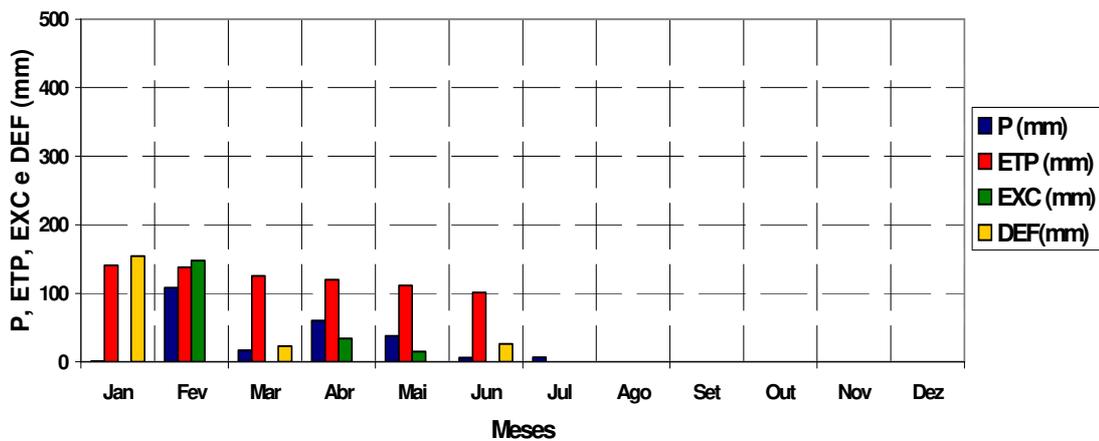


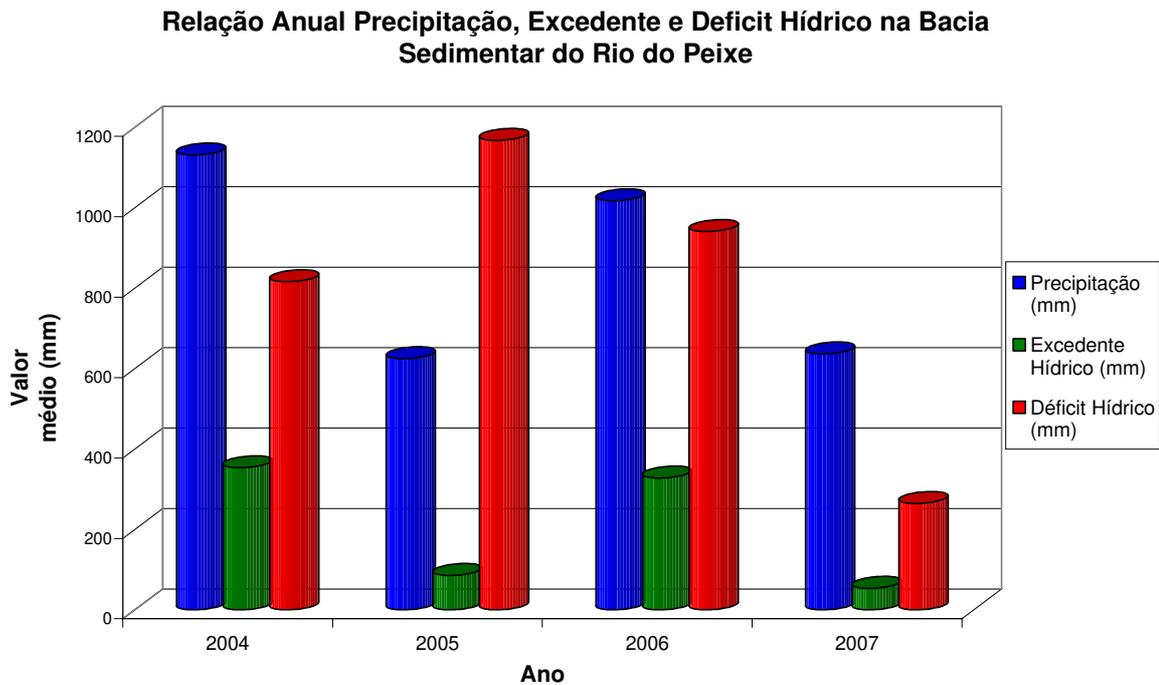
Figura 5. 11 - Taxas mensais da precipitação, da evapotranspiração potencial, do excedente hídrico e do déficit hídrico nas sub-bacias no ano de 2007.

Os balanços hídricos anuais do período estudado (2004 a 2007), nas 3 sub-bacias, são apresentados na tabela 5.5 e na figura 5.12, que lhe corresponde.

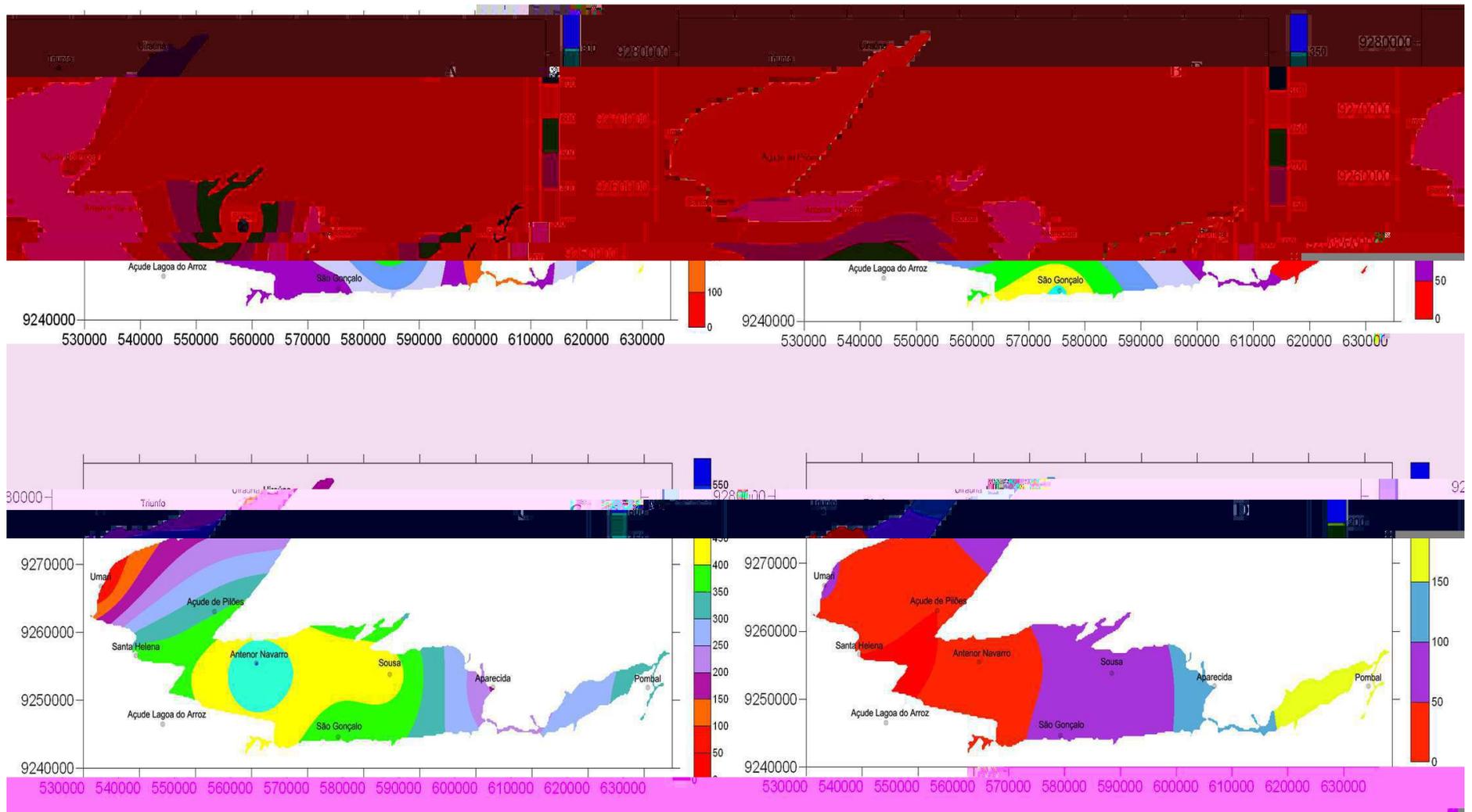
**Tabela 5. 5 - Precipitação, Evapotranspiração Potencial, Excedente Hídrico e Déficit Hídrico médios anuais das Sub-Bacias nos anos de 2004 até 2007**

| Precipitação | ETP | Excedente | Déficit | Precipitação | ETP | Excedente | Déficit |
|--------------|-----|-----------|---------|--------------|-----|-----------|---------|
|              |     |           |         |              |     |           |         |

O gráfico relacionando a precipitação, o excedente e o déficit hídrico anual é apresentado na figura 5.13. Enquanto que, a distribuição espacial do excedente hídrico da bacia é mostrado na figura 5.14. Vale salientar que o déficit do ano de 2007 referente-se até o mês de julho.



**Figura 5. 13 – Comparação dos valores médios calculados da precipitação, do excedente hídrico e do déficit hídrico na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe no período de 2004 à 2007.**



**Figura 5. 14 – Variação espacial do excedente hídrico pelo método de Thornthwaite & Mather para: A) ano 2004; B) ano 2005; C) ano 2006 e D) ano 2007.**

Como se trata de um balanço mensal, os valores anuais de excedente e de déficits hídricos, mostrados tanto na tabela 5.4 como nas figuras 5.12 e 5.13, indicam, respectivamente, as somas dos valores dos meses com excedentes hídricos (período chuvoso) e dos meses deficitários (período de estio).

Considera-se que o excedente hídrico, calculado pelo método, representa uma *recarga*

de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PERH) de 2006 foi possível a sobreposição dos mapas obtendo assim as informações necessárias para atribuição do fator *CN*. Os mapas resultantes foram utilizados como mapas-base para o cálculo da recarga (Fig. 4.5.17, sem aluviões e Fig. 4.5.18, com aluviões).

A partir dos mapas (Figs. 5.17 e 5.18) foram calculadas as respectivas áreas de influência das 11 estações pluviométricas instaladas nas três sub-bacias, uma vez sem considerar os aluviões (Tab 5.7) e, outra vez considerando-se os aluviões (Tab. 5.8).

**Tabela 5. 7 – Áreas dos polígonos das estações pluviométricas instaladas nas três Sub-Bacias sem considerar os aluviões (Fig. 5.17)**

| Estações Pluviométricas | ÁREAS (Km²) |        |        |       |        |       |       |             |
|-------------------------|-------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------------|
|                         | BF-AN       | BF-SS  | SO-AN  | SO-RP | SO-SS  | PO-AN | PO-SS | Total (km²) |
| Umari                   | 86,00       | 3,90   | -      | -     | -      | -     | -     | 89,90       |
| Triunfo/Barra do Juá    | 68,93       | -      | -      | -     | -      | -     | -     | 68,93       |
| Santa Helena            | 46,29       | 11,59  | -      | -     | -      | -     | -     | 57,88       |
| Açude de Pilões         | 58,57       | 123,04 | 16,72  | -     | -      | -     | -     | 198,33      |
| Uiraúna                 | 19,38       | 80,37  | -      | -     | -      | -     | -     | 99,76       |
| Açude Lagoa do Arroz    | 0,20        | -      | 26,17  | -     | -      | -     | -     | 26,37       |
| Antenor Navarro         | -           | -      | 66,89  | -     | 138,08 | -     | -     | 204,97      |
| São Gonçalo             | -           | -      | -      | 20,36 | 118,71 | -     | -     | 139,07      |
| Sousa                   | -           | -      | -      | 47,73 | 202,43 | -     | -     | 250,16      |
| Aparecida               | -           | -      | -      | 4,56  | 85,62  | 4,81  | 21,82 | 116,82      |
| Pombal                  | -           | -      | -      | -     | -      | 12,88 | 50,37 | 63,26       |
| <b>Área Total (Km²)</b> | 279,37      | 218,91 | 109,78 | 72,65 | 544,85 | 17,69 | 72,19 | 1315,45     |
| <b>%A</b>               | 21,24%      | 16,64% | 8,35%  | 5,52% | 41,42% | 1,35% | 5,49% | 100,00%     |

Onde: BF = Sub-bacia Brejo das Freiras; SO = Sub-bacia Sousa; PO = Sub-bacia Pombal  
AN = Form. Geológica Antenor Navarro; SS = Form. Geológica Sousa e RP = Form. Geológica Rio Piranhas

**Tabela 5. 8 – Áreas dos polígonos das estações pluviométricas instaladas nas três Sub-Bacias considerando os aluviões (Fig. 5.18)**

| Estações Pluviométricas  | ÁREAS (Kmf²) |        |        |        |       |       |        |       |       |       |              |
|--------------------------|--------------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------------|
|                          | BF-AL        | BF-AN  | BF-SS  | SO-AL  | SO-AN | SO-RP | SO-SS  | PO-AL | PO-AN | PO-SS | Total (kmf²) |
| Umari                    | 20,45        | 63,59  | 6,12   | -      | -     | -     | -      | -     | -     | -     | 89,90        |
| Triunfo/Barra do Juá     | 12,29        | 56,64  | -      | -      | -     | -     | -      | -     | -     | -     | 68,93        |
| Santa Helena             | 15,90        | 28,36  | 13,79  | -      | -     | -     | -      | -     | -     | -     | 57,88        |
| Açude de Pilões          | 57,53        | 45,17  | 78,49  | 9,34   | 3,66  | -     | 4,16   | -     | -     | -     | 198,33       |
| Uiraúna                  | 39,15        | 7,70   | 52,91  | -      | -     | -     | -      | -     | -     | -     | 99,76        |
| Açude Lagoa do Arroz     | 0,20         | -      | -      | 7,81   | 16,24 | -     | 2,07   | -     | -     | -     | 26,37        |
| Antenor Navarro          | -            | -      | -      | 84,50  | 34,42 | -     | 86,14  | -     | -     | -     | 204,97       |
| São Gonçalo              | -            | -      | -      | 82,00  | 1,22  | 3,30  | 52,51  | -     | -     | -     | 139,07       |
| Sousa                    | -            | -      | -      | 107,54 | 21,7  | 23,9  | 95,62  | -     | -     | -     | 250,17       |
| Aparecida                | -            | -      | -      | 39,21  | 16,48 | -     | 35,45  | 18,92 | 1,80  | 4,94  | 116,81       |
| Pombal                   | -            | -      | -      | -      | -     | -     | -      | 28,99 | 10,64 | 24,60 | 63,26        |
| <b>Área Total (Kmf²)</b> | 145,51       | 201,46 | 151,31 | 330,40 | 93,72 | 27,20 | 275,95 | 47,91 | 12,44 | 29,54 | 1315,45      |
| <b>%A</b>                | 11,06%       | 15,31% | 11,50% | 25,12% | 7,13% | 2,07% | 20,98% | 3,64% | 0,95% | 2,25% | 100,00%      |

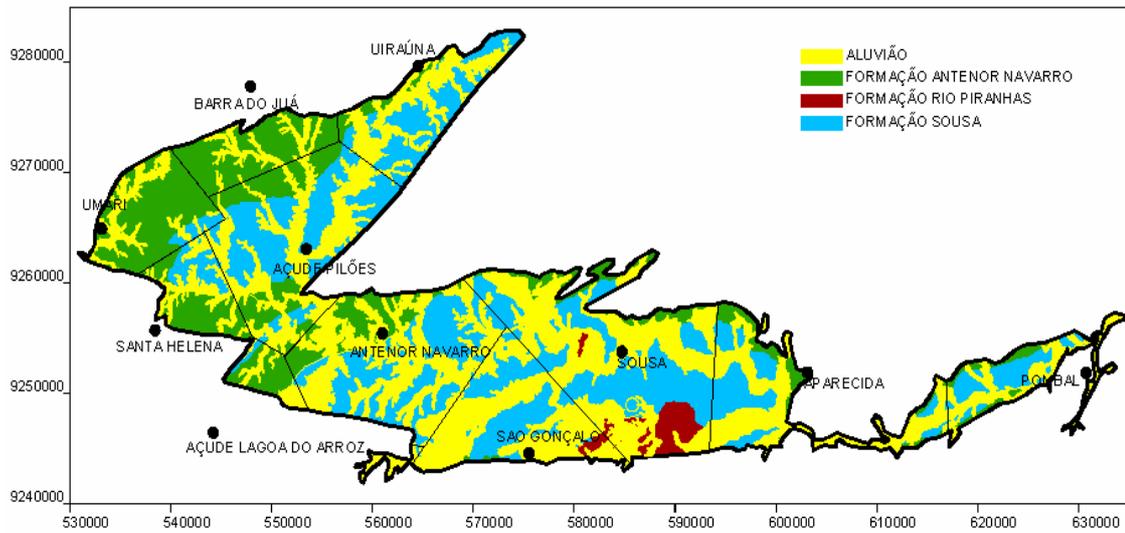
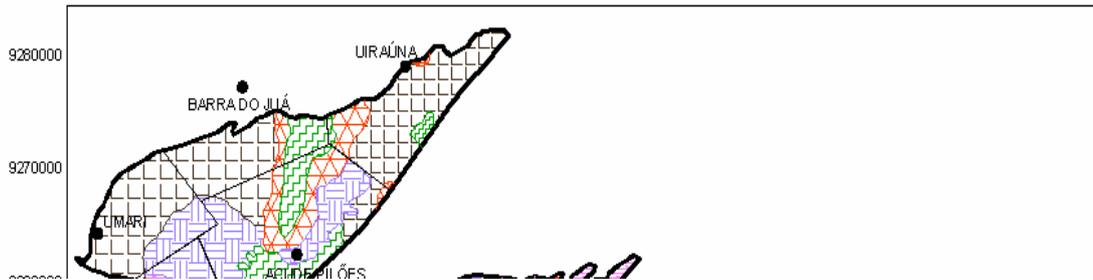


Figura 5. 15 - Caracterização litológica (tipo do solo) da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (Fonte: CPRM/UFCG, 2005).



| CARACTERÍSTICAS DA CLASSE DE CAPACIDADE DE USO |  |
|--|--|
|  | <b>Uso 2:</b> Terras próprias para culturas permanente, principalmente pastagem ou reflorestamento.  |
|  | <b>Uso 3:</b> Terras regulares, que podem ser cultivadas sem risco de erosão desde que sejam empregadas as práticas agronômicas de terraço ou plantio em faixas. |
|  | <b>Uso 4:</b> Terras não cultivadas com severas limitações para culturas permanentes e reflorestamento.  |
|  | <b>Uso 5:</b> Terras íngremes mais susceptíveis a erosão, próprias para o cultivos contínuos e que se prestam mais para lavoura esporádica.                      |
|  | <b>Uso 6:</b> Terras com pedregosidade, severamente erodida, arenosas e encharcadas, próprias para o abrigo de fauna silvestre e preservação da flora natural.   |

Figura 5. 16 – Caracterização da classe do uso de solo da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (Fonte: PERH, 2006).

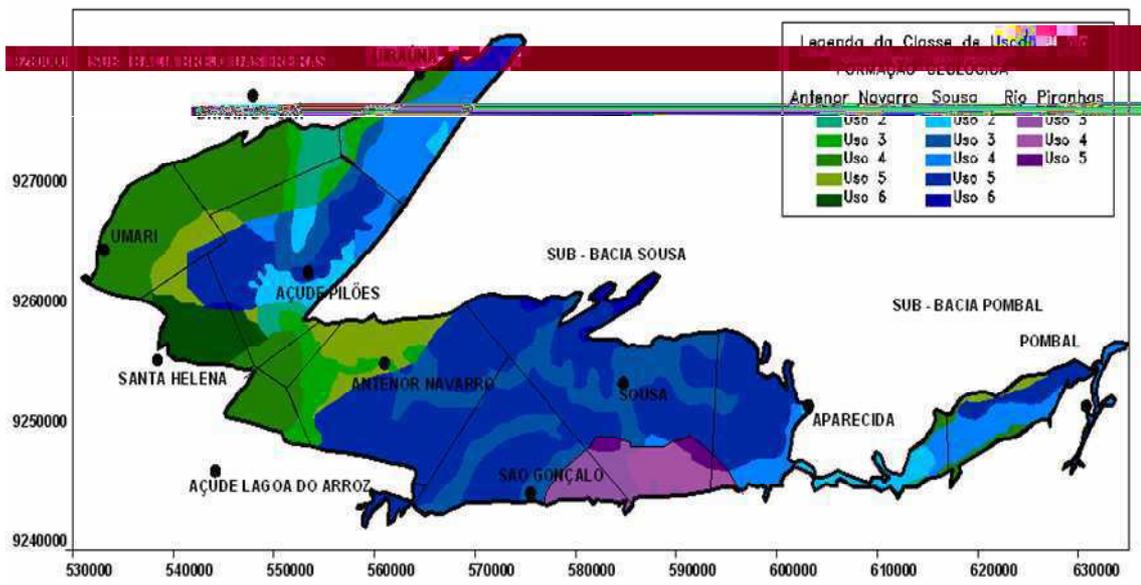


Figura 5. 17 – Mapa-base sem considerar os aluviões, com o polígono de Thiessen (Cenário 1).

Em virtude da ausência de dados registrados para a estação Aparecida no ano de 2007, sua área foi dividida para estações próximas. A área de Sousa pasou a ter 338,13 km<sup>2</sup> e Pombal, 92,11 km<sup>2</sup>.

Com base da tabela de números de curvas, *CN*, apresentada no capítulo 4 (Tab.4.3) e os mapas de uso e tipo de solo (Figs. 5.15 e 5.16) foram calculados os seguintes curvas números (*CN*) para os respectivos polígonos de Thiessen da cada estação pluviométrica. Cada formação tem seu valor *CN* específico variando de acordo com os últimos cinco dias de chuva (*CN I*, *CN II* ou *CN III*) calculado por meio das equações 4.8 e 4.9. A tabela 5.9 apresenta os valores de *CN II* utilizados no modelo BALSEQ para o cálculo do escoamento direto, *E<sub>d</sub>* (Eq. 4.2).

Como exemplo para a determinação de um valor médio de *CN* serve o seu cálculo para a estação pluviométrica Açude de Pilões compreendendo três tipos de solo e cinco tipos de uso de solo. O valor médio é *CN II*= 80,1:

| Formação Geológica | Tipo de Solo | Tipo de uso | CN | Açude de Pilões      |        |                           |
|--------------------|--------------|-------------|----|----------------------|--------|---------------------------|
|                    |              |             |    | A (Km <sup>2</sup> ) | % Area | CN x %Area                |
| Aluviões           | A            | Uso 2       | 62 | 19,30                | 9,73   | 603,39                    |
|                    |              | Uso 3       | 67 | 7,19                 | 3,62   | 242,80                    |
|                    |              | Uso 4       | 47 | 10,47                | 5,28   | 248,08                    |
|                    |              | Uso 5       | 77 | 27,55                | 13,89  | 1069,49                   |
|                    |              | Uso 6       | 56 | 2,36                 | 1,19   | 66,55                     |
| Antenor Navarro    | C            | Uso 2       | 83 | 10,33                | 5,21   | 432,50                    |
|                    |              | Uso 3       | 84 | 12,92                | 6,51   | 547,24                    |
|                    |              | Uso 4       | 81 | 18,77                | 9,47   | 766,69                    |
|                    |              | Uso 5       | 91 | 2,95                 | 1,49   | 135,52                    |
|                    |              | Uso 6       | 86 | 3,84                 | 1,94   | 166,64                    |
| Sousa              | D            | Uso 2       | 85 | 16,55                | 8,34   | 709,19                    |
|                    |              | Uso 3       | 87 | 19,38                | 9,77   | 850,01                    |
|                    |              | Uso 4       | 88 | 13,71                | 6,91   | 608,33                    |
|                    |              | Uso 5       | 94 | 32,92                | 16,60  | 1560,34                   |
|                    |              | Uso 6       | 91 | 0,09                 | 0,04   | 4,008                     |
| Rio Piranhas       | C            | Uso 3       | 83 | -                    | -      | -                         |
|                    |              | Uso 4       | 81 | -                    | -      | -                         |
|                    |              | Uso 5       | 87 | -                    | -      | -                         |
| Area Total         |              |             | -  | 198,335              | -      | 8010,79                   |
|                    |              |             |    |                      |        | <b>CN=8011/100 = 80,1</b> |

Desta maneira, foram calculados os demais valores de *CN* para as restantes estações (Tab. 5.9).

**Tabela 5. 9 – Valor do CNII para o cálculo do escoamento direto**

| Estações<br>Pluviométricas | Cenário 1- Sem aluvião       |       | Cenário 2 - Com aluvião |       |
|----------------------------|------------------------------|-------|-------------------------|-------|
|                            | Valor do parâmetro <i>CN</i> |       |                         |       |
|                            | 2004 à 2006                  | 2007  | 2004 à 2006             | 2007  |
| Umari                      | 83,38                        | 83,38 | 75,85                   | 75,85 |
| Triunfo/Barra do Juá       | 81,61                        | 81,61 | 76,43                   | 76,43 |
| Santa Helena               | 87,78                        | 87,78 | 80,93                   | 80,93 |
| Açude de Pilões            | 87,46                        | 87,46 | 80,11                   | 80,11 |
| Uiraúna                    | 86,73                        | 86,73 | 72,63                   | 72,63 |
| Açude Lagoa do Arroz       | 81,42                        | 81,42 | 73,86                   | 73,86 |
| Antenor Navarro            | 91,13                        | 91,13 | 78,11                   | 78,11 |
| São Gonçalo                | 90,22                        | 90,22 | 79,38                   | 79,38 |
| Sousa                      | 89,56                        | 90,21 | 80,51                   | 80,97 |
| Aparecida                  | 90,28                        | -     | 78,29                   | -     |
| Pombal                     | 89,08                        | 87,77 | 73,20                   | 71,00 |

O parâmetro *AGUT* (Tab. 5.10) foi estabelecido com base em comunicações pessoais de pesquisadores da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG, que forneceram as estimativas de valores de capacidade de campo,  $C_c$ , e de ponto de murchimento,  $PM$ , distribuídos na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. A partir das características do tipo de solo foram considerados os seguintes valores das profundidade das raízes,  $RP$ : para os aluviões, 600 mm, para Antenor Navarro e Rio Piranhas, 800 mm e para Sousa, 1000 mm.

**Tabela 5. 10 - Parâmetros da capacidade de campo,  $C_c$ , do ponto de murchimento,  $PM$ , profundidade de raiz,  $R_p$  e  $AGUT$  em função das Formações Geológicas**

| Formação        | Tipo de Solo | CC (%)        | PM (%)        | $R_p$ (mm) | AGUT     |
|-----------------|--------------|---------------|---------------|------------|----------|
| Aluvião         | A            | 32,78 à 33,62 | 19,41 à 21,72 | 600        | 70 à 85  |
| Antenor Navarro | C            | 16,98         | 8,11          | 800        | 71       |
| Rio Piranhas    | C            | 17,31 à 25,1  | 10,03 à 13,18 | 800        | 85 à 96  |
| Sousa           | D            | 16,75 à 21,66 | 6,6 à 8,31    | 1000       | 80 à 110 |

A partir destas informações, calcula-se os valores de *AGUT* específicos em função da geologia da área de estudo como mostra a tabela 5.11.

**Tabela 5. 11 - Parâmetro *AGUT* em função da geologia da área de estudo.**

| Geologia        | AGUT |
|-----------------|------|
| Aluvião         | 85   |
| Antenor Navarro | 120  |
| Rio Piranhas    | 120  |
| Sousa           | 150  |

No entanto, verifica-se que o valor do *AGUT* para a formação geológica Antenor Navarro na tabela 5.10 é bastante inferior ao valor da tabela 5.11, este fato ocorre em virtude da quantidade de informações referentes a essa formação específica ser escassa pois não se tem com precisão dos dados fornecidos pelo Departamento de Agrícola a exatidão do local.

Para cada posto pluviométrico foi encontrado um valor médio do parâmetro *AGUT* através da ponderação da área e da geologia (Tab. 5.12). Em virtude da falta de dados para o posto pluviométrico de Aparecida no ano de 2007, ocorre um aumento das áreas de influência dos postos de Sousa e Pombal, passando o valor de *AGUT* para 116,69mm e 110,47mm, respectivamente

**Tabela 5. 12 - Parâmetro *AGUT* para cada estação pluviométrica.**



Tabela 5. 13 – Resultados do modelo BALSEQ, cenário 1, no ano de 2006 para todas as estações pluviométricas consideradas no estudo

| Estação Umari |                   |                     |                              |                |              |
|---------------|-------------------|---------------------|------------------------------|----------------|--------------|
| Mês           | Precipitação (mm) | E. Superficial (mm) | Infiltração Superficial (mm) | ETP (mm)       | Recarga (mm) |
| Jan           | 42,00             | 1,85                | 38,15                        | 146,33         | 0,00         |
| Fev           | 206,00            | 38,12               | 167,88                       | 139,85         | 0,00         |
| Mar           | 151,00            | 14,85               | 136,15                       | 117,47         | 0,00         |
| Abr           | 132,00            | 5,54                | 126,46                       | 109,77         | 11,61        |
| Mai           | 93,50             | 11,32               | 82,18                        | 105,82         | 14,77        |
| Jun           | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 96,93          | 0,00         |
| Jul           | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 101,68         | 0,00         |
| Ago           | 2,50              | 0,00                | 2,50                         | 120,52         | 0,00         |
| Set           | 8,00              | 0,00                | 8,00                         | 137,12         | 0,00         |
| Out           | 35,00             | 0,37                | 34,63                        | 138,90         | 0,00         |
| Nov           | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 148,16         | 0,00         |
| Dez           | 81,00             | 14,81               | 66,19                        | 150,44         | 0,00         |
| <b>Soma</b>   | <b>751,00</b>     | <b>86,86</b>        | <b>662,14</b>                | <b>1512,99</b> | <b>26,38</b> |

| Estação Triunfo/Barra do Juá |                   |                     |                              |                |               |
|------------------------------|-------------------|---------------------|------------------------------|----------------|---------------|
| Mês                          | Precipitação (mm) | E. Superficial (mm) | Infiltração Superficial (mm) | ETP (mm)       | Recarga (mm)  |
| Jan                          | 13,20             | 0,00                | 13,20                        | 146,33         | 0,00          |
| Fev                          | 173,20            | 13,21               | 159,99                       | 139,85         | 0,00          |
| Mar                          | 112,00            | 0,66                | 111,34                       | 117,47         | 0,00          |
| Abr                          | 256,55            | 50,74               | 205,81                       | 109,77         | 52,62         |
| Mai                          | 186,55            | 41,68               | 144,87                       | 105,82         | 58,34         |
| Jun                          | 18,00             | 0,00                | 18,00                        | 96,93          | 0,00          |
| Jul                          | 10,80             | 0,00                | 10,80                        | 101,68         | 0,00          |
| Ago                          | 26,00             | 0,00                | 26,00                        | 120,52         | 0,00          |
| Set                          | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 137,12         | 0,00          |
| Out                          | 42,80             | 1,59                | 41,21                        | 138,90         | 0,00          |
| Nov                          | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 148,16         | 0,00          |
| Dez                          | 15,50             | 0,00                | 15,50                        | 150,44         | 0,00          |
| <b>Soma</b>                  | <b>854,60</b>     | <b>107,88</b>       | <b>746,72</b>                | <b>1512,99</b> | <b>110,97</b> |

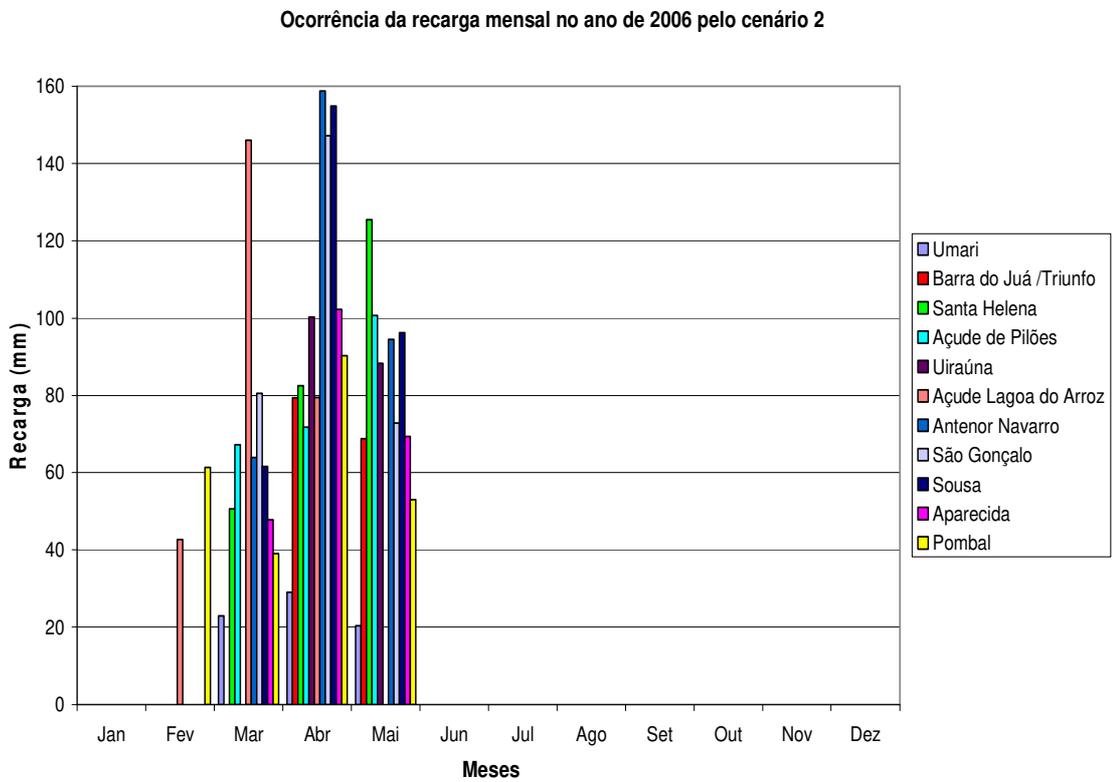
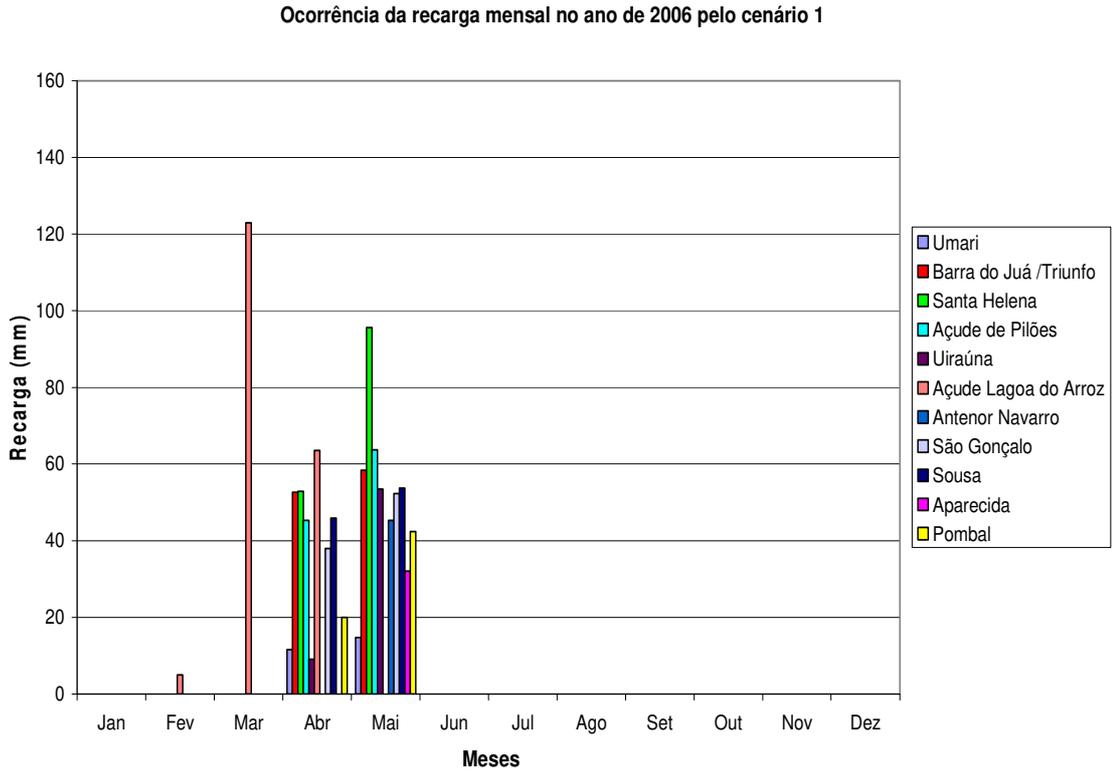
| Estação Santa Helena |                   |                     |                              |                |               |
|----------------------|-------------------|---------------------|------------------------------|----------------|---------------|
| Mês                  | Precipitação (mm) | E. Superficial (mm) | Infiltração Superficial (mm) | ETP (mm)       | Recarga (mm)  |
| Jan                  | 76,90             | 15,20               | 48,00                        | 146,33         | 0,00          |
| Fev                  | 320,40            | 123,99              | 196,41                       | 139,85         | 0,00          |
| Mar                  | 192,00            | 31,25               | 160,75                       | 117,47         | 0,00          |
| Abr                  | 211,70            | 48,98               | 162,72                       | 109,77         | 52,86         |
| Mai                  | 254,20            | 68,67               | 185,53                       | 105,82         | 95,63         |
| Jun                  | 15,60             | 0,00                | 15,60                        | 96,93          | 0,00          |
| Jul                  | 5,90              | 0,00                | 5,90                         | 101,68         | 0,00          |
| Ago                  | 2,00              | 0,00                | 2,00                         | 120,52         | 0,00          |
| Set                  | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 137,12         | 0,00          |
| Out                  | 8,80              | 0,00                | 8,80                         | 138,90         | 0,00          |
| Nov                  | 0,40              | 0,00                | 0,40                         | 148,16         | 0,00          |
| Dez                  | 56,80             | 5,99                | 50,81                        | 150,44         | 0,00          |
| <b>Soma</b>          | <b>1144,70</b>    | <b>294,07</b>       | <b>836,93</b>                | <b>1512,99</b> | <b>148,49</b> |

| Estação Açude de Pilões |                   |                     |                              |                |               |
|-------------------------|-------------------|---------------------|------------------------------|----------------|---------------|
| Mês                     | Precipitação (mm) | E. Superficial (mm) | Infiltração Superficial (mm) | ETP (mm)       | Recarga (mm)  |
| Jan                     | 45,40             | 6,23                | 39,17                        | 146,33         | 0,00          |
| Fev                     | 251,30            | 92,94               | 158,36                       | 139,85         | 0,00          |
| Mar                     | 204,40            | 50,50               | 153,90                       | 117,47         | 0,00          |
| Abr                     | 211,10            | 28,23               | 182,87                       | 109,77         | 45,36         |
| Mai                     | 271,80            | 121,52              | 150,28                       | 105,82         | 63,75         |
| Jun                     | 4,50              | 0,00                | 4,50                         | 96,93          | 0,00          |
| Jul                     | 3,30              | 0,00                | 3,30                         | 101,68         | 0,00          |
| Ago                     | 6,60              | 0,00                | 6,60                         | 120,52         | 0,00          |
| Set                     | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 137,12         | 0,00          |
| Out                     | 5,70              | 0,00                | 5,70                         | 138,90         | 0,00          |
| Nov                     | 0,00              | 0,00                | 0,00                         | 148,16         | 0,00          |
| Dez                     | 93,10             | 34,11               | 58,99                        | 150,44         | 0,00          |
| <b>Soma</b>             | <b>1097,20</b>    | <b>333,52</b>       | <b>763,68</b>                | <b>1512,99</b> | <b>109,11</b> |



| Estação Sousa |                      |                        |                                 |                |                 |
|---------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|
| Mês           | Precipitação<br>(mm) | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | ETP<br>(mm)    | Recarga<br>(mm) |
| Jan           | 23,00                | 0,00                   | 23,00                           | 146,33         | 0,00            |
| Fev           | 133,60               | 17,70                  | 115,90                          | 139,85         | 0,00            |
| Mar           | 337,10               | 145,68                 | 191,42                          | 117,47         | 0,00            |
| Abr           | 350,20               | 156,41                 | 193,79                          | 109,77         | 45,88           |
| Mai           | 209,90               | 73,06                  | 136,84                          | 105,82         | 53,75           |
| Jun           | 14,20                | 0,00                   | 14,20                           | 96,93          | 0,00            |
| Jul           | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 101,68         | 0,00            |
| Ago           | 17,10                | 0,00                   | 17,10                           | 120,52         | 0,00            |
| Set           | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 137,12         | 0,00            |
| Out           | 1,00                 | 0,00                   | 1,00                            | 138,90         | 0,00            |
| Nov           | 1,70                 | 0,00                   | 1,70                            | 148,16         | 0,00            |
| Dez           | 41,60                | 2,19                   | 39,41                           | 150,44         | 0,00            |
| <b>Soma</b>   | <b>1129,40</b>       | <b>395,04</b>          | <b>734,36</b>                   | <b>1512,99</b> | <b>99,63</b>    |

| Mês | Precipitação<br>(mm) | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | ETP<br>(mm) | Recarga<br>(mm) |
|-----|----------------------|------------------------|---------------------------------|-------------|-----------------|
| Jan | 14,30                | 0,00                   | 14,30                           | 146,33      | 0,00            |
| Fev | 139,80               | 32,59                  | 107,21                          | 139,85      | 0,00            |
| Mar | 255,90               | 96,80                  | 159,10                          | 117,47      | 0,00            |
| Abr | 237,40               | 71,02                  | 166,38                          | 109,77      | 0,00            |
| Mai | 152,60               | 35,37                  | 117,23                          | 105,82      | 32,09           |
| Jun | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 96,93       | 0,00            |
| Jul | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 101,68      | 0,00            |
| Ago | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 120,52      | 0,00            |
| Set | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 137,12      | 0,00            |
| Out | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 138,90      | 0,00            |
| Nov | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 148,16      | 0,00            |
| Dez | 0,00                 | 0,00                   | 0,00                            | 150,44      | 0,00            |



**Figura 5. 19 – Resultado da recarga mensal das estações pluviométricas calculada pelo modelo BALSEQ para o ano de 2006 nos dois cenários estudados na bacia sedimentar Rio do Peixe.**

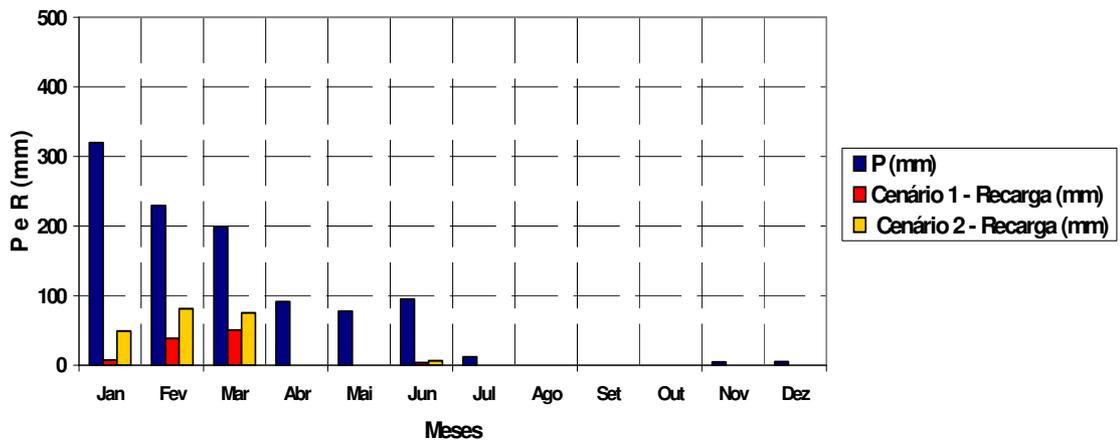
O modelo BALSEQ forneceu as recargas das sub-bacias da Bacia Sedimentar do Rio de Peixe nos anos de 2004 a 2007 para o cenário 1 (sem aluvião) e o cenário 2 (com aluvião), as quais estão apresentadas na tabela 5.14 e nas correspondentes figuras 5.20 a 5.23.

Como se pode ver nas figuras 5.20 a 5.23, as taxas de precipitação mensais e anuais apresentam-se irregularmente distribuídas no tempo e no espaço. Como consequência, o mesmo comportamento irregular ocorre nas taxas de recarga.

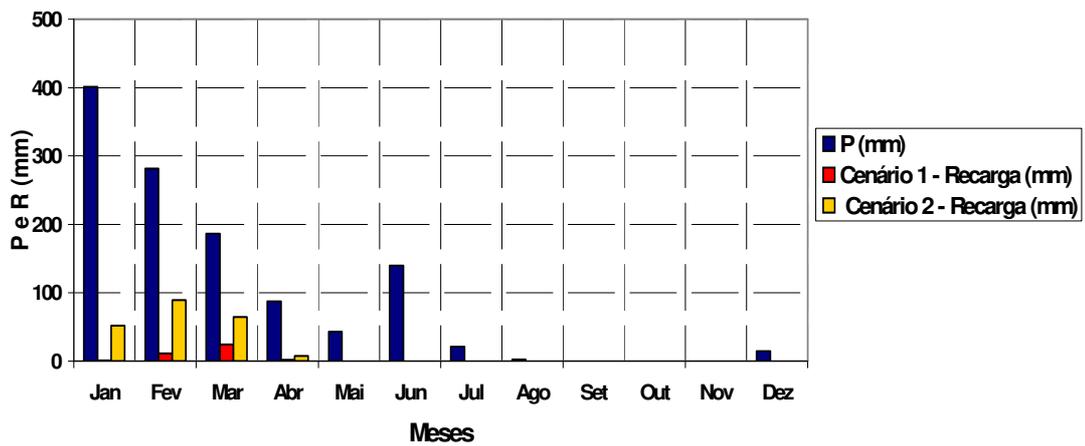
**Tabela 5. 14 - Recarga Médias Mensais [mm] nas Sub-Bacias nos anos de 2004 a 2007 obtidas pelo modelo BALSEQ**

|              | Mês            | Brejo das Freiras |               |                | Sousa             |               |                | Pombal            |               |              |
|--------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|---------------|--------------|
|              |                | Precipitação (mm) | Cenário 1     | Cenário 2      | Precipitação (mm) | Cenário 1     | Cenário 2      | Precipitação (mm) | Cenário 1     | Cenário 2    |
|              |                | Recarga (mm)      | Recarga (mm)  | Recarga (mm)   | Recarga (mm)      | Recarga (mm)  | Recarga (mm)   | Recarga (mm)      | Recarga (mm)  | Recarga (mm) |
| ANO 2004     | Jan            | 319,90            | 7,19          | 49,15          | 400,87            | 1,24          | 52,09          | 482,80            | 0,00          | 94,13        |
|              | Fev            | 229,36            | 38,37         | 81,20          | 281,57            | 10,91         | 89,49          | 335,74            | 21,44         | 123,65       |
|              | Mar            | 199,19            | 50,20         | 75,13          | 186,40            | 24,55         | 64,42          | 190,10            | 31,69         | 66,00        |
|              | Abr            | 91,32             | 0,00          | 0,00           | 87,76             | 1,77          | 7,42           | 65,99             | 0,00          | 0,00         |
|              | Mai            | 77,33             | 0,00          | 0,00           | 42,84             | 0,00          | 0,00           | 35,11             | 0,00          | 0,00         |
|              | Jun            | 94,80             | 3,60          | 6,11           | 139,56            | 0,00          | 0,00           | 157,89            | 0,00          | 0,00         |
|              | Jul            | 11,92             | 0,00          | 0,00           | 21,17             | 0,00          | 0,00           | 22,51             | 0,00          | 0,00         |
|              | Ago            | 0,14              | 0,00          | 0,00           | 2,17              | 0,00          | 0,00           | 3,57              | 0,00          | 0,00         |
|              | Set            | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Out            | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,11              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Nov            | 4,38              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Dez            | 4,96              | 0,00          | 0,00           | 14,59             | 0,00          | 0,00           | 8,83              | 0,00          | 0,00         |
| <b>Total</b> | <b>1033,30</b> | <b>99,37</b>      | <b>211,60</b> | <b>1177,04</b> | <b>38,48</b>      | <b>213,42</b> | <b>1302,54</b> | <b>53,13</b>      | <b>283,78</b> |              |
| ANO 2005     | Jan            | 45,89             | 0,00          | 0,00           | 33,58             | 0,00          | 0,00           | 34,03             | 0,00          | 0,00         |
|              | Fev            | 60,67             | 0,00          | 0,00           | 45,34             | 0,00          | 0,00           | 57,35             | 0,00          | 0,00         |
|              | Mar            | 229,32            | 0,35          | 11,09          | 396,75            | 2,40          | 65,00          | 232,69            | 0,00          | 32,62        |
|              | Abr            | 121,54            | 3,80          | 22,52          | 71,54             | 0,25          | 7,49           | 49,80             | 0,00          | 0,00         |
|              | Mai            | 77,15             | 5,32          | 5,46           | 57,29             | 0,00          | 0,00           | 109,33            | 0,00          | 5,60         |
|              | Jun            | 34,54             | 0,00          | 0,00           | 9,50              | 0,00          | 0,00           | 9,13              | 0,00          | 0,00         |
|              | Jul            | 0,95              | 0,00          | 0,00           | 0,16              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Ago            | 1,19              | 0,00          | 0,00           | 3,35              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Set            | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Out            | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Nov            | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 67,38             | 0,00          | 0,00         |
|              | Dez            | 31,16             | 0,00          | 0,00           | 22,07             | 0,00          | 0,00           | 67,38             | 0,00          | 0,00         |
| <b>Total</b> | <b>602,40</b>  | <b>9,47</b>       | <b>39,08</b>  | <b>639,60</b>  | <b>2,65</b>       | <b>72,50</b>  | <b>627,11</b>  | <b>0,00</b>       | <b>38,22</b>  |              |
| ANO 2006     | Jan            | 37,95             | 0,00          | 0,00           | 36,37             | 0,00          | 0,00           | 5,73              | 0,00          | 0,00         |
|              | Fev            | 223,07            | 0,00          | 0,02           | 224,02            | 0,18          | 1,53           | 408,44            | 0,00          | 43,83        |
|              | Mar            | 169,52            | 0,05          | 34,54          | 263,77            | 4,41          | 67,33          | 156,92            | 0,00          | 41,56        |
|              | Abr            | 215,53            | 33,88         | 72,04          | 322,19            | 26,30         | 143,26         | 194,27            | 14,31         | 93,73        |
|              | Mai            | 200,27            | 55,77         | 82,11          | 182,91            | 46,69         | 84,57          | 129,54            | 39,45         | 57,72        |
|              | Jun            | 11,72             | 0,00          | 0,00           | 11,26             | 0,00          | 0,00           | 15,65             | 0,00          | 0,00         |
|              | Jul            | 6,69              | 0,00          | 0,00           | 5,50              | 0,00          | 0,00           | 5,57              | 0,00          | 0,00         |
|              | Ago            | 9,12              | 0,00          | 0,00           | 6,00              | 0,00          | 0,00           | 6,50              | 0,00          | 0,00         |
|              | Set            | 1,45              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Out            | 17,79             | 0,00          | 0,00           | 0,48              | 0,00          | 0,00           | 3,79              | 0,00          | 0,00         |
|              | Nov            | 0,07              | 0,00          | 0,00           | 2,56              | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
|              | Dez            | 61,68             | 0,00          | 0,00           | 16,42             | 0,00          | 0,00           | 0,00              | 0,00          | 0,00         |
| <b>Total</b> | <b>954,86</b>  | <b>89,69</b>      | <b>188,71</b> | <b>1071,48</b> | <b>77,59</b>      | <b>296,70</b> | <b>926,40</b>  | <b>53,75</b>      | <b>236,84</b> |              |
| ANO 2007     | Jan            | 22,29             | 0,00          | 0,00           | 24,53             | 0,00          | 0,00           | 2,10              | 0,00          | 0,00         |
|              | Fev            | 206,25            | 0,00          | 2,95           | 259,17            | 0,00          | 0,00           | 379,70            | 0,00          | 35,65        |
|              | Mar            | 80,72             | 0,00          | 8,92           | 94,21             | 0,42          | 10,54          | 58,30             | 0,00          | 11,99        |
|              | Abr            | 153,89            | 0,00          | 7,34           | 170,55            | 0,00          | 0,00           | 210,30            | 0,00          | 3,98         |
|              | Mai            | 55,51             | 0,00          | 0,00           | 74,17             | 0,00          | 1,36           | 132,30            | 0,00          | 18,67        |
|              | Jun            | 16,87             | 0,00          | 0,00           | 56,38             | 0,00          | 0,00           | 21,00             | 0,00          | 0,00         |
|              | Jul            | 0,00              | 0,00          | 0,00           | 3,26              | 0,00          | 0,00           | 22,50             | 0,00          | 0,00         |
|              | Ago            | -                 | -             | -              | -                 | -             | -              | -                 | -             | -            |
|              | Set            | -                 | -             | -              | -                 | -             | -              | -                 | -             | -            |
|              | Out            | -                 | -             | -              | -                 | -             | -              | -                 | -             | -            |
|              | Nov            | -                 | -             | -              | -                 | -             | -              | -                 | -             | -            |
|              | Dez            | -                 | -             | -              | -                 | -             | -              | -                 | -             | -            |
| <b>Total</b> | <b>535,53</b>  | <b>0,00</b>       | <b>19,22</b>  | <b>682,26</b>  | <b>0,42</b>       | <b>11,91</b>  | <b>826,20</b>  | <b>0,00</b>       | <b>70,28</b>  |              |

Sub - Bacia Brejo das Freiras - Ano 2004



Sub - Bacia Sousa - Ano 2004



Sub - Bacia Pombal - Ano 2004

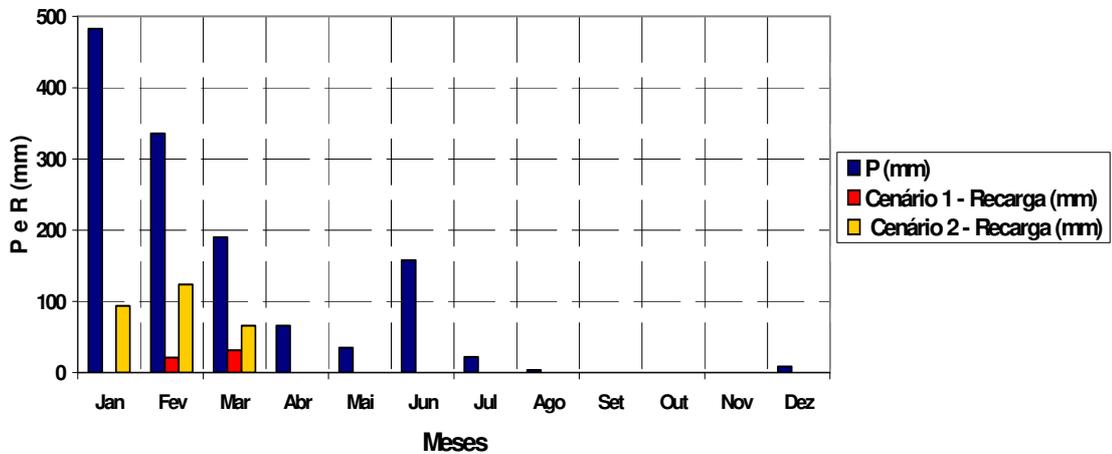
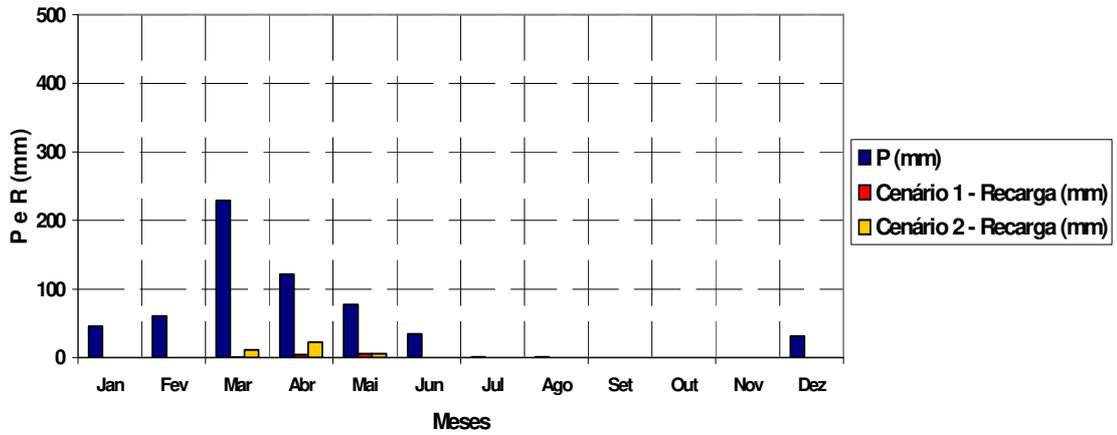
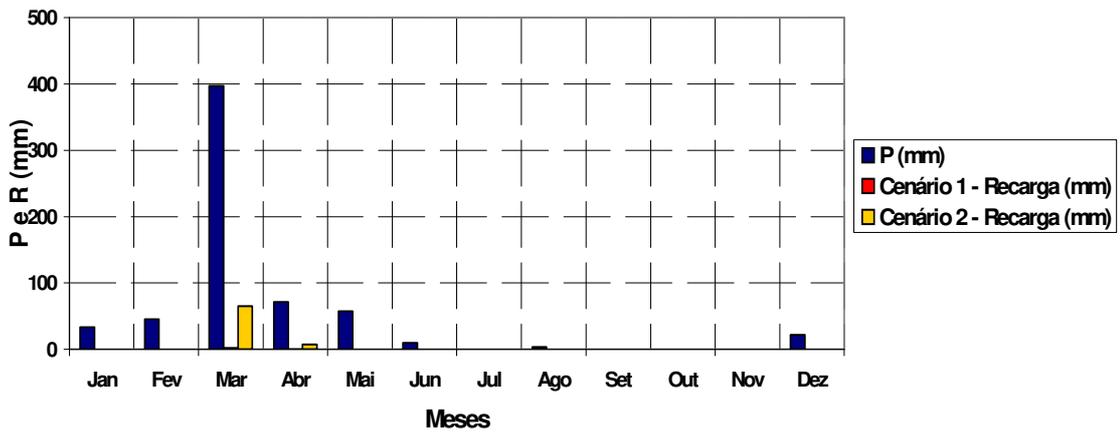


Figura 5. 20 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e do cenário 2 nas três sub-bacias no ano de 2004.

Sub - Bacia Brejo das Freiras - Ano 2005



Sub - Bacia Sousa - Ano 2005



Sub - Bacia Pombal - Ano 2005

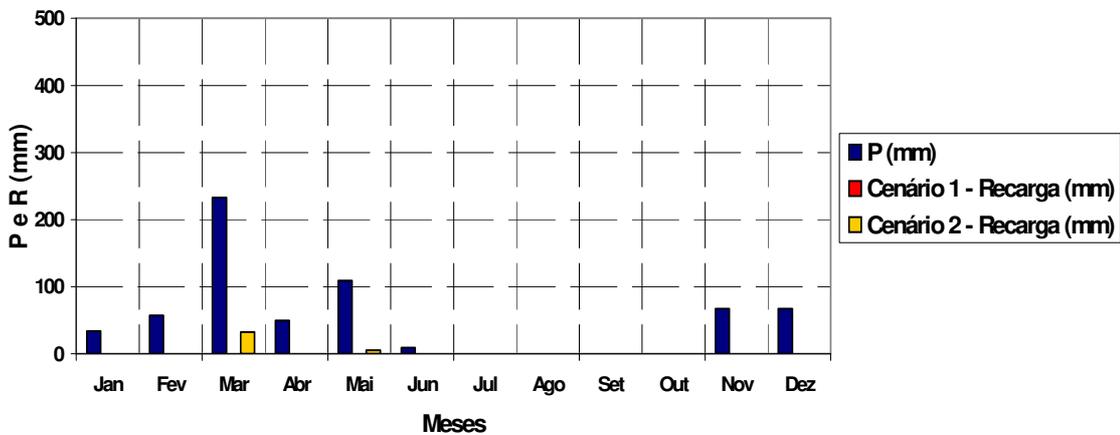
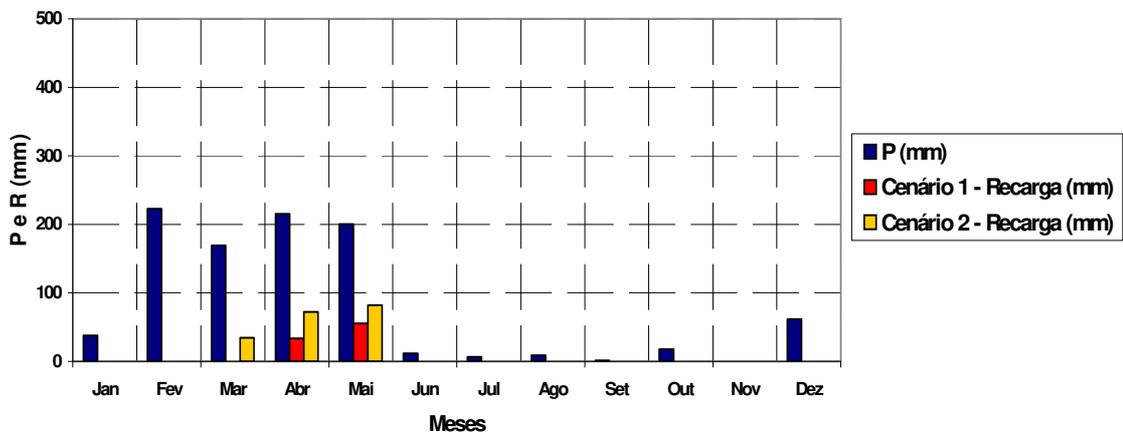
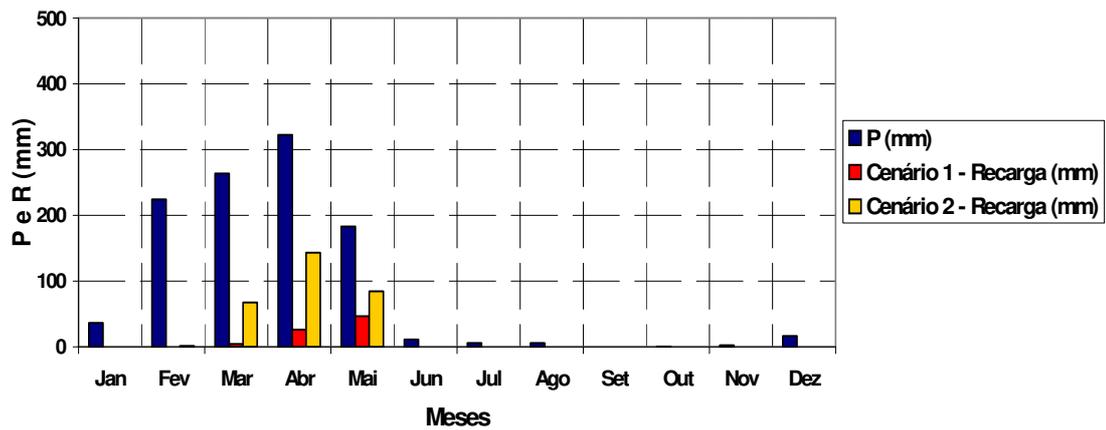


Figura 5. 21 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e cenário 2 das sub-bacias no ano de 2005.

Sub - Bacia Brejo das Freiras - Ano 2006



Sub - Bacia Sousa - Ano 2006



Sub - Bacia Pombal - Ano 2006

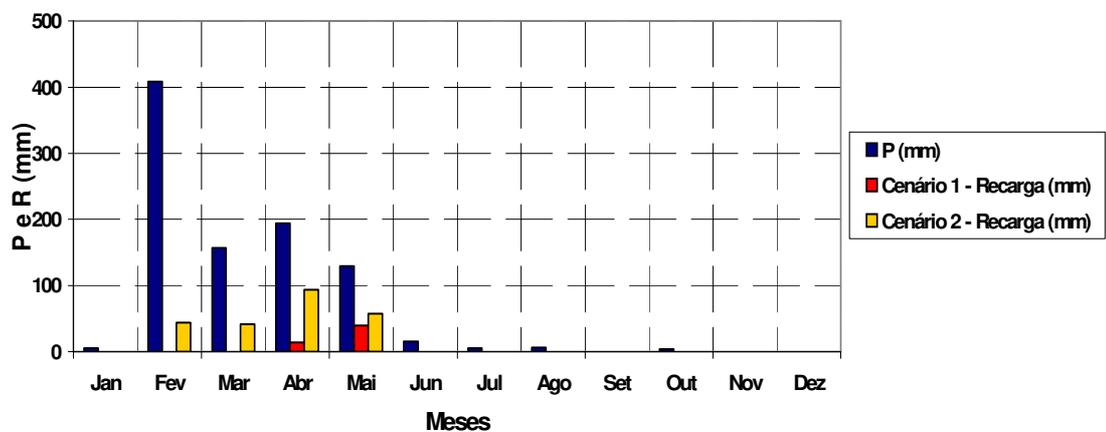
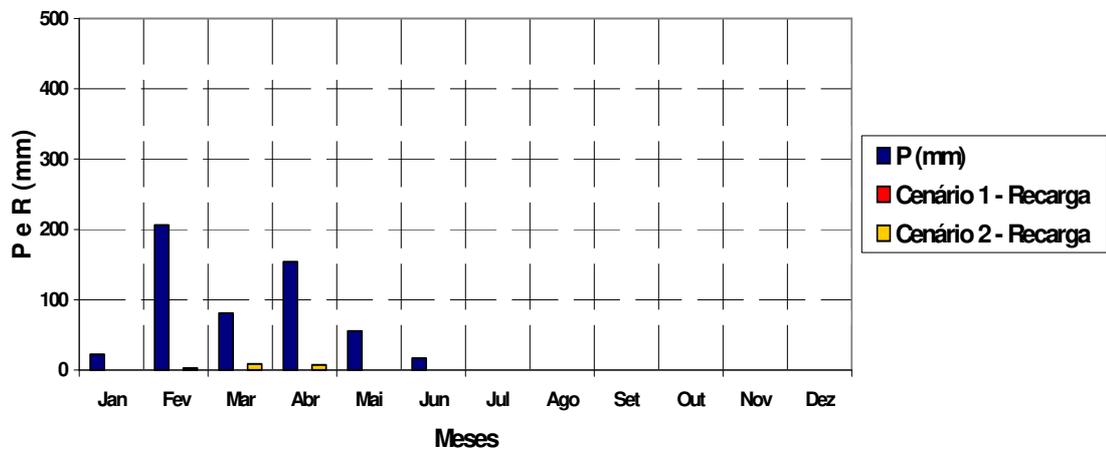
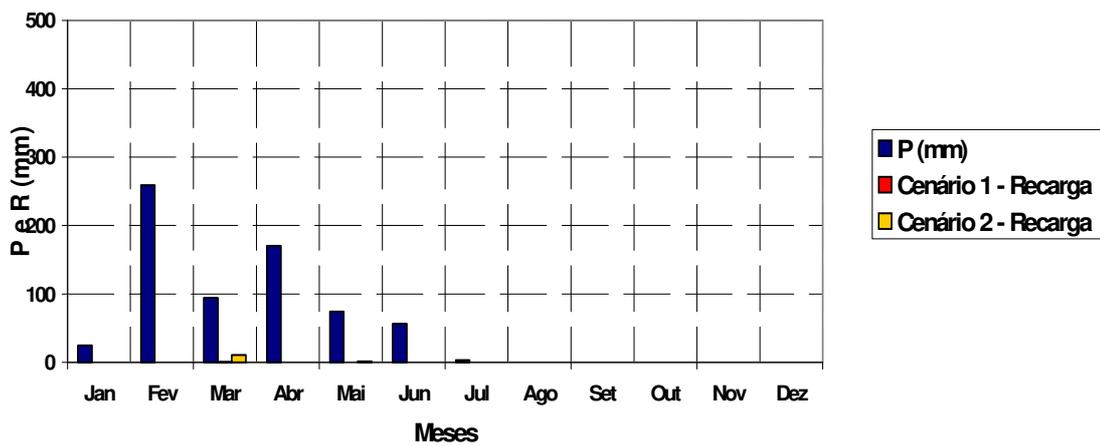


Figura 5. 22 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e cenário 2 das sub-bacias no ano de 2006.

Sub - Bacia Brejo das Freiras - Ano 2007



Sub - Bacia Sousa - Ano 2007



Sub - Bacia Pombal - Ano 2007

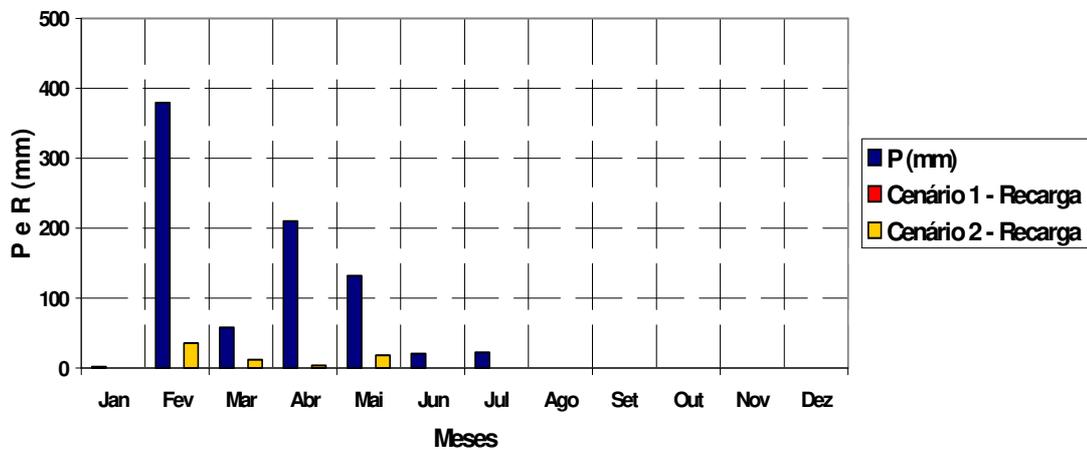
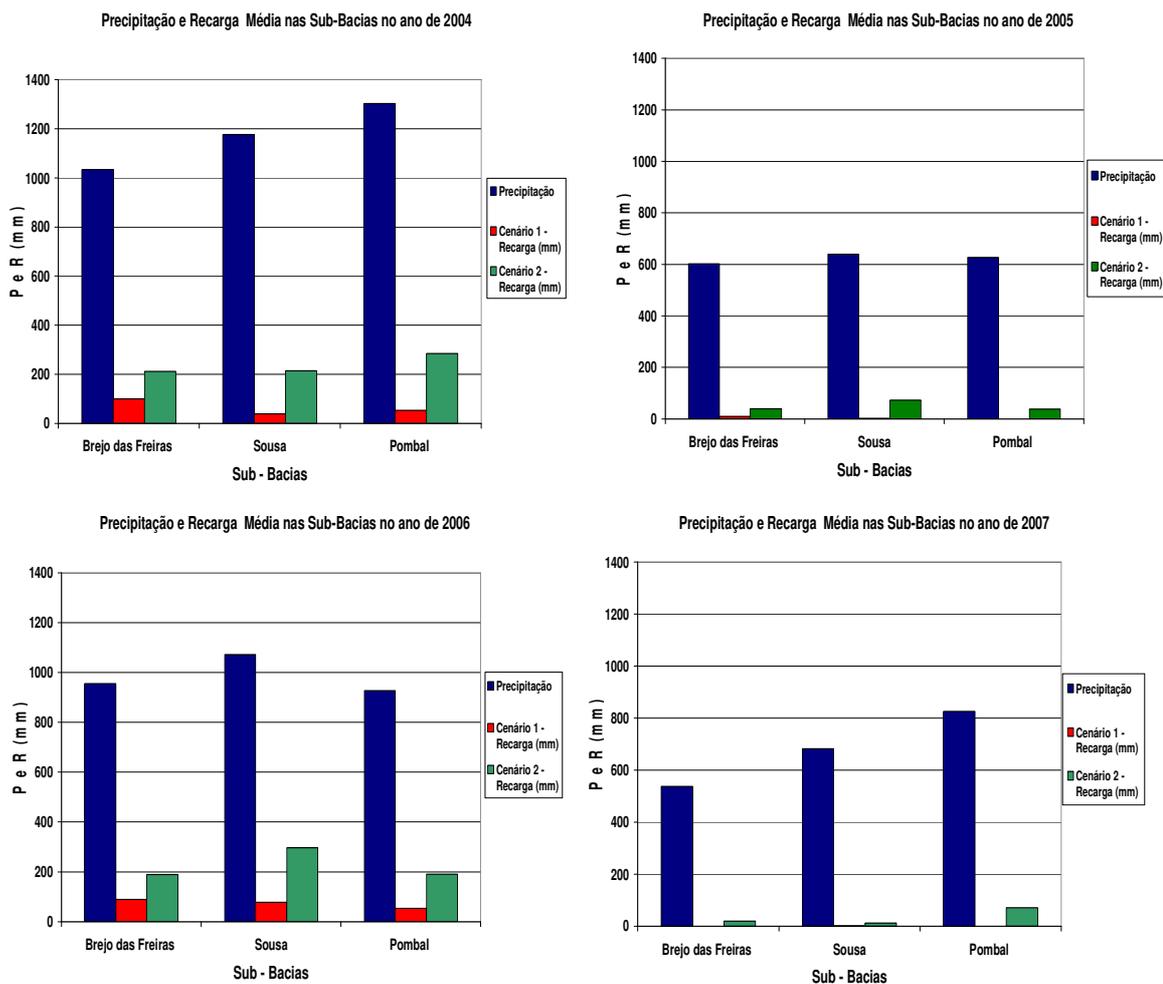


Figura 5. 23 - Taxas mensais da precipitação e da recarga do cenário 1 e cenário 2 das sub-bacias no ano de 2007.

A tabela 5.15 e a correspondente figura 5.24 apresentam as taxas de recarga nas sub-bacias nos anos 2004 a 2007, para os dois cenários considerados. A recarga média em toda a bacia nos mesmos anos pode ser encontrada na citada tabela 5.15.

**Tabela 5. 15 - Taxas de recarga anuais (2004-2007) das Sub-Bacias e médias na bacia para cenário 1 e cenário 2**

| Sub - Bacia                | Área (km²) | ANO 2004          |                        |                        | ANO 2005          |                        |                        |
|----------------------------|------------|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|------------------------|
|                            |            | Precipitação (mm) | Cenário 1 Recarga (mm) | Cenário 2 Recarga (mm) | Precipitação (mm) | Cenário 1 Recarga (mm) | Cenário 2 Recarga (mm) |
| Brejo das Freiras          | 498,28     | 1033,30           | 99,37                  | 211,60                 | 602,40            | 9,47                   | 39,08                  |
| Sousa                      | 727,18     | 1177,04           | 38,48                  | 213,42                 | 639,60            | 2,65                   | 72,50                  |
| Pombal                     | 89,99      | 1302,54           | 53,13                  | 283,78                 | 627,11            | 0,00                   | 38,22                  |
| <b>Valor médio (mm)</b>    |            | <b>1131,18</b>    | <b>62,55</b>           | <b>217,54</b>          | <b>624,65</b>     | <b>5,05</b>            | <b>57,49</b>           |
| <b>Taxa de Recarga (%)</b> |            | -                 | <b>5,53%</b>           | <b>19,23%</b>          | -                 | <b>0,81%</b>           | <b>9,20%</b>           |
| Sub - Bacia                | Área (km²) | ANO 2006          |                        |                        | ANO 2007          |                        |                        |
|                            |            | Precipitação (mm) | Cenário 1 Recarga (mm) | Cenário 2 Recarga (mm) | Precipitação (mm) | Cenário 1 Recarga (mm) | Cenário 2 Recarga (mm) |
| Brejo das Freiras          | 498,28     | 954,86            | 89,69                  | 188,71                 | 535,53            | 0,00                   | 19,22                  |
| Sousa                      | 727,18     | 1071,48           | 77,59                  | 296,70                 | 682,26            | 0,42                   | 11,91                  |
| Pombal                     | 89,99      | 926,40            | 53,75                  | 236,84                 | 826,20            | 0,00                   | 70,28                  |
| <b>Valor médio (mm)</b>    |            | <b>1017,38</b>    | <b>80,54</b>           | <b>251,70</b>          | <b>636,53</b>     | <b>0,24</b>            | <b>18,67</b>           |
| <b>Taxa de Recarga (%)</b> |            | -                 | <b>7,92%</b>           | <b>24,74%</b>          | -                 | <b>0,04%</b>           | <b>2,93%</b>           |



**Figura 5. 24 - Taxas de recarga anuais (2004-2007) das Sub-Bacias para cenário 1 e cenário 2.**

Observa-se que a recarga do cenário 2, que inclui a cobertura aluvial (cerca de 40 % da área total das formações geológicas) é significativamente mais alta que a recarga do cenário 1, sem os aluviões. O valor médio do fator *CN* encontrado para o aluvião é mais baixo que aqueles das outras formações geológicas, ou seja, na superfície aluvial o escoamento superficial é menor e, portanto, a taxa de infiltração é maior.

A variação espacial da recarga calculada para os dois cenários do modelo encontram-se nas figuras 5.25 e 5.26.

A fim de relacionar a variação da recarga calculada pelos dois métodos aplicados na região, o modelo BALSEQ e o método de Thornthwaite & Mather, foi elaborado os gráficos da figura 5.27.

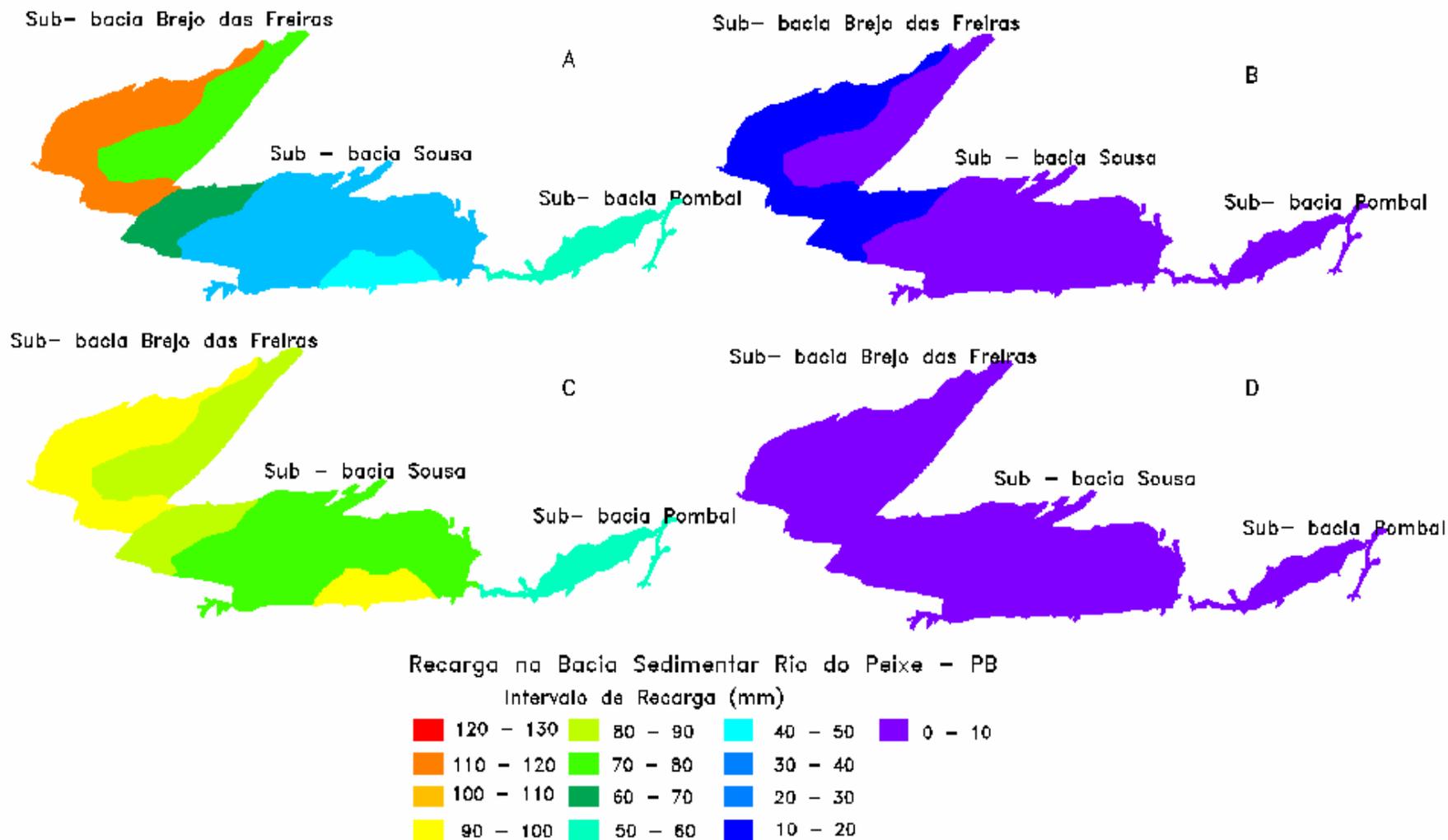
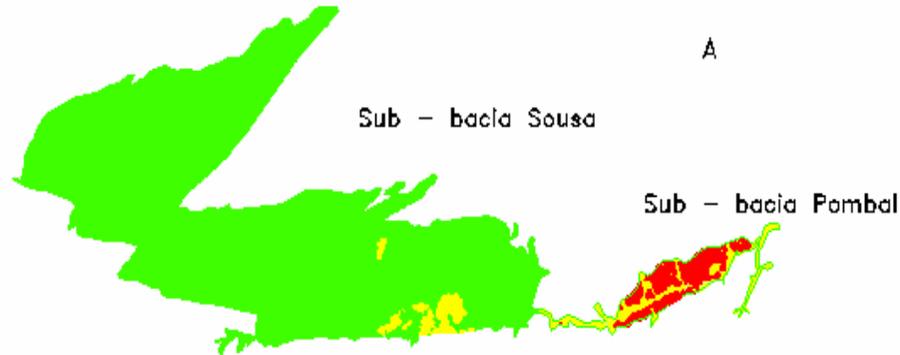
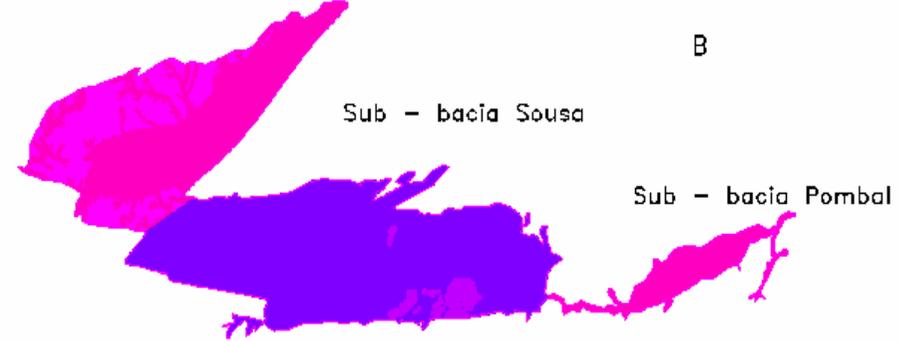


Figura 5. 25 – Distribuição espacial da recarga na Bacia Sedimentar Rio do Peixe para o cenário 1 : A) no ano de 2004; B) no ano de 2005; C) no ano de 2006 e D) no ano de 2007.

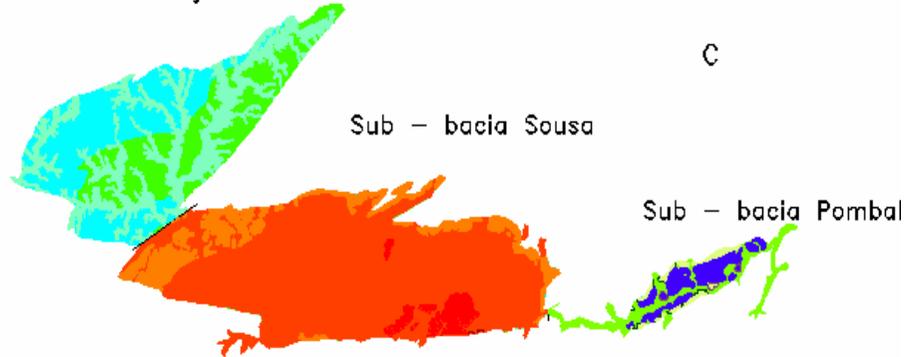
Sub – bacia Brejo das Freiras



Sub – bacia Brejo das Freiras



Sub – bacia Brejo das Freiras



Sub – bacia Brejo das Freiras



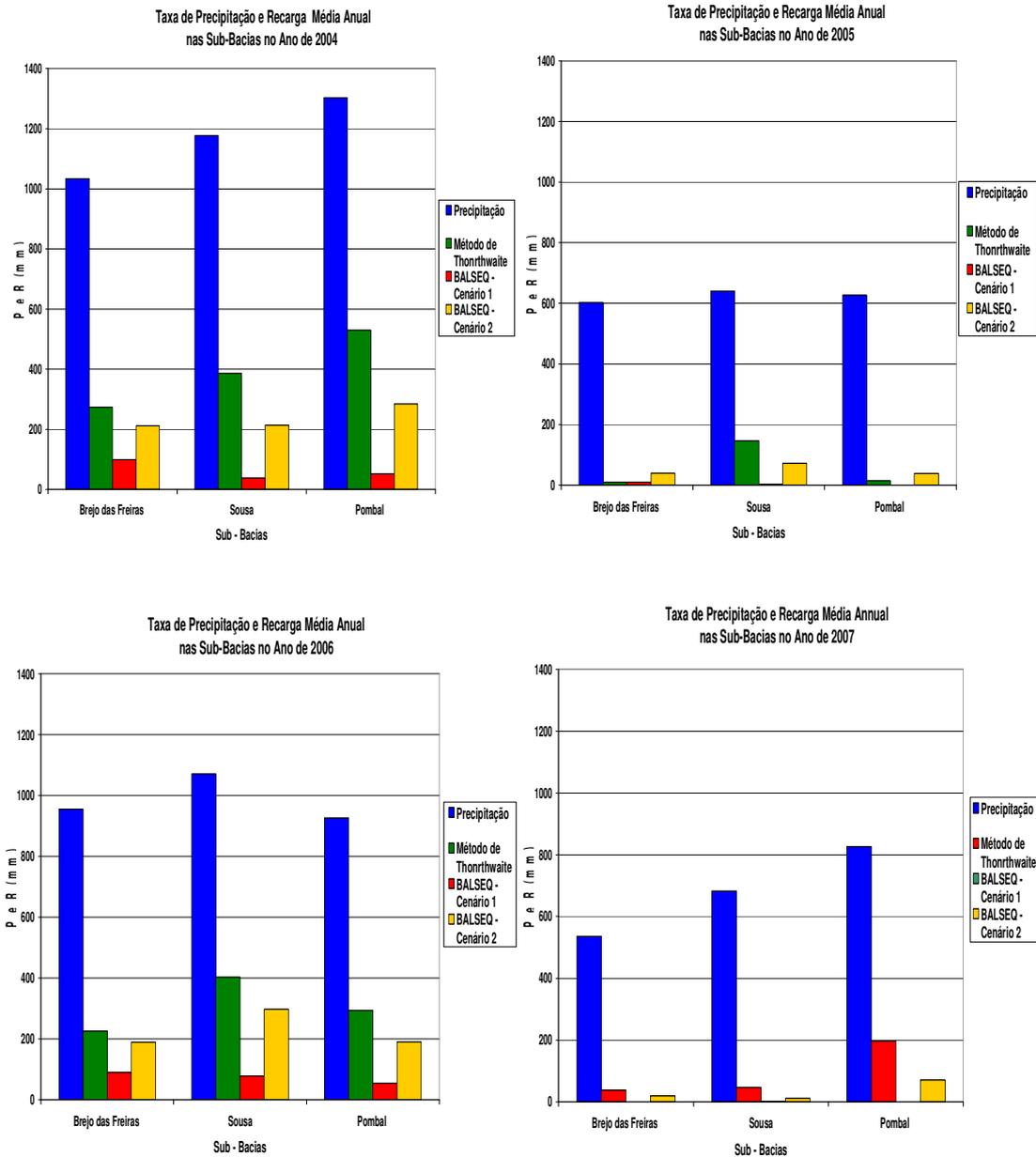


Figura 5. 27 – Gráfico comparativo da recarga média por sub-bacia através dos métodos utilizados para período de 2004 à 2007 na bacia sedimentar Rio do Peixe.

**Capítulo**

**6**

---

**DISCUSSÃO**

## 6.0 DISCUSSÃO

A estimativa de recarga da bacia sedimentar do Rio do Peixe durante o período de 2004 até 2007 foi feita por dois diferentes métodos de balanço hídrico: 1. método de Thornthwaite & Mather e, 2. método de balanço hídrico sequencial diário (BALSEQ). Para conseguir isso, foram necessários as séries temporais da precipitação medidas nas 11 estações pluviométricas instaladas na bacia ou próximas e, conhecendo a temperatura diária da região, era possível calcular a taxa da evapotranspiração potencial diária com a bem conhecida fórmula de Thornthwaite. Estes dois tipos de séries temporais, a precipitação e a temperatura diárias, eram suficientes para calcular o excesso hídrico do solo para os meses chuvosos e o déficit hídrico para o resto do ano de cada área de influência da estação pluviométrica para um certo intervalo de tempo (dias, semanas, meses).

Sabe-se que o excesso hídrico não é a recarga efetiva, mas apenas recarga potencial que pode infiltrar no solo sem alcançar, necessariamente, o nível de água no aquífero. Por isso, o método de Thornthwaite tem apenas um valor limitado para a estimativa da recarga efetiva, ainda que seja o método clássico do balanço hídrico, que se faz presente na maioria dos estudos hidrológicos. O seu valor é mais qualitativo, indicando assim regiões que são mais afetadas pelos processos hidro-climatológicos.

Como se trata de um balanço mensal, os valores anuais de excedente e de déficits hídricos, mostrados tanto na tabela 5.4 como na figura 5.12, indicam, respectivamente, as somas dos valores dos meses com excedentes hídricos (período chuvoso) e dos meses deficitários (período de estio).

Diferentemente, o método de BALSEQ é um método quantitativo, que permite, em princípio, determinar a recarga efetiva num certo local da bacia, em função do tipo de solo e uso do solo. Por isso, foi preciso confeccionar os respectivos mapas de solo e vegetação por emprego do SIG da bacia sedimentar do Rio de Peixe. Estes mapas foram classificados segundo os critérios do U.S. Soil Conservation Service (U.S.SCS). O respectivo número de curva (*CN*) foi atribuído para cada área de influência dos postos pluviométricos e, junto com as respectivas taxas de precipitação e evapotranspiração potencial diárias neste local, servia para determinar a taxa de escoamento superficial nesta área. Além disso, foi necessário conhecer os parâmetros de zona das raízes da zona não-saturada, tais como o coeficiente de capacidade de campo ( $C_s$ ), o ponto de murchimento (*PM*) e a espessura da zona das raízes (*RP*), que foram definidos com base da informação do Departamento da Engenharia Agrícola

(DEA-UFCG). Estes três parâmetros criam um parâmetro adimensional do solo, chamado *AGUT*.

Foram determinadas assim as taxas de recarga para a área de influência de cada das 11 estações pluviométricas e tomados valores médios de recarga considerando a influência das áreas das formações geológicas (Aluvião, Antenor Navarro, Rio Piranhas e Sousa) da bacia em um estudo e para as três sub-bacias (sem aluvião) num outro estudo. Foram analisados, assim, quatro anos de observação (2004-2007).

Um outro tipo de simulação para verificar o valor da recarga pode ser realizado com variação do número de curva (*CN*), que apenas foi testado, mas não foi realizado sistematicamente. Sabendo que o seu valor máximo possível ( $CN = 100$ ) significa que o solo é totalmente impermeabilizado e o seu valor mínimo ( $CN = 0$ ) significa um solo totalmente permeável. Portanto, um aumento do valor de *CN* causa uma redução da taxa de recarga, caracterizando assim a importância do conhecimento desse parâmetro.

Observa-se que a recarga do cenário 2 (Tab. 5.15), que inclui a cobertura aluvial (cerca de 40 % da área total das formações geológicas) é significativamente mais alta que a recarga do cenário 1, sem os aluviões. O valor médio do fator *CN* encontrado para o aluvião é mais baixo que aqueles das outras formações geológicas, ou seja, na superfície aluvial o escoamento superficial é menor e, portanto, a taxa de infiltração é maior.

Na figura 5.2 e demais figuras apresentadas no apêndice A, verifica-se que nos anos de 2004 e 2006 a média pluviométrica estava acima da média histórica de 850mm/ano, ou seja 33% ( $P_{2004} = 1131,18\text{mm}$ ) e 19,71% ( $P_{2006} = 1017,38\text{mm}$ ) respectivamente, enquanto que em 2005 ocorreu um decréscimo de 26,51% em relação à média histórica ( $P_{2005} = 624,65\text{mm}$ ). No ano de 2007 o período de chuva é analisado até julho apresentando uma diferença para a média histórica de 213,47mm que resultou em taxas de recargas bastantes variáveis em todos os dois cenários (Fig. 5.24).

Comparando os dois cenários simulados, as taxas médias de recarga em toda a bacia, nos anos de 2004 à 2007 (Tab.5.15) foram, para o cenário 1 (sem cobertura aluvial), de

2004. Este fato ocorre em virtude da distribuição espacial da precipitação, dependendo da intensidade da chuva, variando em função do tipo de solo que a área de influência do posto pluviométrico abrange, podendo assim, ocorrer a combinação de intensidades de chuvas maiores em áreas de recarga mais propícias.

Uma comparação direta com um estudo paralelo - a estimativa de recarga da bacia sedimentar do Rio do Peixe com base de uma modelagem do fluxo subterrâneo (Kunzler, tabela 5.5, 2007) - mostra que as taxas de recarga através de modelo de BALSEQ, apresenta valores médios de recarga um pouco mais altos que os da modelagem pela MODFLOW, mas com a mesma tendência para cada área da formação geológica.

Concluindo tem que se dizer, que os resultados do método de Thornthwaite não são muitas vezes bem compatíveis com os resultados do método de BALSEQ. Ao contrário do método de Thornthwaite, o método de BALSEQ considera as propriedades de solo e permite um refinamento na classificação de tipo e uso de solo, portanto, ele parece ser o método mais adequado para um estudo de recarga.

---

**CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

## 7.0 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este estudo teve como objetivo a estimativa da taxa de recarga na bacia sedimentar do Rio de Peixe através de dois distintos métodos: 1. Método de Thornthwaite e o 2. Balanço Hídrico Sequencial Diário - BALSEQ.

O método clássico de Thornthwaite & Mather calcula excedentes e déficits hídricos usando apenas dados climatológicos, como a taxa medida de precipitação e a temperatura, para fazer um balanço hídrico da área em estudo, definindo uma recarga potencial de água subterrânea, enquanto o modelo BALSEQ calcula a infiltração profunda, em função dos parâmetros de tipo e uso de solo, empregando o método do Soil Conservation Service (1972) para o cálculo do escoamento superficial e um balanço hídrico na zona radicular. Ignorando o efeito da redistribuição da umidade na zona não saturada, esta infiltração profunda calculada representa a recarga efetiva de água subterrânea. Assim, o modelo BALSEQ é capaz de fornecer valores de recarga mais realísticos, em comparação com os demais modelos simples de balanço hídrico.

O primeiro método fornece apenas o valor-limite para a recarga e não a recarga real. O seu valor é mais qualitativo e, portanto mais apropriado para delimitações hidroclimatológicas de regiões. Diferentemente, o método BALSEQ permite, em princípio, determinar a recarga real num certo local da bacia, em função do tipo de solo e uso do solo. Contudo, para isso, faz-se necessário, além de conhecer parâmetros da zona radicular, confeccionar mapas de solo, vegetação e uso de solo, o que significa um maior volume de informações necessárias para sua utilização.

Considera-se que o excedente hídrico, calculado pelo primeiro método, representa uma recarga potencial de água subterrânea, isto é, a quantidade de água que poderá chegar à zona saturada e contribuir para a elevação do nível freático, mas também, eventualmente, poderá escoar nas camadas superiores do solo (escoamento subsuperficial ou hipodérmico), retornar à superfície e evaporar-se.

Uma comparação dos resultados provenientes da simulação por meio de modelo BALSEQ com os resultados que vêm de um modelagem numérica do fluxo subterrâneo (Kunzler, 2007) mostra uma concordância satisfatória, contudo, as taxas de recarga do modelo

BALSEQ são maiores que da modelagem numérica. No referente trabalho a recarga média anual é em torno de 50 mm no ano chuvoso de 2005/2006 e apenas 36 mm no ano menos chuvoso de 2006/2007. Já o modelo BALSEQ fornece para o cenário 1 uma recarga de 80,5 mm para o ano chuvoso de 2006 e mais baixo de 0,24 mm para o ano menos chuvoso de 2007, mas com a mesma tendência para cada área da formação geológica.

Antes de calibrar os parâmetros do modelo de BALSEQ, tais como a classificação pelos *NCs* e *AGUT*, para a bacia sedimentar do Rio de Peixe, deverão ser realizadas medições da flutuação contínua e longa duração do nível de água em vários locais diferentes na região em estudo através de um medidor de nível automático e, uma subsequente calibração dos parâmetros utilizados no modelo BALSEQ podem dar mais *insight* neste problema complexo da estimativa da recarga efetiva.

As principais vantagens do BALSEQ são a existência de um parâmetro único, o *NC*, e a ampla difusão com abundante bibliografia sobre experiências de sua utilização e seus resultados bem representativos. As principais desvantagens referem-se à desconsideração da percolação e da recuperação da capacidade de infiltração. Basicamente o método se adapta para cálculos em bacias com escassez de informação, enquadrando-se para o caso da bacia sedimentar do Rio do Peixe.

Concluindo, pode-se dizer que ambos os métodos aplicados para a estimativa de recarga padecem de um alto grau de incerteza. Contudo, trata-se de uma limitação inerente a todos os métodos de recarga conhecidos, por causa da enorme complexidade hidrológica da zona não saturada associada à falta de registros confiáveis de dados de campo em quantidade suficiente.

---

**REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J do P. T. (1984). *Os Recursos de Água Subterrânea do Trópico Semi-Árido do Estado da Paraíba*. Dissertação de mestrado, UFPB, Campina Grande.

ALBUQUERQUE, J do P. T. (1986). *O Sistema Aquífero Rio do Peixe*. 4º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Brasília, anais, p.194-207, 1986.

AMORIM, M. da S.M. (1989). *Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955)*. Petrolina : EMBRAPA – CPATSA. 18 p. (Boletim Técnico n. 34).

ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG DER FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT. (1977). *Methoden zur Bestimmung der Grundwasserneubildungsrate*. Geologisches Jahrbuch, C19, p3–98, Hannover-Germany.

BALANÇO HÍDRICO. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Balanço\\_hídrico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Balanço_hídrico) > Acesso em: 07 fev. 2005.

BAUMGARTEN, A. P.; FELIX, D. & MÜLLER, M. *Determinação da precipitação efetiva na bacia do Rio Chopim através do método da curva número do SCS*. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, Paraná, 2003.

CAMARGO, A.P. (1971). *Balanço hídrico no Estado de São Paulo*. Campinas: IAC. 28p. (Boletim Técnico, n. 116)

CAMARGO, M.B.P., CAMARGO, A.P. (1993). *Representação gráfica informatizada do extrato do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather*. Bragantia, Campinas, v. 52, n. 2, p. 169-172.

CHACHADI, A.G., MOINANTE, M.J. & OLIVEIRA, M.M., (2002). *Measuring, Monitoring and Managing Sustainability: The Coastal Dimension – Coastin. Gis and Mathematical Modelling for the Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution: Application to an Indian Case-Study Área in Kakinada*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 279/02 – GIAS, October/2002, 43 pp.

CHOW, V.T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. MacGraw-Hill, New York. 1964

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. MacGraw-Hill, Singapore, 1988.

CORREIA, L. C. (2007). *Levantamento dos Aspectos Hidrogeológicos da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe*. Dissertação de mestrado em andamento. UFPE.

CPRM-UFMG. (2005). *Comportamento Hidrogeológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, Relatório Síntese com Análise Bibliográfica*. Universidade Federal de Campina Grande- Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

DA SILVA, J. M. A. (2002). *Modelo Hidrológico para o Cálculo do Balanço Hídrico e Obtenção do Hidrograma de Escoamento Superficial em Bacias Hidrográficas: Desenvolvimento e Aplicação*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais.

DIAMANTINO, C. (2005). *Metodologias de Recarga Artificial de Aquíferos*. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Évora/Portugal.

FEITOSA, F.; MANOEL FILHO, J. (1997). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicação*. Fortaleza. CPRM, LABHID-UFPE. 412p. il.

GALVÍNCIO, J.D.; DE SOUSA, F. A.; SRINIVASAN, V. S. (2006). *Balanço Hídrico à Superfície da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v 11 (3) , p. 135-145.

GOMES, S. (2005). *Ajuste e Avaliação de um modelo de balanço hídrico decenal e estudos dos limites de sua utilização em algumas localidades no estado do Paraná*. 120p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.2005.

HANSELMAN, D.; LITTLEFIELD. (2003). *MATLAB® Curso Completo*. Prentice Hall, São Paulo, 676p.

KINZELBACH, W.; AESCHBACH, W.; ALBERICH, C., GONI, I.B. BEYERLE, U.; BRUNNER, P.; CHIANG, W. H.; RUEDDI, J.; ZOELLMANN, K. (2002). *A survey of methods for groundwater recharge in arid and semi-arid regions. Early Warning and*

*Assessment Report Series*, UNEP/DEWA/RS.02-2. United Nations. Environment Programme, Nairobi, Kenya.

LANÇA, R.M.M. *Aula Teórica de Hidrologia Aplicada: Capítulo I - Hidrologia de Superfície*. Disponível em:<[http://w3.ualg.pt/~rlanca/sebenta-hid-aplicada/aulas/teoricas/t03\\_hidraulica\\_aplicada\\_hidrologia\\_de\\_superficie\\_teorica.ppt.pdf](http://w3.ualg.pt/~rlanca/sebenta-hid-aplicada/aulas/teoricas/t03_hidraulica_aplicada_hidrologia_de_superficie_teorica.ppt.pdf)>

Acesso em: 17 jun. 2007.

LERNER, D. N.; ISSAR, A.S.; SIMMERS, I. (1990). *Groundwater Recharge. A guide of to understanding and estimating natural recharges*. IAH Int Contrib Hydrog, Hannover. 345 p.

LIMA, W. P. *Ciclo Hidrológico e Balanço Hídrico*. Disponível em:<<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lcf/lab/lhf/arquivos/CAPITULO%203.pdf>> Acesso

em: 06 dez. 2006.

KUNZLER, J. S. (2007). *Estimativa da recarga na bacia sedimentar do Rio do Peixe através da modelagem matemática do fluxo subterrâneo*. Dissertação de Mestrado , UFCG, Campina Grande. 2007.

MELO, J. G. de; STEIN, P.; VASCONCELOS, M. B.; SILVA, F. H. R. (2006). *Recarga do aquífero Açú na borda sudoeste da bacia Potiguar Trecho Apodi-Upanema*. Revista de Geologia, Vol. 19, nº 1, 61-72, 2006

MENDONÇA, P.V.E. (1958). *Sobre o novo método de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather*. In: Congresso Luso-Espanhol Para O Progresso Das Ciências, 24. Madrid, Acta, Madrid, 1958. p.415-425.

Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Manual tecno: Diseño y Construcción de Pequeñas Embalses*. Madrid, 1986.

MONDION, M.; HIRATA, A.; SUHOGUSOFF, A. V.; FERRARI, L. C. K. M. (2006). *Mecanismos de Controle da Recarga em Aquíferos Sediemntares Livres – Estudo da Bacia Hidrográfica do Alto Tiête, São Paulo (Brasil)*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v 11 (3) , p. 89-99.

MORAES, M. F. (2007) *Estimativa do Balanço Hídrico na bacia Experimental/Representativa de Santa Maria/Cambiocó - Município de São José de Ubá-RJ*. 251p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

OLIVEIRA, M.M. COSTA, A. M.; FRANCES, A. (2004a) *Estimativa da recarga de águas subterrâneas a partir da análise dos hidrogramas de escoamento superficial na área abrangida pela Folha 6 da Carta Hidrogeológica de Portugal à escala 1:200 000*. Relatório 379/04 - NAS, Lisboa, LNEC, Dezembro de 2004, 123 pp.

OLIVEIRA, M.M. (2004). *Recarga de águas subterrâneas: Métodos de Avaliação*. Tese (Doutorado) - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, LNEC, 2004.

OLIVEIRA, M.M.; LOBO FERREIRA, J.P.C. (2004b). *Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do concelho de Montemor-o-Novo utilizando o Método DRASTIC*, in CABRAL, J.J.S.; LOBO FERREIRA, J.P.C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; COSTA, W.D., - *Água subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento*. Vol. 4: Tópicos especiais em recursos hídricos, Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2004, p 223-276.

OMM/UNESCO. (1997). *Hay suficiente água en el mundo?*. Organización Meteorológica Mundial/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la ciencia y la cultura.

PARALTA, E. A.; OLIVEIRA, M.M.; LUBCZYNSKI, M.W.;RIBEIRO, L.F. (2003). *“Avaliação da Recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja Segundo Critérios Múltiplos – Disponibilidades Hídricas e Implicações Agro-Ambientais.”* In Anais do 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Lisboa, pp. 501-516

PERH. (2006). *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Resumo Executivo & Atlas, Governo do Estado da Paraíba.

PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDYAMA, G.C. (1997). *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: ESALQ. 183p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. (2002). *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Ed. Agropecuária. 478p.

RABELO, J.L. (2006). “*Estudo da Recarga do Aquífero Guarani no Sistema Jacaré-Tiête.*” Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. (1998). *Planilhas no Ambiente Excel<sup>™</sup> para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial.* Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137.

SCALON, B. R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. (2002). *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge.* Hydrogeology Journal, v. 10 (1), p.18-39.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F.W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I.C. (2002). *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.* Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. 2ª ed, Brasília, 207 p.

SHIKLOMANOV, I.A. (1997) *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World, Assessment of Water Resources and Water Availability in the World, WMO/SEI, 85p.*

SILVA, F.H.B.(2000). *Método de determinação do escoamento superficial de bacias hidrográficas a partir de levantamentos.* Embrapa Solos. Rio de Janeiro, RJ.

SRINIVASAN, V. S. (2004). *Comportamento Hidrogeológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe.* Proposta de financiamento de projeto encaminhada a FINEP.

THORNTHWAITE, C.W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate.* Geogr. Rev, v.38, p.55-94.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). *The water balance.* Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

TUCCI, C.E.M. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação.* São Paulo: Universidade Federal do Rio Grande do Sul / EDUSP.

TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos.* Porto Alegre, Editora da Universidade/UFRGS.

SOIL CONSERVATION SERVICE. (1972). National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture, available from U. S. Government Printing Office, Washington D.C.

WAHNFRIED, I. HIRATA, R. I. (2005). *Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tiet (São Paulo)*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v 10 (2) , p. 15-25.

UNEP/DEWA/RS.02-2. (2002). *A survey of methods for groundwater recharge in arid and semi-arid regions*. Early Warning and Assessment Report Series, United Nations. Environment Programme, Nairobi, Kenya.

# APÊNDICES

# APÊNDICES

## Apêndice A - Dados de Precipitação nas Estações Pluviométricas

| MÉDIA DE THIERSSEN PARA O ANO 2004 |                      |                 |               |                 |                      |                |                |                |                |                |                |                |
|------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Mês/Estação                        | Açude Lagoa do Arroz | Açude de Pilões | Aparecida     | Antenor Navarro | Barra do Juá/Triunfo | Pombal         | Santa Helena   | São Gonçalo    | Sousa          | Uiraúna        | Umari          | MÉDIA (mm)     |
| Jan                                | 291,40               | 356,70          | 251,00        | 335,20          | 264,00               | 575,40         | 222,50         | 309,70         | 575,40         | 362,80         | 304,00         | <b>375,83</b>  |
| Fev                                | 320,00               | 220,70          | 80,00         | 218,10          | 205,55               | 437,90         | 239,90         | 227,90         | 437,90         | 275,90         | 206,50         | <b>265,51</b>  |
| Mar                                | 238,20               | 218,50          | 140,80        | 165,00          | 147,50               | 209,80         | 292,20         | 192,30         | 209,80         | 156,20         | 187,50         | <b>191,49</b>  |
| Abr                                | 98,50                | 74,60           | 99,50         | 118,60          | 131,15               | 52,60          | 62,90          | 97,10          | 52,60          | 97,40          | 106,00         | <b>87,61</b>   |
| Mai                                | 82,10                | 48,20           | 51,40         | 57,80           | 113,35               | 28,60          | 109,60         | 32,60          | 28,60          | 48,00          | 120,00         | <b>55,35</b>   |
| Jun                                | 67,30                | 75,40           | 158,60        | 136,70          | 180,10               | 157,60         | 54,40          | 120,50         | 157,60         | 102,60         | 86,00          | <b>123,87</b>  |
| Jul                                | 16,70                | 15,10           | 25,80         | 15,60           | 7,50                 | 21,20          | 24,60          | 27,90          | 21,20          | 12,60          | 0,00           | <b>17,76</b>   |
| Ago                                | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 5,00           | 1,20           | 2,40           | 5,00           | 0,00           | 0,00           | <b>1,50</b>    |
| Set                                | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | <b>0,00</b>    |
| Out                                | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,40            | 0,00                 | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | <b>0,06</b>    |
| Nov                                | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 31,65                | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | <b>1,66</b>    |
| Dez                                | 0,00                 | 0,00            | 0,90          | 13,20           | 32,40                | 12,00          | 4,10           | 34,80          | 12,00          | 0,00           | 0,00           | <b>10,55</b>   |
| <b>Total (mm)</b>                  | <b>1114,20</b>       | <b>1009,20</b>  | <b>808,00</b> | <b>1060,60</b>  | <b>1113,20</b>       | <b>1500,10</b> | <b>1011,40</b> | <b>1045,20</b> | <b>1500,10</b> | <b>1055,50</b> | <b>1010,00</b> | <b>1131,20</b> |

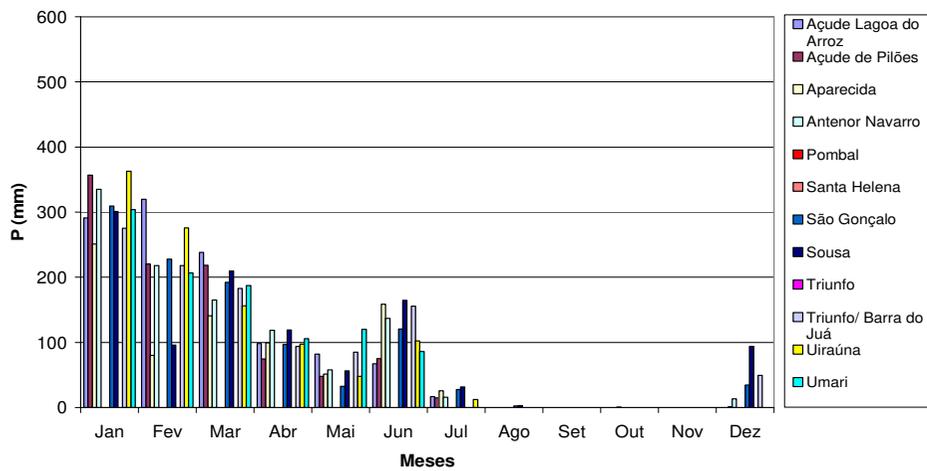
| MÉDIA DE THIERSSEN PARA O ANO DE 2005 |                      |                 |               |                 |                      |               |               |               |               |               |               |               |
|---------------------------------------|----------------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Mês/Estação                           | Açude Lagoa do Arroz | Açude de Pilões | Aparecida     | Antenor Navarro | Barra do Juá/Triunfo | Pombal        | Santa Helena  | São Gonçalo   | Sousa         | Uiraúna       | Umari         | MÉDIA (mm)    |
| Jan                                   | 36,00                | 63,10           | 68,40         | 33,20           | 59,85                | 20,30         | 48,10         | 42,80         | 13,70         | 26,20         | 21,00         | <b>38,27</b>  |
| Fev                                   | 75,50                | 72,10           | 26,70         | 54,40           | 98,75                | 69,60         | 69,50         | 17,60         | 55,20         | 0,00          | 70,00         | <b>51,95</b>  |
| Mar                                   | 513,10               | 242,80          | 300,00        | 345,10          | 232,90               | 205,80        | 235,10        | 561,50        | 381,10        | 239,40        | 184,00        | <b>322,34</b> |
| Abr                                   | 90,60                | 111,30          | 0,00          | 86,00           | 148,45               | 69,70         | 161,00        | 112,70        | 58,10         | 153,20        | 61,20         | <b>88,98</b>  |
| Mai                                   | 68,30                | 52,70           | 64,10         | 91,20           | 152,15               | 127,40        | 65,10         | 103,80        | 0,00          | 100,40        | 51,00         | <b>68,23</b>  |
| Jun                                   | 12,20                | 12,50           | 32,00         | 0,00            | 73,95                | 0,00          | 33,20         | 24,90         | 0,00          | 64,00         | 17,00         | <b>18,96</b>  |
| Jul                                   | 0,00                 | 2,10            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00          | 1,60          | 0,60          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | <b>0,45</b>   |
| Ago                                   | 13,60                | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00          | 8,60          | 7,80          | 4,00          | 0,00          | 1,00          | <b>2,30</b>   |
| Set                                   | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | <b>0,00</b>   |
| Out                                   | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | <b>0,00</b>   |
| Nov                                   | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 94,30         | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | 0,00          | <b>4,51</b>   |
| Dez                                   | 20,90                | 41,00           | 0,00          | 0,00            | 38,75                | 94,30         | 15,50         | 0,00          | 59,50         | 17,30         | 31,00         | <b>28,58</b>  |
| <b>Total (mm)</b>                     | <b>830,20</b>        | <b>597,60</b>   | <b>491,20</b> | <b>609,90</b>   | <b>804,80</b>        | <b>681,40</b> | <b>637,70</b> | <b>871,70</b> | <b>571,60</b> | <b>600,50</b> | <b>436,20</b> | <b>624,57</b> |

| MÉDIA DE THIERSSSEN PARA O ANO DE 2006 |                      |                 |               |                 |                      |               |                |                |                |               |               |                |
|--|----------------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Mês/Estação                            | Açude Lagoa do Arroz | Açude de Pilões | Aparecida     | Antenor Navarro | Barra do Juá/Triunfo | Pombal        | Santa Helena   | São Gonçalo    | Sousa          | Uiraúna       | Umari         | MÉDIA (mm)     |
| Jan                                    | 39,40                | 45,40           | 14,30         | 40,70           | 13,20                | 2,30          | 76,90          | 66,70          | 23,00          | 15,20         | 42,00         | 34,89          |
| Fev                                    | 316,30               | 251,30          | 214,80        | 255,30          | 177,20               | 485,80        | 320,40         | 136,80         | 238,80         | 160,30        | 208,00        | 236,00         |
| Mar                                    | 283,20               | 204,40          | 226,80        | 254,10          | 108,00               | 129,00        | 192,00         | 314,30         | 259,10         | 148,50        | 155,00        | 220,92         |
| Abr                                    | 222,20               | 211,10          | 206,70        | 384,20          | 265,55               | 189,30        | 211,70         | 314,20         | 336,00         | 239,60        | 162,00        | 273,21         |
| Mai                                    | 7,20                 | 271,80          | 137,40        | 204,50          | 177,55               | 126,40        | 254,20         | 177,90         | 196,90         | 184,10        | 57,50         | 185,93         |
| Jun                                    | 16,00                | 4,50            | 0,00          | 8,50            | 18,00                | 21,90         | 15,60          | 17,40          | 14,20          | 28,80         | 0,00          | 11,73          |
| Jul                                    | 10,20                | 3,30            | 0,00          | 6,40            | 10,80                | 7,80          | 5,90           | 17,00          | 0,00           | 16,50         | 0,00          | 5,95           |
| Ago                                    | 0,00                 | 6,60            | 0,00          | 0,00            | 26,00                | 9,10          | 2,00           | 0,00           | 17,10          | 12,20         | 2,50          | 7,23           |
| Set                                    | 0,00                 | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00          | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00          | 8,00          | 0,55           |
| Out                                    | 0,00                 | 5,70            | 0,00          | 0,00            | 42,80                | 5,30          | 8,80           | 0,00           | 1,00           | 12,20         | 35,00         | 7,25           |
| Nov                                    | 55,10                | 0,00            | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00          | 0,40           | 0,00           | 1,70           | 0,00          | 0,00          | 1,45           |
| Dez                                    | 0,00                 | 93,10           | 0,00          | 0,00            | 15,50                | 0,00          | 56,80          | 0,00           | 41,60          | 22,00         | 81,00         | 32,48          |
| <b>Total (mm)</b>                      | <b>949,60</b>        | <b>1097,20</b>  | <b>800,00</b> | <b>1153,70</b>  | <b>854,60</b>        | <b>976,90</b> | <b>1144,70</b> | <b>1044,30</b> | <b>1129,40</b> | <b>839,40</b> | <b>751,00</b> | <b>1017,58</b> |

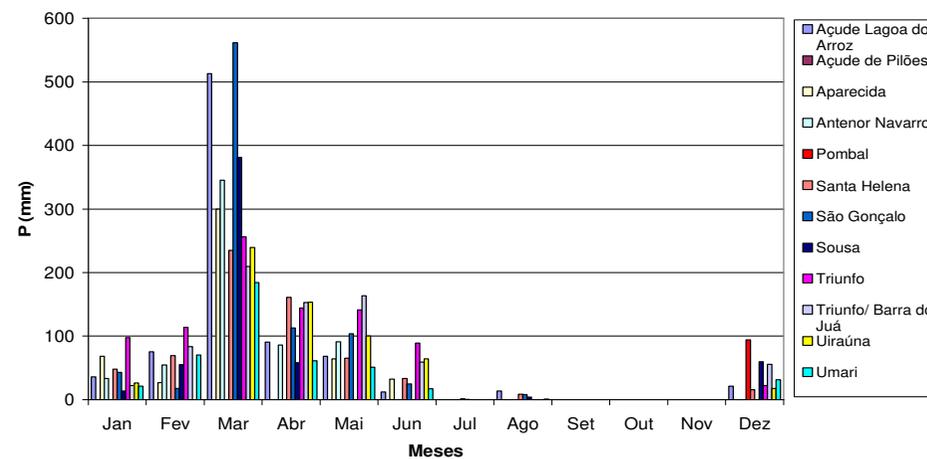
| MÉDIA DE THIERSSSEN PARA O ANO DE 2007 |                      |                 |                 |                      |               |               |               |               |               |               |               |  |
|--|----------------------|-----------------|-----------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--|
| Mês/Estação                            | Açude Lagoa do Arroz | Açude de Pilões | Antenor Navarro | Barra do Juá/Triunfo | Pombal        | Santa Helena  | São Gonçalo   | Sousa         | Uiraúna       | Umari         | MÉDIA (mm)    |  |
| Jan                                    | 81,70                | 29,60           | 13,50           | 10,30                | 2,10          | 32,20         | 59,90         | 12,10         | 10,30         | 23,50         | 22,14         |  |
| Fev                                    | 204,80               | 186,10          | 253,90          | 282,30               | 397,40        | 135,90        | 260,60        | 287,70        | 189,60        | 311,40        | 257,46        |  |
| Mar                                    | 120,80               | 59,10           | 75,00           | 20,70                | 40,60         | 64,70         | 123,10        | 75,60         | 127,90        | 69,00         | 76,65         |  |
| Abr                                    | 157,00               | 151,40          | 165,40          | 157,00               | 211,10        |               | 176,30        | 187,70        | 280,80        | 157,50        | 173,69        |  |
| Mai                                    | 98,60                | 32,30           | 55,50           | 95,00                | 131,50        |               | 82,60         | 67,80         | 83,30         | 34,50         | 64,50         |  |
| Jun                                    | -                    | -               | -               | -                    | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             |  |
| Jul                                    | -                    | -               | -               | -                    | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             |  |
| Ago                                    | -                    | -               | -               | -                    | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             |  |
| Set                                    | -                    | -               | -               | -                    | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             |  |
| Out                                    | -                    | -               | -               | -                    | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             |  |
| Nov                                    | -                    | -               | -               | -                    | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             |  |
| Dez                                    | -                    | -               | -               | -                    | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             |  |
| <b>Total (mm)</b>                      | <b>662,90</b>        | <b>458,50</b>   | <b>563,30</b>   | <b>565,30</b>        | <b>782,70</b> | <b>232,80</b> | <b>702,50</b> | <b>630,90</b> | <b>691,90</b> | <b>595,90</b> | <b>594,45</b> |  |

## Gráficos da precipitação total mensal das estações pluviométricas no período de 2004 à maio de 2007

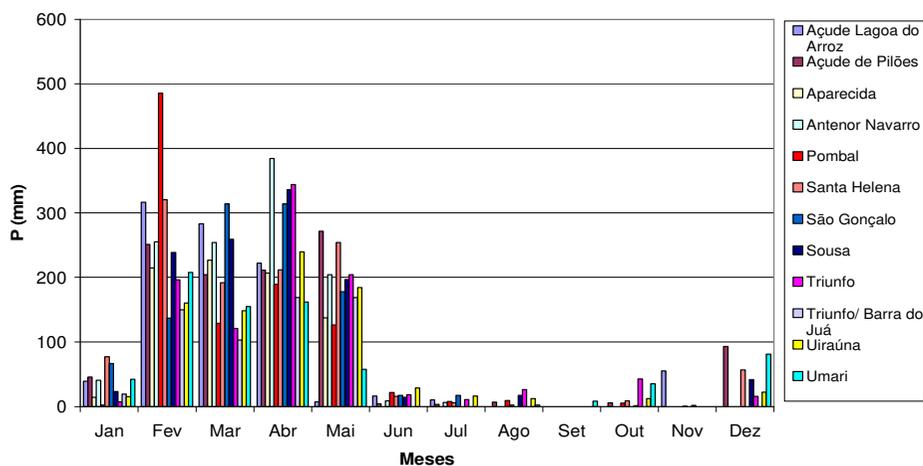
### PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL NO ANO DE 2004



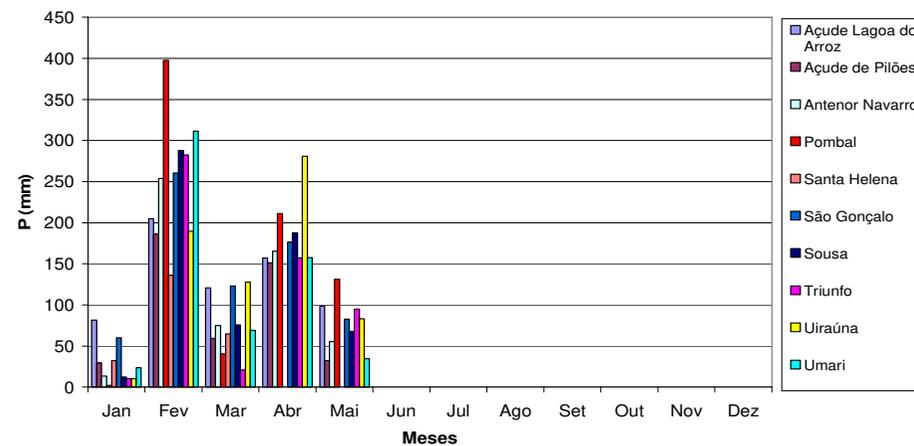
### PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL NO ANO DE 2005



### PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL NO ANO DE 2006



### PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL NO ANO DE 2007



## Apêndice B - Dados Diários de Temperatura e Evapotranspiração Potencial

### ANO 2004

| Mês | JANEIRO |          | FEVEREIRO |          | MARÇO  |          | ABRIL  |          | MAIO   |          | JUNHO  |          | JULHO  |          | AGOSTO |          | SETEMBRO |          | OUTUBRO |          | NOVEMBRO |          | DEZEMBRO |          |
|-----|---------|----------|-----------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Dia | T (°C)  | ETP (mm) | T (°C)    | ETP (mm) | T (°C) | ETP (mm) | T (°C) | ETP (mm) | T (°C) | ETP (mm) | T (°C) | ETP (mm) | T (°C) | ETP (mm) | T (°C) | ETP (mm) | T (°C)   | ETP (mm) | T (°C)  | ETP (mm) | T (°C)   | ETP (mm) | T (°C)   | ETP (mm) |
| 1   | 28,4    | 4,93     | 25,0      | 3,33     | 25,7   | 3,72     | 26,9   | 4,52     | 24,6   | 3,12     | 24,5   | 3,07     | 24,3   | 2,97     | 26,0   | 3,90     | 26,2     | 4,16     | 27,6    | 4,72     | 27,0     | 4,55     | 26,1     | 3,86     |
| 2   | 28,6    | 4,98     | 25,3      | 3,49     | 26,7   | 4,47     | 26,1   | 3,96     | 25,7   | 3,72     | 24,8   | 3,22     | 23,7   | 2,88     | 27,2   | 4,61     | 26,6     | 4,59     | 26,6    | 4,43     | 27,4     | 4,67     | 28,2     | 4,88     |
| 3   | 29,2    | 5,13     | 25,2      | 3,44     | 25,6   | 3,66     | 26,0   | 3,90     | 24,3   | 2,97     | 25,4   | 3,55     | 24,6   | 3,12     | 26,8   | 4,49     | 27,1     | 4,73     | 26,8    | 4,49     | 27,8     | 4,78     | 29,4     | 5,17     |
| 4   | 27,4    | 4,67     | 24,9      | 3,28     | 25,7   | 3,72     | 26,5   | 4,40     | 25,7   | 3,72     | 24,2   | 2,92     | 24,1   | 2,87     | 25,1   | 3,38     | 26,9     | 4,68     | 27,4    | 4,67     | 29,6     | 5,22     | 28,4     | 4,93     |
| 5   | 28,4    | 4,93     | 24,0      | 2,82     | 26,0   | 3,90     | 26,8   | 4,49     | 25,8   | 3,78     | 24,8   | 3,22     | 24,7   | 3,17     | 26,0   | 3,90     | 26,4     | 4,30     | 27,3    | 4,64     | 26,4     | 4,15     | 27,7     | 4,75     |
| 6   | 28,4    | 4,93     | 24,7      | 3,17     | 26,5   | 4,40     | 26,9   | 4,52     | 27,2   | 4,61     | 24,6   | 3,12     | 25,1   | 3,38     | 25,8   | 3,78     | 26,9     | 4,68     | 27,6    | 4,72     | 28,0     | 4,83     | 28,1     | 4,86     |
| 7   | 30,7    | 5,44     | 25,6      | 3,66     | 24,9   | 3,28     | 26,8   | 4,49     | 26,8   | 4,49     | 24,7   | 3,17     | 24,4   | 3,02     | 26,6   | 4,43     | 27,0     | 4,71     | 27,3    | 4,64     | 28,1     | 4,86     | 28,6     | 4,98     |
| 8   | 28,2    | 4,88     | 25,9      | 3,84     | 25,2   | 3,44     | 25,8   | 3,78     | 27,8   | 4,78     | 23,8   | 2,73     | 25,6   | 3,66     | 27,5   | 4,70     | 27,4     | 4,83     | 26,9    | 4,52     | 29,2     | 5,13     | 28,0     | 4,83     |
| 9   | 28,7    | 5,01     | 25,6      | 3,66     | 25,7   | 3,72     | 25,2   | 3,44     | 26,2   | 4,02     | 24,5   | 3,07     | 25,7   | 3,72     | 27,4   | 4,67     | 27,4     | 4,83     | 27,6    | 4,72     | 28,6     | 4,98     | 27,8     | 4,78     |
| 10  | 28,0    | 4,83     | 25,8      | 3,78     | 25,7   | 3,72     | 25,6   | 3,66     | 25,0   | 3,33     | 23,4   | 2,55     | 24,9   | 3,28     | 27,5   | 4,70     | 27,0     | 4,71     | 26,4    | 4,15     | 26,5     | 4,40     | 29,8     | 5,26     |
| 11  | 26,1    | 3,96     | 25,6      | 3,66     | 25,5   | 3,61     | 26,9   | 4,52     | 25,9   | 3,84     | 23,5   | 2,58     | 24,3   | 2,97     | 25,7   | 3,72     | 26,1     | 4,08     | 26,7    | 4,47     | 26,6     | 4,43     | 27,1     | 4,58     |
| 12  | 27,4    | 4,67     | 25,2      | 3,44     | 27,2   | 4,61     | 26,4   | 4,15     | 25,9   | 3,84     | 24,3   | 2,97     | 23,8   | 2,73     | 26,1   | 3,96     | 26,4     | 4,26     | 25,8    | 3,78     | 28,4     | 4,93     | 27,7     | 4,75     |
| 13  | 24,0    | 2,82     | 25,0      | 3,33     | 25,6   | 3,66     | 26,2   | 4,02     | 25,3   | 3,49     | 24,5   | 3,07     | 22,9   | 2,33     | 25,5   | 3,61     | 26,2     | 4,17     | 27,2    | 4,61     | 28,2     | 4,88     | 27,3     | 4,64     |
| 14  | 26,1    | 3,96     | 26,4      | 4,15     | 26,2   | 4,02     | 25,7   | 3,72     | 26,0   | 3,90     | 24,8   | 3,22     | 25,4   | 3,55     | 26,2   | 4,02     | 27,3     | 4,81     | 26,5    | 4,40     | 30,4     | 5,38     | 28,2     | 4,88     |
| 15  | 27,2    | 4,61     | 26,3      | 4,08     | 25,8   | 3,78     | 26,4   | 4,15     | 25,9   | 3,84     | 24,4   | 3,02     | 25,6   | 3,66     | 25,2   | 3,44     | 26,9     | 4,66     | 27,7    | 4,75     | 28,1     | 4,86     | 27,7     | 4,75     |
| 16  | 26,5    | 4,40     | 26,6      | 4,43     | 25,3   | 3,49     | 26,7   | 4,47     | 25,7   | 3,72     | 24,2   | 2,92     | 25,4   | 3,55     | 23,8   | 2,73     | 25,8     | 3,88     | 27,7    | 4,75     | 25,7     | 3,72     | 26,2     | 4,02     |
| 17  | 23,1    | 2,42     | 26,0      | 3,90     | 25,8   | 3,78     | 26,1   | 3,96     | 26,4   | 4,15     | 24,4   | 3,02     | 24,4   | 3,02     | 26,5   | 4,40     | 26,2     | 4,15     | 25,6    | 3,66     | 27,6     | 4,72     | 26,8     | 4,49     |
| 18  | 25,4    | 3,55     | 25,7      | 3,72     | 25,7   | 3,72     | 26,0   | 3,90     | 25,0   | 3,33     | 23,7   | 2,88     | 24,5   | 3,07     | 28,4   | 4,93     | 26,7     | 4,61     | 26,6    | 4,43     | 26,8     | 4,49     | 27,2     | 4,61     |
| 19  | 23,9    | 2,77     | 25,6      | 3,66     | 25,8   | 3,78     | 26,0   | 3,90     | 25,5   | 3,61     | 23,8   | 2,73     | 24,4   | 3,02     | 26,6   | 4,43     | 27,1     | 4,74     | 26,8    | 4,49     | 29,5     | 5,19     | 28,2     | 4,88     |
| 20  | 25,2    | 3,44     | 26,5      | 4,40     | 25,3   | 3,49     | 25,7   | 3,72     | 24,0   | 2,82     | 25,3   | 3,48     | 24,7   | 3,17     | 27,4   | 4,67     | 27,7     | 4,90     | 28,6    | 4,98     | 29,1     | 5,10     | 28,6     | 4,98     |
| 21  | 24,3    | 2,97     | 26,1      | 3,96     | 25,4   | 3,55     | 26,2   | 4,02     | 25,3   | 3,49     | 24,8   | 3,22     | 24,6   | 3,12     | 26,4   | 4,15     | 26,4     | 4,30     | 26,7    | 4,47     | 27,0     | 4,55     | 27,4     | 4,67     |
| 22  | 23,8    | 2,73     | 26,1      | 3,96     | 26,0   | 3,90     | 26,2   | 4,02     | 26,0   | 3,90     | 24,4   | 3,02     | 24,7   | 3,17     | 25,3   | 3,49     | 26,7     | 4,63     | 29,7    | 5,24     | 27,0     | 4,55     | 27,0     | 4,55     |
| 23  | 25,5    | 3,61     | 25,7      | 3,72     | 26,2   | 4,02     | 25,8   | 3,78     | 24,8   | 3,22     | 23,6   | 2,64     | 24,8   | 3,22     | 25,2   | 3,44     | 26,6     | 4,58     | 29,8    | 5,26     | 26,6     | 4,43     | 26,5     | 4,40     |
| 24  | 24,6    | 3,12     | 25,1      | 3,38     | 26,6   | 4,43     | 25,5   | 3,61     | 25,4   | 3,55     | 24,6   | 3,12     | 24,2   | 2,92     | 26,1   | 3,96     | 26,9     | 4,66     | 29,2    | 5,13     | 26,8     | 4,49     | 28,0     | 4,83     |
| 25  | 26,1    | 3,96     | 26,3      | 4,09     | 26,3   | 4,09     | 26,1   | 3,96     | 25,8   | 3,78     | 24,7   | 3,17     | 23,9   | 2,77     | 27,9   | 4,80     | 27,3     | 4,81     | 28,7    | 5,01     | 27,4     | 4,67     | 28,8     | 5,03     |
| 26  | 24,4    | 3,02     | 26,9      | 4,52     | 25,7   | 3,72     | 25,8   | 3,78     | 25,7   | 3,72     | 24,8   | 3,22     | 24,2   | 2,92     | 25,5   | 3,61     | 26,9     | 4,68     | 28,2    | 4,88     | 28,9     | 5,06     | 27,8     | 4,78     |
| 27  | 24,8    | 3,22     | 26,1      | 3,96     | 26,0   | 3,90     | 25,2   | 3,44     | 25,9   | 3,84     | 25,3   | 3,48     | 24,0   | 2,82     | 27,2   | 4,61     | 27,4     | 4,82     | 27,6    | 4,72     | 29,1     | 5,10     | 29,0     | 5,08     |
| 28  | 24,9    | 3,28     | 25,1      | 3,38     | 25,0   | 3,33     | 25,2   | 3,44     | 25,2   | 3,44     | 25,2   | 3,44     | 25,4   | 3,55     | 25,5   | 3,61     | 26,6     | 4,59     | 27,6    | 4,72     | 27,6     | 4,72     | 27,0     | 4,55     |
| 29  | 25,0    | 3,33     | 26,0      | 3,90     | 25,1   | 3,38     | 25,6   | 3,66     | 26,2   | 4,02     | 24,1   | 2,87     | 23,9   | 2,77     | 26,2   | 4,02     | 26,6     | 4,58     | 28,9    | 5,06     | 28,2     | 4,88     | 25,8     | 3,78     |
| 30  | 25,8    | 3,78     | -         | -        | 25,8   | 3,78     | 25,6   | 3,66     | 25,6   | 3,66     | 24,5   | 3,07     | 23,3   | 2,60     | 26,2   | 4,02     | 25,9     | 3,98     | 26,7    | 4,47     | 27,0     | 4,55     | 26,4     | 4,15     |
| 31  | 25,0    | 3,33     | -         | -        | 26,4   | 4,15     | -      | -        | 25,5   | 3,61     | -      | -        | 24,6   | 3,12     | 29,2   | 5,13     | -        | -        | 28,4    | 4,93     | -        | -        | 27,4     | 4,67     |

**ANO 2005**

ANO 2006

**ANO 2007**

| <b>Mês</b> | <b>JANEIRO</b> |                 | <b>FEVEREIRO</b> |                 | <b>MARÇO</b>  |                 | <b>ABRIL</b>  |                 | <b>MAIO</b>   |                 |
|------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| <b>Dia</b> | <b>T (°C)</b>  | <b>ETP (mm)</b> | <b>T (°C)</b>    | <b>ETP (mm)</b> | <b>T (°C)</b> | <b>ETP (mm)</b> | <b>T (°C)</b> | <b>ETP (mm)</b> | <b>T (°C)</b> | <b>ETP (mm)</b> |
| 1          | 27,3           | 4,64            | 26,5             | 4,88            | 25,40         | 3,55            | 25,97         | 4,01            | 25,33         | 3,51            |
| 2          | 27,6           | 4,71            | 27,6             | 5,23            | 26,73         | 4,47            | 26,30         | 4,22            | 25,73         | 3,74            |
| 3          | 27,7           | 4,75            | 27,7             | 5,26            | 27,50         | 4,70            | 26,27         | 4,20            | 25,27         | 3,48            |
| 4          | 27,0           | 4,54            | 27,4             | 5,16            | 26,87         | 4,51            | 26,43         | 4,31            | 24,87         | 3,26            |
| 5          | 27,7           | 4,75            | 27,2             | 5,09            | 26,97         | 4,54            | 26,23         | 4,18            | 25,50         | 3,61            |
| 6          | 27,1           | 4,59            | 26,7             | 4,95            | 26,90         | 4,52            | 26,47         | 4,33            | 25,87         | 3,82            |
| 7          | 28,2           | 4,88            | 27,2             | 5,11            | 26,07         | 3,94            | 26,30         | 4,22            | 25,83         | 3,80            |
| 8          | 28,0           | 4,82            | 27,8             | 5,30            | 26,00         | 3,90            | 25,87         | 3,95            | 26,13         | 3,98            |
| 9          | 28,0           | 4,84            | 27,6             | 5,22            | 26,17         | 4,00            | 25,13         | 3,51            | 25,57         | 3,65            |
| 10         | 28,5           | 4,97            | 27,8             | 5,30            | 26,77         | 4,48            | 25,57         | 3,77            | 25,30         | 3,49            |
| 11         | 26,9           | 4,52            | 26,1             | 4,36            | 27,00         | 4,55            | 26,00         | 4,03            | 25,80         | 3,78            |
| 12         | 27,9           | 4,80            | 26,3             | 4,55            | 27,97         | 4,82            | 26,30         | 4,22            | 25,70         | 3,72            |
| 13         | 27,0           | 4,55            | 27,1             | 5,08            | 26,67         | 4,46            | 25,87         | 3,95            | 25,67         | 3,70            |
| 14         | 28,0           | 4,83            | 27,7             | 5,25            | 26,07         | 3,94            | 25,73         | 3,87            | 25,63         | 3,68            |
| 15         | 27,8           | 4,78            | 26,9             | 5,02            | 26,70         | 4,47            | 26,40         | 4,29            | 25,43         | 3,57            |
| 16         | 27,3           | 4,65            | 25,7             | 4,14            | 26,77         | 4,48            | 26,13         | 4,12            | 25,33         | 3,51            |
| 17         | 26,8           | 4,49            | 26,7             | 4,93            | 27,40         | 4,67            | 26,00         | 4,03            | 25,63         | 3,68            |
| 18         | 27,5           | 4,69            | 26,2             | 4,43            | 25,47         | 3,59            | 25,77         | 3,89            | 24,93         | 3,29            |
| 19         | 25,6           | 3,66            | 26,2             | 4,46            | 25,20         | 3,44            | 26,13         | 4,12            | 25,27         | 3,48            |
| 20         | 26,9           | 4,52            | 26,8             | 4,98            | 25,30         | 3,49            | 25,80         | 3,91            | 24,87         | 3,26            |
| 21         | 26,6           | 4,43            | 26,9             | 5,01            | 25,37         | 3,53            | 26,23         | 4,18            | 25,50         | 3,61            |
| 22         | 26,6           | 4,42            | 26,1             | 4,36            | 26,10         | 3,96            | 25,00         | 3,44            | 25,67         | 3,70            |
| 23         | 26,8           | 4,50            | 27,3             | 5,13            | 25,63         | 3,68            | 25,53         | 3,75            | 25,07         | 3,37            |
| 24         | 26,1           | 3,96            | 27,2             | 5,12            | 25,93         | 3,86            | 25,90         | 3,97            | 25,33         | 3,51            |
| 25         | 27,0           | 4,54            | 27,1             | 5,07            | 26,00         | 3,90            | 25,53         | 3,75            | 25,70         | 3,72            |
| 26         | 25,8           | 3,80            | 27,8             | 5,29            | 25,37         | 3,53            | 26,07         | 4,07            | 25,50         | 3,61            |
| 27         | 26,4           | 4,15            | 27,0             | 5,05            | 25,47         | 3,59            | 25,93         | 3,99            | 25,97         | 3,88            |
| 28         | 27,2           | 4,62            | 26,2             | 4,43            | 25,50         | 3,61            | 25,20         | 3,55            | 25,63         | 3,68            |
| 29         | 26,7           | 4,46            | 20,0             | 1,51            | 25,37         | 3,53            | 25,83         | 3,93            | 25,37         | 3,53            |
| 30         | 26,8           | 4,49            | -                | -               | 25,60         | 3,66            | 25,53         | 3,75            | 25,37         | 3,53            |
| 31         | 26,6           | 4,43            | -                | -               | 25,97         | 3,88            | -             | -               | 24,53         | 3,08            |

## Apêndice C - Resultados do Método de Thornthwaite & Mather

ESTAÇÃO **Antenor Navarro**

LATITUDE **-6,44**

CAD (mm) **100**

ANO **2004**

### ENTRADA DOS DADOS

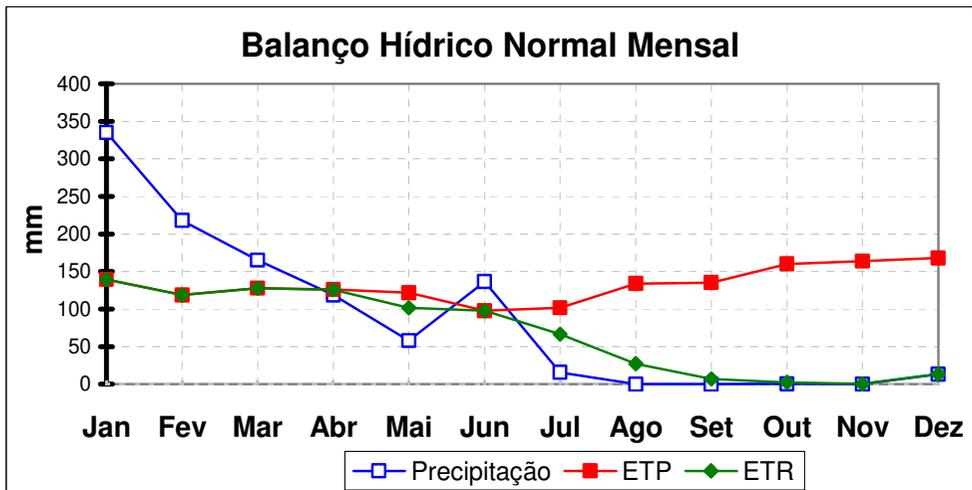
| Mês | Num de dias | NDA | T oC  | P mm   | N horas | I     | ETP Thornthwaite 1948 |
|-----|-------------|-----|-------|--------|---------|-------|-----------------------|
| Jan | 31          | 1   | 26,29 | 335,20 | 12,37   | 12,34 | 139,40                |
| Fev | 29          | 32  | 25,67 | 218,10 | 12,27   | 11,90 | 118,53                |
| Mar | 31          | 61  | 25,82 | 165,00 | 12,12   | 12,01 | 127,88                |
| Abr | 30          | 92  | 26,06 | 118,60 | 11,93   | 12,18 | 126,09                |
| Mai | 31          | 122 | 25,68 | 57,80  | 11,77   | 11,91 | 121,73                |
| Jun | 30          | 153 | 24,45 | 136,70 | 11,65   | 11,06 | 97,62                 |
| Jul | 31          | 183 | 24,52 | 15,60  | 11,63   | 11,10 | 101,73                |
| Ago | 31          | 214 | 26,39 | 0,00   | 11,73   | 12,41 | 133,89                |
| Set | 30          | 245 | 26,60 | 0,00   | 11,89   | 12,56 | 135,29                |
| Out | 31          | 275 | 27,49 | 0,40   | 12,07   | 13,20 | 159,94                |
| Nov | 30          | 306 | 27,82 | 0,00   | 12,24   | 13,44 | 163,95                |
| Dez | 31          | 336 | 27,68 | 13,20  | 12,35   | 13,34 | 167,92                |

I = **147,5**  
a = **3,63**

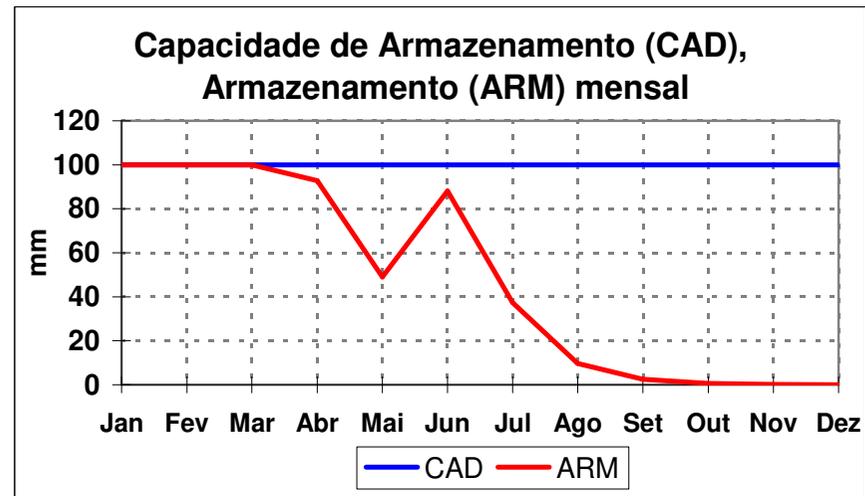
| Cálculo do Fotoperíodo |       |       |
|------------------------|-------|-------|
| δ                      | hn    | N     |
| -23,01                 | 92,75 | 12,37 |
| -17,52                 | 92,04 | 12,27 |
| -7,91                  | 90,90 | 12,12 |
| 4,41                   | 89,50 | 11,93 |
| 15,21                  | 88,24 | 11,77 |
| 22,17                  | 87,36 | 11,65 |
| 23,05                  | 87,25 | 11,63 |
| 17,65                  | 87,94 | 11,73 |
| 7,34                   | 89,17 | 11,89 |
| -4,61                  | 90,52 | 12,07 |
| -15,67                 | 91,81 | 12,24 |
| -22,24                 | 92,65 | 12,35 |

### RESULTADOS

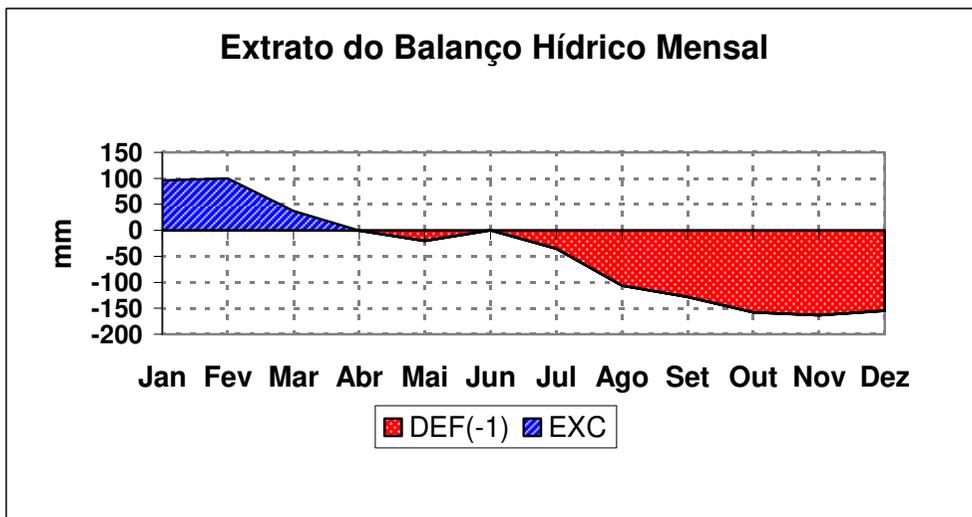
| ETAPAS        | A             | B                     | C             | D       | E             | F          | G            | H            | I             |
|---------------|---------------|-----------------------|---------------|---------|---------------|------------|--------------|--------------|---------------|
| Mês           | P mm          | ETP Thornthwaite 1948 | P-ETP mm      | NEG-AC  | ARM mm        | ALT mm     | ETR mm       | DEF mm       | EXC mm        |
| Jan           | 335,2         | 139,40                | 195,8         | 0,00    | 100,00        | 100,0      | 139,4        | 0,0          | 95,82         |
| Fev           | 218,1         | 118,53                | 99,6          | 0,00    | 100,00        | 0,0        | 118,5        | 0,0          | 99,57         |
| Mar           | 165,0         | 127,88                | 37,1          | 0,00    | 100,00        | 0,0        | 127,9        | 0,0          | 37,12         |
| Abr           | 118,6         | 126,09                | -7,5          | -7,49   | 92,79         | -7,2       | 125,8        | 0,3          | 0,00          |
| Mai           | 57,8          | 121,73                | -63,9         | -71,42  | 48,96         | -43,8      | 101,6        | 20,1         | 0,00          |
| Jun           | 136,7         | 97,62                 | 39,1          | -12,74  | 88,04         | 39,1       | 97,6         | 0,0          | 0,00          |
| Jul           | 15,6          | 101,73                | -86,1         | -98,86  | 37,21         | -50,8      | 66,4         | 35,3         | 0,00          |
| Ago           | 0,0           | 133,89                | -133,9        | -232,76 | 9,75          | -27,5      | 27,5         | 106,4        | 0,00          |
| Set           | 0,0           | 135,29                | -135,3        | -368,04 | 2,52          | -7,2       | 7,2          | 128,1        | 0,00          |
| Out           | 0,4           | 159,94                | -159,5        | -527,59 | 0,51          | -2,0       | 2,4          | 157,5        | 0,00          |
| Nov           | 0,0           | 163,95                | -163,9        | -691,54 | 0,10          | -0,4       | 0,4          | 163,5        | 0,00          |
| Dez           | 13,2          | 167,92                | -154,7        | -846,26 | 0,02          | -0,1       | 13,3         | 154,6        | 0,00          |
| <b>TOTAIS</b> | <b>1060,6</b> | <b>1593,97</b>        | <b>-533,4</b> |         | <b>579,90</b> | <b>0,0</b> | <b>828,1</b> | <b>765,9</b> | <b>232,51</b> |
| <b>MÉDIAS</b> | <b>88,4</b>   | <b>132,83</b>         | <b>-44,4</b>  |         | <b>48,33</b>  |            | <b>69,0</b>  | <b>63,8</b>  | <b>19,38</b>  |



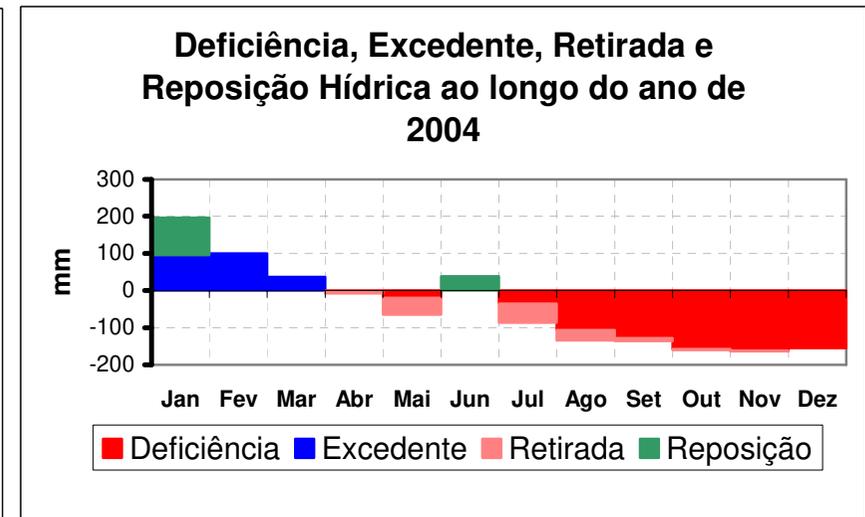
Etapas A, B e G.



Etapas E



Etapas A, B e G.



Etapas F , H e I

ESTAÇÃO

Antenor Navarro

LATITUDE

-6,44

CAD (mm)

100

ANO

2005

ENTRADA DOS DADOS

| Mês | Num de dias | NDA | T oC  | P mm   | N horas | I     | ETP Thornthwaite |
|-----|-------------|-----|-------|--------|---------|-------|------------------|
| Jan | 31          | 1   | 27,43 | 33,20  | 12,37   | 13,16 | 162,22           |
| Fev | 28          | 32  | 27,89 | 54,40  | 12,27   | 13,50 | 155,01           |
| Mar | 31          | 60  | 27,03 | 345,10 | 12,13   | 12,87 | 150,33           |
| Abr | 30          | 91  | 26,31 | 86,00  | 11,94   | 12,35 | 129,03           |
| Mai | 31          | 121 | 25,58 | 91,20  | 11,77   | 11,84 | 117,98           |
| Jun | 30          | 152 | 25,60 | 0,00   | 11,65   | 11,85 | 113,34           |
| Jul | 31          | 182 | 25,90 | 0,00   | 11,63   | 12,07 | 122,40           |
| Ago | 31          | 213 | 27,07 | 0,00   | 11,72   | 12,90 | 146,18           |
| Set | 30          | 244 | 27,04 | 0,00   | 11,88   | 12,88 | 142,79           |
| Out | 31          | 274 | 26,66 | 0,00   | 12,06   | 12,61 | 141,89           |
| Nov | 30          | 305 | 27,98 | 0,00   | 12,24   | 13,56 | 167,68           |
| Dez | 31          | 335 | 27,24 | 0,00   | 12,35   | 13,02 | 157,64           |

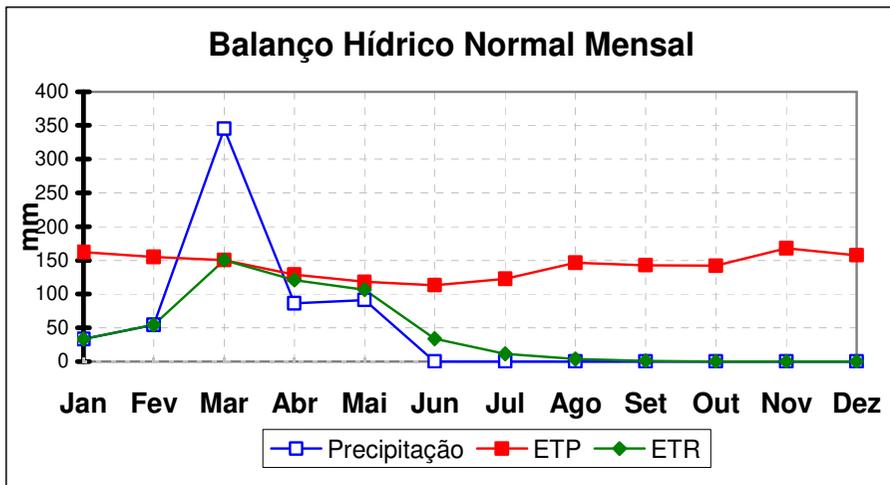
I = 152,6  
a = 3,84

Cálculo do Fotoperíodo

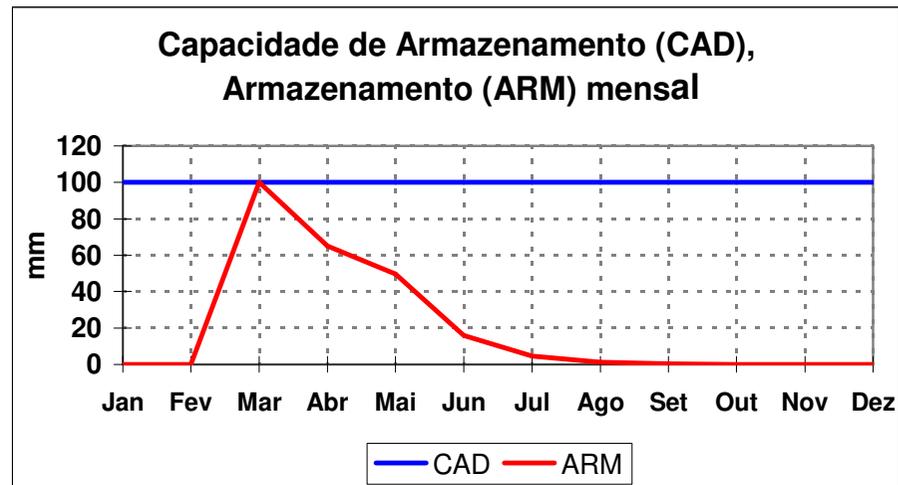
| δ      | hn    | N     |
|--------|-------|-------|
| -23,01 | 92,75 | 12,37 |
| -17,52 | 92,04 | 12,27 |
| -8,29  | 90,94 | 12,13 |
| 4,02   | 89,55 | 11,94 |
| 14,90  | 88,28 | 11,77 |
| 22,04  | 87,38 | 11,65 |
| 23,12  | 87,24 | 11,63 |
| 17,91  | 87,91 | 11,72 |
| 7,72   | 89,12 | 11,88 |
| -4,22  | 90,48 | 12,06 |
| -15,36 | 91,78 | 12,24 |
| -22,11 | 92,63 | 12,35 |

RESULTADOS

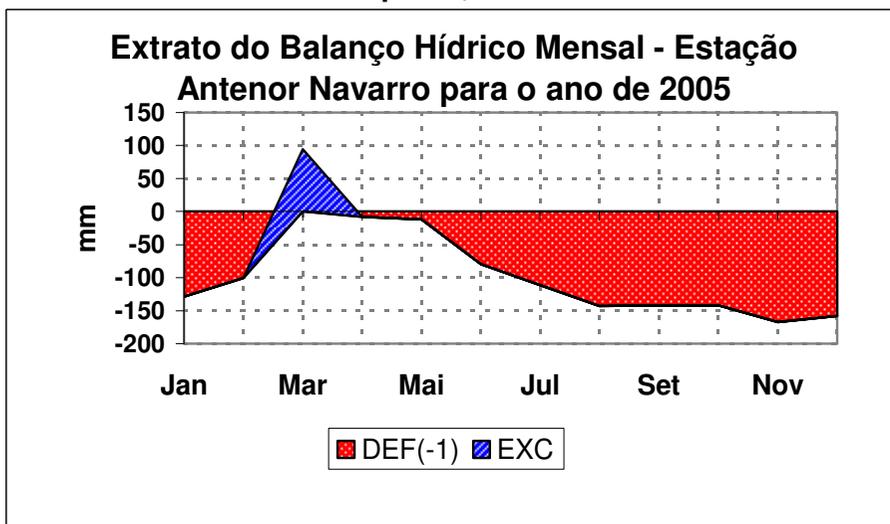
| ETAPAS        | A      | B                | C        | D        | E      | F      | G      | H       | I      |
|---------------|--------|------------------|----------|----------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Mês           | P mm   | ETP Thornthwaite | P-ETP mm | NEG-AC   | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm  | EXC mm |
| Jan           | 33,20  | 162,22           | -129,02  | -1190,76 | 0,00   | 0,00   | 33,20  | 129,02  | 0,00   |
| Fev           | 54,40  | 155,01           | -100,61  | -1291,37 | 0,00   | 0,00   | 54,40  | 100,61  | 0,00   |
| Mar           | 345,10 | 150,33           | 194,77   | 0,00     | 100,00 | 100,00 | 150,33 | 0,00    | 94,77  |
| Abr           | 86,00  | 129,03           | -43,03   | -43,03   | 65,03  | -34,97 | 120,97 | 8,06    | 0,00   |
| Mai           | 91,20  | 117,98           | -26,78   | -69,81   | 49,75  | -15,28 | 106,48 | 11,50   | 0,00   |
| Jun           | 0,00   | 113,34           | -113,34  | -183,15  | 16,02  | -33,74 | 33,74  | 79,61   | 0,00   |
| Jul           | 0,00   | 122,40           | -122,40  | -305,55  | 4,71   | -11,31 | 11,31  | 111,09  | 0,00   |
| Ago           | 0,00   | 146,18           | -146,18  | -451,74  | 1,09   | -3,62  | 3,62   | 142,57  | 0,00   |
| Set           | 0,00   | 142,79           | -142,79  | -594,53  | 0,26   | -0,83  | 0,83   | 141,96  | 0,00   |
| Out           | 0,00   | 141,89           | -141,89  | -736,42  | 0,06   | -0,20  | 0,20   | 141,69  | 0,00   |
| Nov           | 0,00   | 167,68           | -167,68  | -904,10  | 0,01   | -0,05  | 0,05   | 167,63  | 0,00   |
| Dez           | 0,00   | 157,64           | -157,64  | -1061,74 | 0,00   | -0,01  | 0,01   | 157,63  | 0,00   |
| <b>TOTAIS</b> | 609,90 | 1706,50          | -1096,60 |          | 236,95 | 0,00   | 515,13 | 1191,37 | 94,77  |
| <b>MEDIAS</b> | 50,83  | 142,21           | -91,38   |          | 19,75  |        | 42,93  | 99,28   | 7,90   |



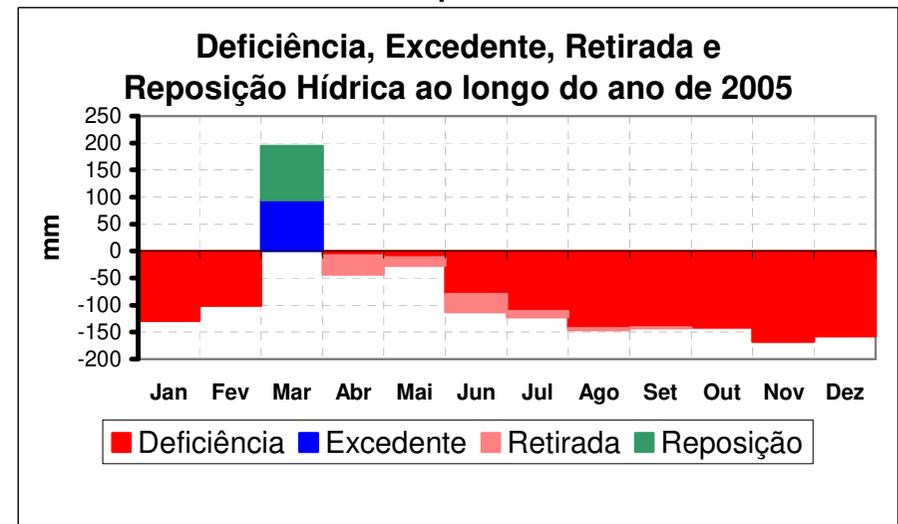
Etapas A, B e G.



Etapas E



Etapas A, B e G.



Etapas F, H e I

ESTAÇÃO

Antenor Navarro

LATITUDE

-6,44

CAD (mm)

100

ANO

2006

ENTRADA DOS DADOS

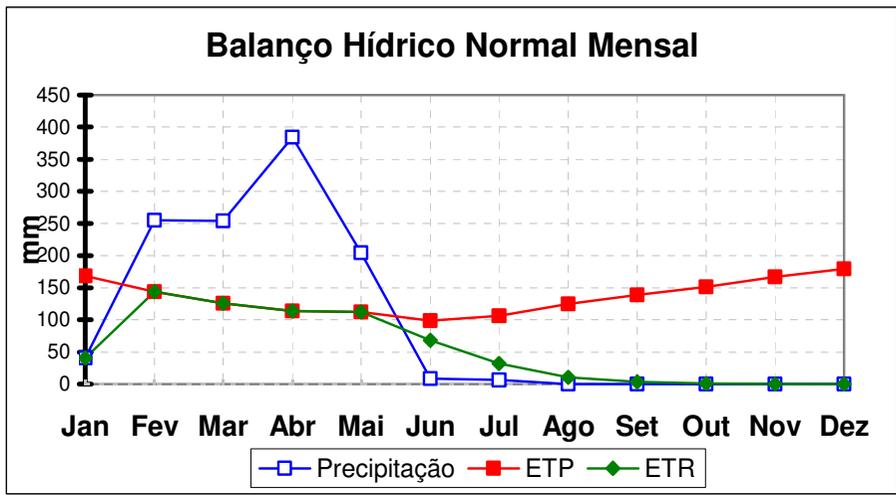
| Mês | Num de dias | NDA | T oC  | P mm   | N horas | I     | ETP Thornthwaite |
|-----|-------------|-----|-------|--------|---------|-------|------------------|
| Jan | 31          | 1   | 27,70 | 40,70  | 12,37   | 13,35 | 168,41           |
| Fev | 28          | 32  | 27,32 | 255,30 | 12,27   | 13,08 | 143,53           |
| Mar | 31          | 60  | 25,75 | 254,10 | 12,13   | 11,96 | 126,10           |
| Abr | 30          | 91  | 25,37 | 384,20 | 11,94   | 11,69 | 113,81           |
| Mai | 31          | 121 | 25,13 | 204,50 | 11,77   | 11,52 | 111,81           |
| Jun | 30          | 152 | 24,58 | 8,50   | 11,65   | 11,15 | 98,80            |
| Jul | 31          | 182 | 24,87 | 6,40   | 11,63   | 11,35 | 106,40           |
| Ago | 31          | 213 | 25,92 | 0,00   | 11,72   | 12,08 | 124,85           |
| Set | 30          | 244 | 26,80 | 0,00   | 11,88   | 12,71 | 138,73           |
| Out | 31          | 274 | 27,09 | 0,00   | 12,06   | 12,91 | 151,38           |
| Nov | 30          | 305 | 27,97 | 0,00   | 12,24   | 13,55 | 167,24           |
| Dez | 31          | 335 | 28,18 | 0,00   | 12,35   | 13,71 | 179,40           |

I = 149,1  
a = 3,70

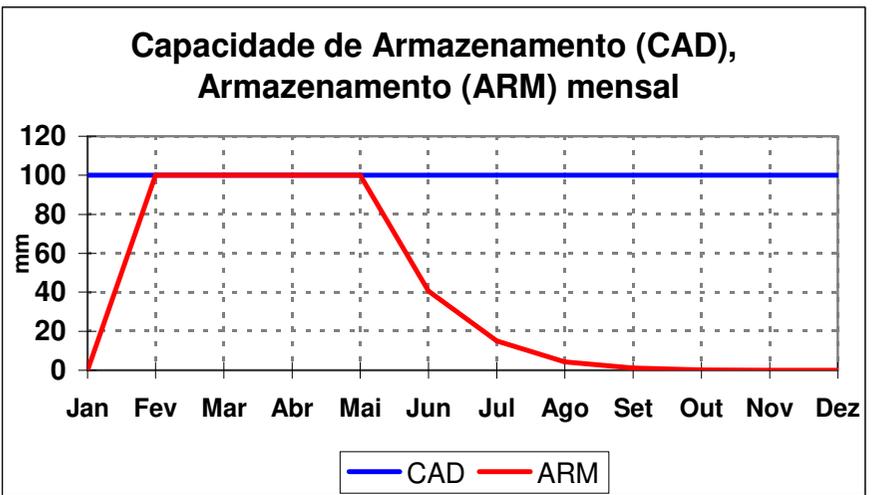
| Cálculo do Fotoperíodo |       |         |
|------------------------|-------|---------|
| d                      | hn    | N       |
| -23,01                 | 92,75 | 12,3664 |
| -17,52                 | 92,04 | 12,2722 |
| -8,29                  | 90,94 | 12,1257 |
| 4,02                   | 89,55 | 11,9394 |
| 14,90                  | 88,28 | 11,7705 |
| 22,04                  | 87,38 | 11,6508 |
| 23,12                  | 87,24 | 11,6317 |
| 17,91                  | 87,91 | 11,7212 |
| 7,72                   | 89,12 | 11,883  |
| -4,22                  | 90,48 | 12,0636 |
| -15,36                 | 91,78 | 12,237  |
| -22,11                 | 92,63 | 12,3504 |

RESULTADOS

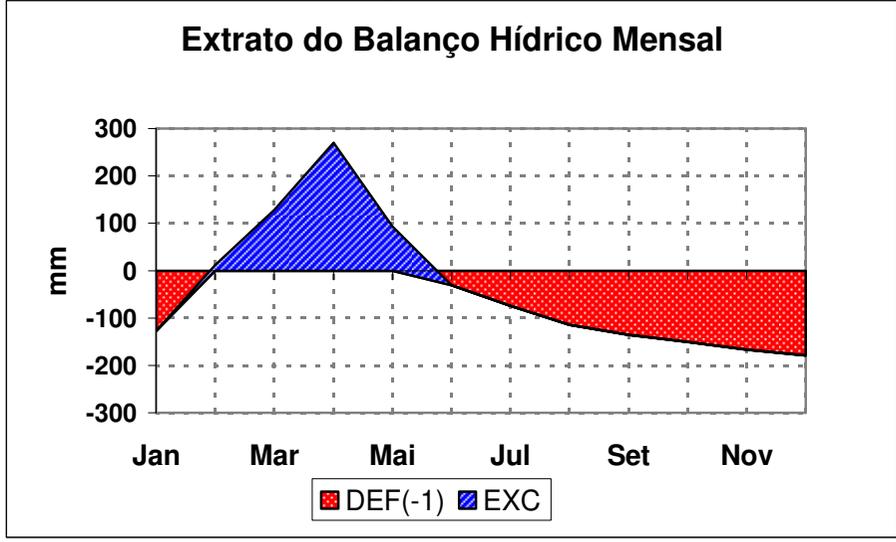
| ETAPAS        | A       | B                | C        | D        | E      | F      | G      | H      | I      |
|---------------|---------|------------------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mês           | P mm    | ETP Thornthwaite | P-ETP mm | NEG-AC   | ARM mm | ALT mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
| Jan           | 40,70   | 168,41           | -127,71  | -1079,60 | 0,00   | -0,01  | 40,71  | 127,71 | 0,00   |
| Fev           | 255,30  | 143,53           | 111,77   | 0,00     | 100,00 | 100,00 | 143,53 | 0,00   | 11,77  |
| Mar           | 254,10  | 126,10           | 128,00   | 0,00     | 100,00 | 0,00   | 126,10 | 0,00   | 128,00 |
| Abr           | 384,20  | 113,81           | 270,39   | 0,00     | 100,00 | 0,00   | 113,81 | 0,00   | 270,39 |
| Mai           | 204,50  | 111,81           | 92,69    | 0,00     | 100,00 | 0,00   | 111,81 | 0,00   | 92,69  |
| Jun           | 8,50    | 98,80            | -90,30   | -90,30   | 40,54  | -59,46 | 67,96  | 30,83  | 0,00   |
| Jul           | 6,40    | 106,40           | -100,00  | -190,30  | 14,91  | -25,62 | 32,02  | 74,38  | 0,00   |
| Ago           | 0,00    | 124,85           | -124,85  | -315,15  | 4,28   | -10,63 | 10,63  | 114,22 | 0,00   |
| Set           | 0,00    | 138,73           | -138,73  | -453,88  | 1,07   | -3,21  | 3,21   | 135,52 | 0,00   |
| Out           | 0,00    | 151,38           | -151,38  | -605,25  | 0,24   | -0,83  | 0,83   | 150,54 | 0,00   |
| Nov           | 0,00    | 167,24           | -167,24  | -772,49  | 0,04   | -0,19  | 0,19   | 167,05 | 0,00   |
| Dez           | 0,00    | 179,40           | -179,40  | -951,89  | 0,01   | -0,04  | 0,04   | 179,36 | 0,00   |
| <b>TOTAIS</b> | 1153,70 | 1630,45          | -476,75  |          | 461,08 | 0,00   | 650,84 | 979,61 | 502,86 |
| <b>MEDIAS</b> | 96,14   | 135,87           | -39,73   |          | 38,42  |        | 54,24  | 81,63  | 41,91  |



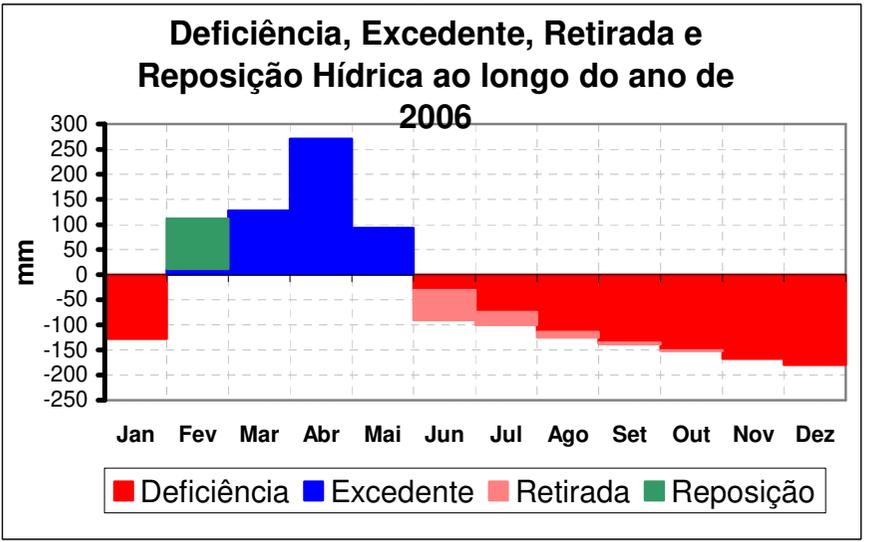
Etapas A, B e G.



Etapas E



Etapas A, B e G.



Etapas F, H e I

ESTAÇÃO

Antenor Navarro

LATITUDE

-6,44

CAD (mm)

100

ANO

2007

ENTRADA DOS DADOS

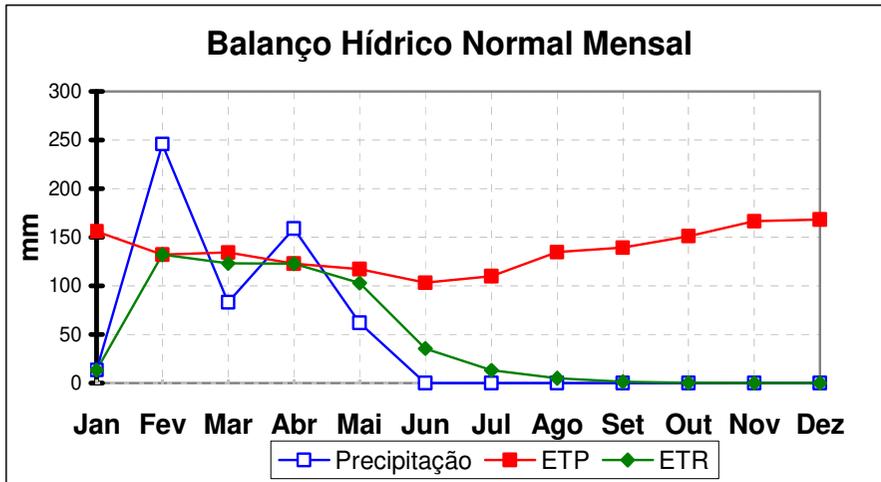
| Mês | Num de dias | NDA | T oC  | P mm   | N horas | I     | ETP Thornthwaite |
|-----|-------------|-----|-------|--------|---------|-------|------------------|
| Jan | 31          | 1   | 27,14 | 13,50  | 12,37   | 12,95 | 156,19           |
| Fev | 28          | 32  | 26,72 | 245,80 | 12,27   | 12,65 | 132,05           |
| Mar | 31          | 60  | 26,20 | 83,10  | 12,13   | 12,28 | 134,33           |
| Abr | 30          | 91  | 25,91 | 158,80 | 11,94   | 12,07 | 122,89           |
| Mai | 31          | 121 | 25,46 | 62,10  | 11,77   | 11,76 | 117,24           |
| Jun | 30          | 152 | 24,88 | 0,00   | 11,65   | 11,35 | 103,03           |
| Jul | 31          | 182 | 25,10 | 0,00   | 11,63   | 11,50 | 109,83           |
| Ago | 31          | 213 | 26,46 | 0,00   | 11,72   | 12,46 | 134,68           |
| Set | 30          | 244 | 26,84 | 0,00   | 11,88   | 12,73 | 139,36           |
| Out | 31          | 274 | 27,08 | 0,00   | 12,06   | 12,91 | 151,13           |
| Nov | 30          | 305 | 27,92 | 0,00   | 12,24   | 13,52 | 166,26           |
| Dez | 31          | 335 | 27,70 | 0,00   | 12,35   | 13,36 | 168,31           |

I = 149,5  
a = 3,72

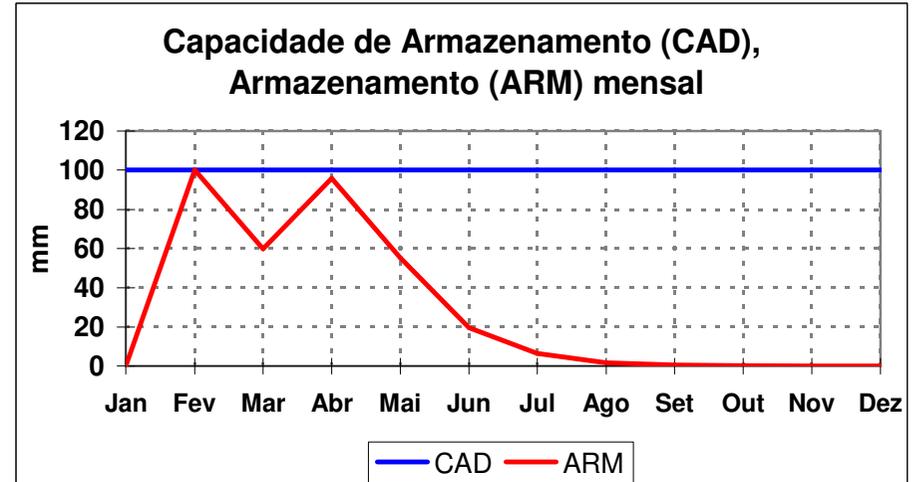
| Cálculo do Fotoperíodo |       |          |
|------------------------|-------|----------|
| d                      | hn    | N        |
| -23,01                 | 92,75 | 12,36637 |
| -17,52                 | 92,04 | 12,27221 |
| -8,29                  | 90,94 | 12,12571 |
| 4,02                   | 89,55 | 11,93945 |
| 14,90                  | 88,28 | 11,77051 |
| 22,04                  | 87,38 | 11,65079 |
| 23,12                  | 87,24 | 11,63169 |
| 17,91                  | 87,91 | 11,7212  |
| 7,72                   | 89,12 | 11,88303 |
| -4,22                  | 90,48 | 12,06356 |
| -15,36                 | 91,78 | 12,23696 |
| -22,11                 | 92,63 | 12,3504  |

RESULTADOS

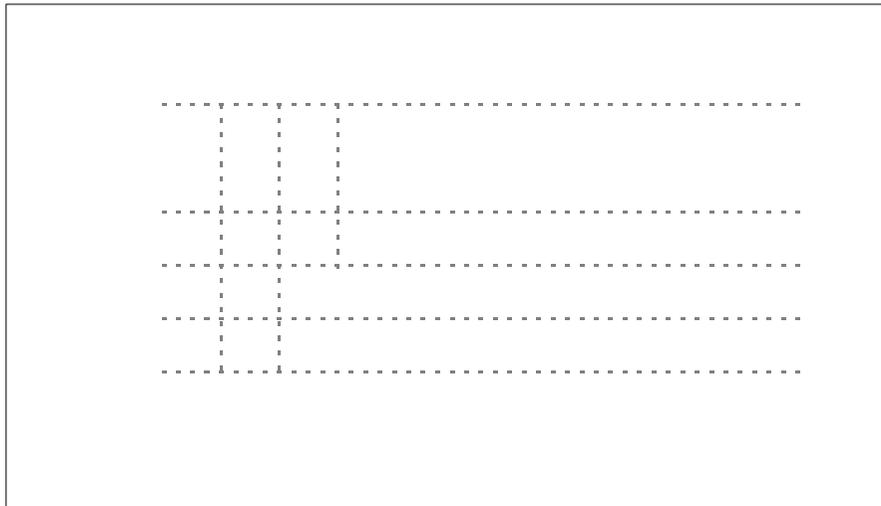
| ETAPAS        | A             | B                | C               | D        | E             | F           | G             | H              | I            |
|---------------|---------------|------------------|-----------------|----------|---------------|-------------|---------------|----------------|--------------|
| Mês           | P mm          | ETP Thornthwaite | P-ETP mm        | NEG-AC   | ARM mm        | ALT mm      | ETR mm        | DEF mm         | EXC mm       |
| Jan           | 13,50         | 156,19           | -142,69         | -1174,70 | 0,00          | 0,00        | 13,50         | 142,68         | 0,00         |
| Fev           | 245,80        | 132,05           | 113,75          | 0,00     | 100,00        | 100,00      | 132,05        | 0,00           | 13,75        |
| Mar           | 83,10         | 134,33           | -51,23          | -51,23   | 59,91         | -40,09      | 123,19        | 11,14          | 0,00         |
| Abr           | 158,80        | 122,89           | 35,91           | -4,26    | 95,83         | 35,91       | 122,89        | 0,00           | 0,00         |
| Mai           | 62,10         | 117,24           | -55,14          | -59,40   | 55,21         | -40,62      | 102,72        | 14,52          | 0,00         |
| Jun           | 0,00          | 103,03           | -103,03         | -162,44  | 19,70         | -35,51      | 35,51         | 67,53          | 0,00         |
| Jul           | 0,00          | 109,83           | -109,83         | -272,27  | 6,57          | -13,13      | 13,13         | 96,70          | 0,00         |
| Ago           | 0,00          | 134,68           | -134,68         | -406,95  | 1,71          | -4,86       | 4,86          | 129,82         | 0,00         |
| Set           | 0,00          | 139,36           | -139,36         | -546,31  | 0,42          | -1,28       | 1,28          | 138,08         | 0,00         |
| Out           | 0,00          | 151,13           | -151,13         | -697,45  | 0,09          | -0,33       | 0,33          | 150,80         | 0,00         |
| Nov           | 0,00          | 166,26           | -166,26         | -863,70  | 0,02          | -0,08       | 0,08          | 166,18         | 0,00         |
| Dez           | 0,00          | 168,31           | -168,31         | -1032,01 | 0,00          | -0,01       | 0,01          | 168,29         | 0,00         |
| <b>TOTAIS</b> | <b>563,30</b> | <b>1635,30</b>   | <b>-1072,00</b> |          | <b>339,47</b> | <b>0,00</b> | <b>549,55</b> | <b>1085,75</b> | <b>13,75</b> |
| <b>MEDIAS</b> | <b>46,94</b>  | <b>136,27</b>    | <b>-89,33</b>   |          | <b>28,29</b>  |             | <b>45,80</b>  | <b>90,48</b>   | <b>1,15</b>  |



Etapas A, B e G.



Etapas E



Etapas A, B e G.

Etapas F, H e I

## Apêndice D - Programa BALSEQ (MATLAB™)

```
disp (' Calculo da taxa de recarga na Bacia Sedimentar Rio do Peixe em função de uma precipitação media da bacia.')
```

```
disp (' Digite o numero da Sub-bacia')
```

```
disp ('1 - Sub-Bacia Brejos das Freiras para formação Antenor Navarro')
```

```
disp ('2 - Sub-Bacia Brejos das Freiras para formação Sousa')
```

```
disp ('3 - Sub-Bacia Sousa para formação Antenor Navarro')
```

```
disp ('4 - Sub-Bacia Sousa para formação Sousa')
```

```
disp ('5 - Sub-Bacia Pombal para formação Antenor Navarro')
```

```
disp ('6 - Sub-Bacia Pombal para formação Sousa')
```

```
SB =input (' Sub Bacia: ');
```

```
AGUT = input (' Digite o valor do AGUT: ');
```

```
P = xlsread ('Prec.xls');
```

```
CNII = input(' Digite o valor de CNII =');
```

```
CNI = (4.2*CNII)/(10-0.058*CNII);
```

```
CNIII = (23*CNII)/(10+0.13*CNII);
```

```
for dia=6:153
```

```
    SomaPrec = sum(P(dia-5:dia-1));
```

```
    if SomaPrec>53
```

```
        S(dia) = 254*((100/CNIII)-1);
```

```
    elseif SomaPrec<28
```

```
        S(dia) = 254*((100/CNI)-1);
```

```
    else
```

```
        S(dia) = 254*((100/CNII)-1);
```

```
    end
```

```
cond_P = 0.2*S;
```

```
    if P(dia) > cond_P(dia)
```

```
        Z(dia)=(P(dia)-cond_P(dia)).^2;
```

```
        N(dia)= P(dia)+0.8*S(dia);
```

```
        Ed(dia) = Z(dia)./N(dia);
```

```
    else
```

```
        Ed (dia)=0;
```

```
    end
```

```
Al (5)= AGUT;
```

```
Is(dia) = P(dia) - Ed(dia);
```

```
Hl (dia) = Al(dia-1) + Is(dia);
```

```
ETP = xlsread ('ETP.xls');
```

```
if Hl > ETP(dia)
```

```
    ETR(dia) = Hl (dia);
```

```
else
```

```
    ETR(dia) = ETP(dia);
```

```
end
```

```
Hl(dia) = Hl (dia) - ETR (dia);
```

```

if Hl(dia) > AGUT
    Ip (dia) = Hl(dia) - AGUT;
    Al(dia)= AGUT;
else
    Ip (dia) = 0;
    Al(dia) = Hl (dia);
end
end

for dia=154:365
    SomaPrec = sum(P(dia-5:dia-1));
    if SomaPrec>36
        S(dia) = 254*((100/NCIII)-1);
    elseif SomaPrec<13
        S(dia) = 254*((100/NCI)-1);
    else
        S(dia) = 254*((100/NCII)-1);
    end
    cond_P = 0.2*S;
    if P(dia) > cond_P(dia)
        Z(dia)=(P(dia)-cond_P(dia)).^2;
        N(dia)= P(dia)+0.8*S(dia);
        Ed(dia) = Z(dia)./N(dia);
    else
        Ed (dia)=0;
    end
    Al (dia)= AGUT;
    Is(dia) = P(dia) - Ed(dia);
    Hl (dia) = Al(dia-1) + Is(dia);
    ETP = xlsread ('ETP.xls');
    if Hl > ETP(dia)
        ETR(dia) = Hl (dia);
    else
        ETR(dia) = ETP(dia);
    end
    Hl(dia) = Hl (dia) - ETR (dia);
    if Hl(dia) > AGUT
        Ip (dia) = Hl(dia) - AGUT;
        Al(dia)= AGUT;
    else
        Ip (dia) = 0;
        Al(dia) = Hl (dia);
    end
end

end
Pt = sum (P);
St = sum (S);
ETPt = sum (ETP);
Edt = sum (Ed);

```

```
Ist = sum (Is);  
for i=1:366  
Is1=sum(Is(1:30));  
end
```

```
Alt = sum (Al);  
Hlt = sum (Hl);  
Ipt = sum (Ip);
```

```
fprintf(' P total = %6.2f \n',Pt)  
fprintf('ETP total = %6.2f \n',ETPt)  
fprintf(' Ed total = %6.2f \n',Edt)  
fprintf(' Is total = %6.2f \n',Ist)  
fprintf(' Ip total = %6.2f \n',Ipt)  
fprintf(' Is1 total = %6.2f \n',Is1)
```

## Apêndice E - Resultados do Modelo BALSEQ

### Escoamento Superficial e Coeficiente de Escoamento

| Estação Pluviométrica       | CENÁRIO 1 - SUB - BACIAS SEM ALUVIAO |               |             |               |               |             |                |               |             |               |               |             |
|-----------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
|                             | 2004                                 |               |             | 2005          |               |             | 2006           |               |             | 2007          |               |             |
|                             | P(mm)                                | Ed (mm)       | CS          | P(mm)         | Ed (mm)       | CS          | P(mm)          | Ed (mm)       | CS          | P(mm)         | Ed (mm)       | CS          |
| Umari                       | 1009,20                              | 247,07        | 0,24        | 436,20        | 26,49         | 0,06        | 751,00         | 86,86         | 0,12        | 595,90        | 124,67        | 0,21        |
| Triunfo/Barra do Juá        | 1114,20                              | 161,95        | 0,15        | 804,80        | 69,18         | 0,09        | 854,60         | 107,88        | 0,13        | 565,30        | 97,69         | 0,17        |
| Santa Helena                | 1060,60                              | 317,72        | 0,30        | 637,70        | 164,61        | 0,26        | 1144,70        | 294,07        | 0,26        | 232,80        | 20,26         | 0,09        |
| Açude de Pilões             | 808,00                               | 344,86        | 0,43        | 597,60        | 112,31        | 0,19        | 1097,20        | 333,52        | 0,30        | 458,50        | 78,54         | 0,17        |
| Uiraúna                     | 1113,20                              | 331,27        | 0,30        | 600,50        | 149,54        | 0,25        | 839,40         | 156,58        | 0,19        | 691,90        | 189,71        | 0,27        |
| Açude Lagoa do Arroz        | 1500,10                              | 240,70        | 0,16        | 830,20        | 256,64        | 0,31        | 949,60         | 169,30        | 0,18        | 662,90        | 64,24         | 0,10        |
| Antenor Navarro             | 1011,40                              | 381,91        | 0,38        | 609,90        | 204,91        | 0,34        | 1153,70        | 525,45        | 0,46        | 563,30        | 169,97        | 0,30        |
| São Gonçalo                 | 1045,20                              | 334,64        | 0,32        | 871,70        | 419,78        | 0,48        | 1044,30        | 330,96        | 0,32        | 702,50        | 201,19        | 0,29        |
| Sousa                       | 1500,10                              | 807,09        | 0,54        | 571,60        | 237,69        | 0,42        | 1129,40        | 395,04        | 0,35        | 630,90        | 200,37        | 0,32        |
| Aparecida                   | 1055,50                              | 221,27        | 0,21        | 491,20        | 188,05        | 0,38        | 800,00         | 235,78        | 0,29        | -             | -             | -           |
| Pombal                      | 1010,00                              | 793,22        | 0,79        | 681,40        | 170,87        | 0,25        | 976,90         | 365,48        | 0,37        | 782,70        | 350,52        | 0,28        |
| <b>Valor médio da bacia</b> | <b>1131,33</b>                       | <b>427,46</b> | <b>0,38</b> | <b>624,61</b> | <b>192,52</b> | <b>0,31</b> | <b>1017,57</b> | <b>320,58</b> | <b>0,32</b> | <b>594,17</b> | <b>165,54</b> | <b>0,28</b> |

| Estação Pluviométrica       | CENÁRIO 2 - SUB - BACIAS COM ALUVIAO |               |             |               |               |             |                |               |             |               |              |             |
|-----------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|---------------|--------------|-------------|
|                             | 2004                                 |               |             | 2005          |               |             | 2006           |               |             | 2007          |              |             |
|                             | P(mm)                                | Ed (mm)       | CS          | P(mm)         | Ed (mm)       | CS          | P(mm)          | Ed (mm)       | CS          | P(mm)         | Ed (mm)      | CS          |
| Umari                       | 1009,20                              | 157,13        | 0,16        | 436,20        | 10,78         | 0,02        | 751,00         | 35,69         | 0,05        | 595,90        | 38,19        | 0,06        |
| Triunfo/Barra do Juá        | 1114,20                              | 111,60        | 0,10        | 804,80        | 42,30         | 0,05        | 854,60         | 75,55         | 0,09        | 565,30        | 29,09        | 0,05        |
| Santa Helena                | 1060,60                              | 208,71        | 0,20        | 637,70        | 106,76        | 0,17        | 1144,70        | 170,23        | 0,15        | 232,80        | 65,17        | 0,28        |
| Açude de Pilões             | 808,00                               | 245,95        | 0,30        | 597,60        | 52,29         | 0,09        | 1097,20        | 202,44        | 0,18        | 458,50        | 71,22        | 0,16        |
| Uiraúna                     | 1113,20                              | 153,15        | 0,14        | 600,50        | 67,72         | 0,11        | 839,40         | 51,42         | 0,06        | 691,90        | 191,72       | 0,28        |
| Açude Lagoa do Arroz        | 1500,10                              | 164,96        | 0,11        | 830,20        | 195,23        | 0,24        | 949,60         | 96,61         | 0,10        | 662,90        | 7,59         | 0,01        |
| Antenor Navarro             | 1011,40                              | 173,72        | 0,17        | 609,90        | 82,72         | 0,14        | 1153,70        | 268,14        | 0,23        | 563,30        | 100,59       | 0,18        |
| São Gonçalo                 | 1045,20                              | 159,31        | 0,15        | 871,70        | 281,05        | 0,32        | 1044,30        | 148,56        | 0,14        | 702,50        | 115,35       | 0,16        |
| Sousa                       | 1500,10                              | 602,69        | 0,40        | 571,60        | 161,50        | 0,28        | 1129,40        | 207,38        | 0,18        | 630,90        | 80,70        | 0,13        |
| Aparecida                   | 1055,50                              | 86,84         | 0,08        | 491,20        | 95,91         | 0,20        | 800,00         | 82,84         | 0,10        | -             | -            | -           |
| Pombal                      | 1010,00                              | 491,64        | 0,49        | 681,40        | 53,97         | 0,08        | 976,90         | 212,59        | 0,22        | 782,70        | 77,10        | 0,10        |
| <b>Valor médio da bacia</b> | <b>1131,33</b>                       | <b>267,66</b> | <b>0,24</b> | <b>624,61</b> | <b>109,01</b> | <b>0,17</b> | <b>1017,57</b> | <b>164,75</b> | <b>0,16</b> | <b>594,49</b> | <b>86,44</b> | <b>0,15</b> |

## Resultado Geral do Modelo BALSEQ nos Postos Pluviométricos

### ANO 2004

| ESTAÇÃO              | Área<br>(Km <sup>2</sup> ) | Precipitação<br>(mm) | Cenário 1              |                                 |                 | Cenário 2              |                                 |                 |
|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|
|                      |                            |                      | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) |
| Umari                | 89,90                      | 1010,00              | 247,07                 | 762,93                          | 118,52          | <b>157,13</b>          | <b>852,87</b>                   | 199,44          |
| Barra do Juá         | 68,93                      | 1113,20              | 161,95                 | 951,25                          | 173,57          | 111,51                 | 1001,69                         | 230,12          |
| Santa Helena         | 57,88                      | 1011,40              | 317,72                 | 693,68                          | 87,31           | 208,71                 | 802,69                          | 192,72          |
| Açude de Pilões      | 198,33                     | 1009,20              | 344,86                 | 664,34                          | 65,40           | 246,37                 | 762,83                          | 177,17          |
| Uiraúna              | 99,76                      | 1055,50              | 331,27                 | 724,23                          | 99,26           | 153,15                 | 902,35                          | 283,12          |
| Açude Lagoa do Arroz | 26,37                      | 1114,20              | 240,70                 | 873,50                          | 217,77          | 164,96                 | 949,24                          | 298,10          |
| Antenor Navarro      | 204,97                     | 1060,60              | 381,91                 | 678,69                          | 6,29            | 173,72                 | 886,88                          | 200,07          |
| São Gonçalo          | 139,07                     | 1045,20              | 334,64                 | 710,56                          | 31,45           | 159,31                 | 885,89                          | 217,02          |
| Sousa                | 250,16                     | 1500,10              | 807,09                 | 693,01                          | 62,37           | 602,69                 | 897,41                          | 267,36          |
| Aparecida            | 116,82                     | 808,00               | 221,27                 | 586,73                          | 0,00            | 86,87                  | 721,13                          | 73,28           |
| Pombal               | 63,26                      | 1500,10              | 793,22                 | 706,88                          | 74,35           | 492,17                 | 1007,93                         | 367,87          |
| <b>MÉDIA</b>         | <b>1315,45</b>             | <b>1131,33</b>       | <b>427,46</b>          | <b>703,87</b>                   | <b>62,53</b>    | <b>267,74</b>          | <b>863,59</b>                   | <b>217,49</b>   |

### ANO 2005

| ESTAÇÃO              | Área<br>(Km <sup>2</sup> ) | Precipitação<br>(mm) | Cenário 1              |                                 |                 | Cenário 2              |                                 |                 |
|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|
|                      |                            |                      | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) |
| Umari                | 89,90                      | 436,20               | 26,49                  | 409,71                          | 0,00            | 10,78                  | 425,42                          | 2,52            |
| Barra do Juá         | 68,93                      | 804,80               | 69,18                  | 735,62                          | 68,22           | 42,30                  | 762,50                          | 95,17           |
| Santa Helena         | 57,88                      | 637,70               | 164,61                 | 473,09                          | 0,00            | 106,76                 | 530,94                          | 35,37           |
| Açude de Pilões      | 198,33                     | 597,60               | 112,31                 | 485,29                          | 0,00            | 52,29                  | 545,31                          | 37,69           |
| Uiraúna              | 99,76                      | 600,50               | 149,54                 | 450,96                          | 0,00            | 67,72                  | 532,78                          | 37,82           |
| Açude Lagoa do Arroz | 26,37                      | 830,20               | 256,64                 | 573,56                          | 73,68           | 195,23                 | 634,97                          | 139,15          |
| Antenor Navarro      | 204,97                     | 609,90               | 204,91                 | 404,99                          | 0,00            | 82,72                  | 527,18                          | 71,92           |
| São Gonçalo          | 139,07                     | 871,70               | 419,78                 | 451,92                          | 0,00            | 281,05                 | 590,65                          | 131,78          |
| Sousa                | 250,16                     | 571,60               | 237,69                 | 333,91                          | 0,00            | 161,50                 | 410,10                          | 45,48           |
| Aparecida            | 116,82                     | 491,20               | 188,05                 | 303,15                          | 0,00            | 95,91                  | 395,29                          | 44,55           |
| Pombal               | 63,26                      | 681,40               | 170,87                 | 510,53                          | 0,00            | 53,97                  | 627,43                          | 35,70           |
| <b>MÉDIA</b>         | <b>1315,45</b>             | <b>624,61</b>        | <b>192,52</b>          | <b>432,08</b>                   | <b>5,05</b>     | <b>109,01</b>          | <b>515,59</b>                   | <b>57,52</b>    |

**ANO 2006**

| ESTAÇÃO              | Área<br>(Km <sup>2</sup> ) | Precipitação<br>(mm) | Cenário 1              |                                 |                 | Cenário 2              |                                 |                 |
|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|
|                      |                            |                      | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) |
| Umari                | 89,90                      | 751,00               | 86,86                  | 662,14                          | 26,38           | 35,69                  | 713,31                          | 72,41           |
| Barra do Juá         | 68,93                      | 854,60               | 107,88                 | 746,72                          | 110,97          | 75,55                  | 779,05                          | 148,10          |
| Santa Helena         | 57,88                      | 1144,70              | 294,07                 | 836,93                          | 148,49          | 170,23                 | 960,77                          | 258,50          |
| Açude de Pilões      | 198,33                     | 1097,20              | 333,52                 | 763,68                          | 109,11          | 202,44                 | 894,76                          | 239,68          |
| Uiraúna              | 99,76                      | 839,40               | 156,58                 | 682,82                          | 62,55           | 51,42                  | 787,98                          | 188,54          |
| Açude Lagoa do Arroz | 26,37                      | 949,60               | 169,30                 | 777,40                          | 191,42          | 96,61                  | 850,09                          | 268,27          |
| Antenor Navarro      | 204,97                     | 1153,70              | 525,45                 | 628,25                          | 45,35           | 268,14                 | 885,56                          | 317,19          |
| São Gonçalo          | 139,07                     | 1044,30              | 330,96                 | 712,34                          | 90,25           | 148,56                 | 894,74                          | 300,58          |
| Sousa                | 250,16                     | 1129,40              | 395,04                 | 734,36                          | 99,63           | 207,38                 | 922,02                          | 312,83          |
| Aparecida            | 116,82                     | 800,00               | 235,78                 | 564,22                          | 32,09           | 82,84                  | 717,16                          | 219,53          |
| Pombal               | 63,26                      | 976,90               | 365,48                 | 611,42                          | 62,40           | 212,59                 | 764,31                          | 243,76          |
| <b>MÉDIA</b>         | <b>1315,45</b>             | <b>1017,57</b>       | <b>320,58</b>          | <b>696,08</b>                   | <b>80,59</b>    | <b>164,75</b>          | <b>851,91</b>                   | <b>251,81</b>   |

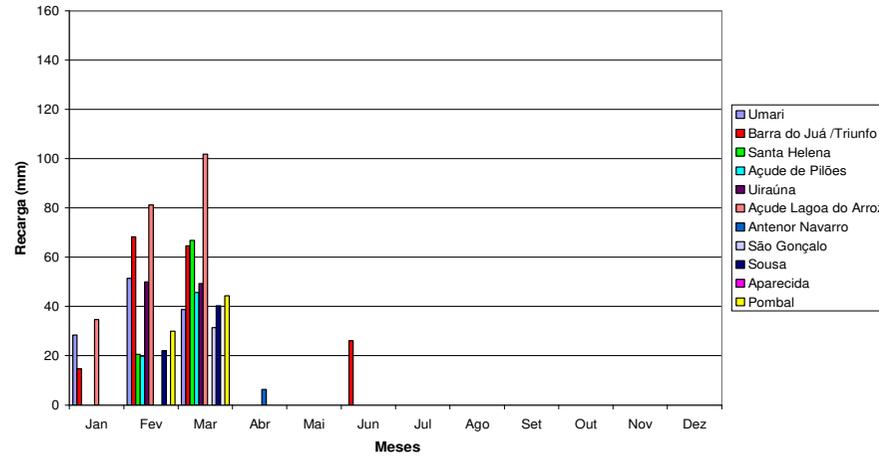
**ANO 2007**

| ESTAÇÃO              | Área<br>(Km <sup>2</sup> ) | Precipitação<br>(mm) | Cenário 1              |                                 |                 | Cenário 2              |                                 |                 |
|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------------|-----------------|
|                      |                            |                      | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) | E. Superficial<br>(mm) | Infiltração<br>Superficial (mm) | Recarga<br>(mm) |
| Umari                | 89,90                      | 595,90               | 124,67                 | 447,73                          | 0,00            | 77,10                  | 495,30                          | 38,36           |
| Barra do Juá         | 68,93                      | 565,30               | 97,69                  | 457,31                          | 0,00            | 71,22                  | 517,38                          | 20,93           |
| Santa Helena         | 57,88                      | 232,80               | 20,26                  | 180,74                          | 0,00            | 7,59                   | 193,41                          | 0,00            |
| Açude de Pilões      | 198,55                     | 492,10               | 78,54                  | 383,96                          | 0,00            | 38,19                  | 424,31                          | 0,00            |
| Uiraúna              | 99,76                      | 691,90               | 189,71                 | 491,89                          | 0,00            | 80,70                  | 600,90                          | 46,78           |
| Açude Lagoa do Arroz | 26,37                      | 683,40               | 64,24                  | 539,06                          | 11,80           | 29,09                  | 574,21                          | 49,90           |
| Antenor Navarro      | 204,97                     | 643,40               | 176,27                 | 453,63                          | 0,00            | 65,67                  | 564,23                          | 5,45            |
| São Gonçalo          | 139,07                     | 777,20               | 202,32                 | 516,28                          | 0,00            | 100,59                 | 618,01                          | 44,97           |
| Sousa                | 340,45                     | 676,40               | 204,19                 | 462,11                          | 0,00            | 115,40                 | 550,90                          | 0,00            |
| Pombal               | 89,56                      | 826,20               | 350,88                 | 473,22                          | 0,00            | 191,72                 | 632,38                          | 70,28           |
| <b>MÉDIA</b>         | <b>1315,45</b>             | <b>634,77</b>        | <b>167,65</b>          | <b>445,66</b>                   | <b>0,24</b>     | <b>85,59</b>           | <b>529,48</b>                   | <b>18,65</b>    |

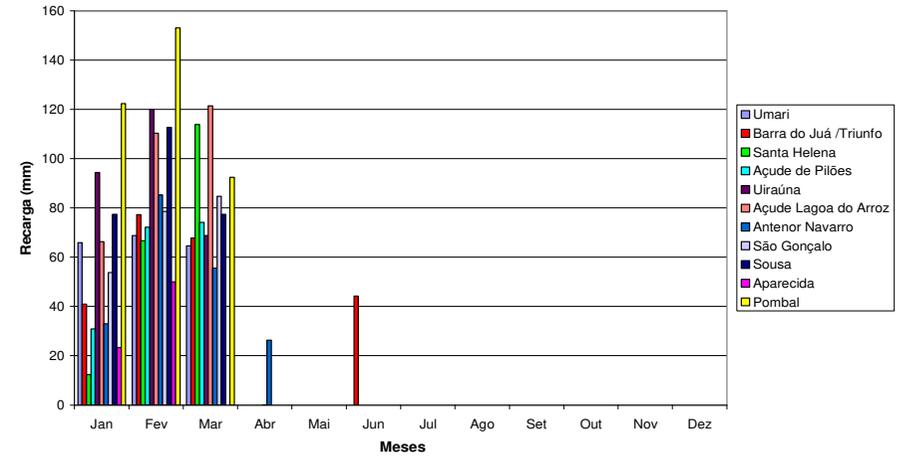
## Gráficos Mensais da Recarga nos Postos Pluviométricos

ANO 2004

Ocorrência da recarga mensal no ano de 2004 pelo cenário 1

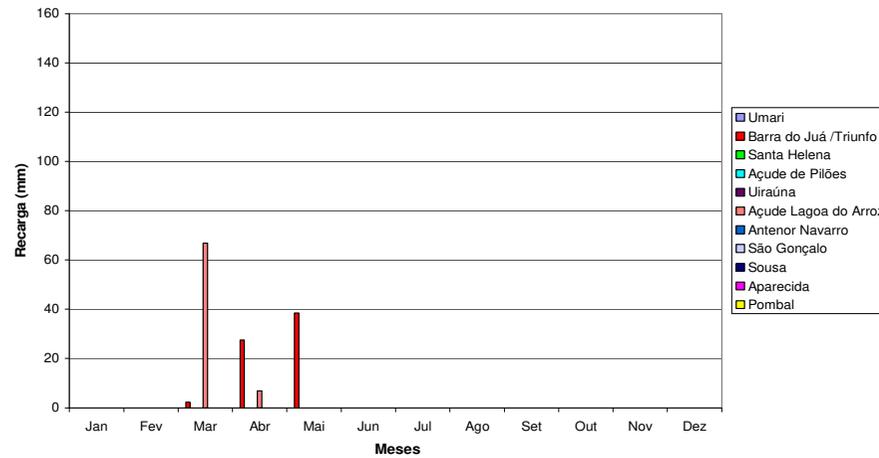


Ocorrência da recarga mensal no ano de 2004 pelo cenário 2

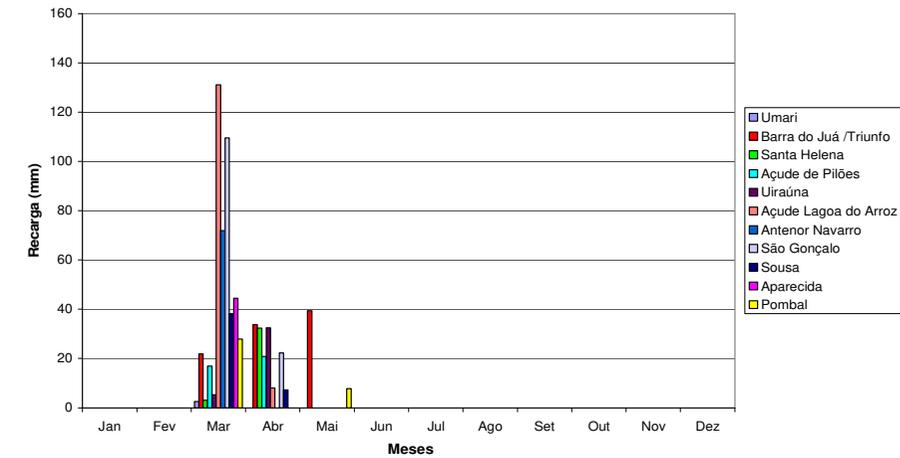


ANO 2005

Ocorrência da recarga mensal no ano de 2005 pelo cenário 1

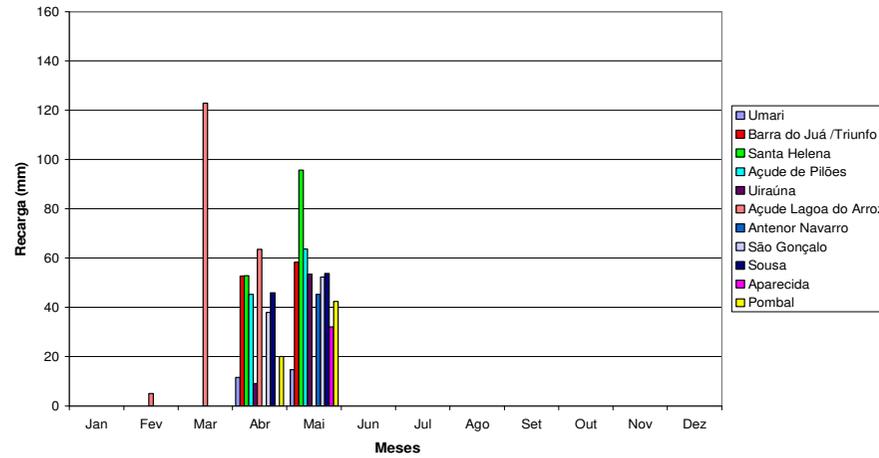


Ocorrência da recarga mensal no ano de 2005 pelo cenário 2

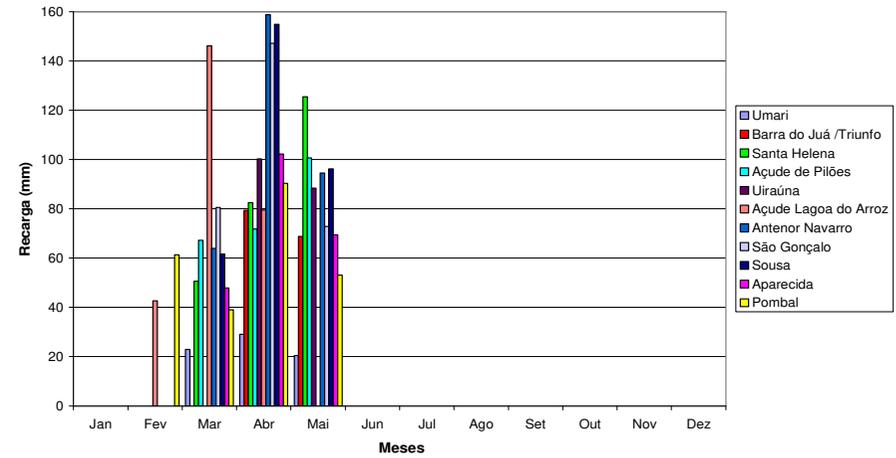


## ANO 2006

Ocorrência da recarga mensal no ano de 2006 pelo cenário 1

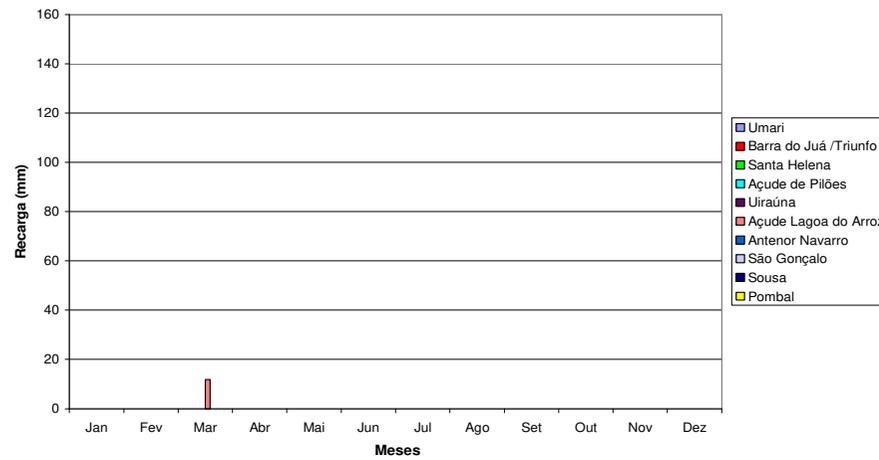


Ocorrência da recarga mensal no ano de 2006 pelo cenário 2



## ANO 2007

Ocorrência da recarga mensal no ano de 2007 pelo cenário 1



Ocorrência da recarga mensal no ano de 2007 pelo cenário 2

