

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**ANÁLISE DA ESCALA DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS
E DO USO DO SOLO NA BACIA DO POTIRIBU - RS**

OMAR BARBOSA DA SILVA JÚNIOR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre
Fevereiro / 2001

“Descobrir a gota ocasional da verdade no meio de um grande oceano de confusão e mistificação requer vigilância, dedicação e coragem. Mas, se não praticamos esses hábitos rigorosos de pensar, não podemos ter a esperança de solucionar os problemas verdadeiramente sérios com que nos defrontamos — e nos arriscamos a nos tornar uma nação de patetas, um mundo de patetas, prontos para sermos passados para trás pelo primeiro charlatão que cruzar o nosso caminho.”

Carl Sagan

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Carlos Eduardo Morelli Tucci da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e co-orientado pela Profa. Nilza Maria dos Reis Castro.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois sem Ele, nada é possível, e com Ele o impossível se torna realidade;

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio na realização desse feito;

Ao povo brasileiro, por fornecer aos seus filhos a chance de cursar universidades públicas de excelente qualidade (UFAL e UFRGS) e pelo fomento do CNPq aos pesquisadores brasileiros;

Ao prof. Tucci, pela orientação científica e acadêmica, proporcionando o meu amadurecimento como pesquisador, cujo resultado é exposto nesta dissertação;

À professora Nilza, pela orientação e apoio no desenvolvimento desse trabalho;

Aos meus amigos e companheiros do IPH, cuja convivência tornou a luta diária mais agradável, em especial aos conterrâneos Sidnei, Marllus, Luis Gustavo, Roberto, Valmir, Cleuda e Walter; e aos colegas hidrólogos Vladimir, Renato, Joana, Fábio, Ruth e Daniel;

Aos professores do IPH, que através da arte mais nobre (ensinar) transmitiram-me os conhecimentos necessários para a execução deste trabalho;

Aos examinadores Geraldo Silveira, Joel Goldenfum e Adolfo Villanueva, pelas sugestões feitas para a versão final dessa dissertação;

Aos funcionários do IPH, em especial as bibliotecárias “Jussaras”, cujo apoio foi fundamental na elaboração da dissertação;

Ao professor Roberaldo, meu “tutor” na graduação, por me preparar tão bem para enfrentar os desafios da vida acadêmica e profissional.

Aos eternos amigos “petianos” da engenharia civil da UFAL, pela amizade que transcende a distância e o tempo;

E a todos aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram na realização desse trabalho.

ao professor Edmilson Pontes, meu eterno “mestre”

(in memoriam)

RESUMO

As grandes bacias, por terem maior disponibilidade de dados hidrológicos, apresentam comportamento hidrológico melhor conhecido. Em muitos projetos, é necessário o conhecimento de variáveis hidrológicas de pequenas bacias que, devido a escassez de dados, são obtidas através da transferência de informações hidrológicas de grandes bacias. Contudo, para transferir informações hidrológicas de uma escala para outra é necessário o entendimento do comportamento dos processos hidrológicos em diferentes escalas.

O objetivo desta pesquisa é analisar o comportamento dos processos hidrológicos em diferentes escalas, de forma a identificar os erros potenciais das estimativas das variáveis hidrológicas de pequenas bacias através da regionalização destas variáveis com base em dados de grandes bacias. Este estudo utilizou os dados da bacia do rio Potiribu, afluente do rio Ijuí, que contém bacias embutidas em diferentes escalas (12,5 ha; 1,1 km² e 19,5 km²), monitoradas desde 1989. Essa bacia apresenta como característica peculiar a mudança na forma de uso do solo em 1994, passando do plantio convencional para o plantio direto. Também foram utilizados dados de bacias maiores (100-100.000 km²) na região do rio Ijuí. O estudo analisou os volumes de cheia, as vazões máximas e as vazões mínimas, além da curva de permanência.

Os resultados mostraram que: o plantio direto provocou uma redução nos picos de cheia das bacias menores (12,5 ha e 1,1 km²) e um aumento na bacia de 19,5 km², o que se deve ao fato desse tipo de plantio promover maior capacidade de infiltração do solo e deixá-lo por mais tempo com cobertura vegetal, aumentando assim a interceptação vegetal; no período de plantio direto, foi observado uma resposta hidrológica (escoamento superficial) mais uniforme do que no período de plantio convencional; a menor bacia (12,5 ha) apresenta pouca regularização de vazão, passando maior parte do tempo sem vazões, de forma que nessa bacia praticamente só existe vazão quando chove; a regionalização, pela área das bacias de meso escala (100-10.000 km²), da vazão média de longo período mostrou que esta variável, entre as demais estudadas, é a que melhor estima os valores das micro (1-20 km²) e macro bacias (100.000 km²); a bacia de 19,5 km² apresenta comportamento similar aos das bacias de meso escala (100-10.000 km²) para as variáveis hidrológicas estudadas.

ABSTRACT

The larger basins have larger readiness of hydrological data, so they present a better known hydrological behavior. In many projects, the knowledge of hydrological variable of small basins is necessary, but, due to shortage of data, obtained through the transfer of hydrological information of larger basins. However, to transfer hydrological information from one scale to another, it is necessary to understand the behavior of the hydrological processes in different scales.

The objective of this research is to analyze the behavior of the hydrological processes in different scales, in order to identify the potential errors of the estimates of hydrological variables from small basins through the regionalization of these variables based on data of larger basins. This study used the data of the basin of the river Potiribu, sub-basin of the river Ijuí, that contains basins embedded in different scales (12,5 ha; 1,1 km² and 19,5 km²), monitored since 1989. That basin presents as peculiar characteristic the change in the form of use of the soil in 1994, passing from the conventional plantation to direct plantation. Data of larger basins were also used (100-100.000 km²) in the area of the river Ijuí. The study analyzed the runoff, the peaks and the low flow, besides the flow-duration curve.

The results showed that: the direct plantation provoked a reduction in the peaks of the smaller basins (12,5 ha and 1,1 km²) and an increase in the basin of 19,5 km², due to the fact that this plantation type promotes larger capacity of infiltration of the soil and leaves it during larger time with vegetable covering, increasing the vegetable interception; in the period of direct plantation, the observed hydrological response (runoff) was more uniform than in the period of conventional plantation; the smallest basin (12,5 ha) presents low regulated flow, passing larger part of the time without flow, so that in that scale practically flow only exists when it rains; the basin of 19,5 km² presents similar behavior to the meso basins scale (100-10.000 km²).

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| APRESENTAÇÃO..... | III |
| RESUMO | V |
| ABSTRACT | VI |
| SUMÁRIO..... | VII |
| LISTA DE TABELAS..... | X |
| LISTA DE FIGURAS | XII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XVII |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. REGIÃO DE ESTUDO | 2 |
| 1.2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS | 5 |
| 1.3. SUMÁRIO DO TRABALHO..... | 6 |
| 2. EFEITO DA ESCALA E DO USO DO SOLO NOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS | 7 |
| 2.1. CONCEITOS..... | 7 |
| 2.2. ABORDAGENS DAS ESCALAS HIDROLÓGICAS..... | 14 |
| 2.3. ESTUDO DA BACIA VERTENTE | 15 |
| 2.4. ESCALA NA REGIONALIZAÇÃO | 17 |
| 2.5. IMPACTO DA MUDANÇA DO USO DO SOLO NO ESCOAMENTO..... | 19 |
| 2.6. CONCLUSÃO | 20 |
| 3. BACIA DO RIO POTIRIBU E DO RIO IJUÍ..... | 21 |
| 3.1. LOCALIZAÇÃO | 21 |
| 3.1.1. <i>Rio Ijuí</i> | 21 |
| 3.1.2. <i>Rio Potiribu</i> | 21 |
| 3.2. BACIA DO RIO IJUÍ..... | 23 |
| 3.2.1. <i>Postos pluviométricos</i> | 24 |
| 3.2.2. <i>Postos fluviométricos</i> | 25 |
| 3.3. PROJETO POTIRIBU | 26 |
| 3.4. DESCRIÇÕES DAS BACIAS EMBUTIDAS DO POTIRIBU | 26 |
| 3.5. PEDOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIO POTIRIBU..... | 29 |
| 3.6. USO DO SOLO NA BACIA DO RIO POTIRIBU | 31 |
| 3.7. CLIMA NA REGIÃO DE IJUÍ E CRUZ ALTA | 32 |
| 3.8. DISPONIBILIDADE DE DADOS NAS BACIAS EMBUTIDAS DO POTIRIBU | 35 |
| 3.8.1. <i>Postos Pluviométricos e Pluviográficos</i> | 35 |
| 3.8.2. <i>Postos Fluviométricos</i> | 37 |

| | |
|---|------------|
| 4. ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES NA REGIÃO DE IJUÍ..... | 47 |
| 4.1. CARACTERÍSTICAS DAS ANÁLISES..... | 47 |
| 4.2. PRECIPITAÇÕES ANUAIS | 48 |
| 4.2.1. <i>Variabilidade Espacial</i> | 48 |
| 4.2.2. <i>Variabilidade temporal</i> | 51 |
| 4.2.3. <i>Série de anos úmidos</i> | 56 |
| 4.2.4. <i>Série de anos secos</i> | 57 |
| 4.3. PRECIPITAÇÕES MENS AIS | 59 |
| 4.3.1. <i>Análise Espacial</i> | 59 |
| 4.3.2. <i>Análise Temporal</i> | 60 |
| 4.4. PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS | 66 |
| 4.4.1. <i>Análise espacial</i> | 66 |
| 4.4.2. <i>Análise temporal</i> | 67 |
| 4.5. PRECIPITAÇÕES DE ESTIAGEM..... | 69 |
| 4.5.1. <i>Análise espacial</i> | 69 |
| 4.5.2. <i>Análise temporal</i> | 71 |
| 4.6. CONCLUSÃO | 72 |
| 5. VAZÕES MÁXIMAS | 73 |
| 5.1. DETERMINAÇÃO DAS CURVAS DE PROBABILIDADE..... | 73 |
| 5.1.1. <i>Séries parciais do Anfiteatro</i> | 74 |
| 5.1.2. <i>Séries parciais do Donato</i> | 76 |
| 5.1.3. <i>Séries parciais do Turcato</i> | 79 |
| 5.1.4. <i>Análise das bacias embutidas do rio Potiribu</i> | 81 |
| 5.1.5. <i>Ajuste das séries parciais a uma distribuição de Poisson</i> | 83 |
| 5.1.6. <i>Conclusão</i> | 89 |
| 5.2. VAZÕES MÉDIAS DE CHEIA NA REGIÃO DO IJUÍ..... | 90 |
| 5.3. CONCLUSÃO | 94 |
| 6. VOLUMES DE CHEIAS..... | 96 |
| 6.1. DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DOS EVENTOS | 96 |
| 6.2. RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 97 |
| 6.3. RELAÇÃO ENTRE A VAZÃO DE PICO E O COEFICIENTE DE ESCOAMENTO | 105 |
| 6.4. ESTUDO DE EVENTOS DE CHEIA SIMULTÂNEOS NAS BACIAS | 110 |
| 6.5. CONCLUSÃO | 117 |
| 7. CURVAS DE PERMANÊNCIA E VAZÕES MÍNIMAS | 119 |
| 7.1. ANÁLISE DAS CURVAS DE PERMANÊNCIAS DAS BACIAS EMBUTIDAS DO POTIRIBU..... | 119 |
| 7.2. ANÁLISE DAS CURVAS DE PERMANÊNCIAS DAS BACIAS DA REGIÃO DO IJUÍ | 123 |
| 7.3. REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES CARACTERÍSTICAS DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA..... | 125 |
| 7.3.1. <i>Vazão média</i> | 126 |
| 7.3.2. <i>Q₅₀</i> | 128 |
| 7.3.3. <i>Q₉₅</i> | 129 |

| | |
|--|------------|
| 7.3.4. <i>Resumo dos resultados</i> | 131 |
| 7.4. REGIONALIZAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA..... | 132 |
| 7.5. ANÁLISE DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA..... | 134 |
| 7.6. ANÁLISE DA $Q_{7,10}$ | 138 |
| 7.7. CONCLUSÃO | 139 |
| 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 141 |
| 8.1. CONCLUSÕES | 141 |
| 8.2. RECOMENDAÇÕES..... | 146 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 147 |
| ÍNDICE REMISSIVO..... | 152 |
| ANEXOS | A1 |
| ANEXO 1 – ANÁLISE DA PRECIPITAÇÕES MENSAS NA BACIA DO RIO POTIRIBU | A2 |
| ANEXO 2 – VALORES DAS VARIÁVEIS DOS EVENTOS DA BACIA DO ANFITEATRO | A9 |
| ANEXO 3 – VALORES DAS VARIÁVEIS DOS EVENTOS DA BACIA DO DONATO..... | A12 |
| ANEXO 4 – VALORES DAS VARIÁVEIS DOS EVENTOS DA BACIA DO TURCATO | A15 |
| ANEXO 5 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DAS BACIAS EMBUTIDAS DO RIO POTIRIBU | A19 |
| ANEXO 6 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DAS BACIAS REGIÃO DO RIO IJUI | A23 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1.1 – Classificação das bacias segunda a escala..... | 3 |
| Tabela 3.1 – Classificação das bacias | 23 |
| Tabela 3.2 – Características dos postos pluviométricos da região de Ijuí..... | 24 |
| Tabela 3.3 – Rede fluviométrica da região de Ijuí..... | 25 |
| Tabela 3.4 - Características físico-morfológicas das bacias estudadas..... | 27 |
| Tabela 3.5 – Percentagem de diferentes coberturas do solo nas bacia embutidas do Potiribu. | 31 |
| Tabela 3.6 – Relação dos pluviômetros | 36 |
| Tabela 3.7 – Relação dos pluviógrafos | 36 |
| Tabela 3.8 – Características gerais dos linígrafos..... | 38 |
| Tabela 3.9 – Características técnicas dos linígrafos | 38 |
| Tabela 4.1 – Estatística das séries de precipitações anuais do posto Conceição..... | 52 |
| Tabela 4.2 - Teste-t: séries 1990-1997 e 1960-1989 do posto Conceição presumindo variâncias equivalentes | 53 |
| Tabela 4.3 – Teste-F: séries 1960-1989 e 1990-1993 do posto Conceição (variâncias)..... | 53 |
| Tabela 4.4 - Teste-t: séries 1990-1993 e 1960-1989 do posto Conceição presumindo variâncias equivalentes | 53 |
| Tabela 4.5 – Teste-F: séries 1994-1997 e 1960-1989 do posto Conceição (variâncias)..... | 54 |
| Tabela 4.6 - Teste-t: séries 1994-1997 e 1960-1989 do posto Conceição presumindo variâncias equivalentes | 54 |
| Tabela 4.7 – Teste-F: séries 1994-1997 e 1990-1993 do posto Conceição (variâncias)..... | 55 |
| Tabela 4.8 – Estatística das séries de precipitações anuais do Potiribu..... | 55 |
| Tabela 4.9 – Teste-F: séries 1990-1993 e 1994-1997 do Potiribu (variâncias)..... | 55 |
| Tabela 4.10 – Estatística das precipitações mensais do posto Conceição..... | 62 |
| Tabela 4.11 – Valores extremos das precipitações mensais do posto Conceição | 63 |
| Tabela 4.12 – Aumento relativo da precipitação mensal do período 1989-1998 em relação a 1960-1988..... | 65 |
| Tabela 4.13 – Valores extremos de precipitação mensal do postos de Conceição (1989-1998) | 65 |
| Tabela 4.14 – Distribuição de probabilidade das precipitações máximas diárias | 68 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 5.1 – Estatística das séries parciais de vazão máxima | 84 |
| Tabela 5.2 – Vazões máximas pela método POT | 84 |
| Tabela 5.3 – Teste F para as variâncias..... | 86 |
| Tabela 5.4 – Teste da diferença entre as médias (amostras simples)..... | 87 |
| | |
| Tabela 6.1 – Eventos registrados simultaneamente nas bacias embutidas do Potiribu..... | 111 |
| | |
| Tabela 7.1 – Resumo da regionalização das variáveis Q_{md} , Q_{50} e Q_{95} | 131 |
| Tabela 7.2 – Análise da relação entre Q_{md} , $Q_{7,10}$ e Q_{95} | 139 |
| | |
| Tabela 8.1 – Validade da regionalização das variáveis hidrológicas estudadas..... | 144 |
| | |
| Tabela A.1 – Eventos da bacia do Anfiteatro (Período Convencional) | A9 |
| Tabela A.2 – Eventos da bacia do Anfiteatro (Período de Plantio Direto) | A10 |
| Tabela A.3 – Eventos da bacia do Donato (Período Convencional)..... | A12 |
| Tabela A.4 – Eventos da Bacia do Donato (Período de Plantio Direto)..... | A14 |
| Tabela A.5 – Eventos da bacia do Turcato (Período Convencional)..... | A15 |
| Tabela A.6 – Eventos da bacia do Turcato (Período de Plantio Direto)..... | A17 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Localização da área em estudo | 3 |
| Figura 1.2. Diagrama unifilar das bacias da região do Ijuí | 4 |
| Figura 1.3. Disponibilidade de dados das bacias da região de Ijuí no período de 1989-1998 ... | 4 |
| | |
| Figura 2.1. Processos hidrológicos na escalas do tempo e espaço | 8 |
| Figura 2.2. Esquema de agregação e escalonamento em modelos hidrológicos | 11 |
| Figura 2.3. Alterações das propriedades do rio ao longo da bacia hidrográfica..... | 14 |
| Figura 2.4. Geração de escoamento na vertente | 16 |
| | |
| Figura 3.1. Região do Planalto Basáltico | 22 |
| Figura 3.2. Bacia do rio Potiribu..... | 23 |
| Figura 3.3. Postos pluviométricos na região de Ijuí..... | 24 |
| Figura 3.4. Localização dos postos fluviométricos da região do Ijuí | 25 |
| Figura 3.5. Bacia do Turcato | 27 |
| Figura 3.6. Bacia do Donato, incluindo a Bacia do Anfiteatro | 28 |
| Figura 3.7. Mapa dos solos da bacia do rio Potiribu..... | 29 |
| Figura 3.8. Efeitos globais do El Niño 1997/1998 | 35 |
| Figura 3.9. Localização dos postos pluviométricos | 37 |
| Figura 3.10. Localização do linígrafo da bacia do Anfiteatro | 39 |
| Figura 3.11. Seção transversal do canal no ponto de medição do linígrafo do Anfiteatro | 39 |
| Figura 3.12. Ajuste da Curva Chave para a seção da bacia do Anfiteatro | 40 |
| Figura 3.13. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Anfiteatro..... | 40 |
| Figura 3.14. Seção transversal do canal no ponto de medição do linígrafo do Donato..... | 41 |
| Figura 3.15. Calibragem da curva chave para a seção da bacia do Donato | 41 |
| Figura 3.16. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Donato | 42 |
| Figura 3.17. Localização do linígrafo do Turcato | 43 |
| Figura 3.18. Ajuste da Curva Chave para a seção da bacia do Turcato (1990-1995)..... | 44 |
| Figura 3.19. Seção transversal do canal no ponto de medição do linígrafo do Turcato | 44 |
| Figura 3.20. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Turcato (1990-1995) | 45 |
| Figura 3.21. Ajuste da Curva Chave para a seção da bacia do Turcato (1998-) | 46 |
| Figura 3.22. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Turcato (1998-)..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.1. Variabilidade espacial da pluviometria anual dos postos da bacia do Potiribu | 49 |
| Figura 4.2. Séries temporais das precipitações médias anuais | 49 |
| Figura 4.3. Comparação entre a pluviometria anual dos postos Conceição e Potiribu | 50 |
| Figura 4.4. Correlação entre as precipitações anuais dos postos do Potiribu com o posto Conceição | 51 |
| Figura 4.5. Média móvel de 4 anos das precipitações anuais..... | 52 |
| Figura 4.6. Probabilidade de anos úmidos | 57 |
| Figura 4.7. Probabilidade de anos secos | 58 |
| Figura 4.8. Variação espacial das precipitações mensais na região de Ijuí..... | 59 |
| Figura 4.9. Variação espacial do postos do Potiribu e de Conceição (1989-1999)..... | 60 |
| Figura 4.10. Ciclo anual de precipitações | 61 |
| Figura 4.11. Médias mensais do posto Conceição..... | 64 |
| Figura 4.12. Desvios padrões mensais do posto Conceição | 64 |
| Figura 4.13. Séries de precipitações máximas diárias dos postos do Potiribu e de Conceição | 66 |
| Figura 4.14. Distribuição Gumbel para as precipitações máximas do posto Conceição | 67 |
| Figura 4.15. Distribuições de probabilidade das precipitações máximas diárias | 68 |
| Figura 4.16. Séries de precipitações trimestrais mínimas adimensionalizadas | 70 |
| Figura 4.17. Séries de precipitações trimestrais mínimas dos postos do Potiribu e de Conceição | 70 |
| Figura 4.18. Probabilidade de trimestres secos (1960-1998)..... | 71 |
| | |
| Figura 5.1. Determinação da série parcial de vazões máximas | 73 |
| Figura 5.2. Vazões máximas na bacia do Anfiteatro (Plantio Convencional)..... | 74 |
| Figura 5.3. Vazões máximas na bacia do Anfiteatro (Plantio Direto)..... | 75 |
| Figura 5.4. Histograma de frequência das vazões máximas no Anfiteatro (1991-1999)..... | 76 |
| Figura 5.5. Vazões máximas na bacia do Donato (Plantio Convencional) | 77 |
| Figura 5.6. Vazões máximas na bacia do Donato (Plantio Direto) | 77 |
| Figura 5.7. Histograma de frequência das vazões máximas no Donato | 78 |
| Figura 5.8. Vazões máximas na bacia do Turcato (Plantio Convencional) | 80 |
| Figura 5.9. Vazões máximas na bacia do Turcato (Plantio Direto)..... | 80 |
| Figura 5.10. Histograma de frequência das vazões máximas no Turcato..... | 81 |
| Figura 5.11. Histograma das vazões específicas máximas no período de plantio convencional | 82 |
| Figura 5.12. Histograma das vazões específicas máximas no período de plantio direto..... | 82 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.13. Vazões máximas na bacia do Anfiteatro | 85 |
| Figura 5.14. Vazões máximas na bacia do Donato..... | 85 |
| Figura 5.15. Vazões máximas na bacia do Turcato | 86 |
| Figura 5.16. Vazões máximas adimensionalizadas no período de plantio convencional | 88 |
| Figura 5.17. Vazões máximas adimensionalizadas no período de plantio direto..... | 89 |
| Figura 5.18. Vazão específica média de cheia em relação à área das bacias do rio Ijuí, em ambos períodos | 90 |
| Figura 5.19. Vazão média de cheia em relação à área das bacias do rio Ijuí (ambos períodos) | 91 |
| Figura 5.20. Ajuste da vazão média de cheia em função da área das bacias de meso escala... 92 | |
| Figura 5.21. Vazão média de cheia em relação a área das bacias (1989-1998)..... | 93 |
| Figura 5.22. Ajuste de Q_{mx} em função da área das bacias de meso escala (1989-1998) | 93 |
| | |
| Figura 6.1. Método gráfico direto de separação do escoamento | 96 |
| Figura 6.2. Relação entre Q_{esp} e P_{total} para a bacia do Anfiteatro (Convencional) | 98 |
| Figura 6.3. Relação entre Q_{esp} e P_{total} para a bacia do Anfiteatro (Plantio Direto)..... | 98 |
| Figura 6.4. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Donato (Convencional).... | 100 |
| Figura 6.5. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Donato (Plantio Direto)..... | 100 |
| Figura 6.6. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Turcato (Convencional)..... | 101 |
| Figura 6.7. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Turcato (Plantio Direto) | 101 |
| Figura 6.8. Tendência média do escoamento superficial na bacia do Anfiteatro..... | 102 |
| Figura 6.9. Tendência média do escoamento superficial na bacia do Donato | 102 |
| Figura 6.10. Tendência média do escoamento superficial na bacia do Turcato..... | 103 |
| Figura 6.11. Tendência média do escoamento superficial no período de plantio convencional | 104 |
| Figura 6.12. Tendência média do escoamento superficial no período de plantio direto | 104 |
| Figura 6.13. Relação entre Q_p e C na bacia do Anfiteatro | 105 |
| Figura 6.14. Relação entre Q_p e C na bacia do Donato..... | 106 |
| Figura 6.15. Relação entre Q_p e C na bacia do Turcato | 107 |
| Figura 6.16. Relação entre Q'_p e C no período de plantio convencional | 108 |
| Figura 6.17. Relação entre Q'_p e C no período de plantio direto..... | 109 |
| Figura 6.18. Hidrogramas com amortecimentos diferentes para o mesmo Q_{esc} | 110 |
| Figura 6.19. Comparação do tempo de pico dos 20 eventos selecionados | 112 |
| Figura 6.20. Comparação da vazão máxima específica dos 20 eventos selecionados..... | 113 |
| Figura 6.21. Comparação do volume escoado dos 20 eventos selecionados | 113 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.22. Comparação do coeficiente de escoamento (C) dos 20 eventos selecionados .. | 114 |
| Figura 6.23. Evento do dia 18/09/92..... | 114 |
| Figura 6.24. Evento do dia 29/11/92..... | 115 |
| Figura 6.25. Evento do dia 31/10/94..... | 116 |
| Figura 6.26. Evento do dia 16/02/99..... | 116 |
| | |
| Figura 7.1. Curvas de permanência (Q/Qmd) das bacias embutidas do Potiribu (convencional) | 120 |
| Figura 7.2. Curvas de permanência (Q/Qmd) das bacias embutidas do Potiribu (direto)..... | 121 |
| Figura 7.3. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias embutidas do Potiribu (convencional)..... | 121 |
| Figura 7.4. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias embutidas do Potiribu (direto)..... | 122 |
| Figura 7.5. Curvas de permanência das bacias do embutidas do Potiribu (período completo) | 123 |
| Figura 7.6. Curvas de permanência das bacias do rio Ijuí (1989-1998) | 124 |
| Figura 7.7. Curvas de permanência das vazões específicas das bacias do rio Ijuí (1989-1998) | 125 |
| Figura 7.8. Valores de Vazões médias <i>versus</i> Áreas das bacias estudadas..... | 127 |
| Figura 7.9. Ajuste das vazões médias em função da área das bacias de meso escala..... | 127 |
| Figura 7.10. Valores de Q_{50} <i>versus</i> Área das bacias estudadas, nos dois cenários | 128 |
| Figura 7.11. Ajuste de Q_{50} em função da área das bacias de meso escala..... | 129 |
| Figura 7.12. Valores de Q_{95} <i>versus</i> Área das bacias estudadas, nos dois cenários | 130 |
| Figura 7.13. Ajuste de Q_{95} em função da área das bacias de meso escala | 131 |
| Figura 7.14. Curvas de permanência regionalizadas..... | 133 |
| Figura 7.15. Curvas de permanência regionalizada para a bacia do Turcato..... | 133 |
| Figura 7.16. Pontos em comum das curvas de permanência (convencional)..... | 135 |
| Figura 7.17. Pontos em comum das curvas de permanência (plantio direto)..... | 135 |
| Figura 7.18. Série de vazões adimensionalizadas das bacias da região do Ijuí (Convencional) | 137 |
| Figura 7.19. Série de vazões adimensionalizados das bacias da região do Ijuí (Direto)..... | 137 |
| Figura 7.20. Tendência dos valores de $Q_{7,10}$ das bacias de meso e macro escala..... | 138 |

| | |
|--|-----|
| Figura A.1. Série de precipitações do mês de janeiro..... | A2 |
| Figura A.2. Série de precipitações do mês de fevereiro..... | A3 |
| Figura A.3. Série de precipitações do mês de março..... | A3 |
| Figura A.4. Série de precipitações do mês de abril..... | A4 |
| Figura A.5. Série de precipitações do mês de maio..... | A4 |
| Figura A.6. Série de precipitações do mês de junho..... | A5 |
| Figura A.7. Série de precipitações do mês de julho..... | A5 |
| Figura A.8. Série de precipitações do mês de agosto..... | A6 |
| Figura A.9. Série de precipitações do mês de setembro..... | A6 |
| Figura A.10. Série de precipitações do mês de outubro..... | A7 |
| Figura A.11. Série de precipitações do mês de novembro..... | A8 |
| Figura A.12. Série de precipitações do mês de dezembro..... | A8 |
| Figura A.13. Curvas de permanência (Q/Qmd) da bacia do Anfiteatro..... | A19 |
| Figura A.14. Curvas de permanência (Q/Qmd) da bacia do Donato..... | A20 |
| Figura A.15. Curvas de permanência (Q/Qmd) da bacia do Turcato..... | A20 |
| Figura A.16. Curvas de permanência (vazão específica) da bacia do Anfiteatro..... | A21 |
| Figura A.17. Curvas de permanência (vazão específica) da bacia do Donato..... | A21 |
| Figura A.18. Curvas de permanência (vazão específica) da bacia do Turcato..... | A22 |
| Figura A.19. Curvas de permanência (Q/Qmd) das bacias da região do Ijuí (convencional)..... | A24 |
| Figura A.20. Curvas de permanência (Q/Qmd) das bacias da região do Ijuí (direto)..... | A24 |
| Figura A.21. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias da região do Ijuí (convencional)..... | A25 |
| Figura A.22. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias da região do Ijuí (direto) | A26 |
| Figura A.23. Comparação das curvas de permanência (Q/Qmd) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (a)..... | A26 |
| Figura A.24. Comparação das curvas de permanência (Q/Qmd) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (b)..... | A27 |
| Figura A.25. Comparação das curvas de permanência (vazão específica) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (a)..... | A28 |
| Figura A.26. Comparação das curvas de permanência (vazão específicas) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (b)..... | A28 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------|---|
| α | nível de significância |
| A | área da bacia |
| a | parâmetro de ajuste da Equação 6.1 |
| b | parâmetro de ajuste da Equação 6.1 |
| B | parâmetro estimado pela Equação 5.3 |
| C | coeficiente de escoamento superficial |
| c | parâmetro de ajuste da Equação 7.1 |
| c'_1 | correção de c_1 para se obter vazão específica, calculado pela Equação 6.3 |
| c_1 | coeficiente de ajuste da Equação 6.2 |
| c_2 | coeficiente de ajuste da Equação 6.2 |
| d | parâmetro de ajuste da Equação 7.1 |
| d_{cr} | diferença crítica até a qual as médias podem ser consideradas equivalentes |
| Δt | intervalo de tempo |
| e | parâmetro de ajuste da Equação 7.2 |
| f | parâmetro de ajuste da Equação 7.2 |
| g | parâmetro de ajuste da Equação 7.3 |
| h | parâmetro de ajuste da Equação 7.3 |
| i | parâmetro de ajuste da Equação 7.9 |
| IPA-5d | precipitação acumulada nos 5 dias anteriores ao evento |
| j | parâmetro de ajuste da Equação 7.9 |
| k_1 | constante da Equação 7.4, calculada pela Equação 7.5 |
| k_2 | constante da Equação 7.4, calculada pela Equação 7.6 |
| $k_{\alpha/2}$ | constante calculada em função do nível de significância α desejado, seguindo uma distribuição normal padronizada |
| L | razão de excedência |
| L_i^- | limite inferior do intervalo de confiança da precipitação mensal do mês i ($i =$ janeiro, fevereiro, ..., dezembro) |
| L_i^+ | limite superior do intervalo de confiança da precipitação mensal do mês i ($i =$ janeiro, fevereiro, ..., dezembro) |
| M | número de picos que excedem Q_0 |
| M_C | número de valores de Q_i no período convencional |

| | |
|--------------------------------|---|
| M_D | número de valores de Q_i no período convencional |
| N | número de anos da série registrada |
| p | probabilidade no intervalo de 0 a 1 |
| $P(Q \geq Q_i / Q_i \geq Q_o)$ | probabilidade da vazão (Q) ser maior Q_i , dado que Q_i é maior que Q_o |
| P_{ano} | precipitação anual |
| P_m | média da série histórica de precipitações anuais do posto Conceição |
| P_{total} | precipitação total acumulada num evento, em mm |
| P_{out}^+ | <i>outlier</i> (ponto fora da tendência) de máxima precipitação anual |
| $P_{out,i}^+$ | <i>outlier</i> (ponto fora da tendência) de máxima precipitação mensal ocorrida no mês i ($i =$ janeiro, fevereiro, ..., dezembro) |
| P_{out}^- | <i>outlier</i> (ponto fora da tendência) de mínima precipitação anual |
| $P_{out,i}^-$ | <i>outlier</i> (ponto fora da tendência) de mínima precipitação mensal ocorrida no mês i ($i =$ janeiro, fevereiro, ..., dezembro) |
| \bar{P}_i | precipitação média do mês i ($i =$ janeiro, fevereiro, ..., dezembro) |
| Q | vazão |
| $Q(Tr)$ | vazão máxima em função do tempo de retorno |
| Q_p' | vazão de pico específica, $m^3/s/km^2$ |
| Q_{50} | vazão extraída da curva de permanência cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de 50% |
| $Q_{7,10}$ | vazão mínima de sete dias de duração com tempo de retorno de dez anos |
| Q_{95} | vazão extraída da curva de permanência cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de 95% |
| Q_{esc} | escoamento superficial na bacia, em mm |
| Q_{esp} | vazão específica de cheia |
| Q_{final} | vazão final do hidrograma, ver Figura 6.1 |
| Q_i | i -ésimo pico registrado em ordem decrescente |
| Q_{ini} | vazão inicial do hidrograma, ver Figura 6.1 |
| Q_{md} | Vazão média no período |
| Q_{mx} | vazão média de cheia |
| Q_o | vazão acima da qual o pico do hidrograma é considerado como extremo de uma série parcial de vazões máximas (Tucci, 1993b), ver Figura 5.1 |
| Q_p | vazão máxima de um hidrograma, ver Figura 5.1 e Figura 6.1 |
| Q_p^* | vazão de uma série parcial de vazões máximas, ver Figura 5.1 |

| | |
|-------|---|
| R^2 | quadrado do coeficiente de correlação |
| s | desvio padrão da série histórica de precipitações anuais do posto Conceição |
| s_i | desvio padrão da precipitação do mês i ($i =$ janeiro, fevereiro, ..., dezembro) |
| t_p | tempo de pico, ver Figura 5.1 |
| T_r | Tempo de retorno, em anos |

1. INTRODUÇÃO

As dificuldades enfrentadas pelo hidrólogo para representar um sistema com comportamento não linear, com uma grande heterogeneidade espacial e temporal, não podem ser enfrentadas pela simples importação de técnicas matemáticas e estatísticas de diferentes áreas do conhecimento. O desenvolvimento da própria ciência hidrológica a partir do aprendizado do comportamento do sistema é uma necessidade. (Tucci, 1998)

As escalas de tempo e espaço e a variabilidade das variáveis hidrológicas nestas escalas são de fundamental importância na hidrologia científica e aplicada. A Hidrologia aplicada e a científica estão interessadas no seguinte problema: qual é o alcance dos processos concentrados, através de escalas que vão deste lote e pequenos campos, passando por bacias numa larga extensão de tamanhos, até escalas regionais, continentais e globais. É, portanto, bastante útil determinar se processos nessas várias escalas são auto-similares, porque, se forem, então devemos ser capazes de transpor resultados de uma escala para outra. (Shamir, 1995)

A heterogeneidade cresce com a escala. É apenas por causa da maior distância e tempo que há maior chance de ocorrer grandes variações, ou as leis fundamentais são diferentes? A resposta dessa questão determina o significado da média e de outros valores representativos e também provê as diretrizes para a determinação dos intervalos de tempo e a discretização espacial para coleção de dados. (Shamir, 1995)

Existe hoje a necessidade de uma teoria hidrológica que trate os problemas de integração espacial e temporal em todas as hierarquias do Ciclo Hidrológico. O problema reside em conhecer como variáveis e parâmetros são representados em escalas diferentes e como estabelecer as funções de transferência entre essas escalas. (Mendiondo e Tucci, 1997a)

Segundo Mendiondo e Tucci (1997a), a representação dos processos hidrológicos em diferentes escalas tem esbarrado nos seguintes aspectos principais:

- A heterogeneidade espacial dos sistemas hídricos e a incerteza com a qual os parâmetros e processos são medidos em diferentes escalas;
- A dificuldade de representar os processos caracterizados e analisados na microescala para outras escalas da bacia hidrográfica;

- A falta de relação entre os parâmetros de modelos matemáticos com as diferentes configurações espaciais encontradas na natureza.

Dentro desse contexto, fica clara a importância da pesquisa e análise do efeito da escala nos processos hidrológicos, mais especificamente nos que envolvem o processo chuva-vazão.

1.1. Região de estudo

A região estudada neste trabalho foi a bacia do rio Potiribu, que está localizada ao noroeste do estado do Rio Grande do Sul numa posição central do derrame basáltico sul-americano (Figura 1.1). O rio Potiribu é um contribuinte da margem esquerda do Rio Ijuí, este último sendo afluente de margem esquerda do Rio Uruguai. Portanto, a bacia do rio Potiribu faz parte da bacia do Prata. Segundo Borges & Bordas (1988; 1990), a bacia do rio Potiribu pode ser considerada como representativa da região do planalto basáltico, uma região que se estende por 230.000 km².

Na bacia existe a disponibilidade de dados hidrológicos decorrentes do Projeto Potiribu (Castro et al., 2000) que monitora bacias embutidas do rio Potiribu desde 1989, envolvendo dois períodos de uso do solo (plantio convencional de 1989 até abril de 1994 e plantio direto a partir de maio de 1994), fornecendo informações suficientes para um estudo de escalas dos processos hidrológicos. Além do estudo de escala espacial dos processos hidrológicos que as bacias embutidas nos permitem, a mudança do uso do solo do plantio convencional para o plantio direto nos fornece dados preciosos para o estudo destes processos.

As bacias embutidas utilizadas foram: Anfiteatro (0,125 km²), Donato (1,1 km²) e Turcato (19,5 km²). Essas bacias abrangem uma amplitude de escalas muito importante para o estudo de escala dos processos hidrológicos, pois contém uma vertente (Anfiteatro), uma micro bacia (Donato) e uma pequena bacia (Turcato).

Para a validação das análises das bacias embutidas do Potiribu, foram empregadas informações hidrológicas das bacias da região numa amplitude de escala maior (bacias de 600-110.000 km²) cujo comportamento hidrológico é semelhante ao da bacia do rio Potiribu. Foram empregadas as sub-bacias do rio Ijuí (meso escala) e duas sub-bacias do rio Uruguai (macro escala) à jusante da confluência com o rio Ijuí, como mostra o diagrama unifilar apresentado na Figura 1.2.

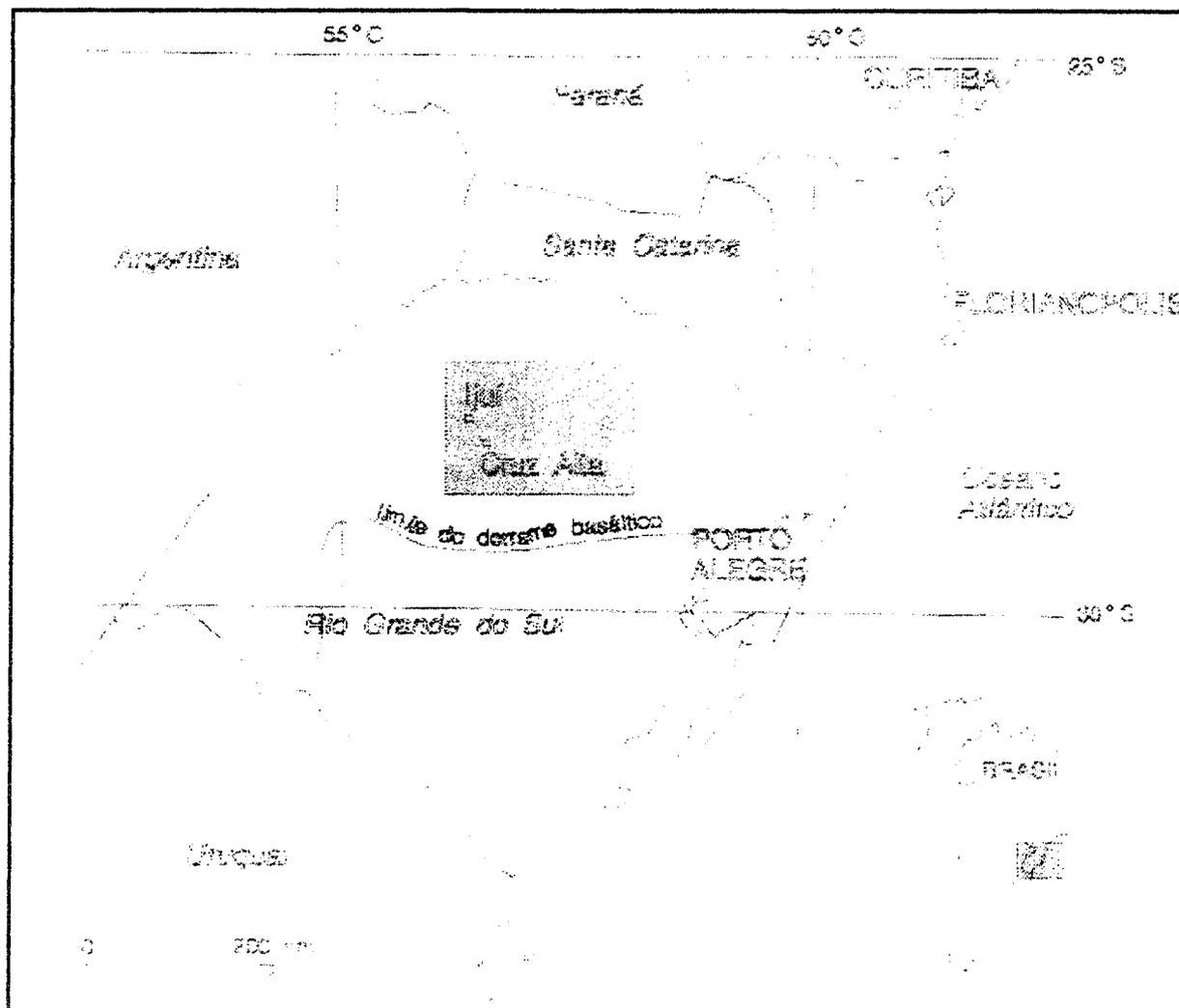


Figura 1.1. Localização da área em estudo
(Castro et al., 2000)

Para o melhor entendimento da variação do comportamento hidrológico em função da escala da bacia, as bacias estudadas foram divididas em quatro classes, conforme a área da bacia, como mostra a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Classificação das bacias segunda a escala

| Escala | Área (km ²) | Bacias |
|----------|-------------------------|---|
| Vertente | < 0,20 | Anfiteatro |
| Micro | 1 – 20 | Donato e Turcato |
| Meso | 100 – 10.000 | Potiribu, Conceição, Nova do Conceição, Passo Faxinal, Mousquer, Santo Angelo e Ponte Mística |
| Macro | > 100.000 | Garruchos, Passo São Borja |

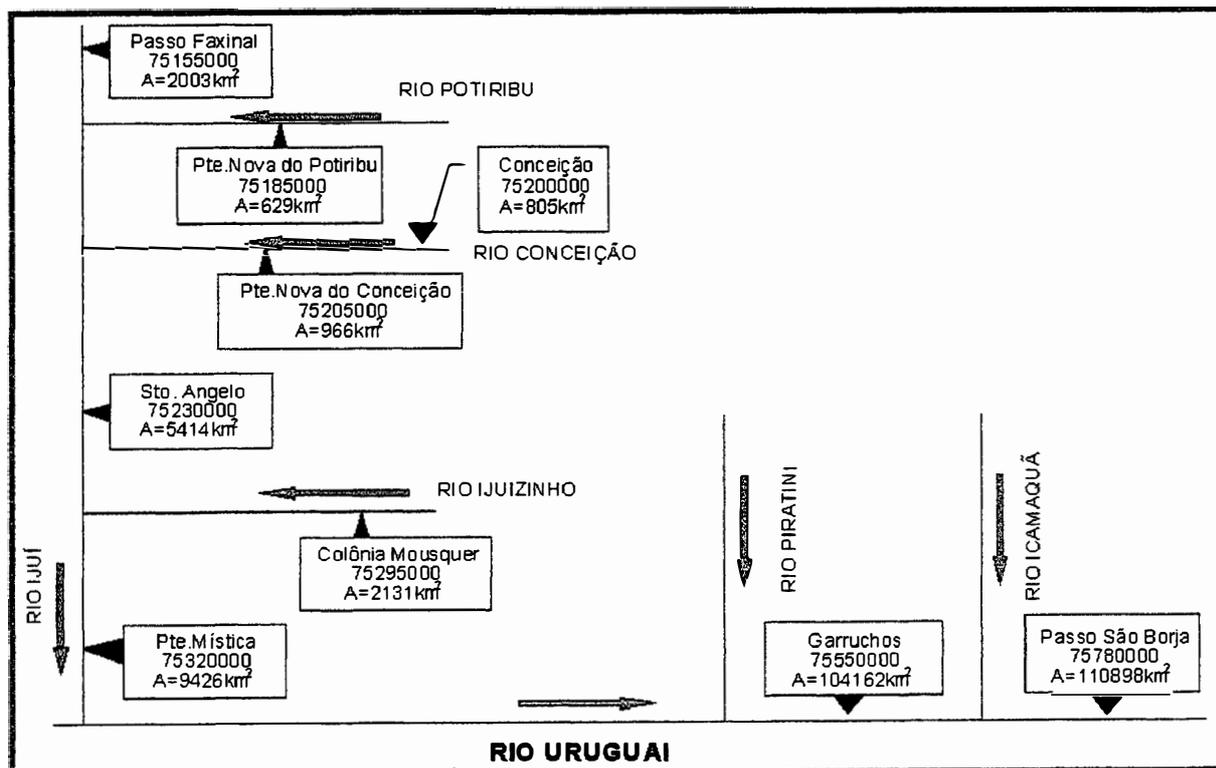


Figura 1.2. Diagrama unifilar das bacias da região do Ijuí (Modificado de Beltrame, 2000)

A disponibilidade dos dados das bacias da região do Ijuí utilizadas no estudo é apresentada na Figura 1.3.

| Nº | ESTAÇÃO | NOME | 1 9 8 0 | 1 9 9 0 | | | | | | | | | | |
|----|----------|------------------------|---------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | - - - 9 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 1 | 75155000 | Passo Faxinal | | c | i | i | c | c | i | c | c | c | c | i |
| 2 | 75185000 | Pte. Nova do Potiribu | | c | c | c | i | c | i | c | | | | |
| 3 | 75200000 | Conceição | | c | c | c | c | c | i | e | c | c | c | i |
| 4 | 75205000 | Pte. Nova do Conceição | | c | c | c | c | c | c | c | c | c | i | i |
| 5 | 75230000 | Sto. Angelo | | c | c | c | c | c | i | c | c | c | c | i |
| 6 | 75295000 | Colônia Mousquer | | c | c | c | c | c | c | c | c | c | c | i |
| 7 | 75320000 | Pte. Mística | | c | c | c | i | c | c | c | c | c | c | i |
| 8 | 75550000 | Garruchos | | c | c | c | i | c | c | c | | | | |
| 9 | 75780000 | Passo São Borja | | c | c | c | c | i | i | i | | | | |

Legenda: c ano completo de dados
i ano incompleto de dados
□ ano sem dados

Figura 1.3. Disponibilidade de dados das bacias da região de Ijuí no período de 1989-1998

1.2. Objetivo e justificativas

Normalmente, numa região em que é instalada uma rede hidrométrica, os postos são colocados de maneira a priorizar as bacias hidrográficas de meso e macro escala, pois essas escalas atendem uma região mais ampla, economizando o número de postos. Logo, não é raro encontrarmos trabalhos de regionalização que transferem as informações hidrológicas dessas bacias de meso ou macro escala para bacias menores (micro escala) utilizando apenas a área como fator de correção de escala. Essa simplificação produz erros que serão ou não significativos de acordo com a influência que a mudança de escala provoca na variável que está sendo regionalizada.

A forma de plantio direto, adotada atualmente em toda a região em estudo, é uma forma de plantio não convencional, pouco estudada em termos hidrológicos na escala de bacia, sendo, portanto, de grande importância conhecer as respostas hidrológicas para esse tipo de cultivo nas diferentes escalas.

Dentro desse contexto, o objetivo geral do trabalho é o de analisar o comportamento dos processos hidrológicos em diferentes escalas. Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i. Melhorar o entendimento da representatividade dos processos hidrológicos em diferentes escalas;
- ii. Identificar o potencial erro que se comete em estimar os valores de variáveis hidrológicas de pequenas bacias (vertente e micro escala) através da regionalização dessas variáveis em grandes bacias (meso e macro escala);
- iii. Analisar a influência da mudança do uso do solo em diferentes escalas;
- iv. Comprovar e estender resultados anteriores do Projeto Potiribu a respeito da influência da mudança de plantio na região sobre o comportamento hidrológico nas bacias embutidas do Potiribu.

1.3. Sumário do trabalho

No próximo capítulo é apresentada uma revisão de literatura sobre o efeito da escala nos processos hidrológicos, mostrando a opinião de vários autores sobre a importância do conhecimento desse efeito para a ciência hidrológica. Nesse capítulo, é enfatizado o papel da bacia vertente no estudo de escalas hidrológicas, a influência da escala hidrológica na regionalização das variáveis hidrológicas e a influência do uso do solo nos escoamentos (superficial e sub-superficial).

No capítulo 3 é feita uma caracterização da região em estudo, apresentando o Projeto Potiribu. Nesse capítulo também é mostrada a disponibilidade de postos pluviométricos e fluviométricos utilizados no trabalho.

No capítulo 4 as precipitações na região em estudo (Ijuí) são analisadas, apresentando a variabilidade temporal e espacial das mesmas, destacando-se períodos interanuais e sazonalidade.

No capítulo 5 é feita uma análise das vazões máximas nas bacias embutidas do Potiribu através da determinação das curvas de probabilidade de vazões máximas pelo método de séries parciais. Nesse capítulo também é analisada a variação da vazão média de cheia com a escala das bacias, desde a vertente (Anfiteatro, 12,5 ha) até a macro escala (Garruchos e Passo São Borja, com áreas acima de 100 mil km²).

No capítulo 6 é feito um estudo dos volumes de cheias gerados pelas precipitações nas bacias embutidas do Potiribu, relacionando a precipitação com o escoamento superficial e a vazão de pico com o coeficiente de escoamento superficial. Nesse capítulo, é apresentada a resposta hidrológica das três bacias embutidas do Potiribu para eventos simultâneos.

No capítulo 7 são estudadas as curvas de permanência das bacias embutidas do rio Potiribu e são comparadas com as curvas das bacias da região do Ijuí. Nesse capítulo, a regionalização das variáveis Q_{md} , Q_{50} , Q_{95} e o $Q_{7,10}$ das bacias de meso escala foi comparada com os valores correspondentes aos das bacias embutidas do rio Potiribu.

No final de cada capítulo é apresentada uma conclusão sobre as análises do capítulo e no último capítulo é apresentado um resumo de todas as conclusões referentes aos resultados obtidos neste trabalho complementado por uma conclusão geral do trabalho. Nesse capítulo, também são apresentadas sugestões para futuros trabalhos no mesmo tema que poderiam testar e esclarecer algumas das conclusões dessa dissertação.

2. EFEITO DA ESCALA E DO USO DO SOLO NOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS

2.1. Conceitos

Freqüentemente, tendemos a ver a escala de uma maneira puramente quantitativa, como uma simples redução ou ampliação do tamanho que pode ser mudado à vontade ao longo de um alcance amplo e, em princípio, contínuo. Esse conceito é uma extrapolação dos vários tipos de experiências do dia-a-dia: desde fazer uma ampliação de uma foto favorita para ajustá-la a uma página em um álbum ou reduzir a escala de um mapa para ajustá-lo a uma página em um atlas, até fazer manipulação de tamanhos de edifícios, computadores, bombas, represas e brinquedos. Geralmente, estas extrapolações se baseiam na linearidade do comportamento. Como na maioria das extrapolações, esse simples conceito de escala não pode ser levado muito longe. Em particular, ela não se ajusta bem a objetos fora da nossa mente, isto é, objetos presentes na natureza. Na natureza, as escalas dos objetos não são arbitrárias, mas surgem como função de sua constituição material e do balanço entre as forças de interação. No que se refere a natureza, não podemos impor escalas mas temos que procurar por aquelas que existem e tentar entender seus padrões e inter-relações. (Klemes, 1983)

Uma citação de Paul Kopper (1981) apud Klemes (1983) retrata bem essa questão:

“...é sempre importante se lembrar de que somos estudantes da natureza, das formas não criadas por nós, conseqüentemente, não sujeitas ao nosso controle. Projetar noções humanas ... na natureza não é ciência.”

Muitas bacias representativas foram equipadas, desde a década de 60, com resultados que dificilmente podem ser extrapolados para bacias maiores ou para outras áreas. Este investimento foi inútil? Como buscar cientificamente a representatividade hidrológica? A resposta a estas questões tem sido buscada e converge para o entendimento das condições de escala. As condições nas quais os processos ocorrem na escala do tempo e espaço são diferentes, portanto o conhecimento de um processo numa escala de tempo ou espaço não implica necessariamente o entendimento desse processo em outras escalas. (Tucci, 1998)

Na Figura 2.1 são apresentados as escalas de tempo e espaço em que alguns processos hidrológicos ocorrem.

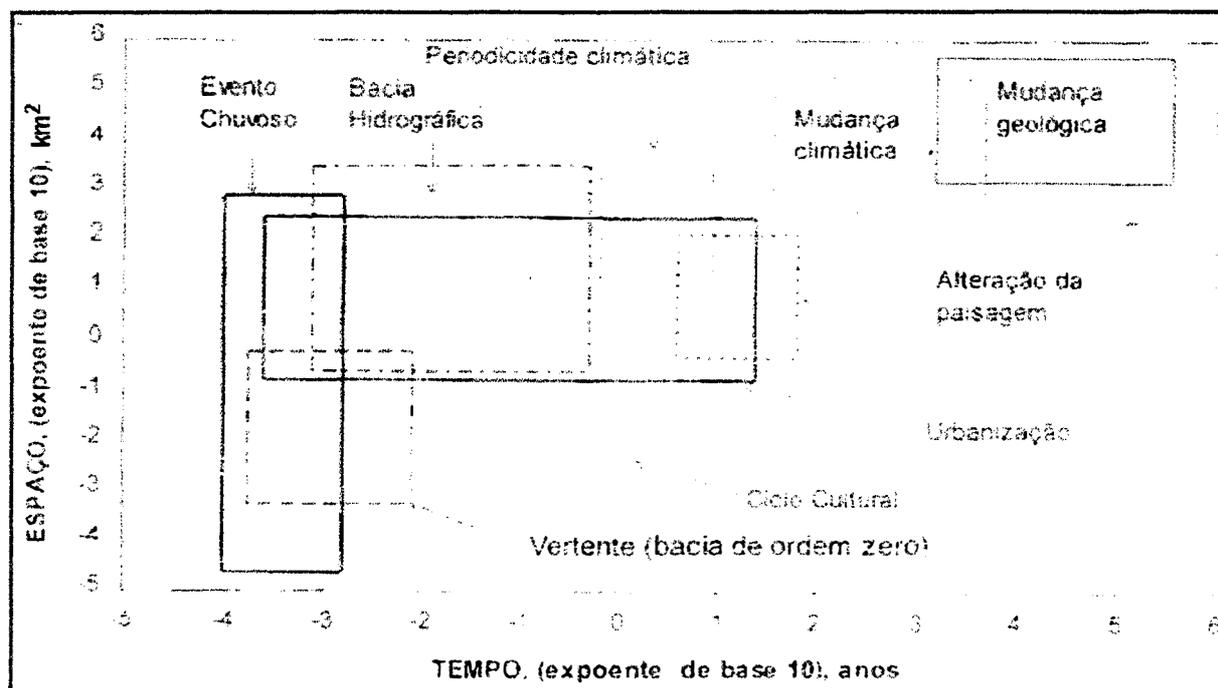


Figura 2.1. Processos hidrológicos na escalas do tempo e espaço (Mendiondo & Tucci, 1997a)

Na natureza, o espectro de escalas preferenciais tende a ter concentrações em torno de estados discretos que parecem estar separados. Na física temos o quanta, partículas subatômicas, átomos, moléculas, corpos macroscópicos da “escala humana” (que compreende desde partículas de poeira até icebergs), objetos cósmicos como planetas, estrelas e galáxias; na biologia temos um padrão similar com pontos distintos nos seguintes níveis: molécula, célula, organismo, espécies, ecossistemas. Embora esses níveis sejam poucos em número, eles demandaram milhares de anos para serem identificados e para que fosse reconhecido que eles possuem qualidades distintas. Mas, uma vez identificado um ponto do espectro de escala, a recompensa tem sido gratificante porque ele fornece bases firmes para conceitualização e leva a um rápido desenvolvimento da ciência através de teorias e modelos aproveitáveis.

De outro lado, o progresso tem sido mais lento nas disciplinas que tentam trabalhar entre esses níveis dominantes de escala onde não existe um estado de preferência natural e, se descoberto, são menos dominantes. (Klimes, 1983)

Para compreender o porquê dos processos hidrológicos variarem com a escala, é necessário, inicialmente, que se compreenda o conceito de processos dominantes.

Os níveis dominantes de escala têm diversas características interessantes além do fato de que eles são discretos e separados. Uma delas é o fato de que existem diferentes grupos de leis físicas dominantes em cada nível e parecem ser anti-intuitivos quando vistos de um nível diferente. Disto segue a importante característica que um elemento em um dado nível de escala origina-se de uma interação de um vasto número de elementos de um nível menor. Em consequência, as leis num nível mais alto expressam médias ou integrais da lei dominante num nível mais baixo. (Klemes, 1983)

O fato importante que diferentes forças tendem a dominar em diferentes níveis de escala coloca diversas limitações sobre a validade de relações matemáticas no meio de formulação física de objetos de bacias de evidência empírica em uma dada escala. Um exemplo conhecido da hidráulica é o fato que a escala relativa das dimensões em modelos em escala de estruturas hidráulicas é alterada quando se deseja achar uma similaridade hidráulica entre um modelo e o protótipo (Klemes, 1983). Outra característica importante é a interconectividade das escalas de tempo e espaço.

Dooge (1997) comenta que diferentes leis podem ser descobertas em diferentes escalas e o conjunto apropriado de leis deve ser escolhido de acordo com a escala e com o tipo de problema a ser resolvido. Em alguns casos será possível estabelecer a ligação entre a formulação de relações hidrológicas em duas escalas adjacentes e, desse modo, aumentar a força lógica de ambas construções teóricas e ao mesmo tempo obter estimativas dos parâmetros mais corretas como numa bacia para planejamento. Em outros casos, a ligação entre a formulação matemática e os valores dos parâmetros em níveis adjacentes de análises pode ser tão complexa que nenhuma relação entre eles pode ser estabelecida por muitas gerações de cientistas.

Dooge (1997) considera que na microescala estamos interessados na aplicação, para os processos hidrológicos, dos métodos padrões usados nas ciências físicas; na mesoescala estamos interessados no comportamento dinâmico dos sistemas intermediários em tamanho e natureza entre mecanismos simples e grandes agregações de elementos aleatórios; na macroescala ficamos mais interessados com as condições para o equilíbrio de sistemas complexos envolvendo um grande número de realimentações e interações.

Segundo Kirkby (1999), em modelos em escala de lotes a representação física e outros processos estão no limite do atual conhecimento. Nessa escala, existe uma forte concentração na distribuição espacial do escoamento através da micro topografia de pequenos riachos e canais. Modelos na escala de bacias tentam, em princípio, integrar o efeito acumulado da micro topografia, perdendo em detalhe da estrutura hidrológica para que se possa usar os dados disponíveis na escala de bacia. Para modelos na escala regional ou global, as variáveis dominantes são o clima e a litologia. Nessa escala é necessário ignorar a maioria dos detalhes topográficos e do solo, retendo apenas amplas diferenças regionais associadas como montanhas, litologia, clima e vegetação.

Segundo Klemes (1983), a pobre avaliação desse aspecto qualitativo da escala na hidrologia parece ser uma das principais razões da raridade de resultados significativos.

O hidrograma unitário é um exemplo de uma ferramenta atual da hidrologia que desconsidera a heterogeneidade espacial e temporal das variáveis hidrológicas. As variáveis que representam os processos na bacia hidrográfica são consideradas como concentradas e assumimos que a bacia é um sistema linear. Os processos de precipitação, infiltração, evaporação, escoamento superficial e escoamento no canal foram reunidos numa simples representação concentrada da bacia. Como resultado dessa agregação e consideração de linearidade é possível obter resultados proveitosos e investigar as diferenças entre bacias em varias regiões e condições. A validade da aproximação foi conferida no fato que o hidrograma unitário apresenta razoável aproximação com os eventos dos quais foram originados. (Shamir, 1995)

Depois dessa técnica ter sido usada efetivamente durante muitos anos, pesquisas começaram a ter como objetivo a validade das considerações fundamentais, em particular com aquelas relacionadas com a distribuição espacial e temporal, agregação e cálculo da média de todos os fenômenos no ciclo hidrológico.

Modelos distribuídos foram desenvolvidos e empregados, assim como nossa habilidade de resolvê-los analiticamente e numericamente foi aperfeiçoada. Dessa forma, a descoberta de uma relação que descreva fenômenos em varias escalas ganhou importância. (Shamir, 1995)

Na Figura 2.2 é feita uma comparação entre as agregações e escalonamento das variáveis hidrológicas nos modelos concentrado e distribuído. Os modelos distribuídos representam melhor as características da bacia hidrográfica, mas requerem uma quantidade maior de informações e recursos computacionais.

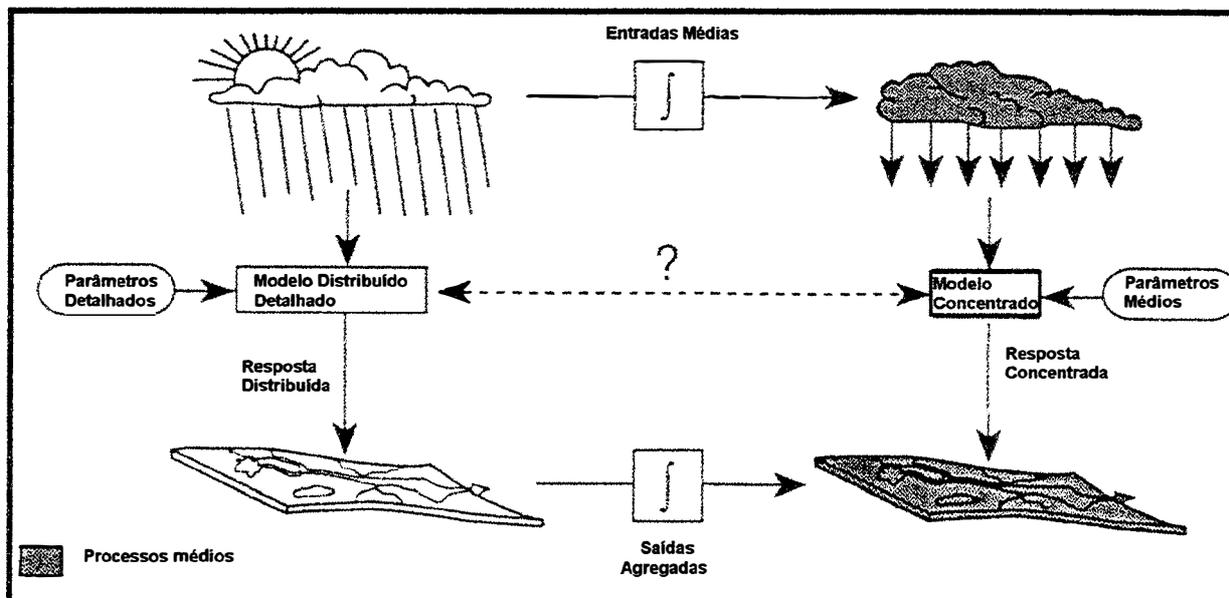


Figura 2.2. Esquema de agregação e escalonamento em modelos hidrológicos (Modificado de Wood, 1995)

Na escala de uma pequena bacia, é possível considerar as variabilidades na topografia, no solo e na vegetação como se fossem originadas de uma distribuição estatística estacionária (Wood et al., 1988; Wood et al., 1990 apud Wood, 1995). Assim, um modelo distribuído iria considerar padrões de variabilidade estatisticamente. Dentro de uma região fisioclimática, podemos considerar que existe uma população de pequenas bacias que são similares estatisticamente mas cujo padrão das propriedades topográficas, do solo e da vegetação e, conseqüentemente, suas respostas variam muito diferentemente (Wood et al., 1988).

Um conceito importante no entendimento dos processos hidrológicos em diferentes escalas é o de Área Elementar Representativa (REA). Wood et al. (1988) define Área Elementar Representativa como: a escala crítica na qual suposições implícitas de continuidade podem ser usadas sem conhecimentos explícitos dos padrões no campo da topografia, do solo e da precipitação. Ela é suficiente para representar estes campos por suas caracterizações estatísticas. Predizer o balanço hídrico na escala da REA pode requerer que sejam consideradas heterogeneidades em escalas menores, através de sua caracterização estatística, o que não implica no uso de parâmetros equivalentes ou médios. Mudanças na escala ajudam a entender a agregação das saídas das respostas distribuídas. O conceito de escala REA nos ajuda a esclarecer a relação entre um modelo distribuído e o modelo concentrado, e como esta relação varia com a escala.

Uma outra questão que envolve o problema de escalas hidrológicas é a tentativa de união da hidrologia superficial com a meteorologia (Feddes, 1995; Wood, 1995; Hendersom-Sellers et al., 1995).

Segundo Wood (1995), a complexa heterogeneidade da superfície terrestre devido a variabilidade do solo, vegetação e topografia, todos os quais apresentam diferentes comprimentos de escala, e suas interações com as entradas meteorológicas que variam no tempo e espaço, resulta num fluxo de água e energia cujas propriedades escalares são desconhecidas. Pesquisas sobre interações superfície terrestre e atmosfera sugerem uma forte união entre os processos hidrológicos na superfície terrestre e o clima. Devido a essa união, o tema "interação escalar" nos processos superfície / atmosfera tem emergido como um dos problemas mais críticos não resolvidos pela parametrização dos modelos climáticos.

Os componentes do sistema da global Terra presentes na atmosfera, na hidrologia e na superfície terrestre operam em diferentes escalas de tempo e espaço. Segundo Feddes (1995), resolver esta incongruência escalar, bem como entender e modelar a complexa interação dos processos superficiais em diferentes escalas, representa o principal desafio para hidrólogos, ecologistas e meteorologistas.

Segundo Feddes (1995), estudos sobre o balanço hídrico no solo são, usualmente, realizados na escala espacial de 1 a 100 m, usando uma escala temporal de dias até meses. Estudos sobre micrometeorologia são feitos na mesma escala espacial mas com uma resolução temporal muito menor. Estudos na mesometeorologia são realizados em regiões de vários quilômetros, onde problemas hidrológicos regionais são postos nesta escala espacial ou maior, mas com uma resolução temporal de meses a anos. Processos físicos e biológicos na camada limite da atmosfera e na interface atmosfera / superfície interagem não linearmente e em diferentes escalas.

Segundo Shamir (1992) apud Feddes (1995), o elo entre os Modelos Globais Climáticos (GCMs) deve satisfazer duas condições.

- processos terrestre devem ser representados adequadamente nos GCMs. Provavelmente, a parte mais frágil do GCMs atualmente é o elo entre o limite inferior da atmosfera com a superfície do solo. Para promover esta ligação é necessário fazer uma ponte entre as diferentes escalas usadas na hidrologia e nos GCMs. Os modelos hidrológicos devem ser simples o suficiente para não criar uma demanda computacional demasiada.

- um modelo combinado deve ser capaz de refletir variações no solo, topografia e cobertura vegetal. A conexão entre hidrologia e meteorologia ocorre através da camada limite planetária, então, o "elo perdido" entre GCMs e modelos hidrológicos se manifesta na mesoescala.

Segundo Hendersom-Sellers et al. (1995), os criadores de Modelos Globais Climáticos (GCMs) pegam a teoria na microescala e aplicam em seus modelos na macroescala. Fazendo isto, eles parecem ter pulado a mesoescala que é de suprema importância para os hidrólogos e que contém a dinâmica da camada limite planetária (PBL) e das interações heterogêneas na superfície / atmosfera. Uma importante questão é que nem a aplicação desta escala local de observação, nem a teoria para grandes áreas do GCMs são válidos.

Para se ter noção da complexidade dos processos hidrológicos, podemos observar a mudança das propriedades físicas de um rio ao longo da sua bacia hidrográfica, como mostra a Figura 2.3. A figura mostra seções transversais do rio em três pontos distintos da bacia: seção A na parte alta da bacia (cabeceira); seção B na parte média; e seção C na parte baixa.

Na seção A, o rio apresenta pequena vazão, é estreito e raso, e com grande declividade. Seguindo a jusante da seção A, a vazão aumenta e diminui a declividade do rio, conseqüentemente, sua largura e profundidade aumentam. A seção A é a mais encaixada do as demais, de forma que, nesse trecho, a bacia é menos sujeita a inundações, ao contrário do trecho da seção C, que por ser mais plana, corre maior risco de inundações.

Logo, uma pequena bacia que englobe apenas o trecho da seção A, não será capaz de representar todos os processos hidrológicos dominantes na escala de bacia que ocorrem na seção C, e vice e versa, pois, apesar de serem os mesmos processos hidrológicos que ocorrem em ambos os casos, porém os processos dominantes são diferentes em cada trecho da bacia, em cada escala de estudo.

Conseqüentemente, só podemos transmitir informação de um trecho para outro com fidelidade, se conhecermos como os processo hidrológicos variam com a escala, reconhecendo os processos dominantes em cada escala ou determinando qual a abrangência dos processos hidrológicos.

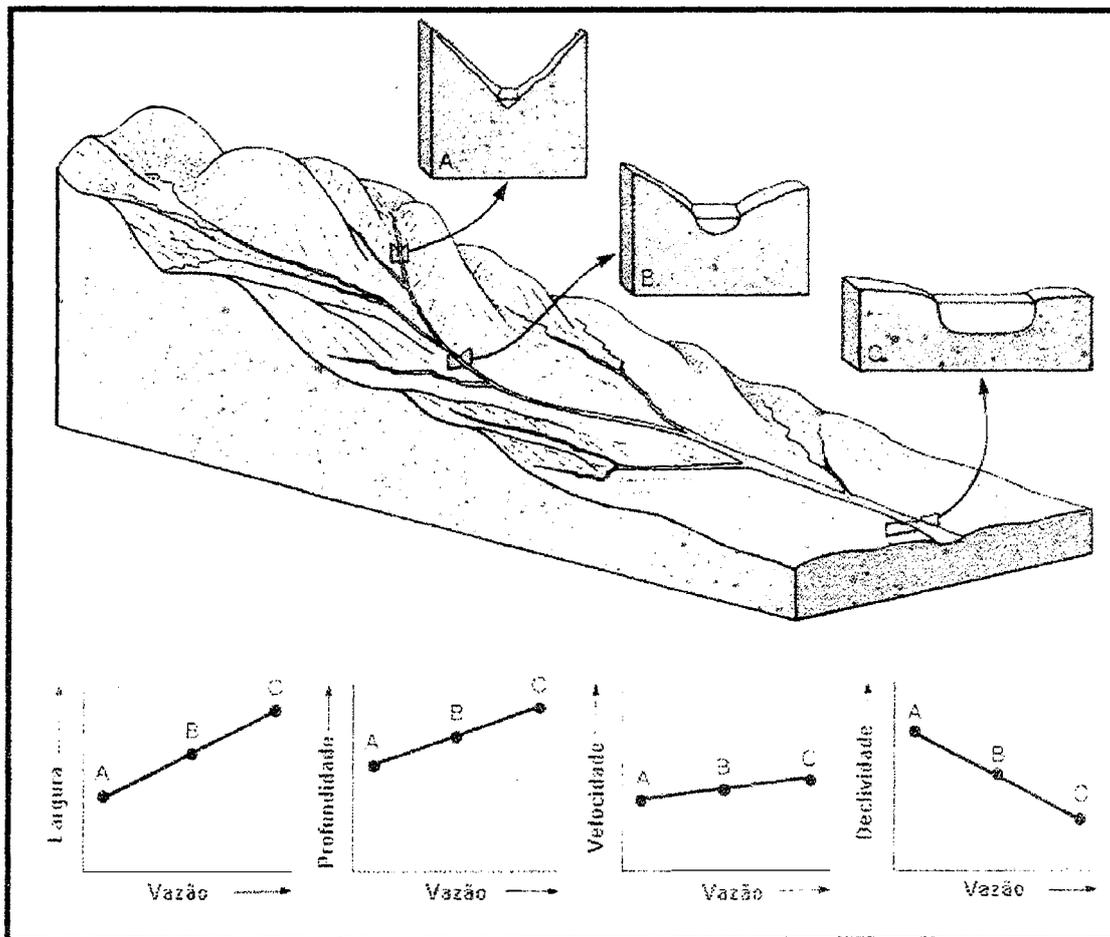


Figura 2.3. Alterações das propriedades do rio ao longo da bacia hidrográfica (Modificado de Skinner e Porter, 1995)

2.2. Abordagens das escalas hidrológicas

Existem duas formas principais de abordagem das escalas hidrológicas segundo Mendiondo & Tucci (1997a):

- As **integrações** (*up-scaling*) são feitas nas escalas temporais e com resoluções espaciais determinadas, das escalas menores para as escalas maiores, através de parâmetros constitutivos. Através de uma síntese matemática, combina os fatos empíricos e o conhecimento disponível na microescala, com teorias capazes de prever eventos numa escala maior. As limitações são: exigência de um tratamento matemático para as simplificações e aproximações; falta de conhecimento total do comportamento de alguns processos no espaço. O modelo hidrológico distribuído é uma tentativa de integração espacial, pois utiliza células que são integradas pela continuidade até a dimensão da bacia hidrográfica de interesse. Em cada célula, no entanto, os processos são tratados de forma uniforme;

- Nas **desagregações** (*down-scaling*), a informação do modelo macro, numa resolução de célula, é detalhada a uma resolução de sub-célula, através de alguma abordagem empírica ou estatística, com relações extraídas de observações e do funcionamento do sistema de uma forma distribuída.

Nos modelos embutidos, as entradas e saídas de um número finito de escalas podem ser observadas ou simuladas de forma embutida (uma dentro da outra). Cada uma destas áreas expressa uma síntese dos processos internos, mostrando como determinados parâmetros físicos mudam o valor médio e a variância na medida que a área aumenta ou diminui. Isto indica a mudança escalar quando se procura transferir a informação. Assim, as relações obtidas podem estabelecer a estrutura de modelos e parâmetros na simulação dos processos. (Mendiondo & Tucci, 1997a)

Nos modelos acoplados e paralelos, a discretização de um sistema é muito detalhada dentro de uma área específica e as suas condições de contorno não são bem definidas; para tanto, utiliza-se da técnica de resolver o problema em duas etapas.

Por exemplo, nos Modelos Globais Climáticos (GCM), quando é desejado conhecer o comportamento detalhado de uma região utiliza-se de uma malha grossa para simular todo o globo e estabelecer as condições de contorno da região, que então é simulada com uma malha mais detalhada (Modelos de Meso Escala). (Mendiondo & Tucci, 1997a)

2.3. Estudo da bacia vertente

Segundo Hatton et al. (1995), a escala de pequena bacia (10-10000 ha) é de particular importância na maioria das determinações hidroecológicas, incluindo erosão do solo, salinização, geração de inundações, dinâmica vegetal e fluxo da água. Adicionalmente, é nesta escala que os principais usos dos recursos hídricos da bacia são planejados. É, também, a escala na qual a distribuição lateral da água pode ser de importância crítica para o balanço hídrico da bacia.

A análise de tormentas ocorridas em vertentes (bacias de ordem zero no sistema de Strahler), permite distinguir as divisões principais dos escoamentos que ocorrem na bacia, como mostra a Figura 2.4, já que em bacias maiores o efeito do escoamento nos rios pode mascarar o resultado observado nos hidrogramas, pois estes são resultantes da integração dos processos hidrológicos em escalas diferentes, capazes de acoplar as propriedades geopedológicas, bióticas, humanas e climáticas que atuam na vertente. (Mendiondo & Tucci, 1997b)

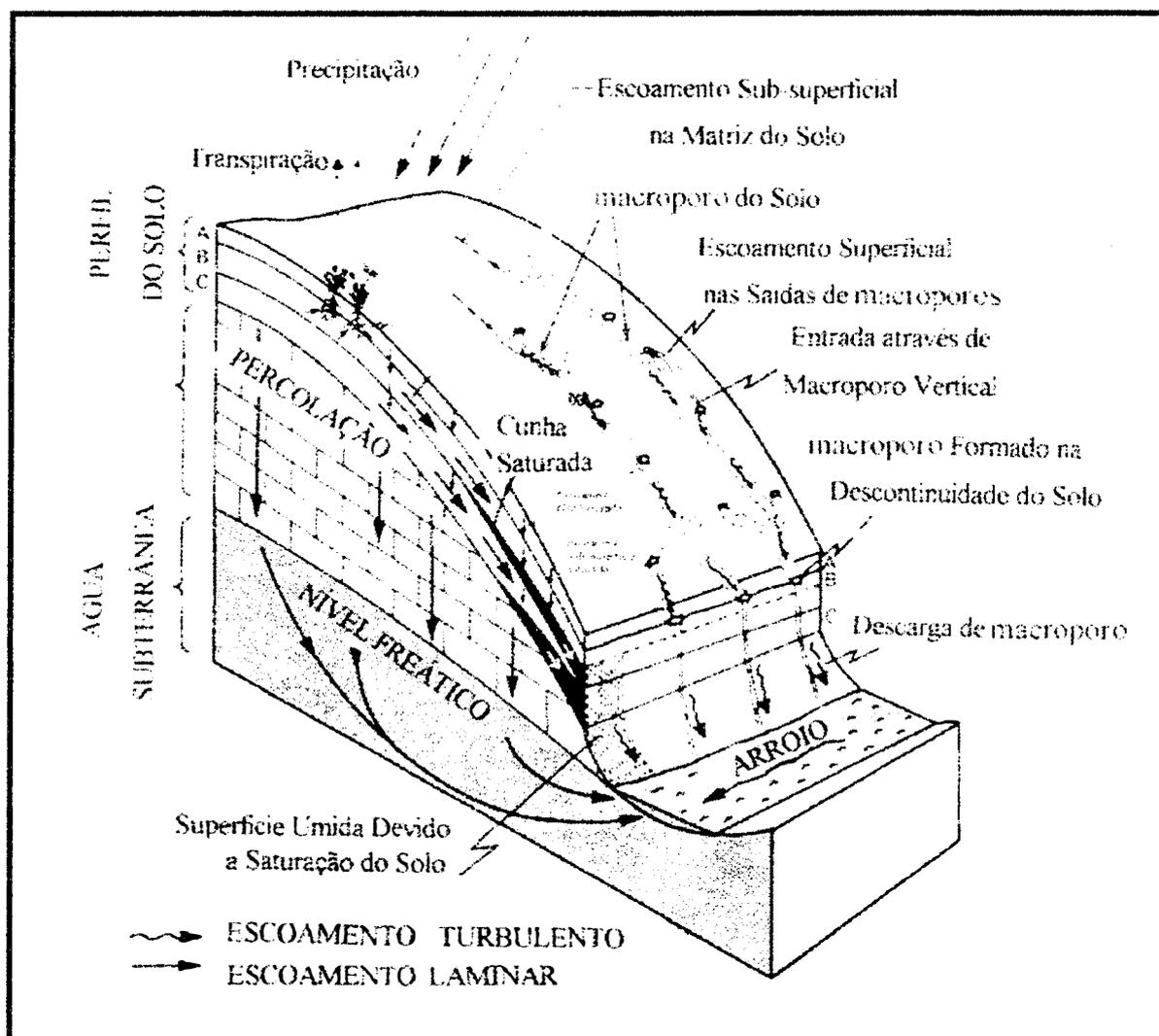


Figura 2.4. Geração de escoamento na vertente (Mendiondo & Tucci, 1997b)

2.4. Escala na regionalização

Pilgrim (1983) comenta que a validade da transferência dos resultados de pesquisas de pequenas para grandes bacias, e de uma região para outra, é de importância prática óbvia. Uma grande proporção das pesquisas em hidrologia tem sido realizada em pequenas bacias, mas as bacias maiores são geralmente de maior importância prática e é nelas que os resultados das pesquisas precisam ser aplicados em projetos eficientes.

Enquanto a questão de similaridade da resposta hidrológica na escala de bacia é de grande importância, existem poucas publicações direcionadas ao problema sobre indícios dos processos hidrológicos em bacias de campo. Existe uma abundância de literatura de relevância indireta, incluindo os estudos sobre o desenvolvimento de todos os tipos de relações regionais.

Entretanto, a maioria desses estudos são de natureza empírica. Vorst and Bell (1977) apud Pilgrim (1983) revisaram uma grande extensão de relações regionais para parâmetros de escoamento e volume superficial. Eles acharam que apenas três variáveis físicas da bacia são de significativa consistência na previsão de características hidrológicas. Essas variáveis são: a área da bacia para a previsão do volume superficial escoado; e o comprimento do curso d'água principal e declividade para obtenção de hidrogramas. A relação entre comprimento do curso d'água e área é bem estabelecida, e a declividade também é correlacionada com o comprimento e área de uma dada região. Dessa forma, a área é efetivamente a única característica da bacia que tem sido considerada para relacionar as variáveis hidrológicas. (Pilgrim, 1983)

Sobre isso, Pilgrim (1983) faz três comentários: primeiro, é aparente que apenas a área, ou outras medidas na qual ela é relacionada, fornece uma base inadequada para o entendimento da similaridade da resposta da bacia. Segundo: um melhor entendimento dos processos hidrológicos e suas variações é necessário para oferecer uma base mais forte para a quantificação das relações hidrológicas na escala de bacias. O efeito da variabilidade espacial dos processos parece ser de particular importância. Terceiro, existe a necessidade de reconhecer algumas das limitações dos dados hidrológicos que impedem o desenvolvimento de relações de similaridade de bacias aferidas ou o campo de verificação das relações desenvolvidas de uma suposta bacia teórica.

Pilgrim (1983) conclui que os processos hidrológicos na escala de bacia são muitos variáveis, e que não é possível generalizar resultados de uma região. Tentativas de generalização são perigosas e se opõem à produção de um amplo entendimento dos processos e desenvolvimento de relações válidas. O reconhecimento desse fato parecer ser o principal passo na direção certa. Para habilitar que mais avanços significativos sejam feitos na transferência de relações hidrológicas entre diferentes tamanhos de bacias e diferentes regiões, será necessário obter mais conhecimentos sobre os processos. Isto irá requerer observações de campo detalhadas sobre um longo alcance de regiões, em especial, nos dados fluviométricos e pluviométricos atualmente coletados. Em particular, mais informações são requeridas sobre a variação espacial dos processos hidrológicos.

Um outro ponto de vista sobre a regionalização hidrológica é apresentado por Becker (1995). Segundo o autor, é conhecido que na hidrologia é necessário usar modelos e princípios diferentes para diferentes escalas.

Na microescala, a aplicação de modelos de processos elementares, isto é, na forma de equações diferenciais fundamentais de hidro e termodinâmica, é a mais apropriada para simples folhas, plantas e colunas de solo. Essas equações são igualmente válidas para áreas maiores. (Becker, 1995)

Na superfície terrestre, diferente da atmosfera e de grandes corpos d'água, várias heterogeneidades, discontinuidades, mudanças de fase e outras mudanças ocorrem de tal maneira que as condições de continuidade e homogeneidade interna não são cumpridas. Consequentemente, a aplicação das leis fundamentais supracitadas se torna questionável (Becker, 1995).

Nos modelos de escala maior, os processos de menor escala podem ser ou ignorados ou representados por suas estatísticas. É conhecido na prática que os modelos baseados no continuum são muito complexos para que a variabilidade espacial dos sistemas de natureza hidrológica possa ser levada em conta em modelos de grande escala e elas tem que ser simplificadas para uma tal extensão que se transformam num modelo empírico (Dooge, 1985 apud Becker, 1995).

Fiering (1982) apud Becker (1995) fez o seguinte comentário: “Uma das suposições mais freqüentemente feita é que nosso conhecimento dos elementos de microescala e processos (no ciclo hidrológico) pode, com poucas modificações, ser extrapolado, em princípio, para o entendimento do ambiente de macroescala. Desse modo, previsões fidedignas são habilitadas a serem feitas pela ligação entre a solução para formar uma cadeia usual. Infelizmente, raramente acontece dessa maneira. Mais cedo ou mais

tarde, em alguma escala ou dimensão característica, explicações mecânicas falham e é necessário substituir por hipóteses causais não verificáveis ou representação estatística dos processos”.

2.5. Impacto da mudança do uso do solo no escoamento

A alteração da superfície da bacia tem impactos significativos sobre o escoamento. A cobertura e tipo de solo influenciam diretamente na capacidade de infiltração. Em florestas, a capacidade de infiltração do solo é alta, o que produz pequena quantidade de escoamento. Em solos com a superfície desprotegida que sofrem a ação de compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir consideravelmente (Tucci & Clarke, 1997)

Em regiões agrícolas, as culturas anuais envolvem a mudança da cobertura do solo ao longo do ano devido aos diferentes estágios de desenvolvimento da planta e aos diferentes tipos de plantio. Esse processo envolve a preparação do solo (aragem) em determinadas épocas do ano, resultando na falta de proteção do solo em épocas que podem ser chuvosas. Normalmente o preparo do solo é realizado antes do período chuvoso, porém na região Sul do Brasil não existe uma sazonalidade bem definida, podendo num determinado mês haver uma grande precipitação ou um período seco, o solo pode estar sujeito a energia do impacto de chuvas intensas que tendem a produzir erosão e modificar as condições de infiltração do solo (Tucci & Clarke, 1997).

O plantio sem nenhum cuidado com a conservação do solo tende a aumentar consideravelmente a erosão, com grande aumento no escoamento com relação as condições prévias de floresta ou campo nativo. Adicionalmente, as estradas e as divisas de propriedades são geradoras de alterações do solo devido a erosão e a compactação que se forma (Tucci & Clarke, 1997).

Segundo Tucci & Clarke (1997), atualmente as práticas geralmente recomendadas para o plantio são:

- **Conservacionista** - utiliza o terraceamento e plantio segundo as curvas de nível, para direcionar o escoamento e evitar a erosão e o dano às culturas. Esse tipo de plantio tende a criar melhores condições para a infiltração, nas chuvas de baixa ou média intensidade, mas quando ocorre o rompimento do terraço nas cheias maiores a água pode provocar ravinamento na direção da maior declividade do escoamento. Essa prática tem sido acompanhada pelo planejamento de microbacias, que retira as divisas das propriedades, organizando o uso do solo de acordo com microbacias e planeja as estradas vicinais;

- **Plantio direto** - esse tipo de plantio não revolve a terra e é realizado diretamente sobre a superfície do solo acima dos resíduos do plantio anterior. A tendência é que praticamente toda a água se infiltre, e o escoamento ocorra predominantemente na camada sub-superficial. Esse tipo de plantio pode gerar problemas em áreas com grande declividade, pois o escoamento sub-superficial, ao brotar na superfície, pode gerar erosão regressiva (como o piping). Em declividades mais suaves a erosão é reduzida já que o escoamento superficial é mínimo.

O plantio direto produz uma maior regularização sobre o fluxo de estiagem e tende a apresentar também aumento do escoamento médio, se comparado com a floresta, devido a redução da evapotranspiração e interceptação. A tendência é que a substituição da floresta por plantio com prática conservacionista também apresente aumento do escoamento médio, mas podendo reduzir o escoamento durante as estiagens, dependendo das características do solo e do aquífero (Tucci & Clarke, 1997).

Castro (1996), analisando micro parcelas de 1 m² de solo preparado com plantio convencional e plantio direto, verificou que, nesta escala, para precipitações naturais, o plantio direto gera muito menos escoamento superficial do que o plantio convencional.

2.6. Conclusão

O tema de escalas hidrológicas é muito amplo, porém seu entendimento se faz necessário para o desenvolvimento da ciência hidrológica (Klemes, 1983; Pilgrim, 1983; Wood et al., 1988; Shamir, 1995; Feddes, 1995; Hatton et al., 1995; Hendersom-Sellers et al., 1995; Bárdossy, 1995; Becker, 1995; Dooge, 1997; Wood, 1998; Kirkby, 1999; Merz et al., 1999).

Fiering (1982) apud Becker (1995) e Pilgrim (1983) chegam a questionar a validade da transferência de informações hidrológicas através da regionalização, devido à falta de uma melhor compreensão da influência da escala nos processos hidrológicos.

Portanto, trabalhos que proporcionem alguma contribuição no sentido de esclarecer o amplitude dos processos hidrológicos dominantes em diferentes escalas, serão de grande utilidade prática e científica.

3. BACIA DO RIO POTIRIBU E DO RIO IJUÍ

3.1. Localização

3.1.1. Rio Ijuí

A bacia do rio Ijuí localiza-se ao noroeste do estado do Rio Grande do Sul numa posição central do derrame basáltico sulamericano (Figura 3.1). O rio Ijuí é um afluente da margem esquerda do Rio Uruguai, fazendo parte da bacia hidrográfica do Rio da Prata que cobre uma área de 1.415.000 km² no Brasil; 920.000 km² na Argentina; 410.000 km² no Paraguai; 205.000 km² na Bolívia e 150.000 km² no Uruguai (Castro, 1996).

3.1.2. Rio Potiribu

O rio Potiribu é contribuinte da margem esquerda do rio Ijuí. A Figura 3.2 apresenta a localização da bacia do rio Potiribu e de suas sub-bacias. A bacia do Rio Potiribu está localizada nas proximidades das cidades de Ijuí e Cruz Alta e a cidade de Pejuçara está inserida dentro da bacia.

Estudos de Borges & Bordas (1988; 1990) apontam a bacia do rio Potiribu como representativa da região do planalto basáltico (Figura 3.1), que se estende por 230.000 km². O método utilizado pelos autores inclui duas partes: identificação de regiões físico – climáticas teoricamente homogêneas; e escolha de uma bacia típica em cada região. Os critérios para a escolha da localização exata da bacia foram:

1. motivação das comunidades locais;
2. estar localizada na região mais cultivada (oeste do meridiano 52° W);
3. facilidades de acesso e de medição;
4. possibilidade de utilizar um modelo de discriminação espacial;
5. possibilidade de implantar vários esquemas de ocupação do solo nas células elementares; e
6. existência do maior número possível de bacias experimentais na bacia representativa.

Pelos critérios de escolha fixados, os autores identificaram duas localizações potenciais para as bacias representativas:

- a Bacia do Rio Potiribu; e
- a Bacia do Rio Forquetinha.

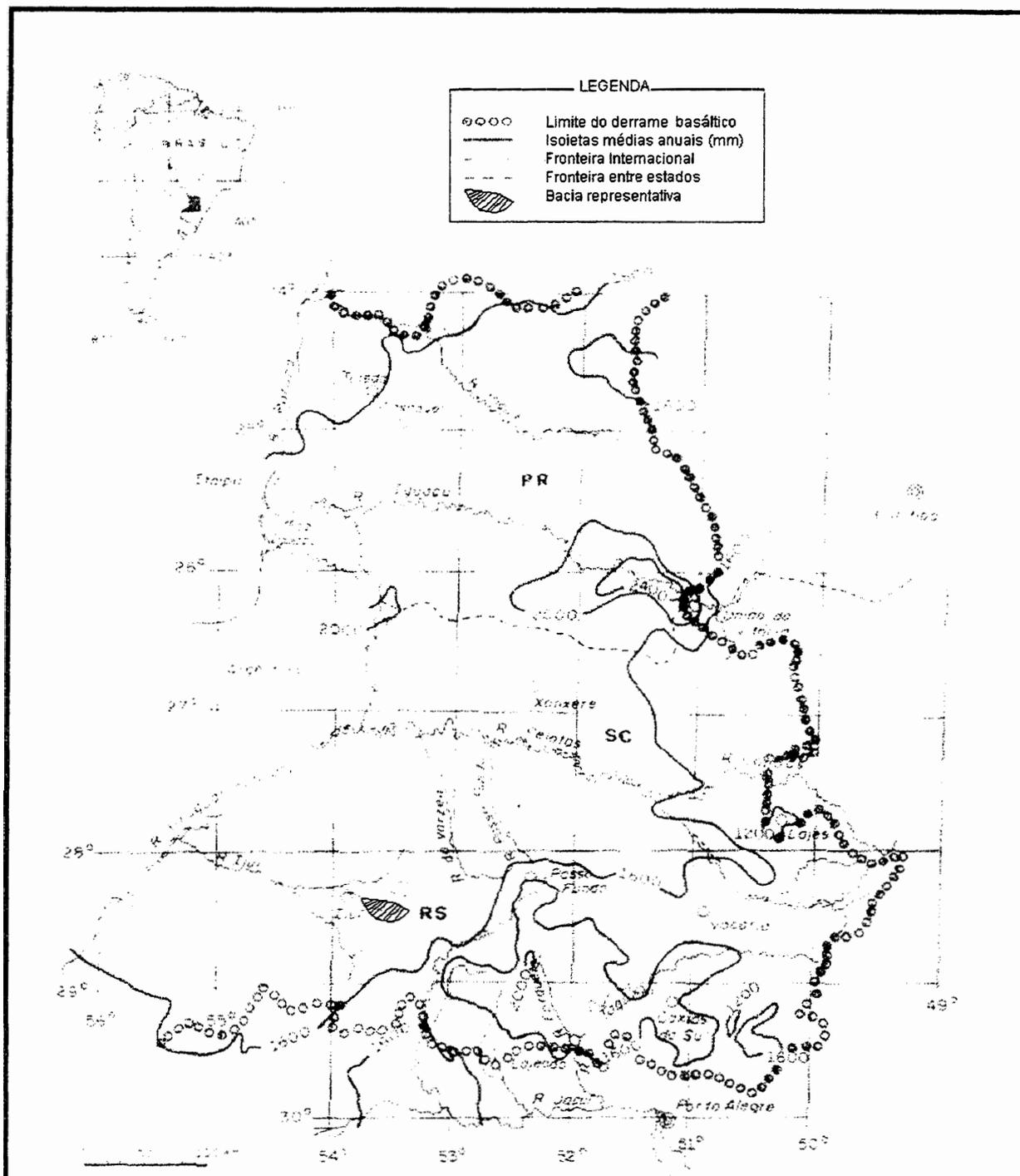


Figura 3.1. Região do Planalto Basáltico
(Modificado de Borges e Bordas, 1988)

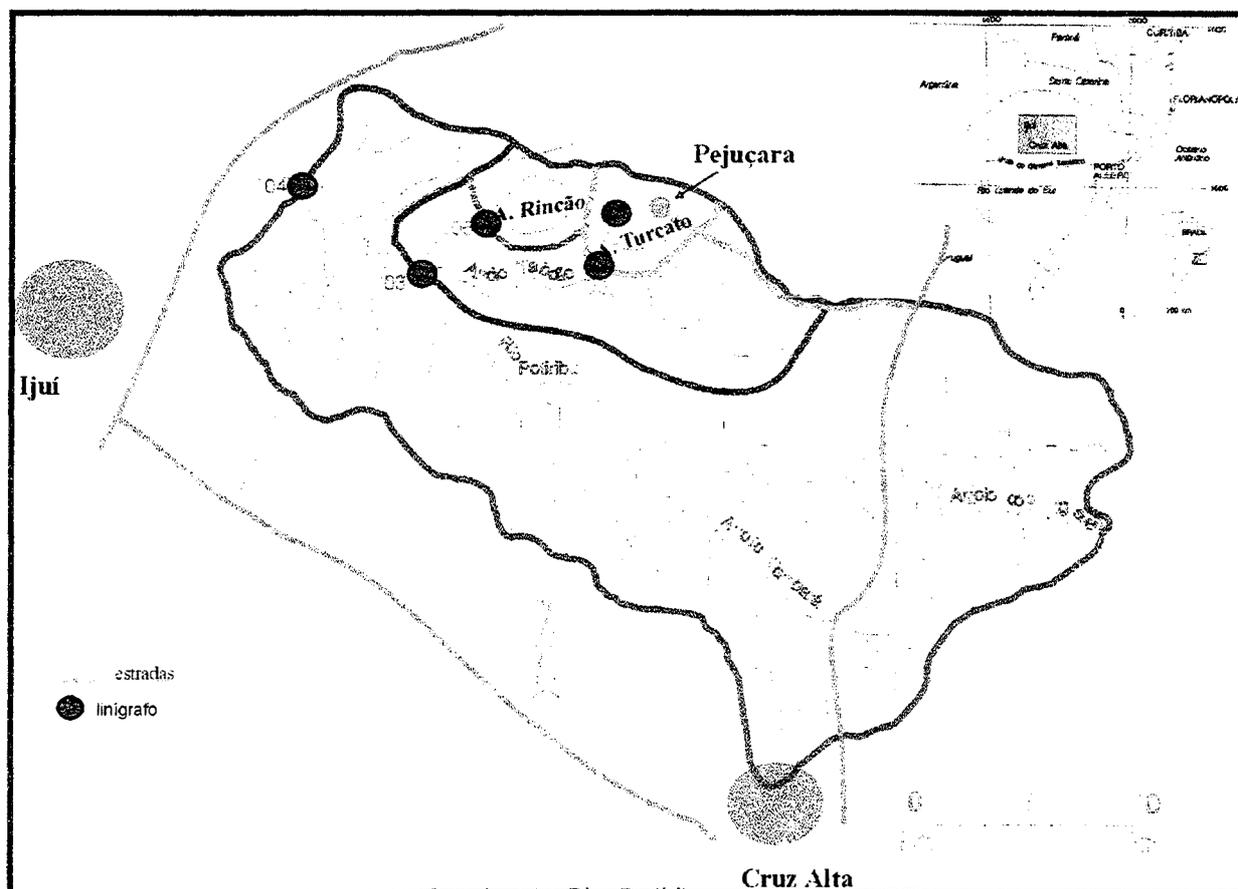


Figura 3.2. Bacia do rio Potiribu

3.2. Bacia do rio Ijuí

Para o melhor entendimento da variação do comportamento hidrológico em função da escala da bacia, as bacias estudadas foram divididas em quatro classes, conforme a área da bacia, como mostra a Tabela 3.1. As três menores bacias (Anfiteatro, Donato e Turcato) são bacias embutidas na bacia do rio Potiribu e foram o foco do estudo deste trabalho. Elas são descritas mais detalhadamente no próximo tópico (item 3.3.)

As demais bacias da região do Ijuí (áreas maiores que 600 km^2) foram utilizadas para a complementação dos estudos das bacias embutidas do rio Potiribu (áreas menores que 20 km^2).

Tabela 3.1 – Classificação das bacias

| Escala | Área (km^2) | Bacias |
|----------|------------------------|---|
| Vertente | < 0,20 | Anfiteatro |
| Micro | 0,20 – 100 | Donato e Turcato |
| Meso | 100 – 10.000 | Potiribu, Conceição, Nova do Conceição, Passo Faxinal, Mousquer, Santo Angelo e Ponte Mística |
| Macro | > 10.000 | Garruchos, Passo São Borja |

A seguir são descritos a disponibilidade de dados das bacias da região de Ijuí.

3.2.1. Postos pluviométricos

Os postos pluviométricos identificados na região de Ijuí são apresentados na Tabela 3.2 e representados na Figura 3.3. Esses postos são monitorados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e foram utilizados para a análise da variabilidade espacial e temporal das precipitações na região em estudo (Capítulo 4).

Tabela 3.2 – Características dos postos pluviométricos da região de Ijuí

| Código (ANEEL) | Posto | Latitude | Longitude | Período de Obs. |
|----------------|------------------|-----------|-----------|--------------------|
| 02853003 | Conceição | 28° 31' S | 53° 53' O | Jan/1960-Out/1998 |
| 02853006 | Ijuí | 28° 38' S | 53° 55' O | Jan/1944-Nov/1976 |
| 02853010 | Passo do Faxinal | 28° 16' S | 53° 51' O | Jan/1958-Out/1998* |

Fonte: BRASIL, 2000a

* Período com falhas

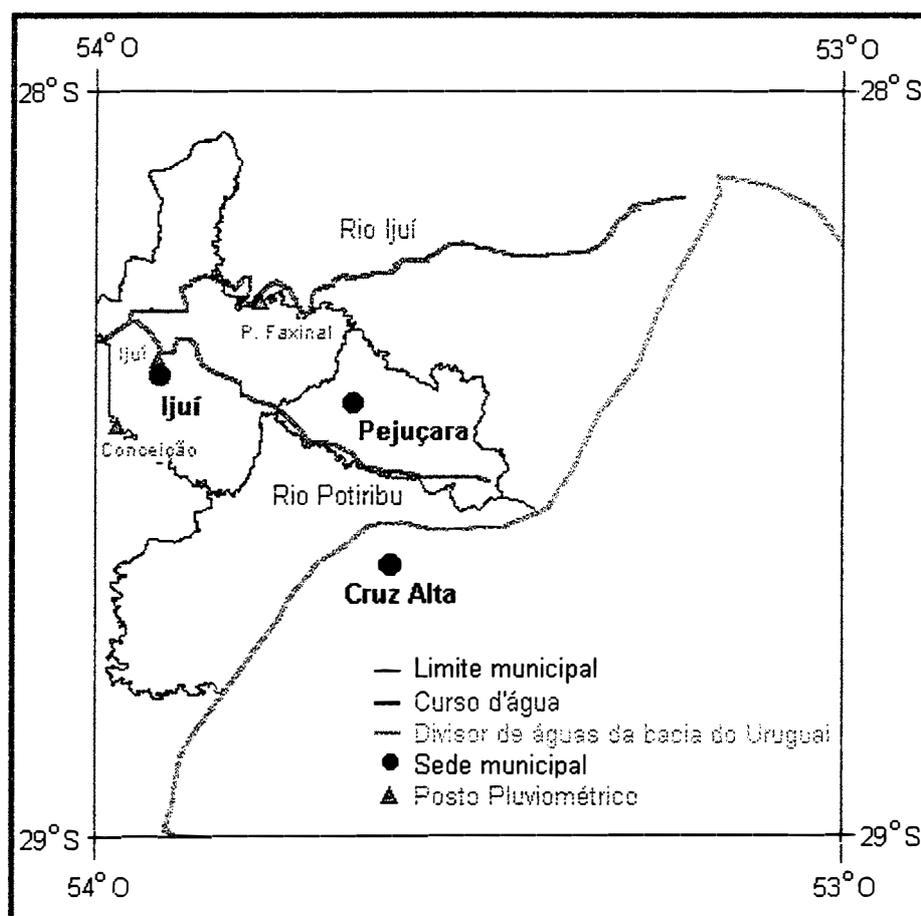


Figura 3.3. Postos pluviométricos na região de Ijuí
(Modificado de BRASIL, 2000b)

3.2.2. Postos fluviométricos

A complementação dos estudos das bacias embutidas do Potiribu (áreas menores que 20 km²) foi realizada através da comparação dos resultados obtidos dessas bacias com as demais bacias da região do Ijuí (áreas maiores que 600 km²) descritas na Tabela 3.3, pertencentes à rede fluviométrica da sub-bacia 75 da ANEEL (Beltrame, 2000). Para estes postos foi considerado o período de 1989-1998, para coincidir com os dados das bacias embutidas do Potiribu.

A Figura 3.4 mostra a localização dos postos da rede fluviométrica da região do Ijuí apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Rede fluviométrica da região de Ijuí

| CÓDIGO | RIO | ESTAÇÃO | ÁREA (km ²) | TIPO DE ESTAÇÃO |
|----------|---------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| 75155000 | Rio Ijuí | Passo Faxinal | 2003 | FDQS |
| 75185000 | Rio Potiribu | Pte. Nova do Potiribu | 628 | FDS |
| 75200000 | Rio Conceição | Conceição | 805 | FD |
| 75205000 | Rio Conceição | Pte. Nova Conceição | 966 | FDSQ |
| 75230000 | Rio Ijuí | Santo Ângelo | 5414 | FD |
| 75295000 | Rio Ijuizinho | Colônia Mousquer | 2131 | FDSQ |
| 75320000 | Rio Ijuí | Pte. Mística | 9420 | FRDSQT |
| 75550000 | Rio Uruguai | Garruchos | 104162 | FRDQT |
| 75780000 | Rio Uruguai | Passo São Borja | 110898 | FRDSQT |

F = fluviométrica; D = medição de descarga líquida; S = medição de descarga sólida;

Q = qualidade d'água; T = telemetria.

Fonte: modificado de Beltrame, 2000

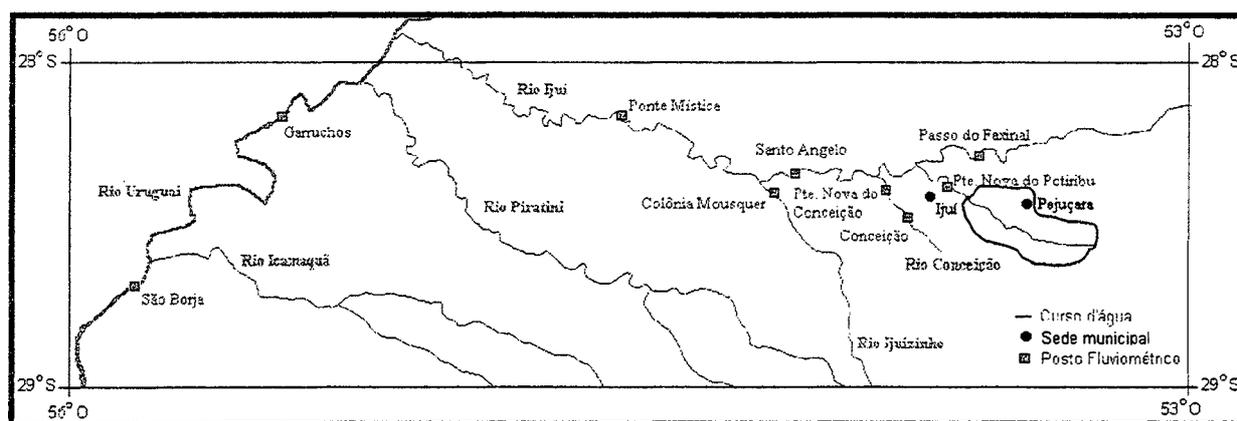


Figura 3.4. Localização dos postos fluviométricos da região do Ijuí (Modificado de BRASIL, 2000b)

3.3. Projeto Potiribu

O projeto Potiribu começou em 1989, quando o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) iniciou uma pesquisa com o ORSTOM/IRD (Instituto Francês de Pesquisa Científica para o desenvolvimento em Cooperação), num acordo bilateral CNPq/ORSTOM/IRD.

O objetivo geral do projeto é estudar os impactos sobre o comportamento hidrossedimentológico dos solos e dos rios do planalto basáltico do sul do Brasil, e, mais especificamente, os efeitos dos cultivos de verão (soja/milho) e de inverno (trigo/aveia) sobre os recursos hídricos da região noroeste do Rio Grande do Sul (Chevallier, 1993a).

A fase da cooperação com a ORSTOM/IRD encerrou-se em dezembro de 1993. O aparato experimental foi mantido graças aos esforços da comunidade local e verbas de projeto de pesquisa CNPq, FINEP e FAPERGS. Diversos estudos foram realizados nos últimos anos, como: Chevallier (1993a) complementado em Castro et al. (2000); Castro (1996); Castro et al. (1997; 1999); Menciondo (1995); Menciondo & Tucci (1997a; 1997b), entre outros.

Em outubro de 1997 a pesquisa teve um reforço em suas atividades e novos equipamentos foram adquiridos através do programa RECOPE/REHIDRO – sub-rede 1 (financiamento FINEP/CNPq). (Castro et al., 2000)

3.4. Descrições das bacias embutidas do Potiribu ϵ

As bacias estudadas são sub-bacias da bacia do rio Potiribu: Turcato, Donato (sub-bacia do Turcato) e Anfiteatro (sub-bacia do Donato), representadas na Figura 3.5 e na Figura 3.6. As características físico-morfológicas das bacias são apresentadas na Tabela 3.4.

A bacia do Turcato (Figura 3.5), de 19,5 km², que engloba as bacias do Donato (1,1 km²) e do Anfiteatro (12,5 ha), é tributário do rio Potiribu e foi escolhida como bacia representativa do Planalto Médio, que cobre uma área de centenas de quilômetros quadrados (Castro et al., 1999). É uma bacia agrícola, com um pouco de criação de gado e a cidade de Pejuçara ocupa a área de aproximadamente 10% da bacia. Na bacia existe pouca vegetação, alguns bosques e mata de galeria.

Tabela 3.4 - Características físico-morfológicas das bacias estudadas

| Bacia | Anfiteatro | Donato | Turcato |
|---|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Latitude do exutório | 28°25'00" S | 28°25'24" S | 28°26'19" S |
| Longitude do exutório | 53°41'15" O | 53°40'33" O | 53°40'57" O |
| Altitude máxima (m) | 468.7 | 468.7 | 485 |
| Altitude do zero da régua (m) | 430.7 | 386.8 | 365.5 |
| Área (km ²) | 0.125 | 1.10 | 19.5 |
| Perímetro (km) | 1.42 | 4.54 | 17.9 |
| Índice de compacidade | 1.13 | 1.22 | 1.14 |
| Comprimento do retângulo equivalente (km) | 0.41 | 1.60 | 5.42 |
| Desnível (m) | 38.0 | 81.9 | 119.5 |
| Índice de declividade global (m/km) | 92.3 | 51.2 | 22.1 |
| Referência | Levantamento especial | Levantamento Especial | Mapa oficial 1/50 000 corrigido |

Fonte: Chevallier, 1993a

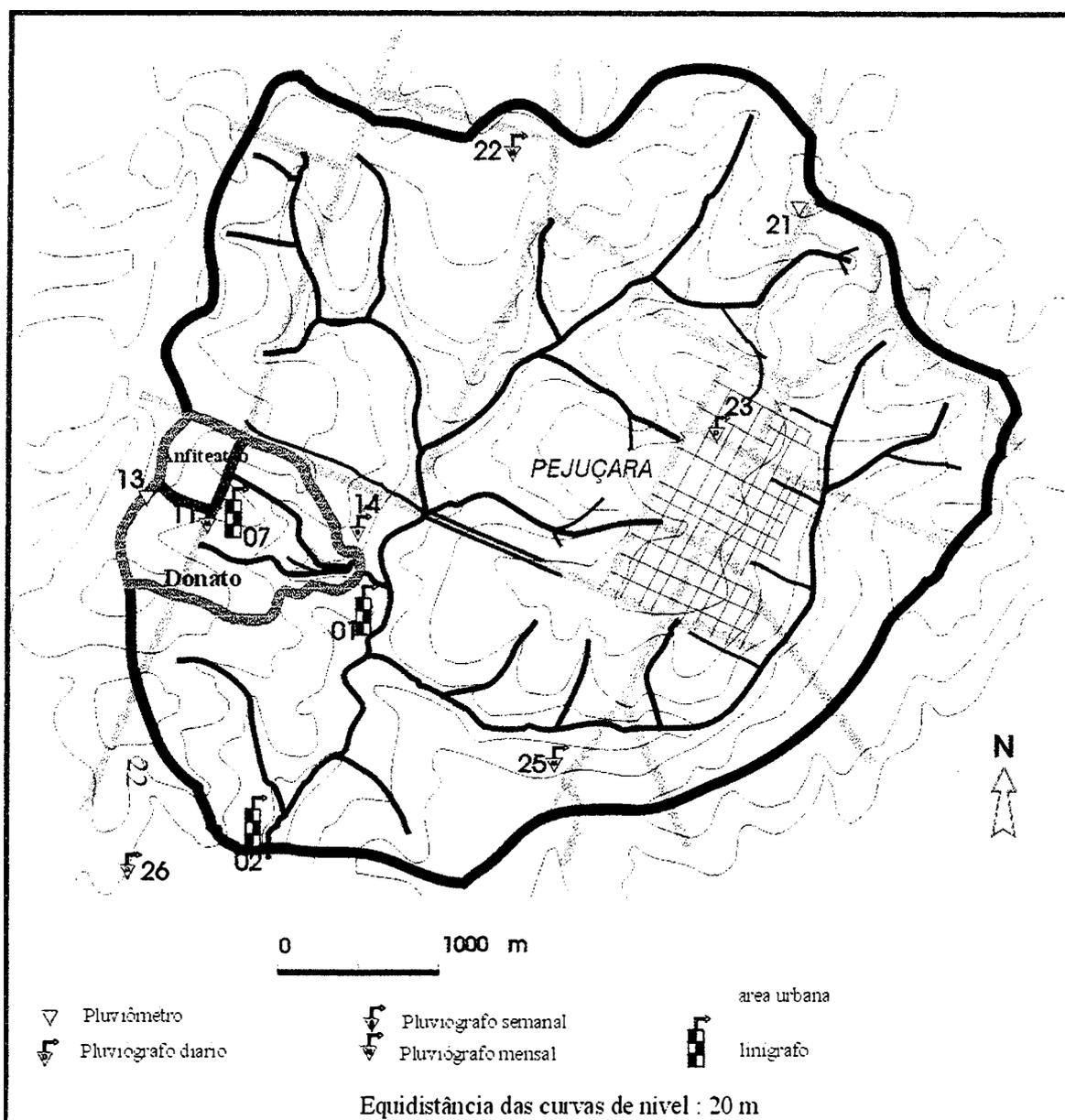


Figura 3.5. Bacia do Turcato
(Castro et al., 2000)

A bacia do Donato possui dois canais principais (Figura 3.6) e apresenta declividade média de 5%. É totalmente agrícola e apresenta somente mata de galeria.

A bacia do Anfiteatro, a menor das bacias monitoradas pelo Projeto Potiribu, possui um canal não permanente e uma talvegue muito curto. Esta parcela fica dentro da bacia do Donato (área marcada na Figura 3.6). Esta bacia pertence a um único proprietário e é totalmente agrícola. A pouca vegetação que possuía foi destruída no início dos anos 90.

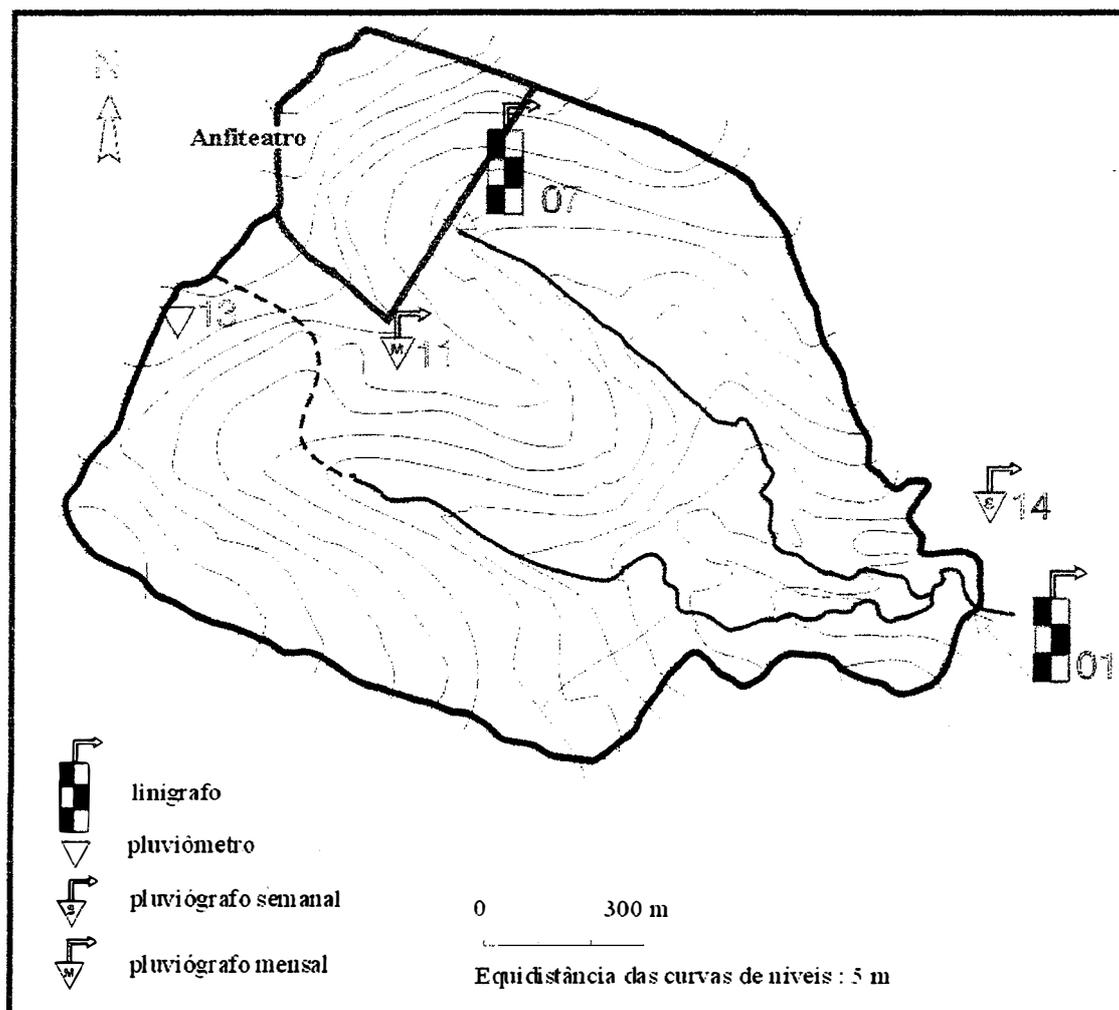


Figura 3.6. Bacia do Donato, incluindo a Bacia do Anfiteatro (Castro et al., 2000)

3.5. Pedologia e Geomorfologia da bacia do rio Potiribu

O substrato do derrame basáltico continental consiste em, aproximadamente, camadas horizontais com espessura máxima de 15 m (Castro et al., 1999). Os solos predominantes na bacia do rio Potiribu são classificados como Latossolo roxo distrófico (solo Santo Ângelo - SA), como mostra a Figura 3.7. São solos profundos, de espessura maior que 200 cm, podendo atingir mais de 400 cm, bem drenados, friáveis, de coloração vermelha-escura (Castro, 1992).

Na bacia do rio Potiribu, encontram-se também os solos (Figura 3.7): Latossolo vermelho escuro distrófico, substrato basalto (solo Passo Fundo - PF); Latossolo vermelho escuro distrófico, de textura média, substrato arenito (solo Cruz Alta - CA) e o litólico eutrófico, substrato basalto amigdalóide (solo Charrua - Ch).

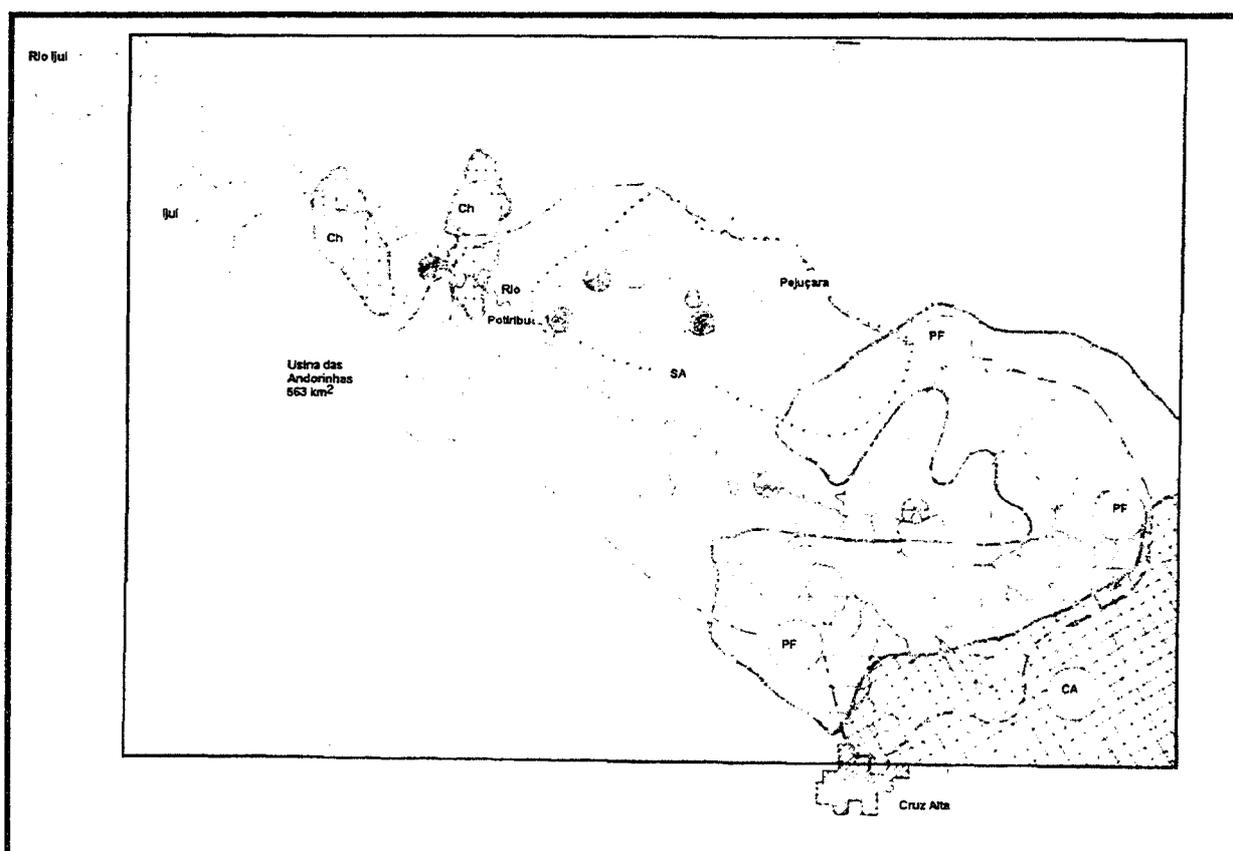


Figura 3.7. Mapa dos solos da bacia do rio Potiribu (Modificado de Castro, 1992)

Os solos predominantes da bacia do rio Potiribu (solo Santo Ângelo) estão presentes na totalidade das bacias do Turcato, Donato e Anfiteatro. Esses solos foram desenvolvidos a partir de rochas eruptivas basálticas e compreendem aproximadamente 60% da área do planalto basáltico sulino (Figura 3.7). A textura deste solo é argilosa, com 70% de argila, 18% de silte (diâmetros compreendidos entre 0,05 e 0,002 mm), 7% de areia fina (diâmetros entre 0,2 e 0,05 mm) e 5% de areia grossa (diâmetros entre 2 e 0,2 mm), segundo o Levantamento do reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul (1973) apud Castro, 1992.

O solo na bacia do anfiteatro foi identificado como terra roxa estruturada por Boulet et al. (1993) apud Castro & Chevallier (1993). Os autores apresentam a seguinte descrição do solo:

- Primeiro horizonte (0 a 30 cm): a cor é vermelho escuro (2,5 YR 3/4 a 3/3), a estrutura é poliédrica, a textura argilosa (56 a 68% de argila, 26 a 39% de areia). A porosidade aparente (macroporosidade) é bem desenvolvida, estando a maioria das raízes contidas neste horizonte;
- Segundo horizonte (30 a 50 cm): a cor é vermelho escuro (2,5 YR 3/4), estrutura poliédrica, a textura argilosa (70% de argila, 20% de areia). Este horizonte é nitidamente mais compacto que o anterior. A transição é abrupta. A macroporosidade é média a fraca;
- Terceiro horizonte (50 a 190 cm): mesma cor, estrutura e textura que o anterior. A diferença básica com o horizonte anterior é que este é menos compacto e a macroporosidade é mais desenvolvida;
- De 190 a 220 cm aparecem pequenos fragmentos da rocha (basalto) alterada. O basalto alterado dominante aparece em profundidades superiores a 220 cm. Quanto a distribuição de argila, esta aumenta com a profundidade até quase 80%.

A diferença na compactação entre os diferentes horizontes é causada pelas máquinas agrícolas ao preparar o solo. Elas revolvem a superfície, deixando-a não compacta e compactam a camada imediatamente inferior. Na camada com profundidade superior a 50 cm, a máquina não exerce mais influência, ficando menos compacta que a anterior (Castro & Chevallier, 1993).

No perfil de solo realizado na bacia do Anfiteatro, por Leprun (1994) apud Castro et al. (1999), a espessura do solo variou entre 3 a 8 m, não sendo encontrado o aquífero até essa profundidade.

A altitude desta região é de 300 a 500 metros, possuindo relevo ondulado a suavemente ondulado, formado por elevações com centenas de metros de comprimento e declive que varia de 3 a 10%, podendo ocorrer, em relevo mais forte, no máximo com 15% de declivê. A amplitude vertical das ondulações situa-se entre 50 e 100 metros (Castro, 1992).

3.6. Uso do solo na bacia do rio Potiribu

A região apresenta, em sua maior parte, solos do tipo Latossolos roxos e terra roxa estruturada e clima bom para o cultivo. As bacias estão quase totalmente cultivadas, apenas 10% da área total consiste em floresta nativa remanescente ou foi abandonada devido à ocorrência de voçoroca.

As principais culturas da região são a soja e o milho como culturas de verão e o trigo e a aveia como culturas de inverno. Em uma parte menor da bacia é desenvolvida a pecuária. Na maior parte da bacia, em geral, os solos permanecem cobertos o ano inteiro seja com lavoura ou pastagem. O solo fica descoberto na época da colheita de uma safra e quase imediatamente após já é plantada a próxima cultura, ficando pouco tempo sem cobertura. O plantio de verão (soja e milho) ocorre em novembro e sua colheita em abril. As culturas de inverno (trigo e aveia), geralmente, são plantadas em maio e colhidas em outubro (Castro, 1992).

A bacia do rio Potiribu não é totalmente rural. Na bacia do Turcato está localizada a cidade de Pejuçara que ocupa aproximadamente 10% de sua área (cerca de 200 ha de ocupação densa). Essa bacia é ocupada com agricultura na maior parte de sua extensão e com pecuária em uma área menor. Na bacia do Donato, que engloba a bacia do Anfiteatro, a agricultura ocupa a totalidade da bacia (Castro, 1992).

Na Tabela 3.5 são apresentadas as percentagens das diferentes coberturas do solo nas bacias embutidas do Potiribu.

Tabela 3.5 – Percentagem de diferentes coberturas do solo nas bacia embutidas do Potiribu

| Cobertura | Bacia do Turcato | Bacia do Donato | Bacia do Anfiteatro |
|-----------|------------------|-----------------|---------------------|
| Floresta | 6% | 16% | 3% |
| Pastagem | 18% | - | - |
| Cultivo | 67% | 83% | 97% |
| Solo nú | 1% | 1 | - |
| Urbano | 8% | - | - |

Fonte: Adaptado de Mendiondo, 1995

Nos anos 70 teve grande impulso a cultura da soja através de plantio convencional. No plantio convencional, os agricultores utilizam o terraço como técnica de cultivo. Estes terraços, em geral, são de base estreita e compostos de duas partes: um canal de seção convexa funcionando tanto em retenção como em escoamento da água pluvial e um camalhão de seção côncava, que serve como barreira para a água que escoar no canal não passar para o terraço seguinte. Em geral os terraços têm 2 m de distância entre a primeira e última fileira de cultivo e 20 m entre um terraço e outro, variando de acordo com a declividade do terreno. Os canais tem uma declividade de 1 a 3% (Castro, 1992).

A partir de 1994, os fazendeiros começaram a adotar o plantio direto como forma de melhorar os problemas com o escoamento superficial e com a erosão que existiam na região. (Castro et al., 1999)

O plantio direto é uma técnica de plantio que tem por característica principal a manutenção dos resíduos (raízes e folhas) da cultura anterior. O plantio da nova cultura é feito sobre a cultura anterior. Produtos químicos são utilizados antes do plantio, para combater as pragas. Uma evolução do plantio direto é o plantio direto sobre a palha que consiste em efetuar o plantio direto sobre a totalidade dos resíduos da cultura anterior (raízes e caules). Uma técnica aprimorada incorpora um rodízio das culturas o que leva a um completo equilíbrio químico e físico do solo (Castro, 1996).

3.7. Clima na região de Ijuí e Cruz Alta

O clima da região da bacia do rio Ijuí, segundo Beltrame (2000), está dentro da classificação mesotérmica brando superúmido sem seca (Cfa), assim descrita por Köppen:

Cfa - temperatura média das máximas superior a 22 °C e a média das mínimas entre -3 e 18°C e verão quente.

Segundo IPAGRO (1989), a temperatura média para a cidade de Cruz Alta (Figura 3.2) oscila entre 18 e 19 °C, sendo julho o mês mais frio (13 – 14 °C) e janeiro o mês mais quente (24 °C). A média das máximas é de 32 °C e a média das mínimas fica em torno de 8 °C.

O clima na região de Ijuí e Cruz Alta foi descrito por Chevallier (1991) que menciona Nimer (1989) ao definir o clima da região sul do Brasil como um clima mesotérmico do tipo temperado, caracterizado por sua homogeneidade e por sua unidade regional.

A região sul do Brasil é limitada a leste pelo Oceano Atlântico e o seu relevo é relativamente elevado (pode alcançar 1500 m) apresentando formas de planaltos simples. Está situada ao sul do Trópico de Capricórnio e possui quatro estações bem marcadas, relacionadas com a variação da altitude do sol no seu zênite durante o ano. A temperatura do ar acompanha essa variação sazonal, de maneira que pode alcançar valores próximos a 0° C no inverno e valores máximos de verões tropicais que ultrapassam 35° C (Chevallier, 1991).

Chevallier (1991) descreve a região sul do Brasil como local de confronto de diversas grandes massas de ar que, conforme seus movimentos, condicionam variações climáticas, particularmente as precipitações. Essas massas de ar são:

- Os anticiclones subtropicais do Pacífico e do Atlântico Sul, que ficam localizados principalmente sobre o oceano a oeste e a leste do continente sul americano, são massas de ar tropicais marítimas de temperatura geralmente elevada; esses anticiclones são particularmente estáveis.
- Os pequenos anticiclones tropicais, localizados na Amazônia, também quentes e úmidos, são muito móveis.
- O anticiclone polar, massa de ar frio e seco centrado sobre o sul do continente, é proveniente da superfície gelada do continente antártico.
- A depressão do Chaco, centrada nas planícies no norte da Argentina e do Paraguai, ao sopé da Cordilheira dos Andes, é extremamente móvel e pouco úmida. Essencial para o clima do sudeste do Brasil, apenas apresenta importância para o sul por ocasião de verões secos.

Chevallier (1991) distingue duas grandes formas de circulação atmosférica que interessam à região em estudo, descritas a seguir:

- As mais importante de todas, as correntes perturbadoras do sul, são representadas pela invasão do anticiclone polar e por sua descontinuidade frontal ao contato com o anticiclone do Atlântico Sul, denominado frente polar. Ativa o ano inteiro, mas mais forte no inverno, em passagem da frente polar, acompanhada de eventos chuvosos, é muito regular, com uma periodicidade compreendida entre quatro e dez dias sobre o Rio Grande do Sul. A passagem da frente é acompanhada de eventos chuvosos, geralmente longos e de intensidades moderadas (chuvas frontais), passíveis de se instalarem durante alguns dias consecutivos. Ao norte, choca-se com a depressão do Chaco, onde se dissipa. Por ocasião dos verões quentes, a sua energia é reduzida e a depressão do Chaco pode atingir os limites da nossa região, iniciando então um tempo seco.

- As correntes perturbadoras do oeste são representadas pelas linhas de instabilidades tropicais que entram na Região Sul de meados da primavera até meados do outono. Trata-se de depressões barométricas induzidas pelos pequenos anticiclones tropicais da Amazônia. O forte aquecimento do interior do continente, no verão, certamente é a principal causa disso. Essas correntes provocam chuvas e tempestades convectivas, em geral de grande intensidade e curta duração. Apenas excepcionalmente afetam a nossa zona de estudo.

Chevallier (1991) conclui que este sistema de circulação atmosférica, juntamente com um relevo regional de planalto e planícies de formas relativamente atenuadas, faz com que a região em estudo seja geralmente bem irrigada e que, ainda por causa dessa circulação atmosférica privilegiada, a propriedade mais notável do regime local de precipitações é a distribuição praticamente uniforme dos eventos chuvosos através do ano.

Apesar desta distribuição uniforme de precipitação, podem ocorrer eventos intensos com precipitações diárias acima de 60 mm. Esta região está sujeita aos eventos de ENSO (El Niño Southern Oscillation).

Denomina-se ENSO o aumento anormal da temperatura na superfície do mar na costa oeste da América do Sul, durante o verão no hemisfério sul. Esta ocorrência de águas quentes foi identificada séculos atrás por pescadores peruanos, que deram o nome de El Niño (menino, em espanhol) ao observarem anos em que ocorria uma enorme diminuição na quantidade de peixes, sempre próxima ao Natal (nascimento do menino Jesus) (Chevallier & Dhein, 1993). Este fenômeno, que se apresenta normalmente em intervalos de dois a sete anos, caracteriza-se com a temperatura na superfície do mar e a atmosfera sobre ele apresentando uma condição anormal durante um período de doze a dezoito meses. Em anos que El Niño está presente, a evolução típica do fenômeno inicia no começo do ano, atinge sua máxima intensidade durante dezembro do mesmo ano (e janeiro do próximo ano), enfraquecendo-se na metade do segundo ano. Entretanto, com as alterações climáticas que vêm ocorrendo no planeta, tanto a periodicidade quanto a duração ou mesmo a época têm variado.

Chevallier e Dhein (1993) analisaram as precipitações excepcionais de 26 e 27 de maio de 1992 na região de Ijuí, que acumularam quase 500 mm, chegando a uma intensidade máxima de 104 mm/h. Os autores afirmam que este evento ocorreu devido ao fenômeno ENSO que teria provocado uma diminuição dos fenômenos de convecção sobre o nordeste brasileiro e leste da Amazônia e uma intensificação do jato atmosférico subtropical, favorecendo, assim, a atividade dos sistemas frontais do sul do Brasil.

No verão de 1997 / 1998 (hemisfério sul) também foi registrado o efeito do El Niño. A Figura 3.8 mostra os efeitos globais do ENSO 1997/1998. Na figura, podemos observar que o ENSO provocou, no Brasil, chuvas no sul, calor no sudeste e seca no nordeste.

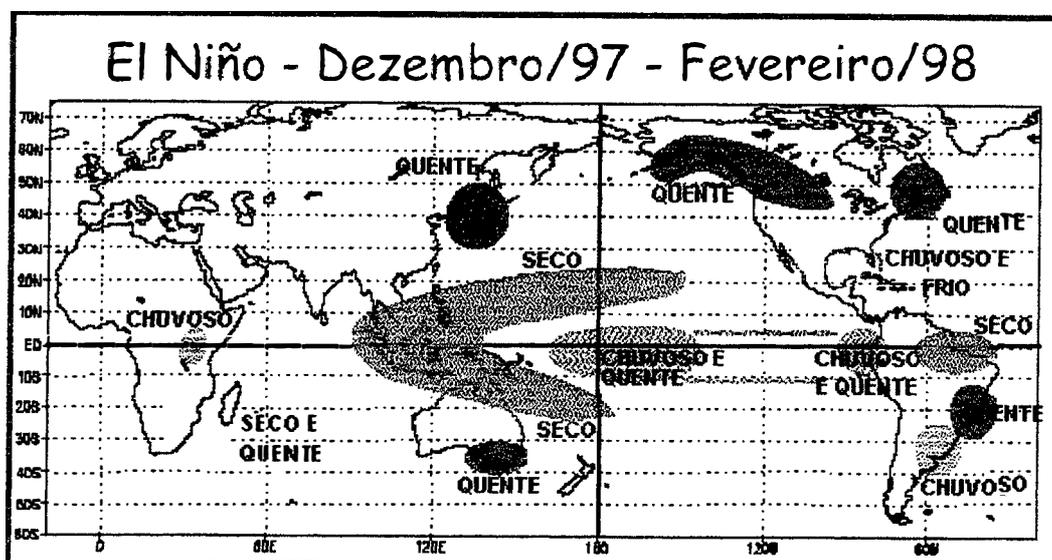


Figura 3.8. Efeitos globais do El Niño 1997/1998
(Fonte: NCEP/NOAA)

3.8. Disponibilidade de dados nas bacias embutidas do Potiribu

A seguir são descritos os aparelhos pluviométricos e fluviométricos mantidos pelo projeto Potiribu.

3.8.1. Postos Pluviométricos e Pluviográficos

Os aparelhos instalados no Potiribu descritos por Castro et al. (2000) foram instalados em novembro de 1989, de maneira a cobrir a bacia do rio Taboão (100 km²), na qual a bacia do Turcato é embutida. Estes aparelhos são de dois tipos: pluviômetros e pluviógrafos.

- **pluviômetros**, todos da marca japonesa Tamaya, com anel de 20 cm de diâmetro ($\pi \cdot 100 \text{ cm}^2$ de área de interceptação), colocados a uma altura de 1,50 m. Os observadores, todos voluntários, fazem a leitura de volume de água acumulado do aparelho diariamente em princípio às 8 horas da manhã. Conforme normas internacionais, este valor é sempre datado do dia anterior. Na Tabela 3.6 é apresentada a relação dos pluviômetros com suas coordenadas e períodos de funcionamento. Eles podem ser localizados na Figura 3.9.

Tabela 3.6 – Relação dos pluviômetros

| Código | Nome | Longitude Oeste | Latitude Sul | Data | | % funcionamento até 12/98** |
|--------|-------------------------|-----------------|--------------|-----------|----------|-----------------------------|
| | | | | início | fim | |
| 13 | Alto Donato | 53°41'14" | 28°25'06" | 27/06/90 | | 98,8% |
| 21 | Pejuçara Norte | 53°38'57" | 28°24'11" | 06/09/89 | 31/04/96 | 98,1% |
| 24 | Turcato Central | 53°40'17" | 28°24'55" | 08/11/89 | 10/05/90 | 84,5% |
| 32 | Rincão do Jesus | 53°44'34" | 28°24'52" | 12/12/90 | | 97,4% |
| 34 | Alto Taboão | 53°36'12" | 28°27'21" | 17/12/90 | | 98,6% |
| | | 53°27'10" | 28°26'53" | 15/04/97* | | |
| 35 | Velha Estrada Cruz Alta | 53°38'19" | 28°27'46" | 17/12/90 | | 93,8% |
| 36 | Granja da Castanheiras | 53°41'06" | 28°27'49" | 01/01/91 | | 94,4% |
| 52 | Baixa Divisa | 53°41'55" | 28°24'08" | 07/11/89 | | 98,0% |
| 61 | Santa Lúcia | 53°42'35" | 28°23'39" | 11/11/89 | | 99,7% |
| | | 53°37'13" | 28°26'55" | 02/09/98* | | |
| 62 | Granja Santa Catarina | 53°43'37" | 28°25'04" | 23/10/90 | 08/06/92 | 95,4% |

* troca de local e observador

** % da duração das observações aproveitáveis em relação a duração total

Fonte: Castro et al., 2000

• **pluviógrafos** de vários tipos e marcas, como mostra a Tabela 3.6. os aparelhos diários e semanais estão sob a responsabilidade de observadores voluntários que trocam os gráficos quando necessário. Os aparelhos mensais são operados pelo pessoal técnico do IPH. Na Tabela 3.7 está a relação dos pluviógrafos com coordenadas e períodos de funcionamento.

Tabela 3.7 – Relação dos pluviógrafos

| Código | Nome | Longitude Oeste | Latitude Sul | Aparelho | Data | | % func. até 12/98 |
|--------|---------------------|-----------------|--------------|------------------------|------------|------------|-------------------|
| | | | | | Início | fim | |
| 11 | Donato Central | 53°41'13" | 28°25'15" | Lambrecht IH Hidromec3 | 29/11/89 | 25/04/91 | 80,8% |
| | | | | | 25/04/91 | 17/01/96 | |
| 12 | Baixo Donato | 53°40'35" | 28°25'35" | IH PLG 7S | 07/11/89 | 14/12/90 | 94,4% |
| 14 | Baixo Donato | 53°40'12" | 28°25'18" | IH PLG 7S | 14/12/90 | | 85,6% |
| | | 53°40'31" | 28°25'09" | IH PLG 7S | 23/07/98** | | |
| 22 | Alto Turcato | 53°39'53" | 28°24'02" | Lambrecht | 10/11/89 | 30/09/95 | 53,6% |
| 23 | Pejuçara Cidade | 53°39'14" | 28°25'05" | IH PLG 7S IH PLG 4 | 21/08/89 | 06/11/89 | 80,9% |
| | | | | | 06/11/89* | 09/05/98** | |
| 25 | Pejuçara Leste | 53°39'41" | 28°26'00" | Lambrecht IH Hidromec3 | 22/05/90 | 05/11/92 | 44,8% |
| | | | | | 05/11/92 | 10/02/96 | |
| 26 | Baixo Turcato | 53°41'39" | 28°26'29" | IH PLG 4 | 08/11/89 | 31/12/95 | 76,8% |
| 31 | Fazenda Três Irmãos | 53°40'18" | 28°28'24" | IH PLG 7S | 28/08/89 | 12/05/94 | 85,6% |
| 33 | Granja Santa Maria | 53°35'00" | 28°27'32" | Jules Richard | 19/12/90 | 27/09/91 | 84,5% |
| 37 | Foz do Taboão | 53°45'17" | 28°26'14" | SIAP | 09/01/91 | 09/04/94 | 66,1% |
| 38 | | | | | 22/05/94 | 30/04/95 | 93,1% |
| 51 | Alta Divisa | 53°41'28" | 28°23'36" | IH PLG 7S | 28/08/89 | | 96,5% |

* mesmo local, troca de aparelho e observador

** troca de local, mesmo de aparelho e mesmo observador

Fonte: Castro et al., 2000

Em abril de 1998, o projeto contava com apenas 7 postos de pluviometria (aparelhos 13, 32, 34, 35, 36, 52 e 61) e 3 de pluviografia (aparelhos 14, 23 e 51). Os postos que têm registros mais confiáveis, segundo Castro et al. (2000), são os aparelhos de pluviometria 13 e 52 e os de pluviografia 14 e 51, identificados na Figura 3.9.

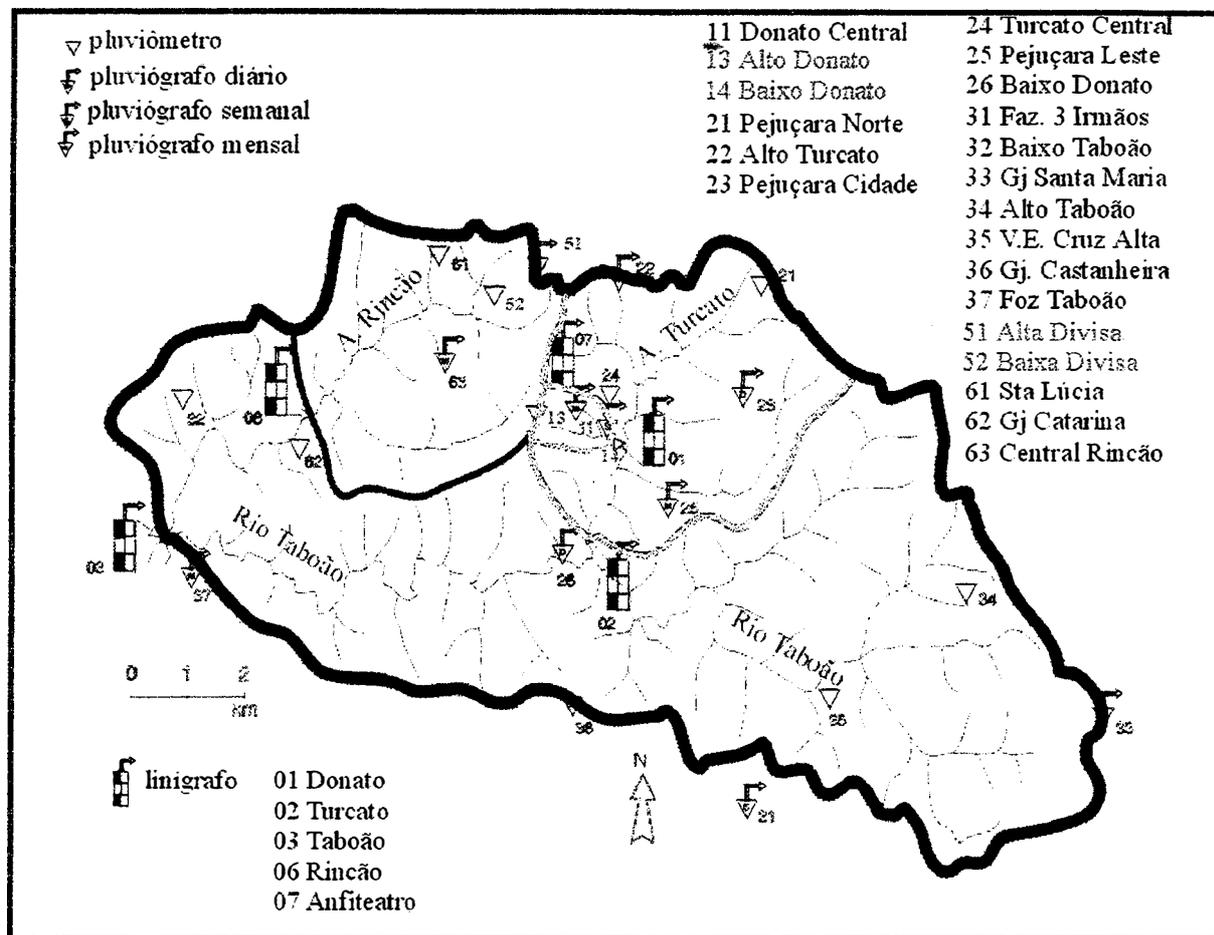


Figura 3.9. Localização dos postos pluviométricos (Modificado de Castro et al., 2000)

3.8.2. Postos Fluviométricos

A Tabela 3.8 apresenta características gerais dos linígrafos instalados em cada posto fluviométrico. Observa-se na 4ª coluna desta tabela que, em alguns casos, os postos apresentam mais de 20% de lacunas, devido a problemas com os aparelhos e dificuldade de obter pessoal e verba para operá-los. Na Tabela 3.9 observamos as características técnicas desses equipamentos.

Tabela 3.8 - Características gerais dos linígrafos

| Código | Nome | Data | | % funcionamento até dez/98 | Marca | Aparelho | |
|--------|------------|----------|----------|-------------------------------|-------|----------|---------|
| | | Início | Fim | | | Tipo | redução |
| 01 | Donato | 11/11/89 | | 83,0 | IH | LNG7 | 1/10 |
| 02 | Turcato | 11/11/89 | 10/10/95 | 73,9 | IH | LNG7 | 1/10 |
| | | 22/07/98 | | 96,3 | IH | LNG7 | 1/10 |
| 03 | Taboão | 20/12/90 | 29/10/91 | | OTT | R20 | 1/10 |
| 04 | Andorinhas | 10/11/89 | 30/10/91 | | OTT | 10 | 1/10 |
| | | 30/10/91 | 25/05/92 | | OTT | R20 | 1/10 |
| 06 | Rincão | 09/01/91 | 06/04/92 | | IH | LNG7 | 1/10 |
| 07 | Anfiteatro | 23/07/92 | | 78,2 | IH | LNG7 | 1/5 |

Fonte: Castro et al., 2000

Tabela 3.9 – Características técnicas dos linígrafos

| Aparelho | Tipo de sensor | Suporte de gravação | Periodicidade | Velocidade (mm/h) | Valor da redução |
|----------|----------------|---------------------------------|---------------|-------------------|------------------|
| IHLNG7 | bóia | transportador de carta mecânico | mensal | 10 | 1/5 ou 1/10 |
| OTT R20 | bóia | transportador de carta mecânico | mensal | 4 | 1/5 ou 1/10 |
| OTT 10 | bóia | tambor | semanal | 2 | 1/10 |

Fonte: Castro et al., 2000

Os postos que continuam funcionando até o momento são: o Anfiteatro; o Donato e o Turcato, sendo que o último foi interrompido entre 12/1995 e 07/1998. Estes postos são descritos mais detalhadamente a seguir.

a) Posto Fluviométrico Anfiteatro

Os escoamentos superficiais na bacia do Anfiteatro são coletados pela valeta na margem noroeste da estrada de terra que atravessa a bacia do Donato (ver Figura 3.6) e dá acesso a algumas casas isoladas e às lavouras. No ponto mais baixo dessa valeta, um bueiro permite o escoamento sob a estrada, como mostra a Figura 3.10. Uma obra de concreto a montante do bueiro coleta as vazões vindo diretamente da bacia e das valetas. A jusante da estrada, há outra obra, constituída de um pequeno canal retangular de fundo triangular com dois metros de comprimento, que possibilita medir as descargas com molinete. Neste canal, localiza-se a tomada d'água para o linígrafo.

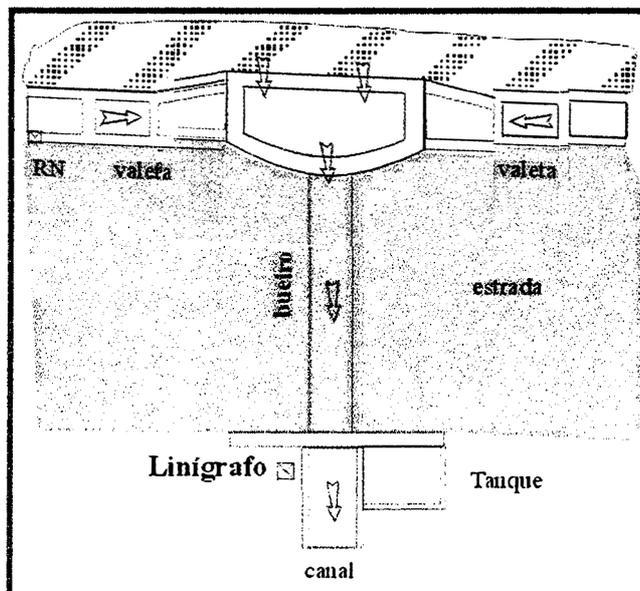


Figura 3.10. Localização do linígrafo da bacia do Anfiteatro (Castro et al., 2000)

A curva-chave foi obtida a partir de 24 medições de vazão na saída do bueiro do Anfiteatro com alturas d'água entre 3 e 7cm. A cota máxima registrada foi de 28 cm no dia 24 de outubro de 1992 às 13h33min (Figura 3.11).

A Figura 3.12 mostra o ajuste da curva chave para a seção da bacia do Anfiteatro e a Figura 3.13 apresenta a curva chave extrapolada através da fórmula de Manning até a cota de 30 cm.

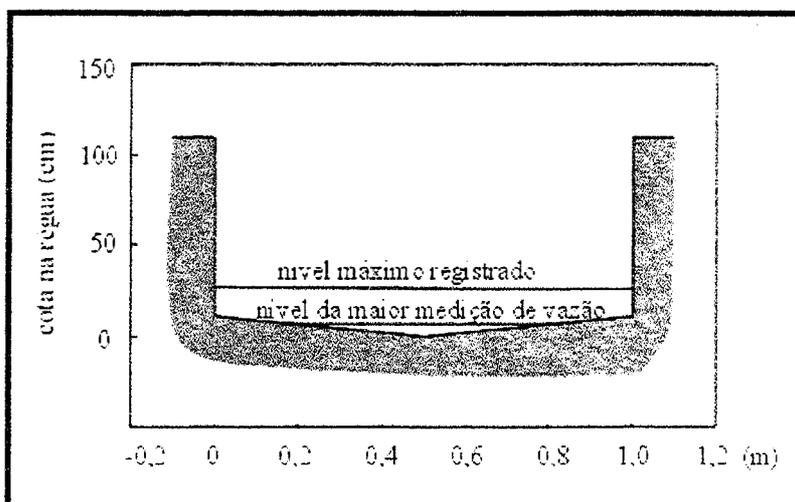


Figura 3.11. Seção transversal do canal no ponto de medição do linígrafo do Anfiteatro (Castro et al., 2000)

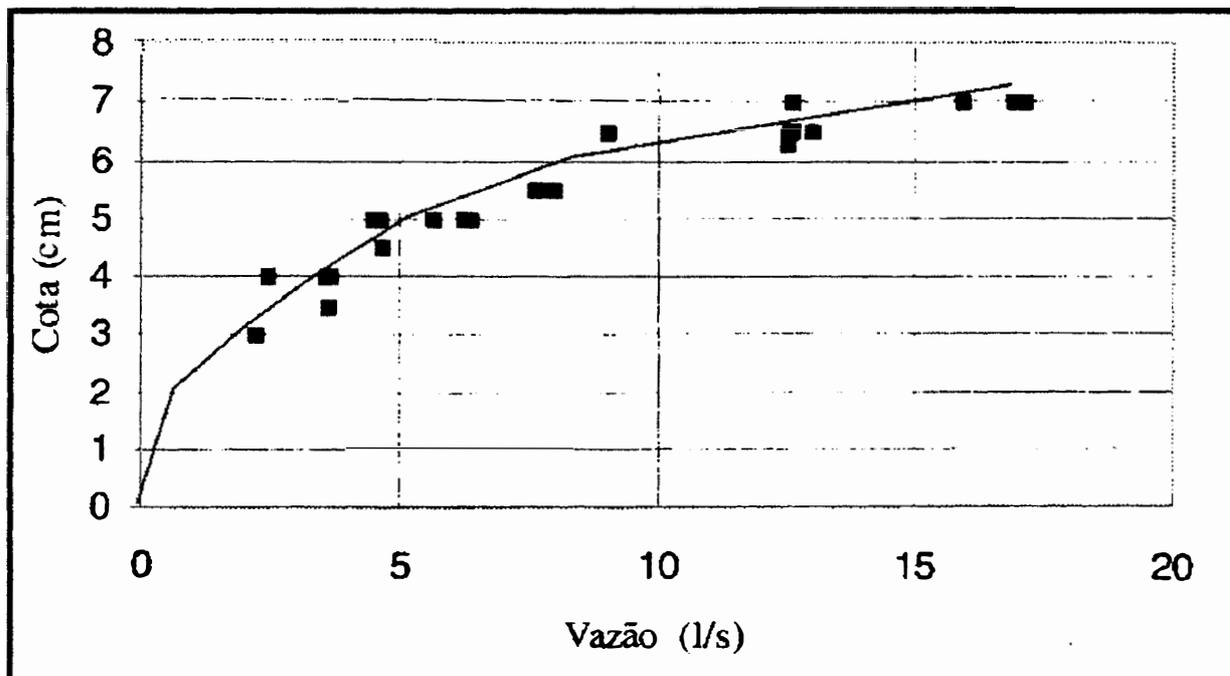


Figura 3.12. Ajuste da Curva Chave para a seção da bacia do Anfiteatro (Castro et al., 2000)

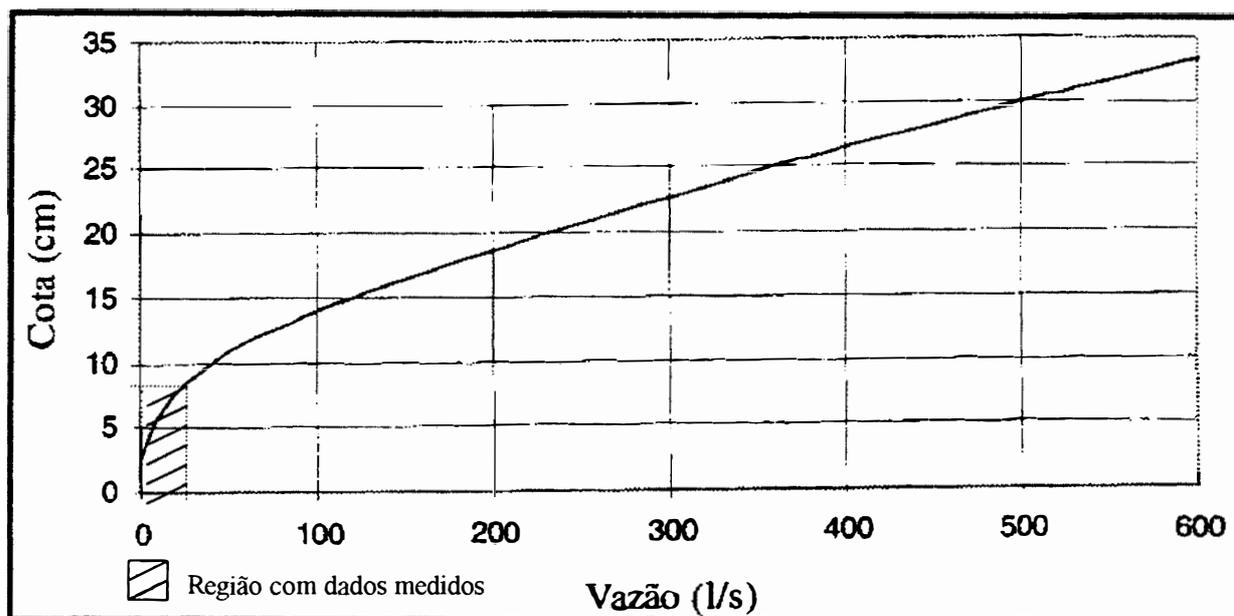


Figura 3.13. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Anfiteatro (Castro et al., 2000)

b) Posto Fluviométrico Donato

O posto hidrométrico foi instalado em novembro de 1989 num trecho reto a jusante da confluência dos três cursos permanentes de água que constituem a rede hidrográfica da bacia, a aproximadamente 200 m a montante da confluência com o arroio Turcato.

A seção de medição foi estabilizada em março de 1991 com a construção de uma soleira de concreto e a retificação do leito. A obra realizada é mostrada na Figura 3.14.

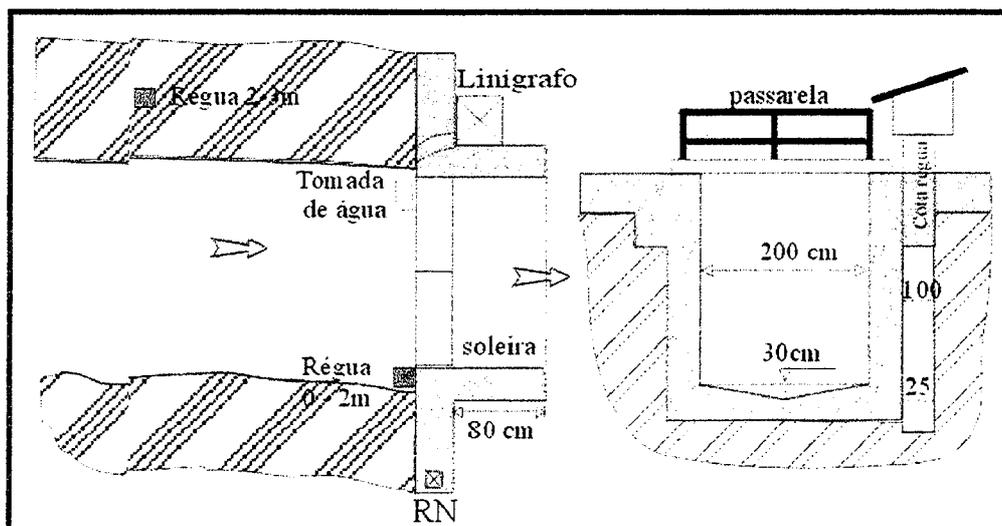


Figura 3.14. Seção transversal do canal no ponto de medição do linígrafo do Donato (Castro et al., 2000)

Foram realizadas 26 medições de vazão na estação Donato depois da construção da soleira entre 28 e 120 cm. A Figura 3.15 mostra os pontos utilizados no ajuste da curva chave.

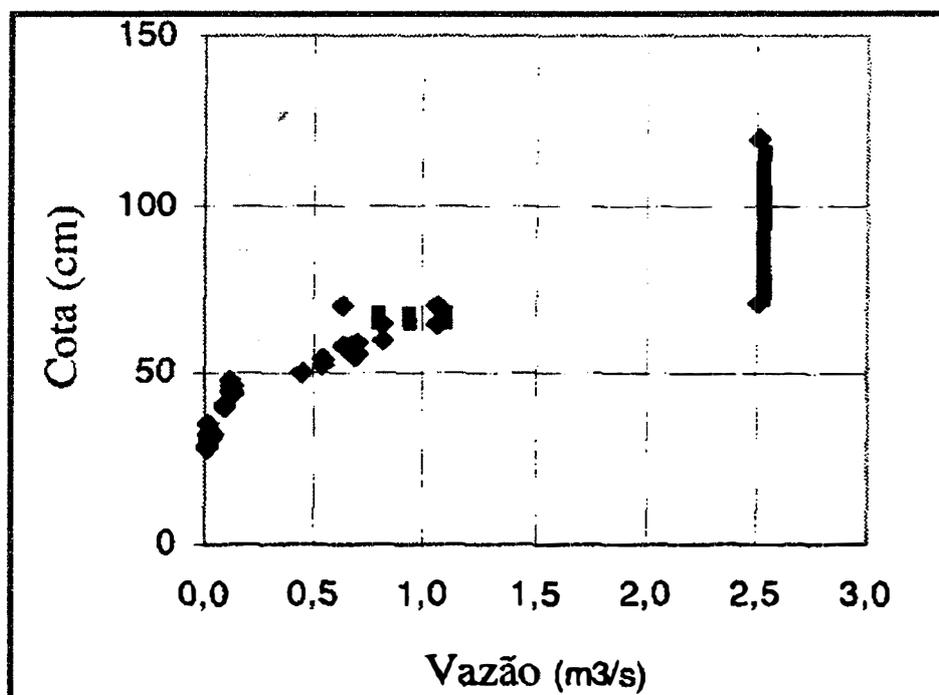


Figura 3.15. Calibragem da curva chave para a seção da bacia do Donato (Castro et al., 2000)

Exceto no período de 26 de maio de 1992 a 10 de julho de 1992, o escoamento sempre ficou entre as paredes da soleira ($h < 280$ cm) e atingiu o nível máximo de 241 cm no dia 5 de dezembro de 1993 às 6h. A curva-chave foi obtida calibrando as medições a uma fórmula teórica, cujo resultado gráfico (B1) é apresentado na Figura 3.16.

Nos dias 26 e 27 de maio de 1992 ocorreram chuvas excepcionais que causaram uma cheia cujo nível d'água passou sobre a obra, atingindo a cota 321cm no dia 27, às 12h06, e derrubou uma parte da margem direita da estação e a água abriu uma passagem pelo lado externo do pilar direito da soleira. Essa abertura só foi fechada no início de julho de 1992.

Conseqüentemente, uma nova curva-chave (B2) foi estabelecida, válida de maio de 1992 às 11h20min até o dia 9 de julho de 1992 às 23h59min. Depois de 9 de julho a primeira curva-chave volta a ser válida (B3). As duas curvas são mostradas na Figura 3.16.

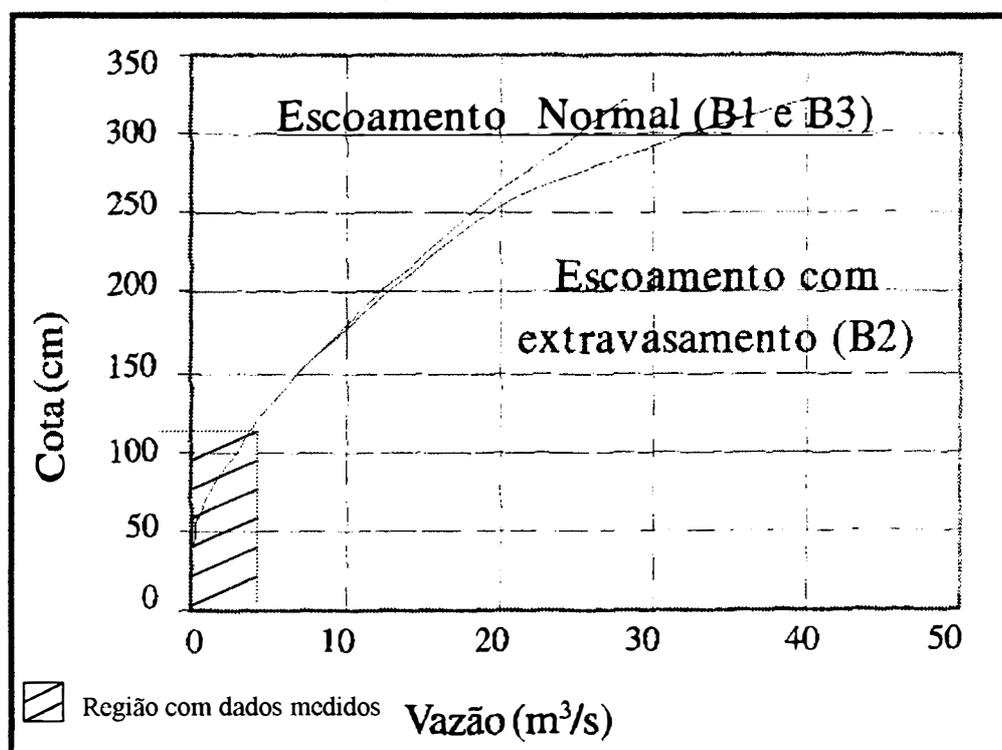


Figura 3.16. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Donato (Castro et al., 2000)

c) Posto Fluviométrico Turcato

O posto hidrométrico foi instalado em novembro de 1989 num trecho reto e bem encaixado a jusante de uma pequena zona de inundação. Além do linígrafo e da régua linimétrica, a estação foi equipada de uma instalação de medição de vazão por teleférico, como mostra a Figura 3.17.

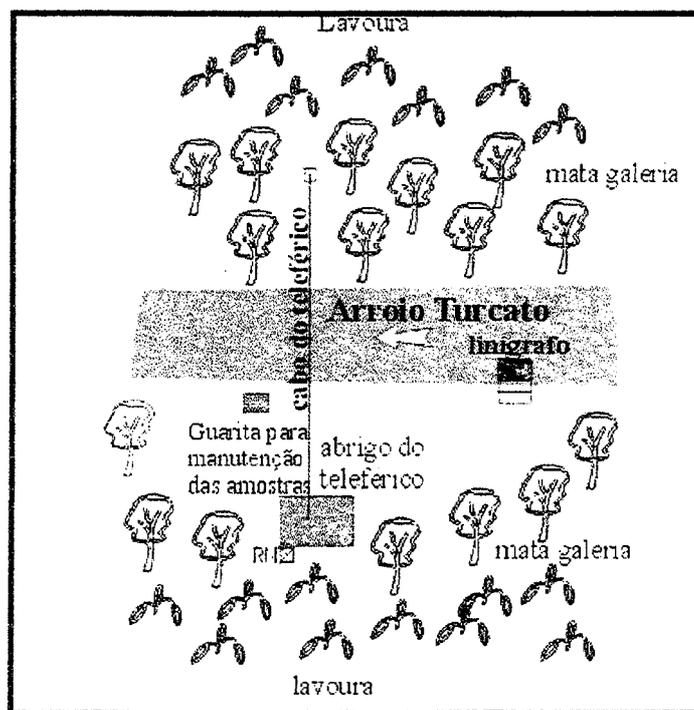


Figura 3.17. Localização do linógrafo do Turcato (Castro et al., 2000)

O conjunto da estação ficou submerso em 26 e 27 de maio de 1992, quando o nível da água atingiu 680 cm que é uma altura superior ao nível do próprio linógrafo. No entanto, poucos danos foram constatados e, depois de uma limpeza, o linógrafo voltou a funcionar no início de julho de 1992.

No dia 12/12/95 o linógrafo desta bacia foi retirado problemas de funcionamento. Com um financiamento do projeto pela FINEP foi possível restaurar o posto. Um linógrafo mecânico foi colocado no dia 24/07/98.

Foram ajustadas duas curvas chaves para a seção: a primeira válida de 1990 a dezembro de 1995 e a segunda a partir de agosto de 1998.

Para a primeira curva, foram realizados 62 medições de vazão na estação fluviométrica do Arroio Turcato entre as cotas 30 cm e 201 cm (Figura 3.18). A seção medida (Figura 3.19) era razoavelmente estável no momento da elaboração da curva-chave. O nível de enchente dos dias 26 e 27 de maio de 1992, avaliado a partir das marcas deixadas, foi estimado em 680cm.

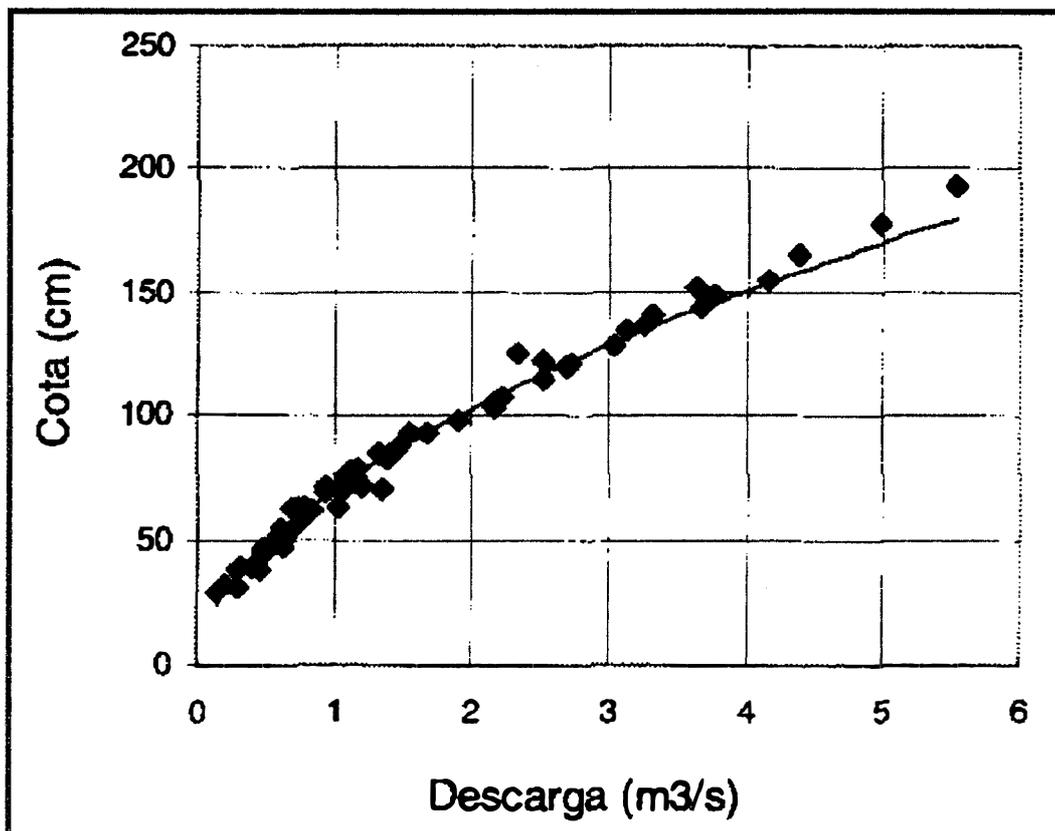


Figura 3.18. Ajuste da Curva Chave para a seção da bacia do Turcato (1990-1995) (Castro et al., 2000)

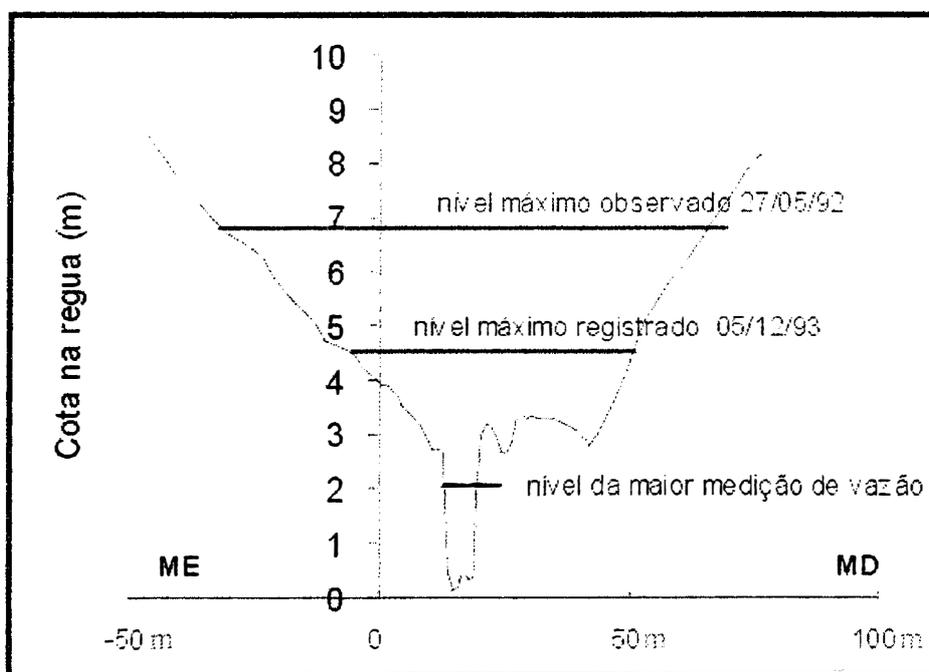


Figura 3.19. Seção transversal do canal no ponto de medição do linígrafo do Turcato (Castro et al., 2000)

Foi então necessário extrapolar a curva-chave, e o método de Stevens (Chevallier, 1993b) foi utilizado. A Figura 3.20 apresenta a curva-chave extrapolada até a cota 300 cm. A extrapolação foi prolongada para avaliar a descarga atingida no topo da cheia do dia 27 de maio de 1992. A vazão na cota de 680 cm ficou em aproximadamente 20 m³/s.

Entre agosto e dezembro de 1998 foram realizadas 30 medições de vazão na estação fluviométrica do Arroio Turcato entre as cotas 40 e 312 cm, resultando em uma nova curva-chave, válida a partir de agosto de 1998 (Figura 3.21). O perfil transversal praticamente não modificou-se nas margens dentro da calha, somente aprofundou, em relação ao perfil médio adotado anteriormente. Fora da calha a seção transversal permaneceu a mesma. A cota máxima observada e, felizmente, medida foi de 319 cm no dia 18/09/98 às 03h09min. Somente quando o nível do rio extravasa a calha, foi necessário extrapolar, utilizando para isso o método de Stevens. A Figura 3.22 apresenta a curva-chave extrapolada até a cota 500 cm.

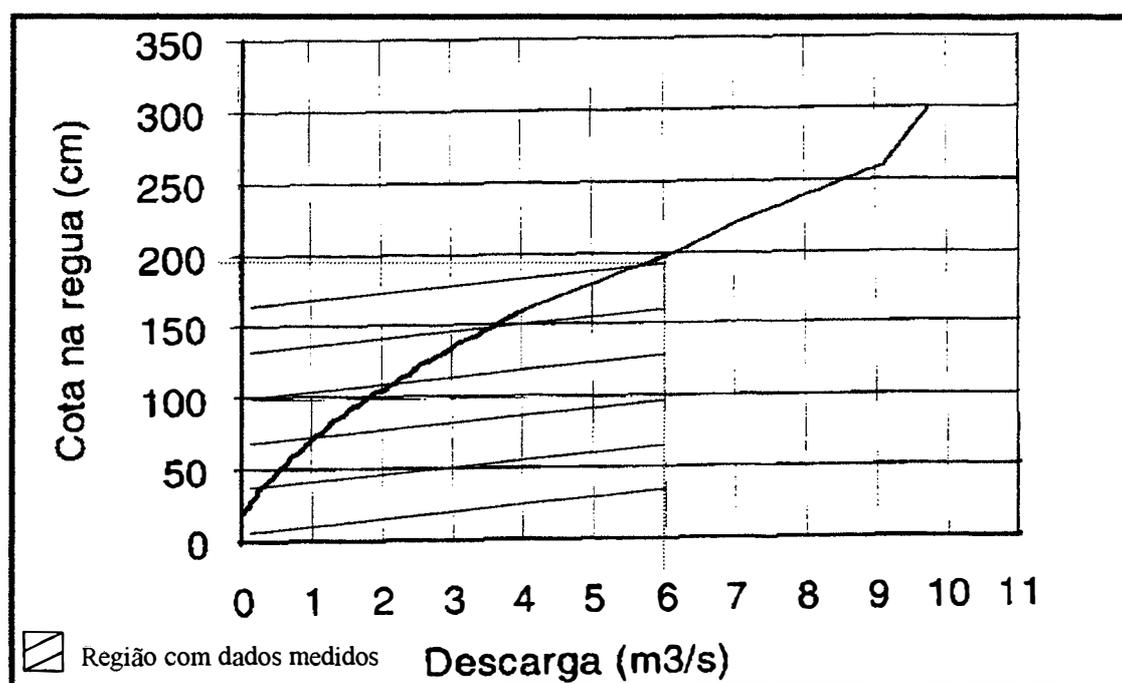


Figura 3.20. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Turcato (1990-1995) (Castro et al., 2000)

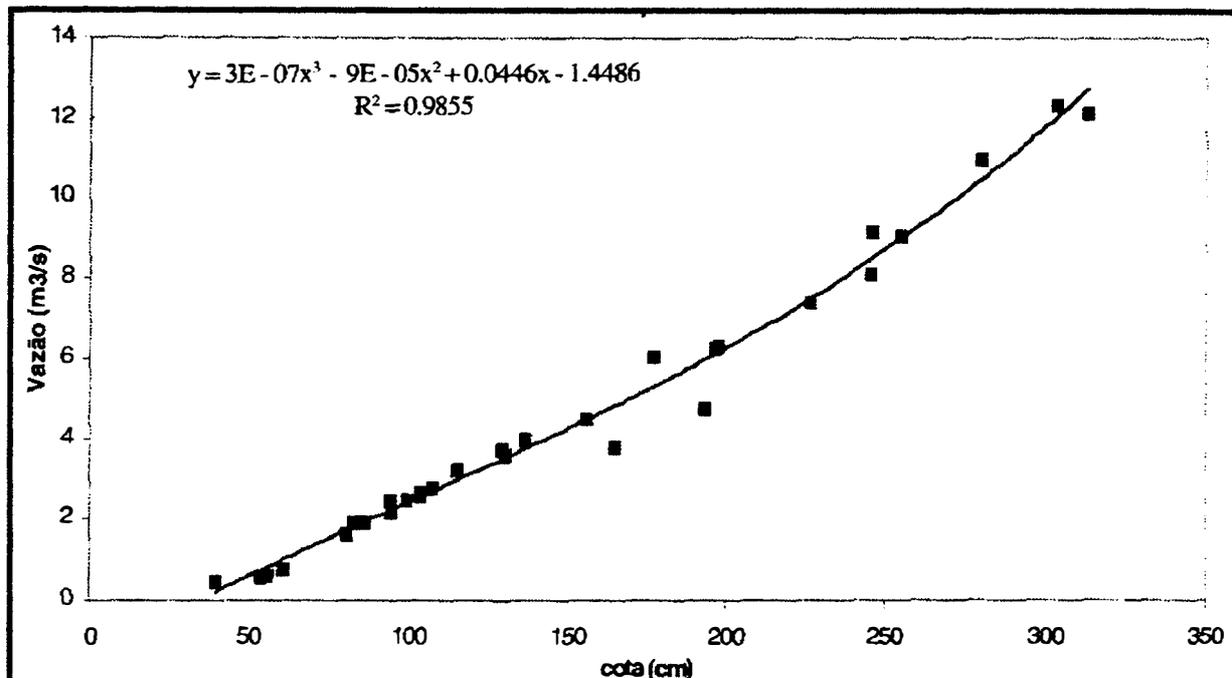


Figura 3.21. Ajuste da Curva Chave para a seção da bacia do Turcato (1998-)
(Castro et al., 2000)

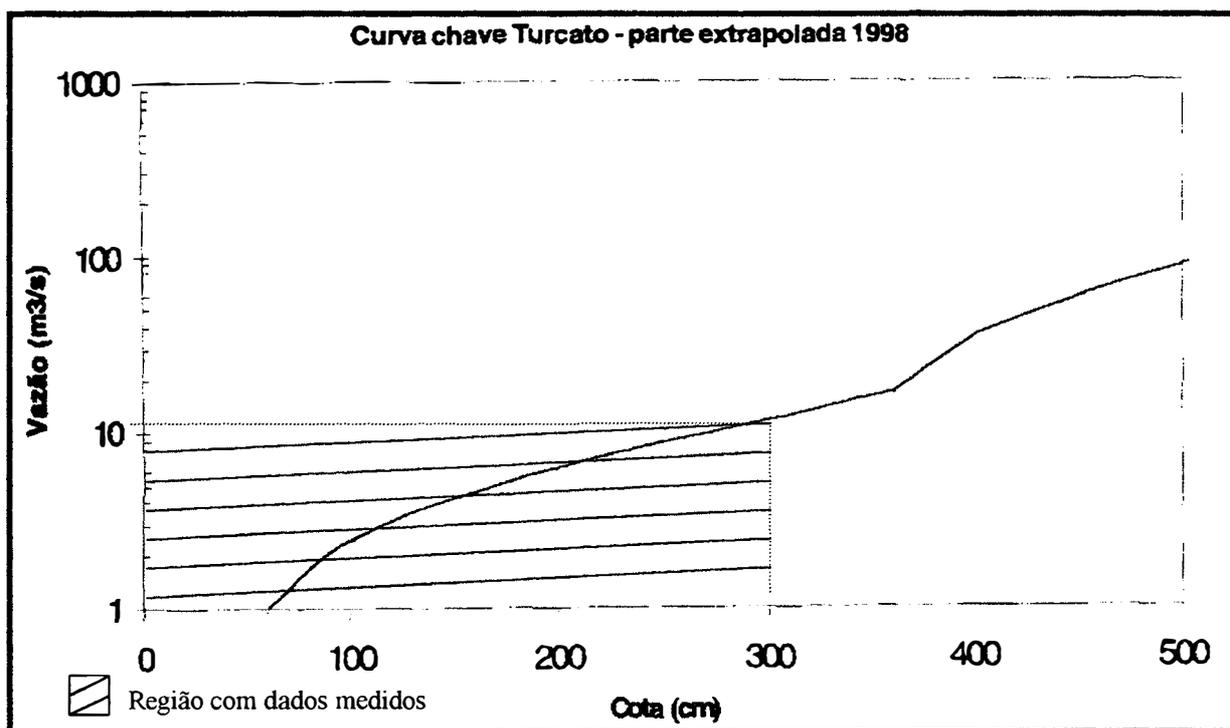


Figura 3.22. Curva Chave extrapolada para a seção da bacia do Turcato (1998-)
(Castro et al., 2000)

4. Análise das Precipitações na Região de Ijuí

4.1. Características das Análises

O estudo do comportamento das precipitações da região é básico para a compreensão dos processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica do Potiribu. Esta análise envolve os seguintes itens:

- Representabilidade temporal dos períodos em que se dispõe de vazão na bacia e dos períodos de alterações antrópicas;
- Variabilidade espacial e representabilidade das precipitações observadas na bacia.
- Análise temporal da precipitação no Potiribu

No estudo foram considerados os postos pluviométricos da região do Ijuí identificados no item 3.2.1. e os postos pluviométricos e pluviográficos instalados na bacia do Potiribu descritos no item 3.8.1. Os valores obtidos com os postos instalados na bacia do Potiribu foram agrupados num único grupo denominado, neste capítulo, de Posto Potiribu para análise temporal das séries. Essa série foi obtida através da média dos valores de precipitação mensal dos postos com dados da bacia do Potiribu. Para a análise espacial das séries, foram escolhidos os postos pluviométricos 13 e 52 e os pluviográficos 14 e 51, por serem os postos mais confiáveis.

O projeto Potiribu tem um período de observação contínuo, desde 1989 e permanece em andamento. Dentro deste estudo, o período de dados utilizados é de setembro de 1989 até julho de 1999.

Dentro desse período observam-se alterações no uso do solo no ano de 1994. Desta forma, os dois períodos básicos com condições diferentes de uso do solo são:

- Set/1989 - Abr/1994 → Plantio Convencional;
- Maio/1994 – Jul/1999 → Plantio Direto.

Desta forma, foram definidas duas séries de precipitação para os dois períodos acima, visando caracterizar a variabilidade temporal da precipitação entre os dois períodos de dados com alterações antrópicas.

As características estatísticas dessas duas séries são fundamentais para a análise da influência do uso do solo nas funções hidrológicas, pois devemos filtrar a influência da variabilidade temporal da precipitação entre os períodos de uso específico para evitar o mascaramento das alterações devido à mudança no uso do solo por alterações pontuais do regime pluviométrico e, dessa forma, conhecer a verdadeira influência da mudança do emprego do plantio convencional para o plantio direto.

As séries temporais de precipitações analisadas foram as seguintes:

- Anuais;
- Mensais;
- Máximas diárias;
- Mínimas trimestrais.

Os valores anuais de precipitação foram obtidos considerando o ano hidrológico que corresponde ao período de doze meses a partir do início do período chuvoso até o fim da estação seca. No Rio Grande do Sul o ano hidrológico inicia em maio e termina em abril (Tucci, 1993b).

4.2. Precipitações Anuais

4.2.1. Variabilidade Espacial

A variabilidade espacial das precipitações anuais na bacia do Potiribu pode ser considerada pequena, como mostra a Figura 4.1 através da plotagem dos valores dos postos 13, 14, 51 e 52 adimensionalizados pela média de cada posto. A série de precipitações anuais da bacia do Potiribu, representada pela linha cheia na figura, foi obtida pela média espacial dos valores de precipitação dos postos do projeto Potiribu (Figura 3.9) e foi adimensionalizada pela média dos valores anuais da própria série no período 1990-1998.

As séries temporais de precipitações anuais dos postos de Conceição, Ijuí e Passo do Faxinal foram adimensionalizadas pela média de cada posto, cujo resultado gráfico é exposto na Figura 4.2, onde são comparadas com a série adimensionalizada do Potiribu.

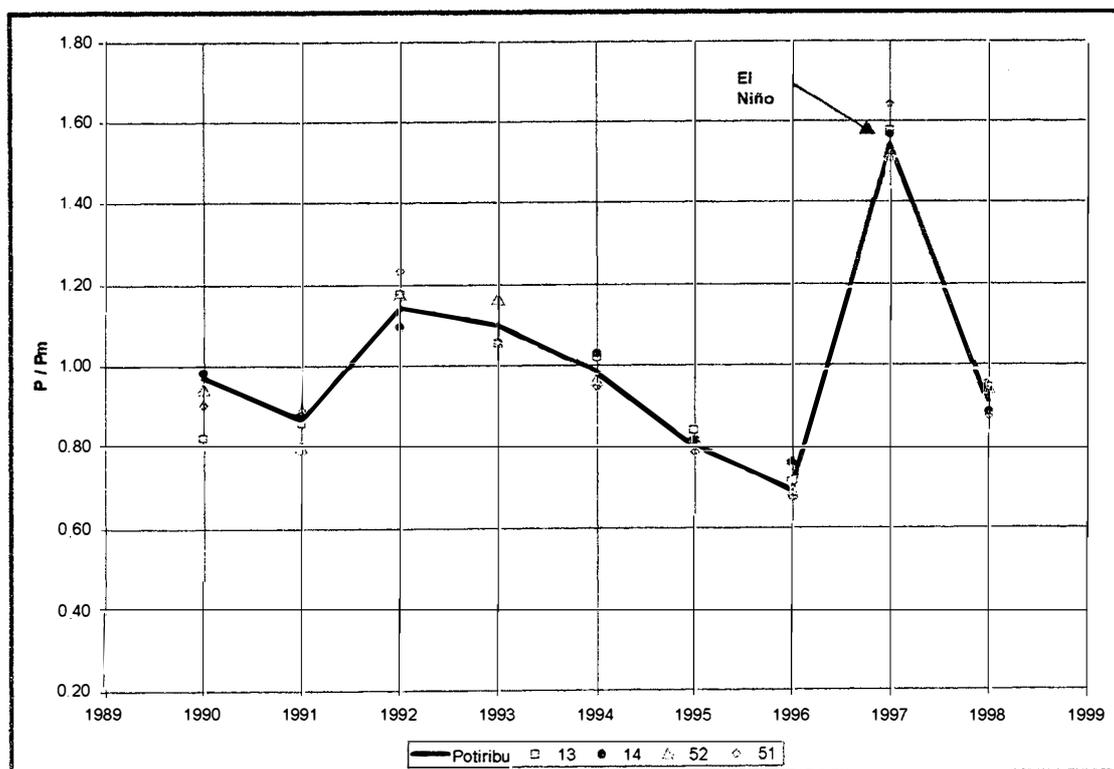


Figura 4.1. Variabilidade espacial da pluviometria anual dos postos da bacia do Potiribu

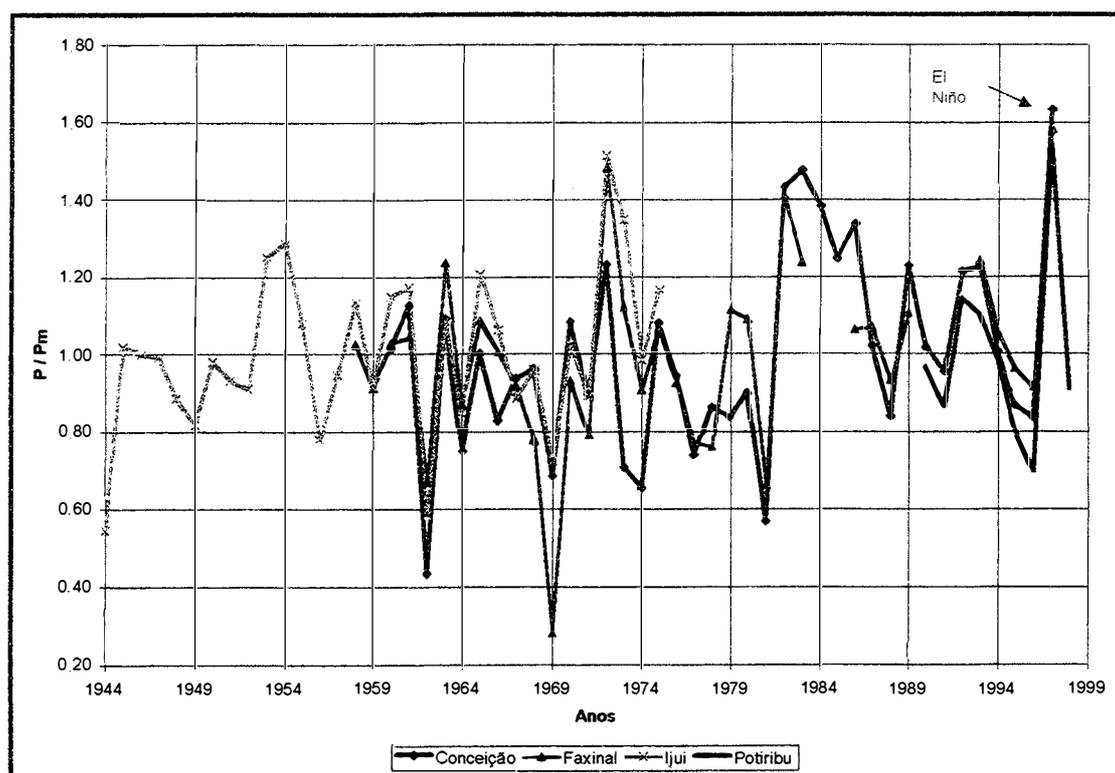


Figura 4.2. Séries temporais das precipitações médias anuais

Analisando a Figura 4.2 verificamos que há uma boa correlação entre os postos, mostrando que a variabilidade espacial da precipitação anual na região é pequena, com exceção de alguns poucos anos, mas a tendência geral é a mesma para todos os postos.

A série do posto de Conceição é a que melhor representa a série histórica, porque não contém falhas, como a série do posto Faxinal, e é uma série longa (38 anos) que engloba o período de dados do projeto Potiribu.

Na Figura 4.3 podemos observar que no período de dados do Projeto Potiribu a série temporal do posto de Conceição adimensionalizada pela média no período apresenta boa correlação com a série temporal obtida pela média dos valores dos postos da bacia do Potiribu adimensionalizada pela média da série.

Na Figura 4.4 é analisada a correlação entre a precipitação do posto Conceição e dos postos da bacia do Potiribu. A média dos postos da bacia do Potiribu apresenta boa correlação com o posto Conceição como mostra o ajuste linear na figura. Os valores dos postos 13, 14, 51 e 52, também são mostrados na figura, onde podemos observar que eles apresentam uma pequena dispersão em relação aos valores da média dos postos da bacia do Potiribu.

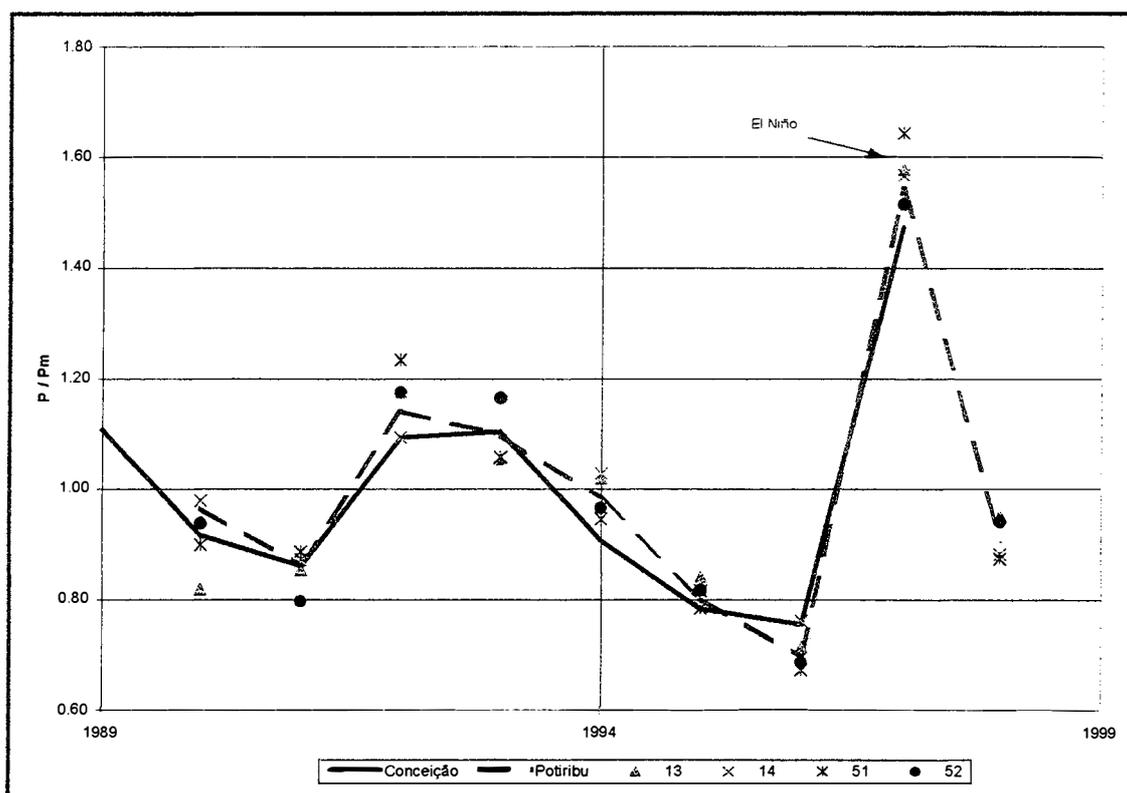


Figura 4.3. Comparação entre a pluviometria anual dos postos Conceição e Potiribu

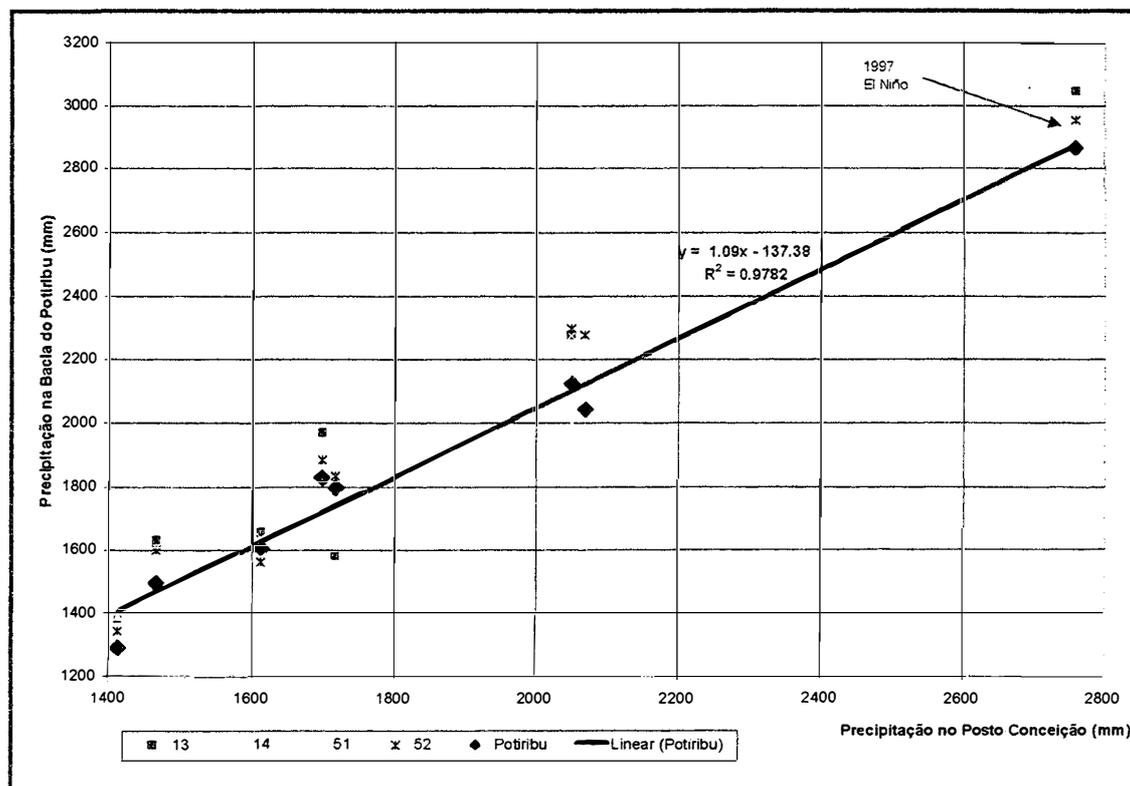


Figura 4.4. Correlação entre as precipitações anuais dos postos do Potiribu com o posto Conceição

4.2.2. Variabilidade temporal

Analisando a Figura 4.2 podemos observar que o ENSO (El Niño Southern Oscillations) provocou, em 1997, um ano úmido com a maior magnitude ocorrida no período analisado. Verificamos também que o período de 1990 a 1998 apresenta uma média maior em relação ao período do posto de Conceição, verificado pelo deslocamento para baixo do gráfico da série do Potiribu, cuja média foi obtida no período de 1990 a 1998, em relação aos gráficos das séries de Conceição e Passo do Faxinal.

A variabilidade da média e seu aumento nos últimos 20 anos pode ser verificado através da análise da média móvel de 4 anos da série de Conceição ao longo do seu período total de dados. Na Figura 4.5 estão representadas as médias móveis das séries temporais de Conceição e do Potiribu, onde podemos observar que há uma tendência de aumento da média móvel de 4 anos a partir de 1981, com uma inversão de tendência depois de 1986, uma pequena ascensão em 1992, uma queda significativa em 1996 e uma retomada do aumento com a ocorrência do ENSO em 1997. O período de dados do Potiribu se encontra num patamar acima da média histórica da região, com exceção de 1996.

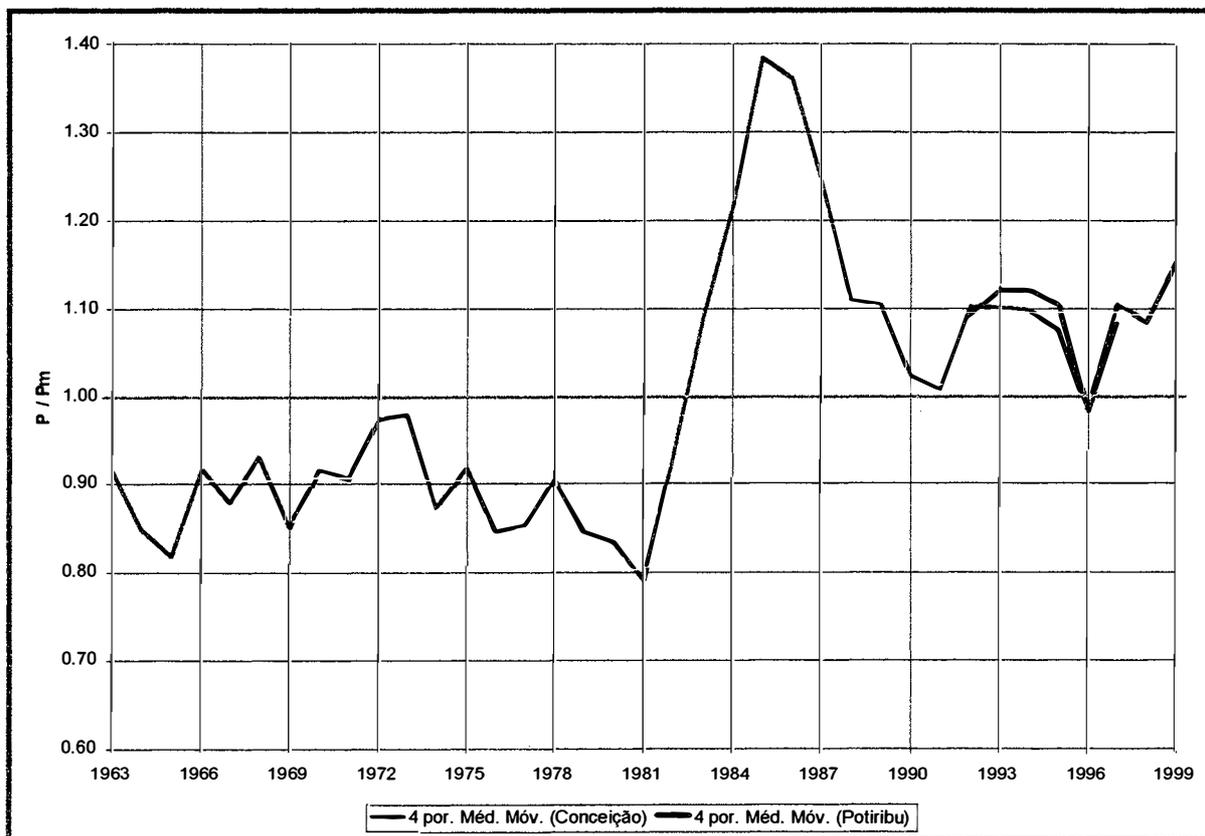


Figura 4.5. Média móvel de 4 anos das precipitações anuais

A série de Conceição foi a escolhida para análise por retratar bem o período, por não apresentar falhas e pela sua excelente correlação com o posto Potiribu como mostra a Figura 4.3.

A Tabela 4.1 apresenta as características estatísticas das séries de precipitações anuais do posto Conceição, considerando diferentes períodos. Na tabela, verificamos que a média da precipitação anual do período do projeto Potiribu (1990-1997) é ligeiramente maior que a média do período anterior ao projeto (1960-1989), porém essas médias podem ser consideradas estatisticamente equivalentes, ao nível de confiança de 95%, como mostra a Tabela 4.2, onde o valor da variável estatística t é menor que o t crítico (95%), mostrando que a hipótese de equivalência das médias é aceitável, nesse nível de confiança.

Tabela 4.1 – Estatística das séries de precipitações anuais do posto Conceição

| Período | Completo 1960-1997 | Antes do Projeto 1960-1989 | Projeto 1990-1997 | Convencional 1990-1993 | Direto 1994-1997 |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| No. de observações | 38 | 30 | 8 | 4 | 4 |
| Média (mm) | 1692 | 1650 | 1849 | 1863 | 1836 |
| Desvio padrão (mm) | 440 | 437 | 439 | 232 | 629 |
| Mínimo (mm) | 733 | 733 | 1414 | 1613 | 1414 |
| Máximo (mm) | 2761 | 2495 | 2761 | 2069 | 2761 |

Tabela 4.2 - Teste-t: séries 1990-1997 e 1960-1989 do posto Conceição presumindo variâncias equivalentes

| | Projeto (1990-1997) | Antes do Projeto (1960-1989) |
|------------------------|--------------------------------|---|
| Média | 1849.20 | 1649.88 |
| Variância | 192900 | 191347 |
| Observações | 8 | 30 |
| Variância agrupada | 191649 | |
| Graus de liberdade | 36 | |
| Estatística t | 1.1442 | |
| <i>t crítico (95%)</i> | <i>1.6883</i> | |

Pela Tabela 4.1 observamos também que o desvio padrão das precipitações anuais foi praticamente o mesmo nos períodos 1960-1989 e 1990-1997, logo a série de precipitações anuais do período do projeto do Potiribu pode ser considerada como representativa de toda a série histórica do posto Conceição.

Comparando as precipitações anuais do período de plantio convencional (1990-1993) com as precipitações anuais do período anterior ao projeto Potiribu, verificamos que a média é ligeiramente maior e a variância é menor no período de plantio convencional. C

ontudo, tanto a média quanto a variância podem ser consideradas estatisticamente equivalentes, ao nível de confiança de 95%, como mostram as Tabela 4.3 e Tabela 4.4.

Tabela 4.3 - Teste-F: séries 1960-1989 e 1990-1993 do posto Conceição (variâncias)

| | Antes do Projeto (1960-1989) | Plantio Convencional (1990-1993) |
|------------------------|---|---|
| Média | 1649.88 | 1862.83 |
| Variância | 191347 | 53671 |
| Observações | 30 | 4 |
| Graus de liberdade | 29 | 3 |
| Estatística F | 3.5652 | |
| <i>F crítico (95%)</i> | <i>8.6196</i> | |

Tabela 4.4 - Teste-t: séries 1990-1993 e 1960-1989 do posto Conceição presumindo variâncias equivalentes

| | Plantio Convencional (1990-1993) | Antes do Projeto (1960-1989) |
|------------------------|---|---|
| Média | 1862.83 | 1649.88 |
| Variância | 53671 | 191347 |
| Observações | 4 | 30 |
| Variância agrupada | 178440 | |
| Graus de liberdade | 32 | |
| Estatística t | 0.9470 | |
| <i>t crítico (95%)</i> | <i>1.6939</i> | |

Na Tabela 4.3 o valor de F é menor que $F_{crítico}$, logo podemos aceitar a hipótese de equivalência das variâncias e na Tabela 4.4 o valor de t é menor que $t_{crítico}$, mostrando que a hipótese de equivalência das médias é aceitável, nesse nível de confiança.

Fazendo uma comparação entre as precipitações anuais do período de plantio direto (1994-1997) com as precipitações anuais do período anterior ao projeto Potiribu, verificamos que a média e a variância são maiores no período de plantio direto. Entretanto, ao nível de confiança de 95%, tanto a média quanto a variância podem ser consideradas estatisticamente equivalentes, como mostram a Tabela 4.7 e a Tabela 4.8.

Tabela 4.5 – Teste-F: séries 1994-1997 e 1960-1989 do posto Conceição (variâncias)

| | Plantio Direto (1994-1997) | Antes do Projeto (1960-1989) |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| Média | 1835.58 | 1649.88 |
| Variância | 395934 | 191347 |
| Observações | 4 | 30 |
| Graus de liberdade | 3 | 29 |
| Estatística F | 2.0692 | |
| <i>F crítico (95%)</i> | 2.9340 | |

Tabela 4.6 - Teste-t: séries 1994-1997 e 1960-1989 do posto Conceição presumindo variâncias equivalentes

| | Plantio Direto (1994-1997) | Antes do Projeto (1960-1989) |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| Média | 1835.58 | 1649.88 |
| Variância | 395934 | 191347 |
| Observações | 4 | 30 |
| Variância agrupada | 210527 | |
| Graus de liberdade | 32 | |
| Estatística t | 0.7603 | |
| <i>t crítico (95%)</i> | 1.6939 | |

Finalmente, comparando as precipitações anuais do período de plantio direto (1994-1997) com as precipitações anuais do período de plantio convencional (1990-1993), verificamos que as médias são praticamente iguais, porém o desvio padrão é maior no período de plantio direto, como mostra a Tabela 4.1.

As variâncias, ao nível de confiança de 90%, não podem ser consideradas equivalentes, como mostra a Tabela 4.7. Foi adotado o nível de confiança de 90% por causa da pequena quantidade de dados.

Tabela 4.7 – Teste-F: séries 1994-1997 e 1990-1993 do posto Conceição (variâncias)

| | Plantio Direto (1994-1997) | Plantio Convencional (1990-1993) |
|------------------------|---------------------------------------|---|
| Média | 1835.575 | 1862.825 |
| Variância | 395934.34 | 53670.8 |
| Observações | 4 | 4 |
| Graus de liberdade | 3 | 3 |
| Estatística F | 7.377091 | |
| <i>F crítico (90%)</i> | 5.390774 | |

A Tabela 4.8 mostra as estatísticas das séries de precipitações anuais da bacia do Potiribu, obtidas considerando a precipitação anual como a média espacial das precipitações anuais dos postos existentes na bacia.

Comparando as precipitações anuais dos períodos de uso específico do solo, usando os dados do Potiribu, chegamos ao mesmo resultado do fornecido pelo posto Conceição, como mostra a Tabela 4.8 e a Tabela 4.9.

Tabela 4.8 – Estatística das séries de precipitações anuais do Potiribu

| Período | Projeto | Convencional | Direto |
|----------------|----------------|---------------------|---------------|
| | 1990-1998 | 1990-1993 | 1994-1998 |
| Núm. de obs. | 9 | 4 | 5 |
| Média | 1860 | 1892 | 1834 |
| Desvio padrão | 458 | 236 | 613 |
| Mínimo | 1294 | 1604 | 1294 |
| Máximo | 2870 | 2122 | 2870 |

Tabela 4.9 – Teste-F: séries 1990-1993 e 1994-1997 do Potiribu (variâncias)

| | Direto (1994-1998) | Convencional (1990-1993) |
|------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Média | 1834.48 | 1891.56 |
| Variância | 375649 | 55932 |
| Observações | 5 | 4 |
| Graus de liberdade | 4 | 3 |
| Estatística F | 6.7162 | |
| <i>F crítico (90%)</i> | 5.3427 | |

Em suma, as estatísticas mostram que as precipitações médias anuais nos períodos de uso específico do solo são equivalentes, ao nível de confiança de 95%, porém as variâncias desses períodos não podem ser consideradas equivalentes ao nível de confiança de 90%. Também foi verificado que ambos períodos de uso do solo apresentam média e variância equivalentes à média e à variância do período anterior ao projeto Potiribu (1960-1989), ao nível de confiança de 95%.

4.2.3. Série de anos úmidos

Usando a série do posto Conceição (1960-1997), cuja média é 1692 mm e o desvio padrão é 440 mm, foi obtido a curva de probabilidade para os anos úmidos, através do ajuste dos valores de precipitação anual a uma distribuição Log-Normal, como mostra a Figura 4.6.

A probabilidade de ocorrência das precipitações anuais foi obtida pela distribuição Log-Normal. Os valores observados foram plotados segundo a equação de posição de plotagem de Blom (Lanna, 1993).

Para determinar se a precipitação anual de 1997 é um *outlier* (ponto fora da tendência) de máximo (P_{out}^+), podemos usar a seguinte equação:

$$P_{out}^+ \geq P_m + k_{\alpha/2} \cdot s \quad (4.1)$$

onde P_m e s são a média e o desvio padrão, respectivamente, dos valores da série histórica e $k_{\alpha/2}$ é calculado em função do nível de significância α desejado, seguindo uma distribuição normal padronizada.

Foi utilizado o valor de 1% para o nível de significância por ser considerar que valores de precipitação anual nessa ordem de significância não podem ser representados pela tendência geral dos demais valores observados, sendo, assim, considerado como *outlier*.

Para $\alpha = 1\%$, temos $k_{\alpha/2} = 2,58$. Logo:

$$P_{out}^+ \geq 1692 + 2,58 \cdot 440 = 2827mm$$

Logo o ano de 1997 ($P_{ano} = 2761mm$) não é considerado um *outlier* ao nível de confiança $(1-\alpha)$ de 99%.

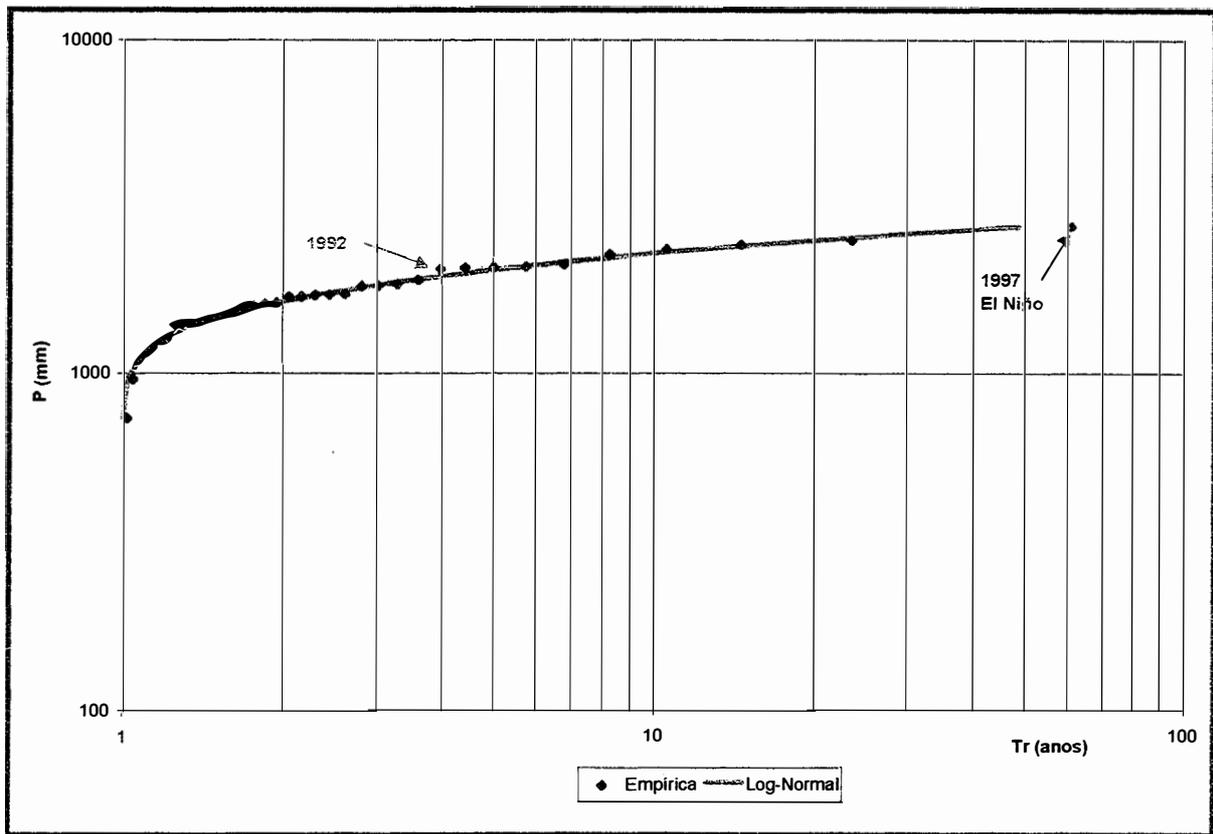


Figura 4.6. Probabilidade de anos úmidos

4.2.4. Série de anos secos

A probabilidade de anos secos foi obtida através do ajuste de uma distribuição Normal aos valores da série histórica do posto de Conceição, representada na Figura 4.7. Os valores observados foram plotados segundo a equação de posição de plotagem de Weibull (Lanna, 1993).

O ano mais seco da série histórica do posto de Conceição foi o de 1962 (ver Figura 4.3) com uma precipitação anual de 880 mm (ver Tabela 4.1). Para determinar se esse ano é um *outlier* de mínimo (P_{out}^-), podemos usar uma equação similar a Equação 4.1:

$$P_{out}^- \leq P_m - k_{\alpha/2} \cdot s \quad (4.2)$$

Para $\alpha = 1\%$, temos:

$$P_{out}^- \leq 1692 - 2,58 \cdot 440 = 557mm$$

Portanto o ano de 1962 não se caracteriza como um *outlier* ao nível de confiança de 99%.

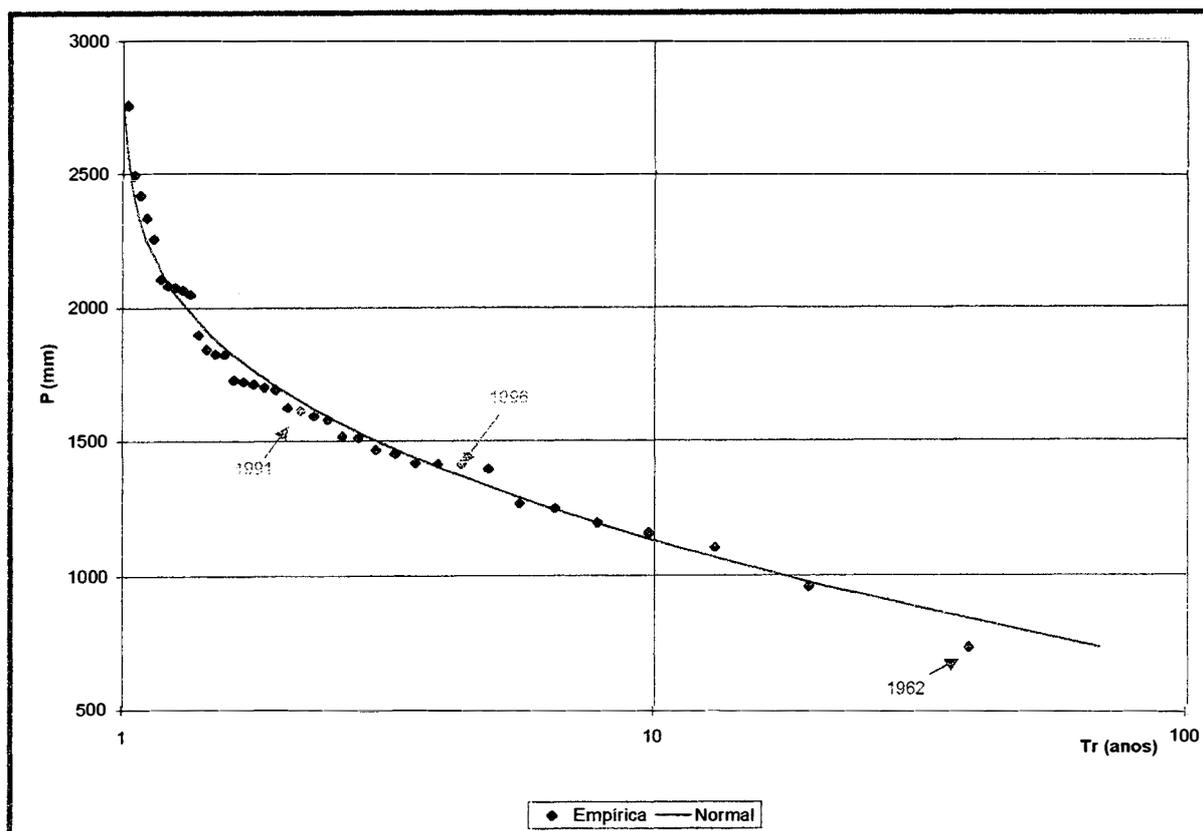


Figura 4.7. Probabilidade de anos secos

Comparando os períodos de uso específico do solo, observa-se que no período do plantio direto (1994-1998) o ano mais seco foi o de 1996 (ver Figura 4.5) com um tempo de retorno de 3,8 anos pela distribuição Normal ($P_{Normal}[P_{ano} \leq 1413,9mm] = 26,36\%$) contra o ano mais seco do período de plantio convencional (1991) que tem um tempo de retorno de 2,3 anos ($P_{Normal}[P_{ano} \leq 1613,1mm] = 42,89\%$).

Verificamos então que o período de plantio direto apresenta o ano mais seco (1996 com 1414 mm) e o mais úmido (1997 com 2761 mm) dentro do período de dados do projeto Potiribu (1990-1998), fazendo com que a variância no período seja alta e estatisticamente diferente da variância do período convencional, apesar das médias serem equivalentes (valores na Tabela 4.8).

4.3. Precipitações Mensais

4.3.1. Análise Espacial

A análise espacial da precipitação mensal da região de Ijuí foi realizada considerando a precipitação mensal média de cada mês no período de dados em comum das séries de precipitação mensal dos postos de Ijuí, Faxinal e Conceição (1960-1976), adimensionalizados pela média de cada posto no período. A representação gráfica dos resultados é exposta na Figura 4.8. Pela figura verificamos que a variabilidade espacial dos postos é pequena.

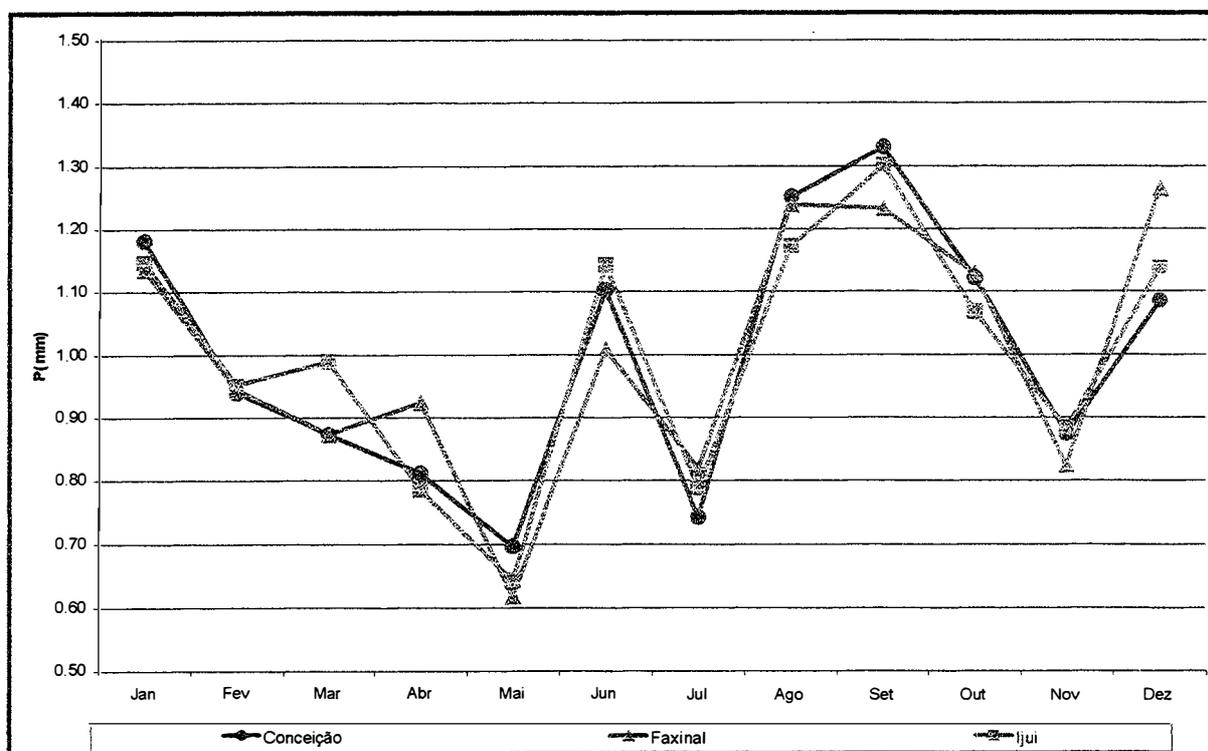


Figura 4.8. Variação espacial das precipitações mensais na região de Ijuí

A série de Conceição foi a escolhida para a análise por retratar bem o período, por não apresentar falhas e pela sua boa correlação com o posto Potiribu como mostra a Figura 4.9.

Considerando apenas o período dos dados do projeto Potiribu (1989-1999), verificamos que existe uma pequena variação espacial dos valores de precipitação mensal dos postos da bacia do Potiribu e do posto de Conceição, como mostra a Figura 4.9, e que a média dos postos da bacia do Potiribu apresenta boa correlação com o posto Conceição.

Os valores dos postos 13, 14, 51 e 52, também mostrados na Figura 4.9, apresentam uma pequena dispersão com relação aos valores da média dos postos da bacia do Potiribu.

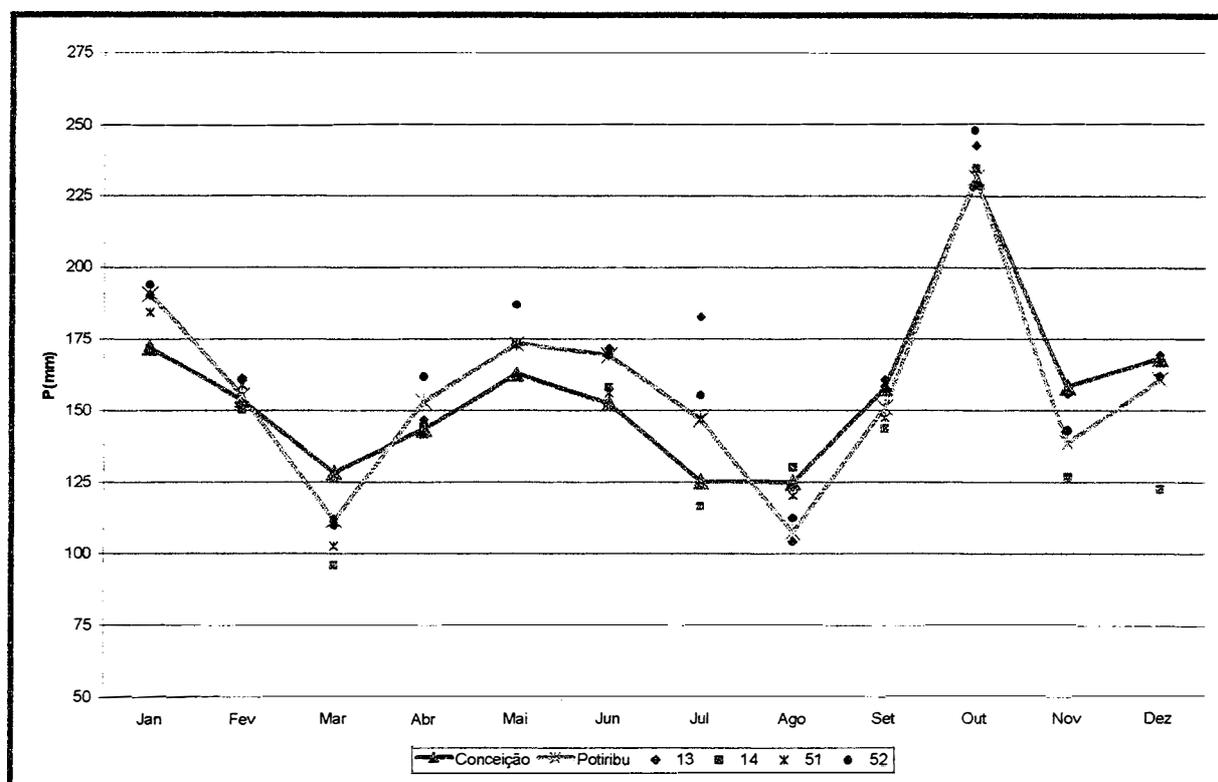


Figura 4.9. Variação espacial do postos do Potiribu e de Conceição (1989-1999)

4.3.2. Análise Temporal

As precipitações na região do Ijuí apresentam uma distribuição ao longo do ano relativamente uniforme (desvio padrão de 15 mm equivalente a 10,7% da média, 140,7 mm), como mostra a curva da série longa de precipitações do posto de Conceição apresentado na Figura 4.10. Essa curva foi obtida através das médias das precipitações mensais no período Jan/1960 a Set/1998. Nessa curva, percebemos que o mês mais seco, março, tem uma precipitação mensal de 115,9 mm, enquanto o mês mais úmido, outubro, apresenta 167,1 mm, mostrando uma precipitação mensal variando numa faixa que oscila em torno de 25 mm em relação à média ao longo do ano.

A Figura 4.10 apresenta o ciclo anual das precipitações mensais dos postos Conceição e Potiribu, considerando apenas o período de 1989 a 1999. Nessas curvas, observamos claramente a influência do ENSO nas precipitações dos meses maio (1992) e outubro (1997) que foi capaz de distorcer a forma das curvas com relação a da série longa (1960 – 1998 do posto de Conceição). Verificamos que, sem considerar esses meses (maio/92 e out/97) de El Niño, as curvas apresentam melhor correlação com a série longa (0,71 sem o efeito do El Niño contra 0,66 com o El Niño). O posto de Conceição mostrou razoável correlação (0,80 sem o efeito do El Niño e 0,87 com o El Niño) com o posto Potiribu para o ciclo anual de precipitações, considerando apenas o período de 1989 a 1999.

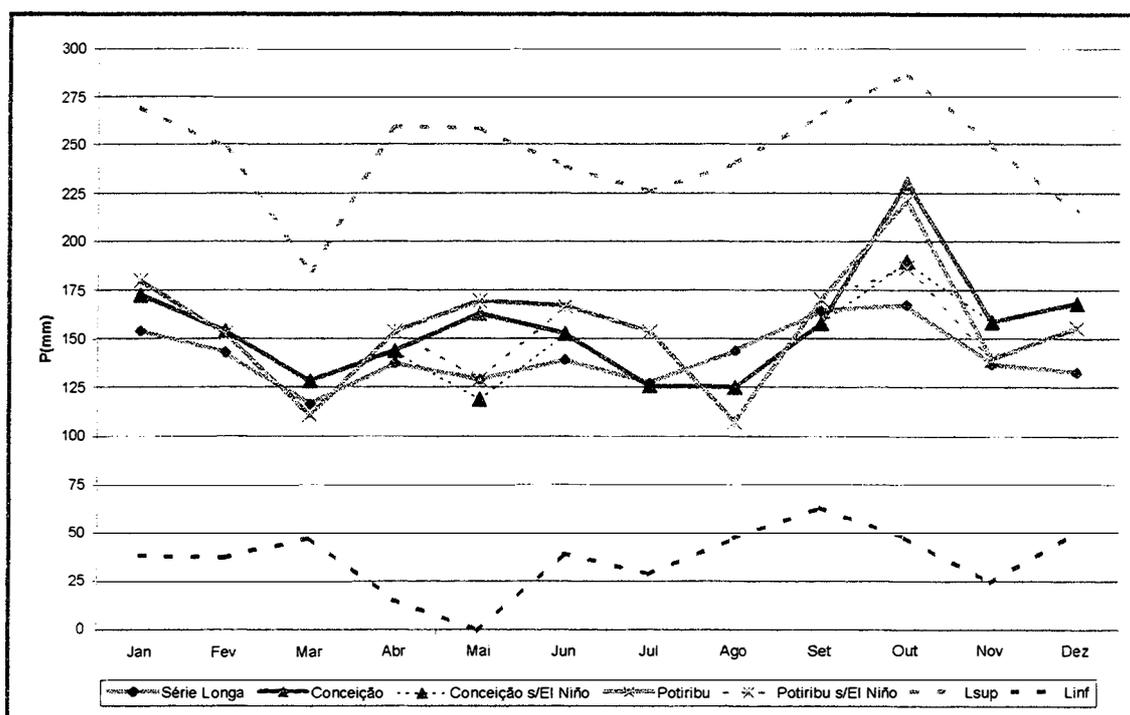


Figura 4.10. Ciclo anual de precipitações

Na Figura 4.10 é indicado o intervalo de confiança com nível de significância (α) de 25% para os valores das precipitações mensais médias da série histórica de Conceição (1960-1998). Os valores do posto de Conceição foram usados como referência por se tratar da série mais representativa, como mencionado no item 4.2.1. O cálculo dos limites do intervalo de confiança foi realizado através das equações abaixo para cada mês do Posto de Conceição:

$$L_j^+ = \bar{P}_j + k_{\alpha/2} \cdot S_j \quad (4.3)$$

$$L_j^- = \bar{P}_j - k_{\alpha/2} \cdot S_j \quad (4.4)$$

onde L_i^+ e L_i^- são os limites superior e inferior, respectivamente, do intervalo de confiança da precipitação mensal do mês i , \bar{P}_i e s_i são a média e o desvio padrão, respectivamente, do mês i e $k_{\alpha/2}$ é calculado em função do α desejado, seguindo uma distribuição normal padronizada. Para $\alpha = 25\%$, temos $k_{\alpha/2} = 1.15$.

A análise da precipitação mensal feita para cada mês do ano é apresentada no Anexo 1. O resumo dessa análise é mostrado na Tabela 4.10 e na Tabela 4.11.

Pela Tabela 4.10 podemos comparar a média e o desvio padrão dos meses do posto de Conceição nos períodos: 1960-1998 (série completa), 1960-1988 (antes do projeto Potiribu) e 1989-1998 (projeto Potiribu). Essa tabela é ilustrada pela Figura 4.11 e pela Figura 4.12.

Tabela 4.10 – Estatística das precipitações mensais do posto Conceição

| Mês | 1960-1998 | | 1960-1988 | | 1989-1998 | |
|------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|
| | média (mm) | desvio padrão (mm) | média (mm) | desvio padrão (mm) | média (mm) | desvio padrão (mm) |
| <i>janeiro</i> | 153.8 | 100.4 | 147.5 | 100.5 | 172.0 | 103.2 |
| <i>fevereiro</i> | 142.6 | 91.4 | 138.8 | 80.0 | 153.7 | 123.2 |
| <i>março</i> | 115.9 | 59.9 | 111.8 | 63.7 | 128.1 | 47.8 |
| <i>abril</i> | 137.3 | 106.1 | 135.2 | 111.1 | 143.3 | 95.0 |
| <i>maio</i> | 128.7 | 112.6 | 116.9 | 91.9 | 162.7 | 159.8 |
| <i>junho</i> | 138.8 | 86.5 | 134.1 | 93.6 | 152.4 | 63.8 |
| <i>julho</i> | 126.9 | 85.8 | 127.4 | 94.8 | 125.3 | 55.6 |
| <i>agosto</i> | 143.5 | 84.0 | 150.0 | 82.4 | 124.8 | 90.4 |
| <i>setembro</i> | 164.1 | 88.1 | 166.3 | 80.9 | 157.8 | 111.1 |
| <i>outubro</i> | 167.1 | 104.2 | 147.6 | 88.2 | 230.1 | 130.8 |
| <i>novembro</i> | 136.6 | 97.8 | 129.9 | 90.5 | 158.2 | 122.2 |
| <i>dezembro</i> | 132.6 | 71.6 | 121.6 | 61.1 | 168.0 | 93.7 |

A Tabela 4.11 mostra os valores extremos das precipitações mensais. Pela tabela, observa-se que os meses de janeiro, maio, junho e novembro apresentaram valores de precipitação nulos no período 1960-1988, o que não ocorreu em nenhum mês no período do projeto Potiribu (1989-1998). Os meses de fevereiro, maio, outubro e novembro apresentaram os maiores valores de precipitação no período do projeto Potiribu devido ao efeito do El Niño (maio/1992; outubro e novembro/1997; e fevereiro/1998) (hachuradas na Tabela 4.11).

Nos meses de fevereiro/1998 e novembro/1997, o efeito do El Niño não produziu precipitações maiores do que as da série histórica anterior (1960-1988), porém nos meses de maio/1992 e outubro/1997, a precipitação mensal foi a maior de toda a série de dados (1960-1998).

Tabela 4.11 – Valores extremos das precipitações mensais do posto Conceição

| <i>Mês</i> | 1960-1998 | | 1960-1988 | | 1989-1998 | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | máximo (mm) | mínimo (mm) | máximo (mm) | mínimo (mm) | máximo (mm) | mínimo (mm) |
| <i>janeiro</i> | 393.8 | 0 | 393 | 0 | 393.8 | 37 |
| <i>fevereiro</i> | 370 | 9.1 | 370 | 28.1 | 331.9 | 9.1 |
| <i>março</i> | 280.3 | 6 | 280.3 | 6 | 207.1 | 56.6 |
| <i>abril</i> | 386.9 | 10.3 | 386.9 | 10.3 | 308.3 | 33.4 |
| <i>maio</i> | 560.2 | 0 | 392.6 | 0 | 560.2 | 26.7 |
| <i>junho</i> | 463.8 | 0 | 463.8 | 0 | 288.8 | 102.8 |
| <i>julho</i> | 414.4 | 21.5 | 414.4 | 21.5 | 223.6 | 56.6 |
| <i>agosto</i> | 347.6 | 12.1 | 347.6 | 12.1 | 291.4 | 20.3 |
| <i>setembro</i> | 406.2 | 14.8 | 364.7 | 14.8 | 406.2 | 38.1 |
| <i>outubro</i> | 556.6 | 15.2 | 328.9 | 15.2 | 556.6 | 117.7 |
| <i>novembro</i> | 378.8 | 0 | 378.8 | 0 | 369.9 | 29.9 |
| <i>dezembro</i> | 306.4 | 32.4 | 233.3 | 32.4 | 306.4 | 52.3 |

Pela Figura 4.11 observamos um aumento na média da precipitação mensal na maioria dos meses (com exceção do trimestre: julho, agosto e setembro), sendo que no mês de outubro esse aumento se mostrou mais acentuado, pois a média desse mês passou de 147,6 mm no período de 1960 a 1988 para 230,1 no período de 1989 a 1998, ou seja, um aumento de 55,9%, como mostra a Tabela 4.12.

O desvio padrão do período 1989-1998 apresentou mudanças significativas nos meses de fevereiro (aumento de 54,0%), maio (aumento de 74,9%), outubro (aumento de 48,3%) e dezembro (aumento de 53,4%), como mostra a Figura 4.12 e a Tabela 4.12.

Adaptando as equações 4.1 e 4.2 para valores de precipitação mensal, temos:

$$\frac{P_{outj}^+ - \bar{P}_i}{s_i} \geq k_{\alpha/2} \quad (4.2)$$

$$\frac{\bar{P}_i - P_{outj}^+}{s_i} \geq k_{\alpha/2} \quad (4.3)$$

onde $P_{out,i}^+$ e $P_{out,i}^-$ são *outlier* de máxima e de mínima, respectivamente, da precipitação mensal do mês i , \bar{P}_i e s_i são a média e o desvio padrão, respectivamente, do mês i e $k_{\alpha/2}$ é calculado em função do α desejado, seguindo uma distribuição normal padronizada. Para $\alpha = 1\%$, temos $k_{\alpha/2} = 2,58$.

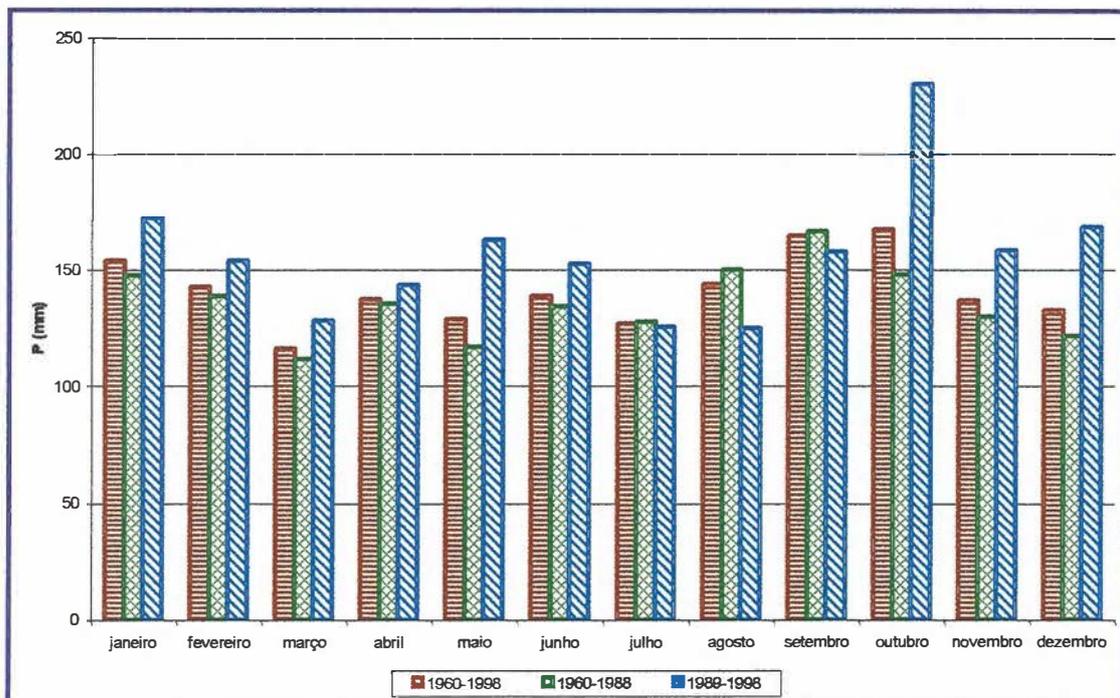


Figura 4.11. Médias mensais do posto Conceição

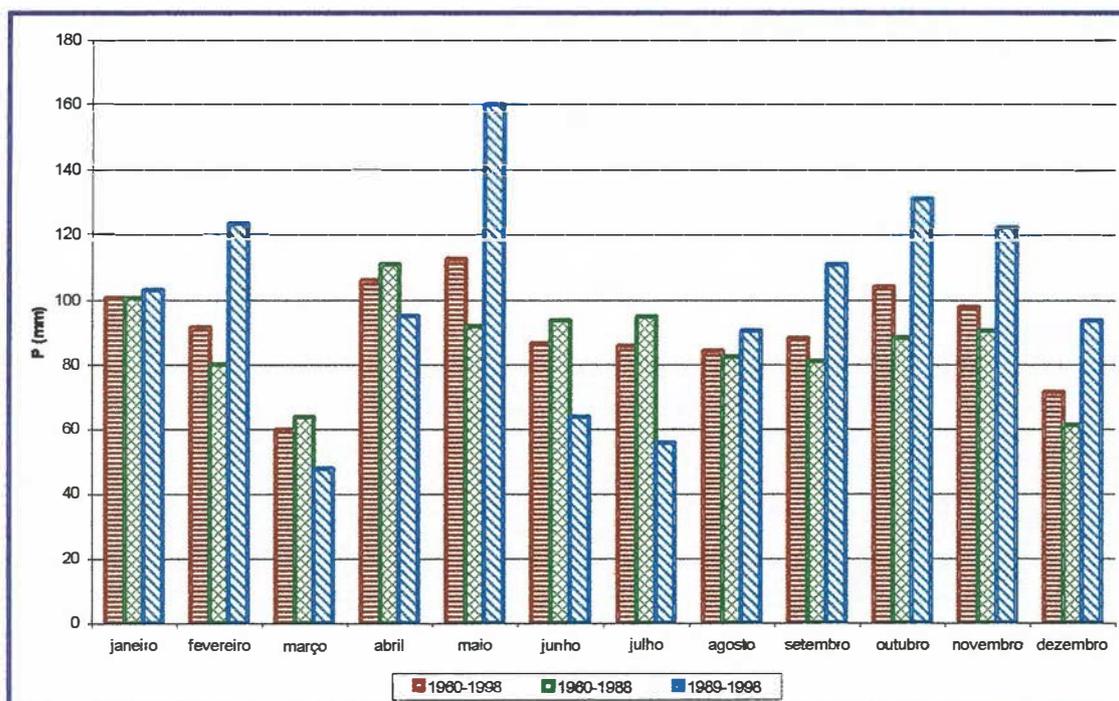


Figura 4.12. Desvios padrões mensais do posto Conceição

Tabela 4.12 – Aumento relativo da precipitação mensal do período 1989-1998 em relação a 1960-1988

| <i>Mês</i> | Aumento Relativo | |
|------------------|-------------------------|---------------------------|
| | média (mm) | desvio padrão (mm) |
| <i>janeiro</i> | 16.6% | 2.6% |
| <i>fevereiro</i> | 10.7% | 54.0% |
| <i>março</i> | 14.6% | -25.0% |
| <i>abril</i> | 6.0% | -14.5% |
| <i>maio</i> | 39.1% | 73.9% |
| <i>junho</i> | 13.6% | -31.8% |
| <i>julho</i> | -1.6% | -41.3% |
| <i>agosto</i> | -16.8% | 9.8% |
| <i>setembro</i> | -5.1% | 37.2% |
| <i>outubro</i> | 55.9% | 48.3% |
| <i>novembro</i> | 21.8% | 35.0% |
| <i>dezembro</i> | 38.2% | 53.4% |

A Tabela 4.13 mostra os valores extremos de precipitação mensal dos meses no período 1989-1998 do posto de Conceição e o $k_{\alpha/2}$ correspondente a cada valor extremo, adotando a média e o desvio padrão do período 1960-1998, de maneira a ser possível localizar os valores de outliers.

Tabela 4.13 – Valores extremos de precipitação mensal dos postos de Conceição (1989-1998)

| mês | máximo | | mínimo | |
|------------------|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------|
| | (mm) | k_{α} | (mm) | k_{α} |
| <i>janeiro</i> | 393,8 | 2.39 | 37,0 | 1.16 |
| <i>fevereiro</i> | 331,9 | 2.07 | 9,1 | 1.46 |
| <i>março</i> | 207,1 | 1.52 | 56,6 | 0.99 |
| <i>abril</i> | 308,3 | 1.61 | 33,4 | 0.98 |
| <i>maio</i> | 560,2 | 3.83 | 26,7 | 0.91 |
| <i>junho</i> | 288,8 | 1.73 | 102,8 | 0.42 |
| <i>julho</i> | 223,6 | 1.13 | 56,6 | 0.82 |
| <i>agosto</i> | 291,4 | 1.76 | 20,3 | 1.47 |
| <i>setembro</i> | 406,2 | 2.75 | 38,1 | 1.43 |
| <i>outubro</i> | 556,6 | 3.74 | 117,7 | 0.47 |
| <i>novembro</i> | 369,9 | 2.38 | 29,9 | 1.09 |
| <i>dezembro</i> | 306,4 | 2.43 | 52,3 | 1.12 |

Pela Tabela 4.13 verificamos que os valores extremos máximos de precipitação mensal no período de 1989-1998 foram bem maiores que o valor média do período completo 1960-1998, sendo que os meses de maio de 1992, setembro de 1990 e outubro de 1997 podem ser considerados como *outlier* ao nível de significância de 1%.

4.4. Precipitações Máximas Diárias

4.4.1. Análise espacial

A análise espacial da precipitação máxima diária da região de Ijuí foi realizada considerando a maior precipitação diária de cada ano hidrológico da série histórica de cada posto, como mostra a Figura 4.13. Os valores referente ao Potiribu foram obtidos com base na média dos valores dos postos 13, 14, 51 e 52, também representados na figura.

Como o posto de Faxinal não tem dados no período 1990-1992 e a série histórica do posto de Ijuí termina em 1975, então o posto de Conceição foi o escolhido para a análise das precipitações máximas diárias.

Na Figura 4.13 observamos que há uma boa correlação entre os valores de precipitação máxima diária do posto de Conceição com os postos 13, 14, 51 e 52 da bacia do Potiribu e com a média desses postos.

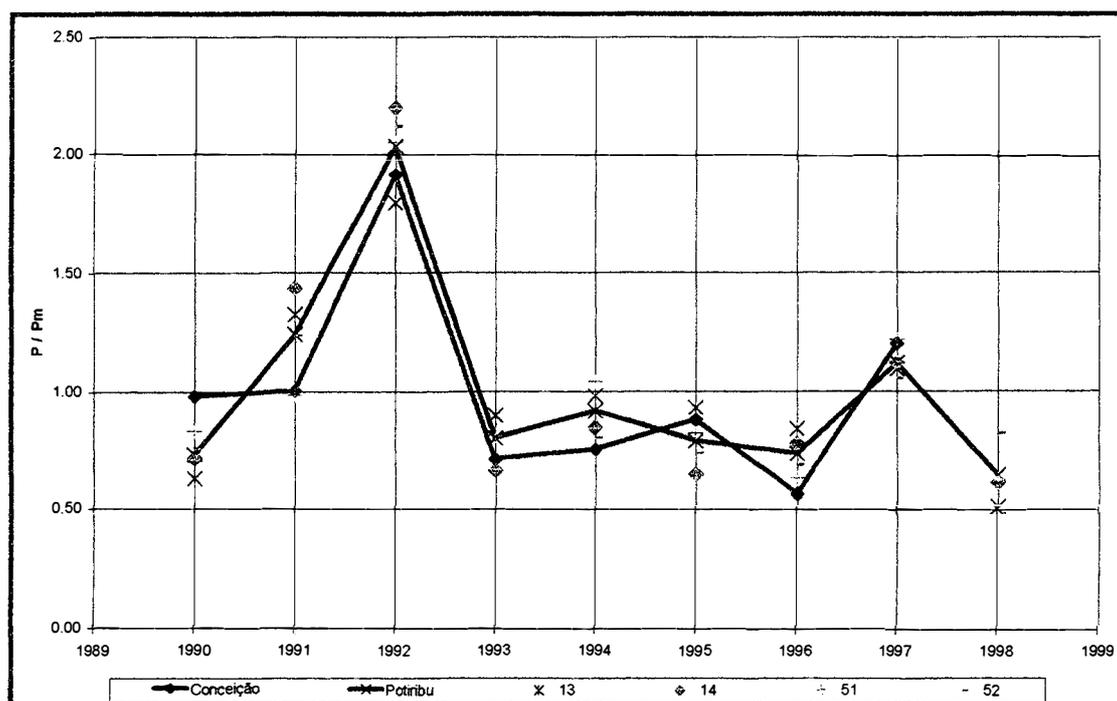


Figura 4.13. Séries de precipitações máximas diárias dos postos do Potiribu e de Conceição

4.4.2. Análise temporal

Para a análise temporal das precipitações máximas diárias foi usado o maior valor de precipitação diária de cada ano hidrológico da série histórica do posto de Conceição. Esses valores foram ajustados a uma distribuição Gumbel, como mostra a Figura 4.14. Na verificação do ajuste dos valores da série histórica para a distribuição Gumbel foi utilizada a equação de posição de plotagem de Gringorten.

Os parâmetros da distribuição Gumbel para as precipitações máximas diárias do posto de Conceição são:

| | |
|---|--|
| Com 1992: $\mu = 88.4 \text{ mm}$ $\alpha = 24.09 \text{ mm}$ | Sem 1992: $\mu = 89.28 \text{ mm}$ $\alpha = 16.12 \text{ mm}$ |
|---|--|

As precipitações máximas diárias do posto de Conceição tiveram como extremos os dias 27 de maio de 1992 e 5 de novembro de 1997 que apresentaram os valores de 241.6mm e 151.6mm respectivamente. A precipitação máxima diária de 1992 pode ser considerada como um *outlier*, pois pela Equação 4.3, considerando a média e o desvio padrão de todo do período (1960-1998), temos $k_{\alpha 2} = 4,51$. Pelo trabalho de Chevallier (1991) essa precipitação teria um tempo de retorno de quase 6 mil anos, como mostra a Tabela 4.14.

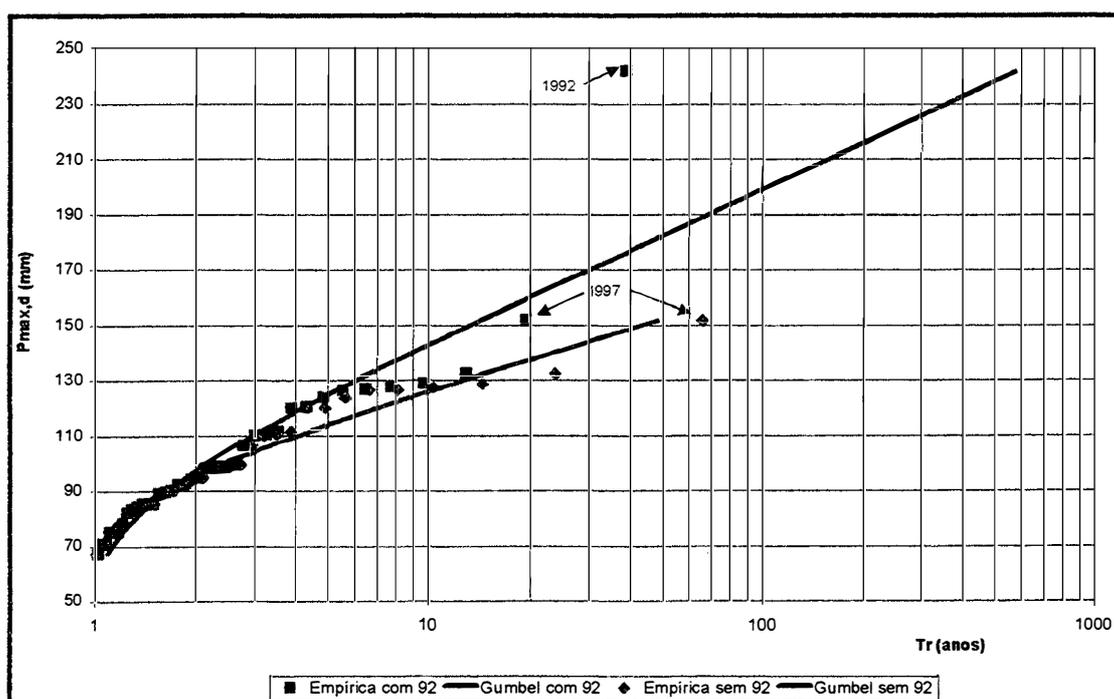


Figura 4.14. Distribuição Gumbel para as precipitações máximas do posto Conceição

Tabela 4.14 – Distribuição de probabilidade das precipitações máximas diárias

| Tr | Conceição com 1992 | Conceição sem 1992 | Cruz Alta ¹ (Chevallier, 1991) |
|-------|--------------------|--------------------|--|
| 2 | 97.3 | 95.2 | 101.8 |
| 3 | 110.2 | 103.8 | 109.1 |
| 5 | 124.6 | 113.5 | 118.3 |
| 10 | 142.7 | 125.6 | 130.5 |
| 20 | 160.0 | 137.2 | 142.6 |
| 35 | 173.4 | 146.2 | 151.6 |
| 50 | 182.5 | 152.2 | 158.3 |
| 100 | 199.3 | 163.5 | 169.1 |
| 577 | 241.6 | 191.8 | 200.8* |
| 5963* | 297.9 | 229.5 | 241.6 |

* valores extrapolados a partir dos dados de Chevallier (1991)

Pelo ajuste da distribuição Gumbel aos valores do posto de Conceição, incluindo o valor de 1992, o tempo de retorno dessa precipitação seria de 577 anos e a precipitação de 1997, a segunda maior no período de 1960 a 1998, teria um tempo de retorno de apenas 14 anos, o que mostra que o valor de 1992 deve ser tratado como *outlier*.

Desconsiderando o valor de 1992, o ajuste dos valores do posto de Conceição a uma distribuição Gumbel fornece resultados mais coerentes com os apresentados para o posto de Cruz Alta, como podemos ver na Figura 4.15, mostrando que este ajuste é o mais aconselhável para representar a distribuição de probabilidade das precipitações máximas diárias da região de Ijuí.

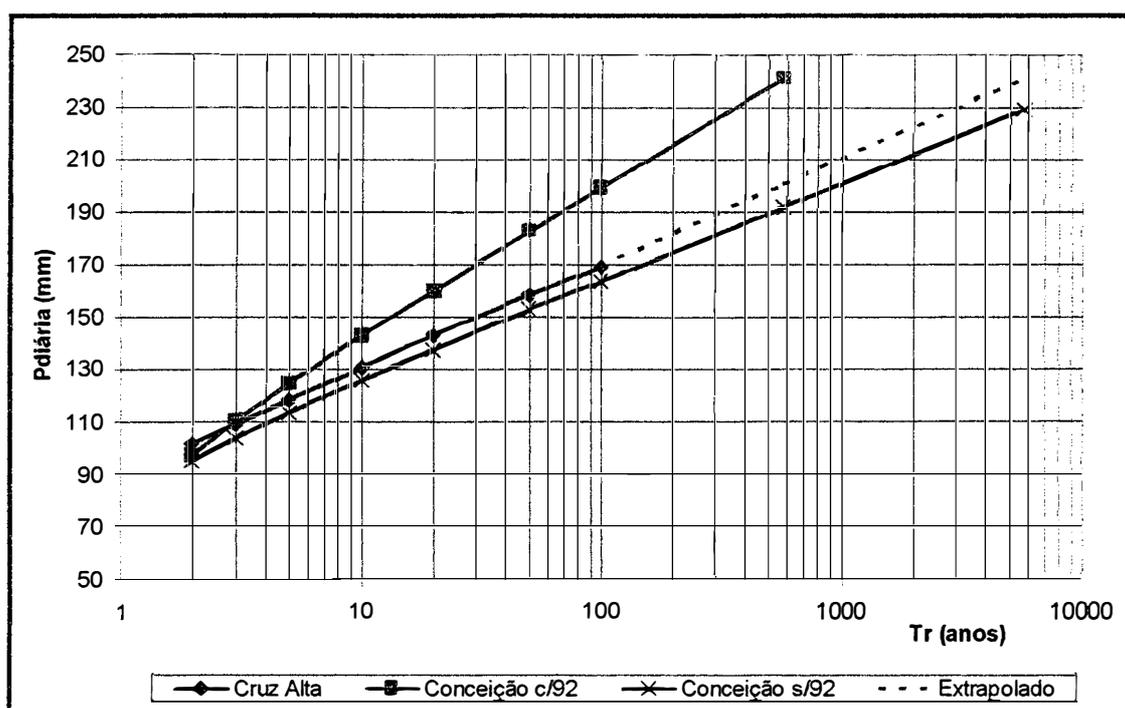


Figura 4.15. Distribuições de probabilidade das precipitações máximas diárias

Na Figura 4.13 observamos que o valor da precipitação máxima diária de 1992 provocou uma distorção entre os períodos de plantio convencional e plantio direto. Sem considerar o valor de 1992, as séries de precipitações máximas diárias dos períodos de uso específico do solo seriam praticamente homogêneas.

Chevallier & Dhein (1993) estudaram as precipitações excepcionais de 26 e 27 de maio de 1992. Os autores atribuem ao efeito do ENSO a ocorrência dessas precipitações. A precipitação máxima de 24h, registrada em Pejuçara foi de 396,5 mm, com uma intensidade máxima de 104 mm/h durante 10 minutos, 72 mm/h em 30 minutos; 62 mm/h em 1 hora; 51 mm/h em três horas.

Após uma análise estatística da série de precipitação de Santo Ângelo (1914 e 1988), Chevallier & Dhein (1993) calcularam um tempo de recorrência de 16.000 anos para a precipitação acumulada nos dois dias (500 mm). Porém, essa escala de tempo é superior ao tempo de variações climáticas globais (10.000 anos), por isso, os autores concluem que o período de recorrência dessas precipitações é numa ordem inferior a algumas centenas de anos.

4.5. Precipitações de estiagem

4.5.1. Análise espacial

A análise espacial da precipitação de estiagem da região de Ijuí foi realizada considerando o trimestre mais seco de cada ano hidrológico da série histórica dos postos Ijuí, Faxinal e Conceição no período comum de dados (1960-1975), como mostra a Figura 4.16. Os valores apresentados na figura foram adimensionalizados pela média de cada posto no período 1960-1975. Pela figura observamos que existe uma pequena variação espacial dos trimestres secos, com exceção do ano de 1966 que apresentou um trimestre extremamente seco no posto Conceição.

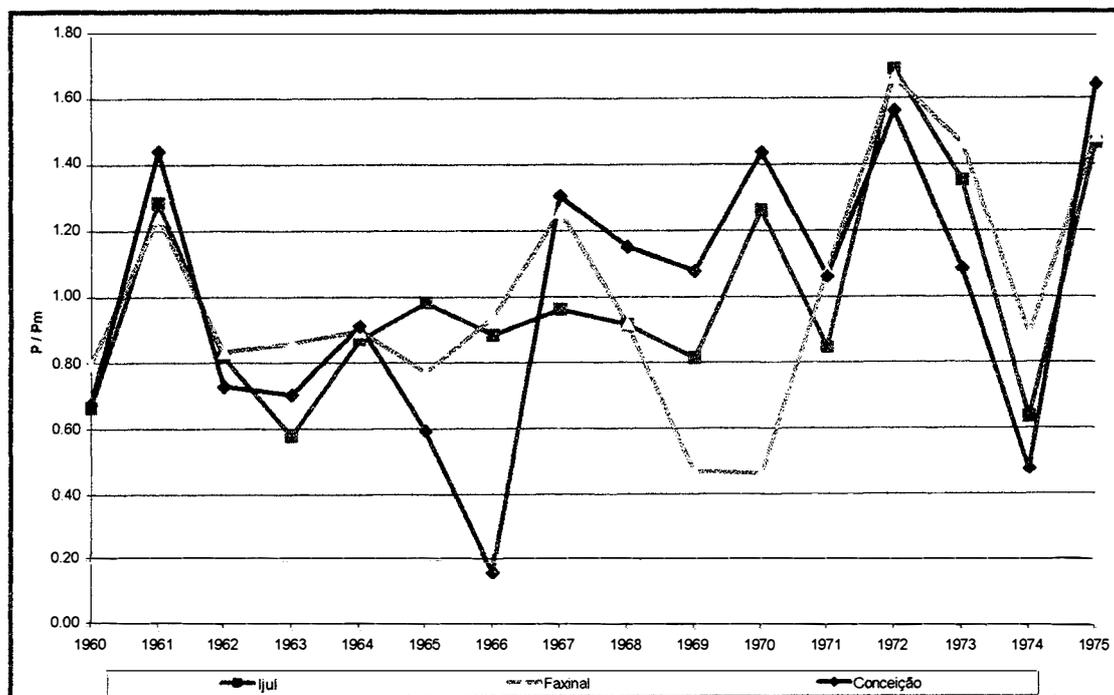


Figura 4.16. Séries de precipitações trimestrais mínimas adimensionalizadas

Na Figura 4.17 observamos que existe uma boa correlação entre os valores de precipitação trimestral mínima do posto de Conceição com a média dos postos da bacia do Potiribu e com o posto 52. Os valores referentes ao Potiribu foram obtidos com base na média dos valores dos postos existentes na bacia. O posto 52 também é representado na figura por ser o posto da bacia do Potiribu com série histórica mais completa.



Figura 4.17. Séries de precipitações trimestrais mínimas dos postos do Potiribu e de Conceição

4.5.2. Análise temporal

A distribuição de probabilidade das precipitações de estiagem foi calculada ajustando os valores do posto de Conceição a uma distribuição Normal, considerando o menor valor da precipitação trimestral de cada ano hidrológico. O resultado do ajuste é mostrado Figura 4.18. A equação de posição de plotagem adotada foi a de Weibull.

O trimestre mais seco do período de 1989 a 1998 ocorreu no verão de 1990/1991 (dez/90 a fev/91), com uma precipitação total de 170,1 mm (precipitação mensal média de 56,7 mm), apresentando um tempo de retorno de 3,5 anos, mostrando que no período não houve grandes secas.

Pela Figura 4.17 verificamos que o período de plantio convencional apresentou um ano hidrológico com um trimestre muito seco (1990/1991) e um ano hidrológico sem seca (1992) que apresentou no trimestre mais seco uma precipitação de 343,8 mm (precipitação mensal média de 114,6 mm).

Dessa forma o período de plantio convencional apresentou um desvio padrão muito grande (74,5 mm) nos valores de precipitação trimestral mínima. Entretanto o período de plantio direto foi quase uniforme, apresentando baixo desvio padrão (30,2 mm), menos da metade do desvio padrão do período convencional. Contudo as médias dos dois períodos são equivalentes (convencional = 242,6 mm e direto = 246,3 mm).

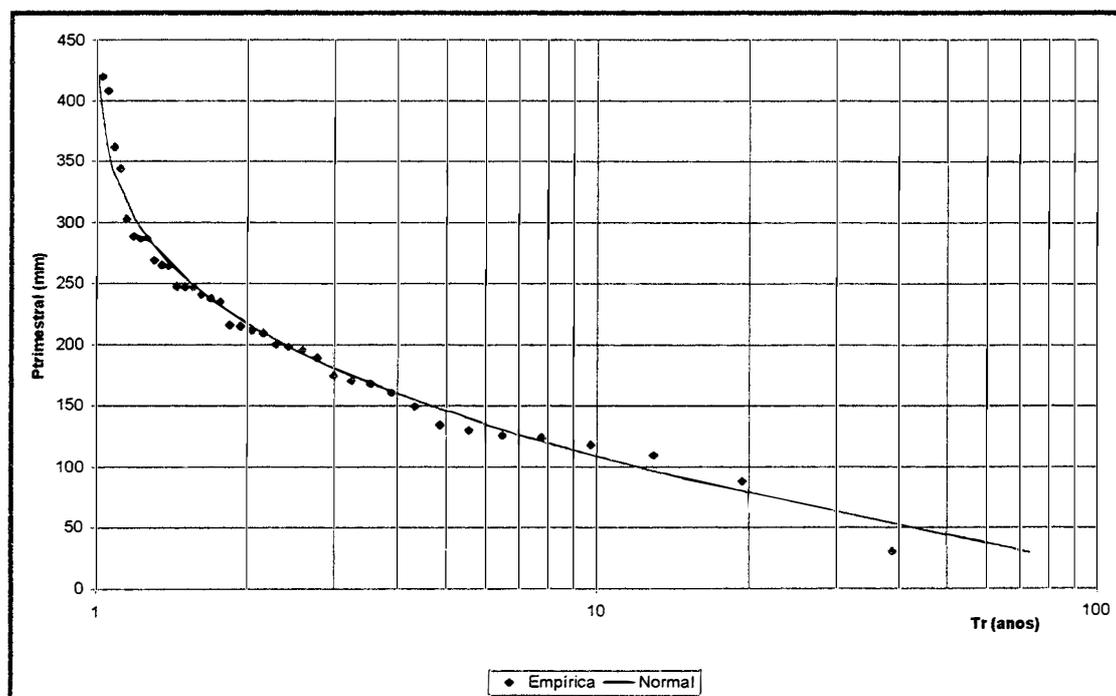


Figura 4.18. Probabilidade de trimestres secos (1960-1998)

4.6. Conclusão

Face a análise feita nesse capítulo sobre as precipitações na região de Ijuí, podemos apresentar as seguintes conclusões:

- i. A variabilidade espacial da precipitação anual no período em estudo (1989-1999) pode ser considerada pequena;
- ii. A média das precipitações anuais do período de 1989-1998 (1849 mm) em relação ao período de 1960-1997 (1692) é um pouco maior (10%) devido ao aumento sucessivo da média móvel de 4 anos das precipitações anuais nos últimos 20 anos (Figura 4.5);
- iii. A variabilidade temporal da precipitação anual no período em estudo foi grande devido a ocorrência do fenômeno ENSO no ano hidrológico de 1997 que provocou o ano mais úmido (2761 mm) dos últimos 50 anos (Figura 4.2) precedido do ano mais seco (1414 mm) no período de estudo (Figura 4.3), de modo que o período de plantio direto se caracteriza por uma variância alta quando comparada com a do período de plantio convencional;
- iv. Outro ponto na variabilidade temporal das precipitações anuais é que o período de plantio direto apresenta anos hidrológicos com precipitações anuais abaixo da média do período de estudo (Figura 4.1) com exceção do ano de 1997, que por ser extremamente úmido, fez com que a média dos dois períodos sejam similares (Tabela 4.1), logo, apesar dos períodos convencional e plantio direto terem médias equivalentes (1863 e 1836 mm, respectivamente), podemos considerar o período de plantio direto como o mais seco;
- v. O período de plantio direto, apesar de ser o mais seco, não apresentou o trimestre mais seco, sendo caracterizado por ter mais anos secos do que úmidos;
- vi. A variabilidade temporal das precipitações mensais se caracteriza pela ocorrência do fenômeno ENSO que provocou valores extremos (*outliers*) nos meses de maio de 1992 e outubro de 1997 (Tabela 4.13). Sem a interferência do ENSO, a distribuição inter-anual das precipitações é bastante uniforme, variando entre 116 mm (março) a 167 mm (outubro);
- vii. A precipitação máxima diária apresentou valores extremos nos anos de 1992 (241,6 mm) e 1997 (151,6 mm) devido ao efeito do ENSO, sendo que o ano de 1992 pode ser considerado como *outlier* (Figura 4.14), não devendo ser considerado nos estudos.

5. VAZÕES MÁXIMAS

5.1. Determinação das curvas de probabilidade

As vazões máximas são variáveis de fácil caracterização no hidrograma. Através dos eventos registrados nas bacias embutidas do Potiribu foram obtidos os valores das vazões máximas de cada bacia, utilizando séries parciais devido à existência de poucos anos de dados.

Segundo Tucci (1993b), para estabelecer a distribuição de valores máximos em uma série parcial é necessário definir uma vazão Q_0 acima da qual a mesma é considerada extrema. A escolha desta vazão é subjetiva e neste trabalho foram adotados os seguintes critérios (FLOOD, 1975):

- i. A vazão Q_0 deve ser de tal forma a resultar em, pelo menos, 3 a 4 valores por ano, sendo adotado o mesmo valor em ambos períodos de uso específico do solo;
- ii. As vazões máximas devem ser independentes entre si. Os valores de vazão máxima foram considerados independentes (Q_{p^*}) quando, entre dois valores de vazão máxima (Q_p), a vazão (Q) baixar para menos de 15% de Q_0 e devem estar separados por um intervalo de tempo (Δt) maior que 20 vezes o tempo de pico (t_p) do primeiro hidrograma (Figura 5.1).

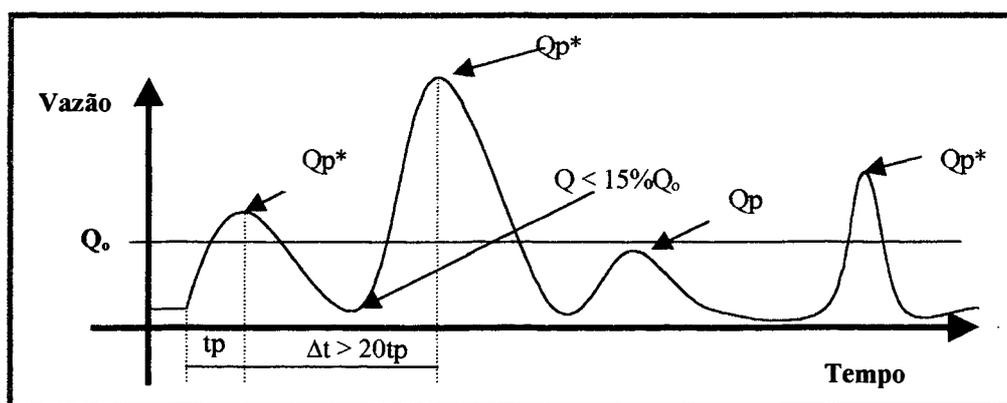


Figura 5.1. Determinação da série parcial de vazões máximas

5.1.1. Séries parciais do Anfiteatro

Na bacia do Anfiteatro o valor de Q_0 foi estipulado em 30 l/s, segundo os critérios descritos acima.

Na Figura 5.2 estão representados os 23 valores de vazão considerados na série de vazões máximas da bacia do Anfiteatro no período de plantio convencional (setembro/1989-abril/1994). Pela figura podemos observar que não há dados antes de dezembro de 1991 e no período de janeiro a junho de 1992, portanto os valores de vazão da bacia no período de El Niño em maio de 1992 não foram registrados.

Na Figura 5.2 podemos observar que nos meses de novembro e dezembro de 1993 ocorreram os dois maiores valores de vazão registrados no período de plantio convencional.

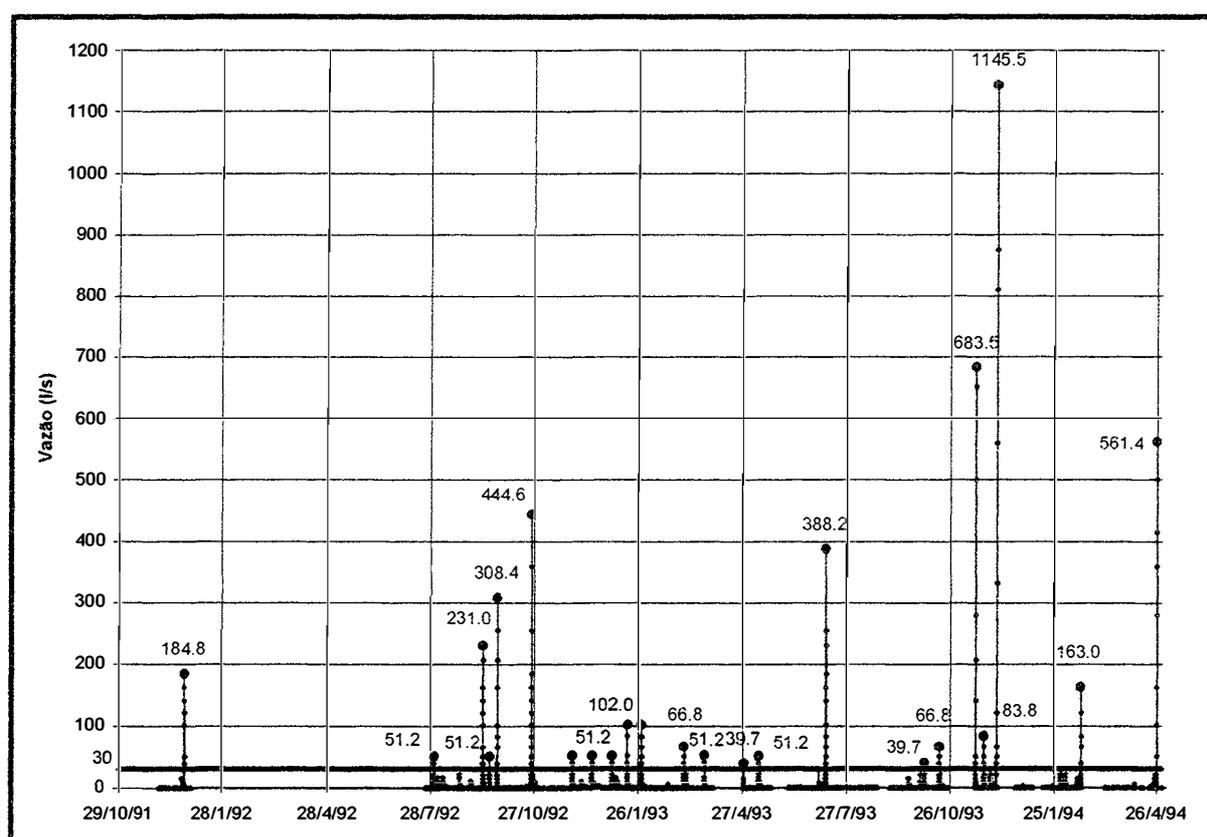


Figura 5.2. Vazões máximas na bacia do Anfiteatro (Plantio Convencional)

A Figura 5.3 mostra os 15 valores de vazão considerados na série de vazões máximas da bacia do Anfiteatro no período de plantio direto (maio/1994-setembro/1999). Pela figura podemos observar que no início do mês de novembro de 1997 e no mês de fevereiro de 1998 ocorreram os três maiores valores de vazão do período de plantio direto sob o efeito do ENSO (El Niño Southern Oscillation).

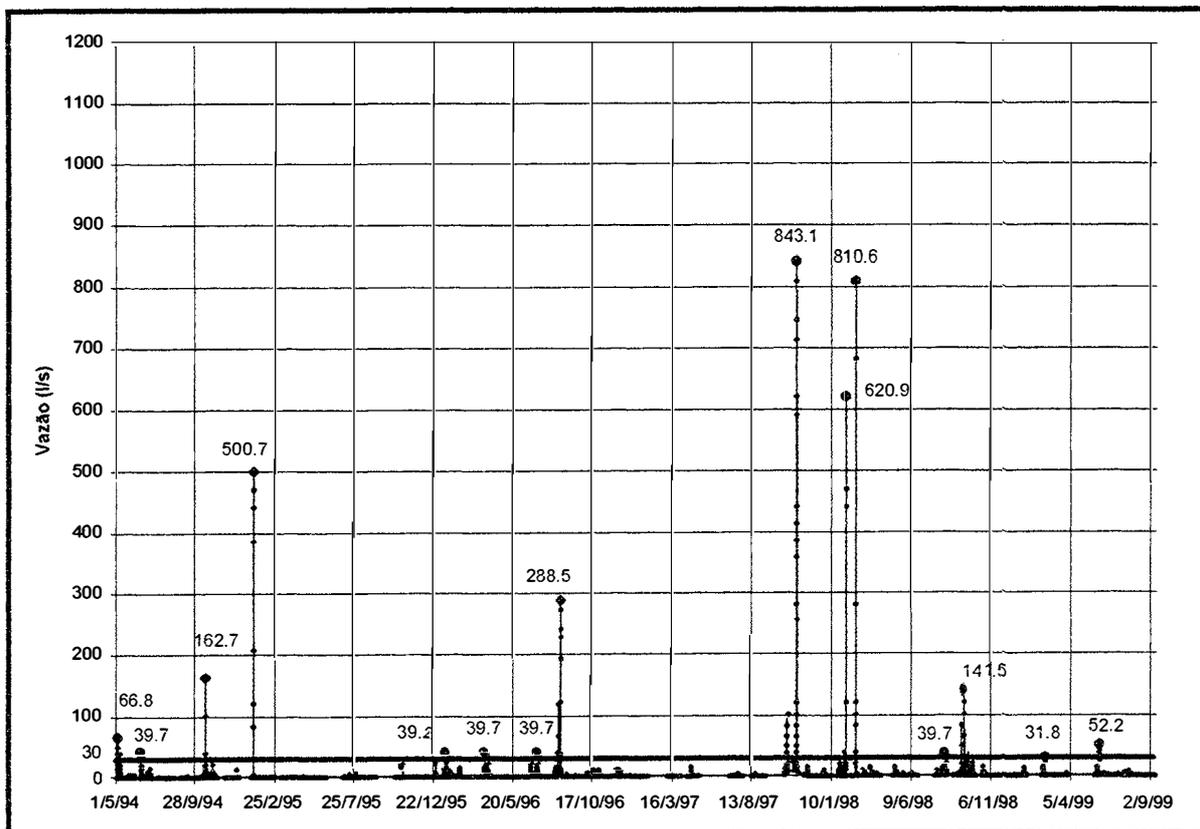


Figura 5.3. Vazões máximas na bacia do Anfiteatro (Plantio Direto)

A curva-chave do posto hidrométrico do Anfiteatro apresenta um bom ajuste com valores das medições realizadas (Figura 3.12) e foi extrapolada inicialmente até a cota 30 cm (500 l/s), como mostra a Figura 3.13. Contudo, como a seção de medição é regular dentro da calha (Figura 3.11), é possível a extrapolá-la até a cota 55 cm (1300 l/s), de modo que todos os valores de vazão máxima registrados no posto serão válidos, tendo em vista que o maior valor registrado (1145,5 l/s no dia 05/12/93) está dentro do intervalo de aceitação da extrapolação.

A Figura 5.4 mostra o histograma de frequência dos picos na bacia do Anfiteatro nos períodos de plantio convencional e direto. Na figura, observa-se que as maiores vazões ocorreram no período de plantio convencional, porém, no período de plantio direto, as vazões altas (acima de 700 l/s) são mais frequentes do que no período anterior, devido à presença do efeito ENSO nos anos 1997/1998 (Figura 5.3).

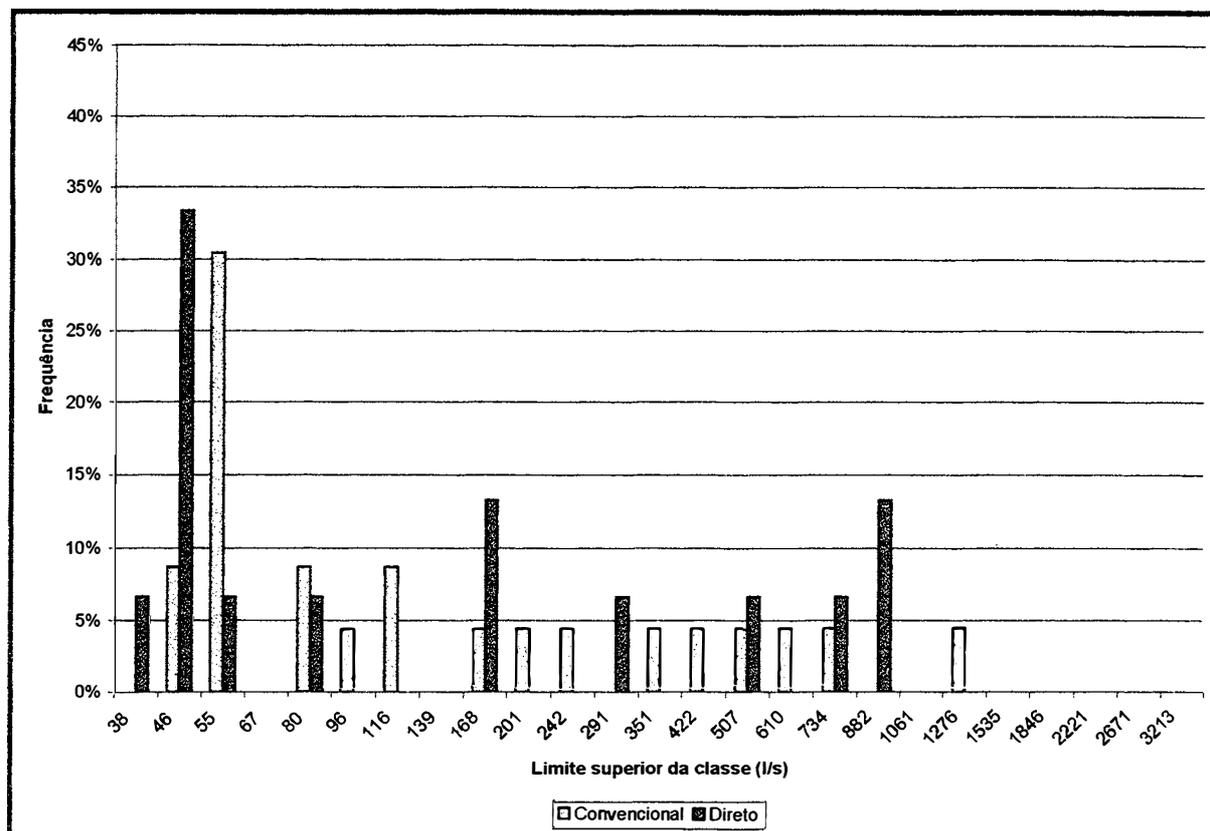


Figura 5.4. Histograma de frequência das vazões máximas no Anfiteatro (1991-1999)

5.1.2. Séries parciais do Donato

Na bacia do Donato, o valor de Q_0 foi estipulado em $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$, segundo os critérios de FLOOD (1975).

Na Figura 5.5 estão representados os 17 valores de vazão considerados na série de vazões máximas da bacia do Donato no período de plantio convencional. Pela figura podemos observar a ausência de dados antes de abril de 1991. No dia 27/05/92 ocorreu um valor extremo de vazão máxima em decorrência do ENSO que provocou nesse dia uma precipitação diária que pode ser considerada como *outlier* de máximo (ver item 4.2.2).

A Figura 5.6 mostra os 15 valores de vazão considerados na série de vazões máximas da bacia do Donato no período de plantio direto. Pela figura podemos observar que no início do mês de novembro de 1997 e no mês de fevereiro de 1998 ocorreram os três maiores valores de vazão ($11,26 \text{ m}^3/\text{s}$ em novembro/1997 e $7,13$ e $9,53 \text{ m}^3/\text{s}$ em fevereiro/1998) do período de plantio direto sob o efeito do ENSO, como ocorreu na bacia do Anfiteatro.

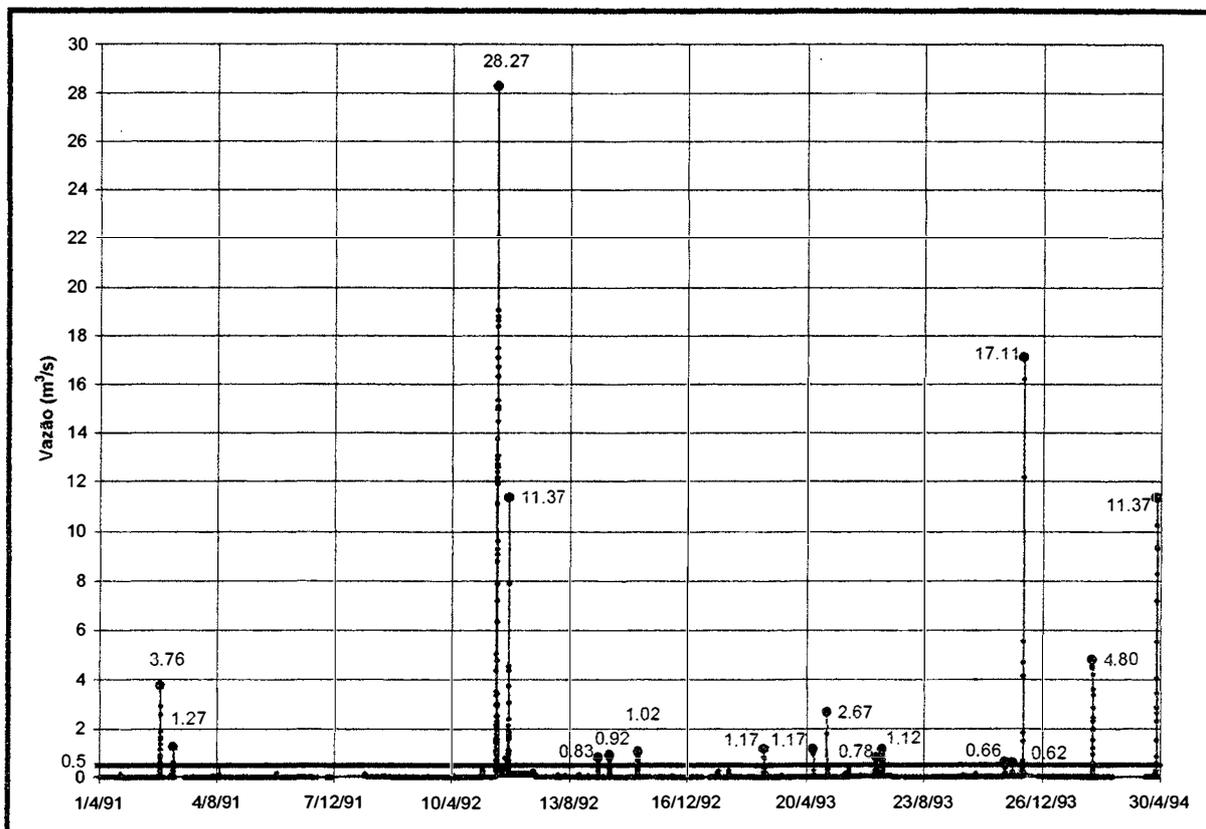


Figura 5.5. Vazões máximas na bacia do Donato (Plantio Convencional)

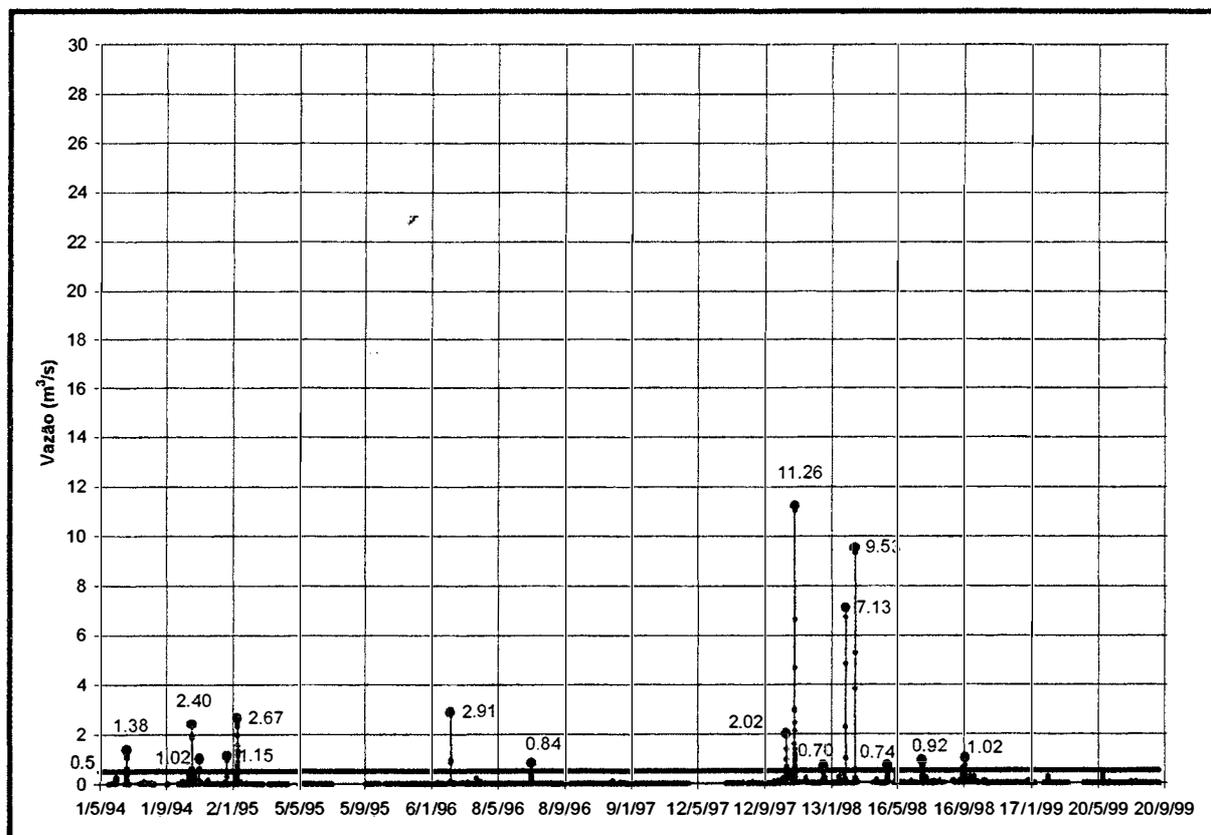


Figura 5.6. Vazões máximas na bacia do Donato (Plantio Direto)

Comparando as Figura 5.5 e Figura 5.6, verificamos que no período plantio direto os valores de vazões máximas tiveram magnitudes bem menores que no período de plantio convencional. Isso mostra que o plantio direto diminuí as vazões máximas, pois a cobertura vegetal constante desse plantio favorece a interceptação e a infiltração.

A curva-chave do posto hidrométrico do Donato para o escoamento normal dentro da calha apresenta uma dispersão para valores de vazão acima de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 3.15) e foram feitas poucas medições para valores pequenos (perto de zero). Contudo, neste estudo, foi considerado como válido a extrapolação até a cota 300 cm ($25 \text{ m}^3/\text{s}$), como mostra a Figura 3.16. A vazão máxima do dia 27/05/92 ($28,27 \text{ m}^3/\text{s}$) foi obtida através da curva-chave para escoamento com extravasamento (Figura 3.16), ajustada especialmente para esse evento.

A Figura 5.7 mostra o histograma de freqüências das vazões máximas na bacia do Donato nos períodos de plantio convencional e direto. Pela figura, observamos que no período de plantio convencional o desvio padrão dos valores máximos foi maior que no direto. O plantio direto, por apresentar uma cobertura do solo mais homogênea ao longo do tempo, gera respostas hidrológicas (escoamento superficial) mais uniformes que as do plantio convencional.

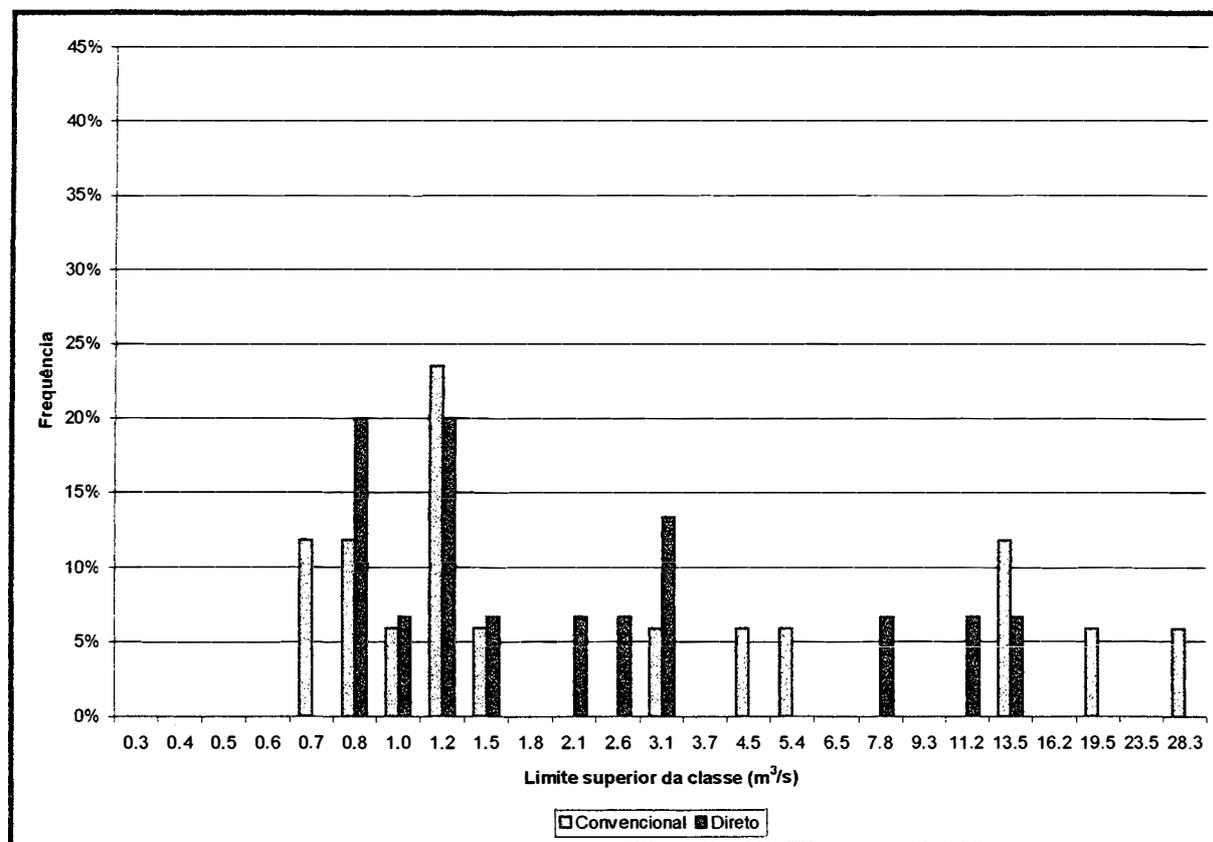


Figura 5.7. Histograma de freqüência das vazões máximas no Donato

5.1.3. Séries parciais do Turcato

O valor de Q_0 para a bacia do Turcato foi estimado em $5,00 \text{ m}^3/\text{s}$, segundo os critérios de FLOOD (1975).

Na Figura 5.8 estão representados os 22 valores de vazão considerados na série de vazões máximas da bacia do Turcato no período de plantio convencional. A série apresenta pequenos períodos sem dados, inclusive no final do mês de maio de 1992 quando ocorreu o El Niño. Dessa maneira a série não apresenta valores de vazões máximas que se destacam sobre os demais.

A Figura 5.9 mostra os 12 valores de vazão considerados na série de vazões máximas da bacia do Turcato no período de plantio direto. A série apresenta um grande período sem dados: de 12/12/95 até 24/07/98, de maneira que o período sob efeito do ENSO observado no início do mês de novembro de 1997 e no mês de fevereiro de 1998 nas bacias do Anfiteatro e do Donato não pode ser comparado com a bacia do Turcato. Na figura observamos um valor extremo de vazão máxima em agosto de 1998 que se destaca em todo o período de dados do projeto Potiribu.

A curva-chave do posto hidrométrico do Turcato para o período 1989-1995 (Figura 3.18) apresenta um bom ajuste com as medições de vazão e foi extrapolada até a cota 300 cm ($9,7 \text{ m}^3/\text{s}$), como mostra a Figura 3.20. Logo, o valor da vazão máxima do dia 17/02/94 ($12,60 \text{ m}^3/\text{s}$) está fora desse intervalo, tornando esse valor duvidoso. A curva-chave para o período a partir de agosto de 1998 (Figura 3.21) também apresenta um bom ajuste com os valores observados e foi extrapolada até a cota 500 cm ($\approx 80 \text{ m}^3/\text{s}$), como mostra a Figura 3.22.

A Figura 5.10 mostra o histograma de frequência das vazões máximas na bacia do Turcato nos períodos de plantio convencional e direto. Pela figura, verificamos que no período de plantio direto existe uma maior frequência de valores máximos nas classes maiores. Isso pode ser explicado da seguinte maneira: as bacias menores (Anfiteatro e Donato) servem como áreas de recarga para a bacia do Turcato, sendo essa recarga maior no período de plantio direto, pois esse tipo de plantio aumenta a capacidade de infiltração do solo. Conseqüentemente, o plantio direto produz vazões máximas menores nas bacias do Anfiteatro e do Donato e maiores na bacia do Turcato.

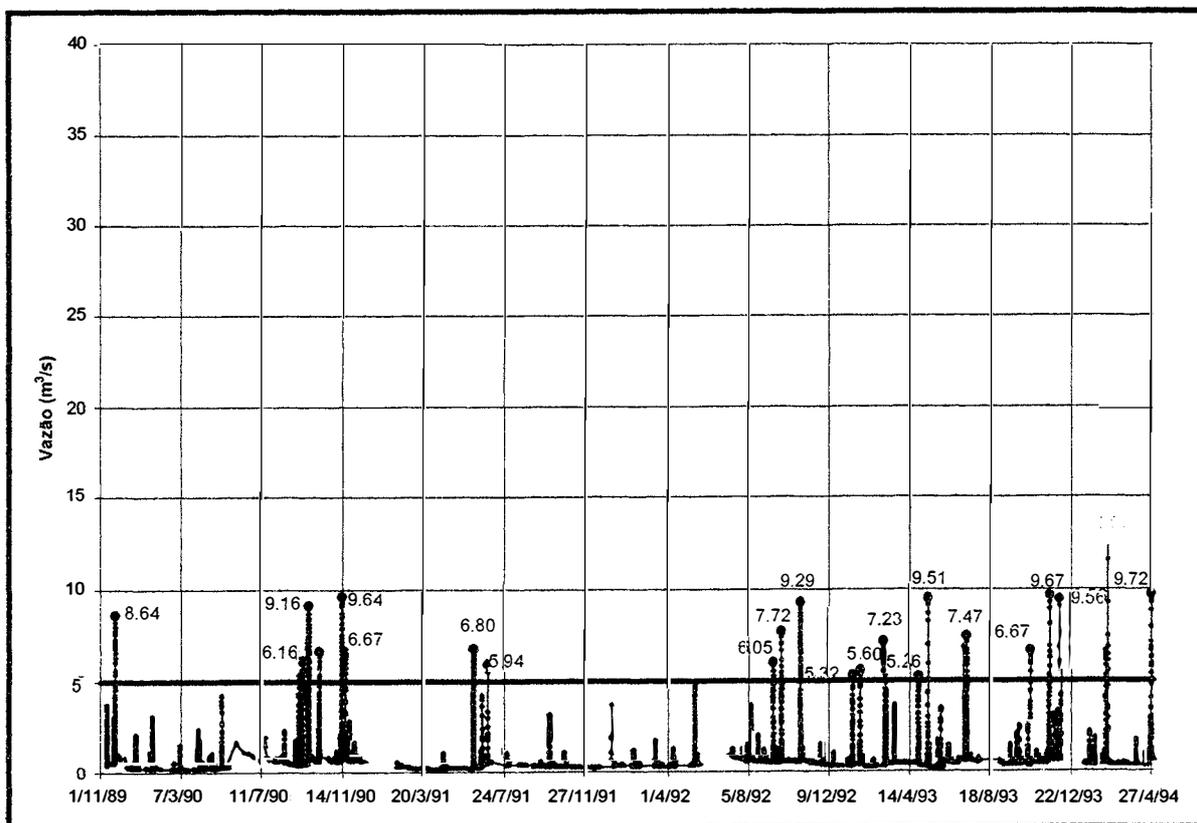


Figura 5.8. Vazões máximas na bacia do Turcato (Plantio Convencional)

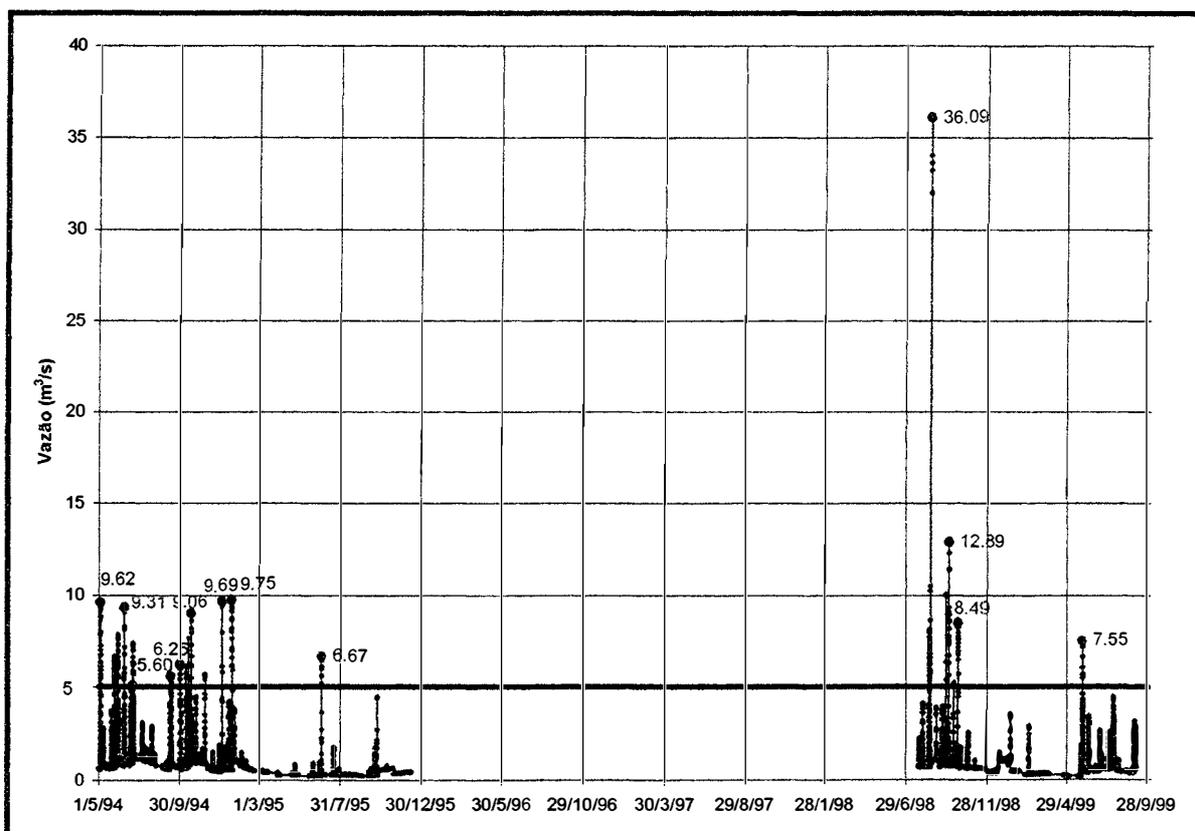


Figura 5.9. Vazões máximas na bacia do Turcato (Plantio Direto)

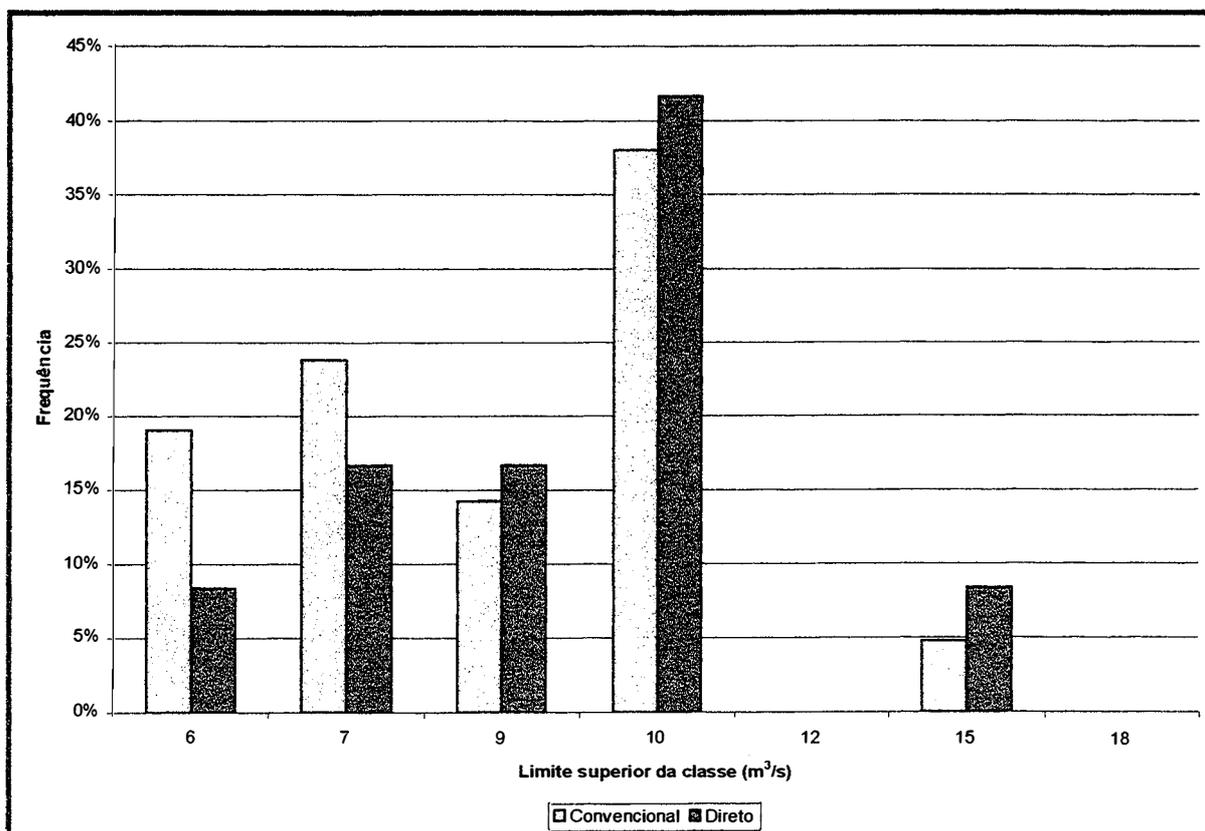


Figura 5.10. Histograma de frequência das vazões máximas no Turcato

5.1.4. Análise das bacias embutidas do rio Potiribu

A Figura 5.11 apresenta o histograma de frequência das vazões específicas máximas das bacias embutidas do Potiribu no período de plantio convencional e a Figura 5.12 no período de plantio direto. Pelas figuras, verificamos que a bacia do Turcato tem maiores frequências nas classes mais baixas e o Donato tem maiores frequências nas classes maiores, em ambos os períodos. Por ser a maior bacia, é de se esperar que o Turcato apresente uma capacidade maior de armazenamento, de forma a diminuir os picos das vazões, como mostra as figuras. O fato do Donato apresentar maiores vazões específicas que o Anfiteatro e menores que o Turcato quebra a tendência de aumento da capacidade de armazenamento com a área da bacia. Isso nos faz concluir que a bacia do Anfiteatro é muito pequena (12,5 ha) para ser considerada como bacia de escoamento superficial, devendo ser considerada como área de recarga das bacias maiores (Donato e Turcato). Isto é, a abrangência dos processos hidrológicos superficiais e sub-superficiais é maior que a área dessa bacia, de forma que parte do escoamento superficial por ela gerado só irá surgir mais a jusante, nas bacias de escala maior (Donato e Turcato).

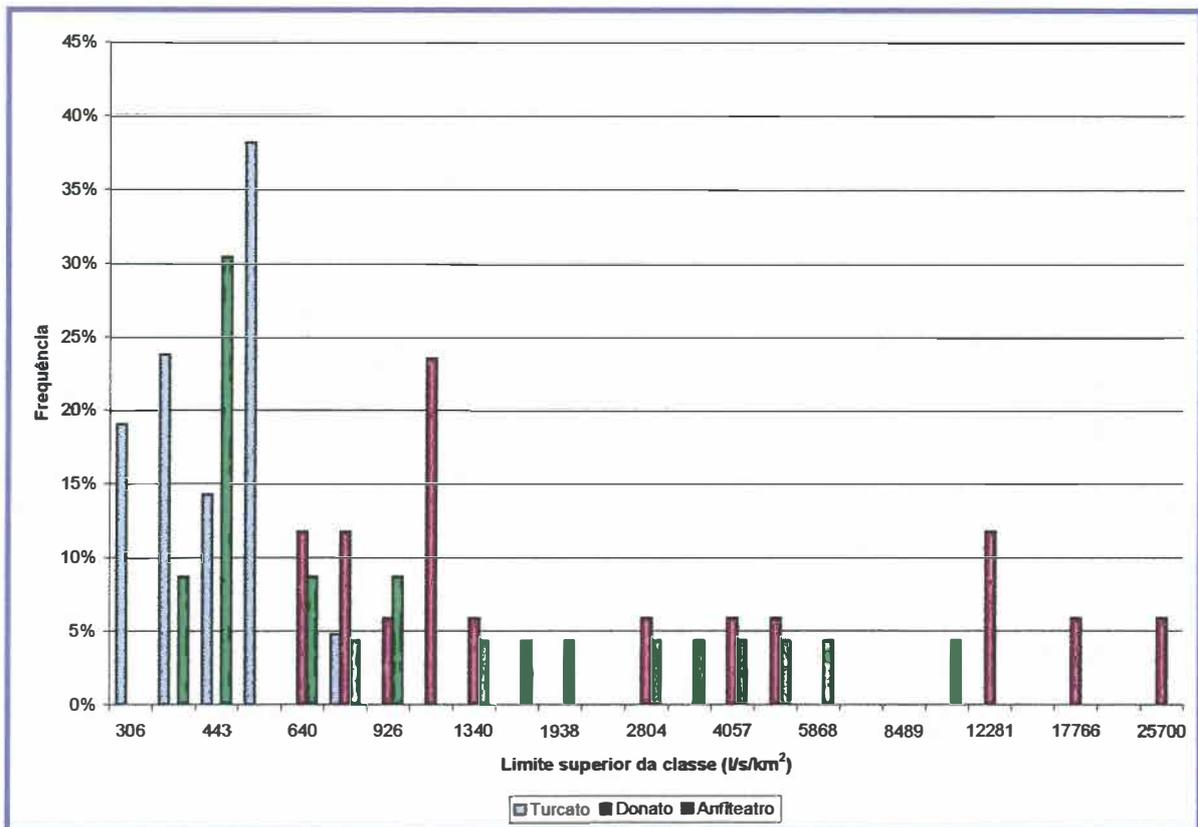


Figura 5.11. Histograma das vazões específicas máximas no período de plantio convencional

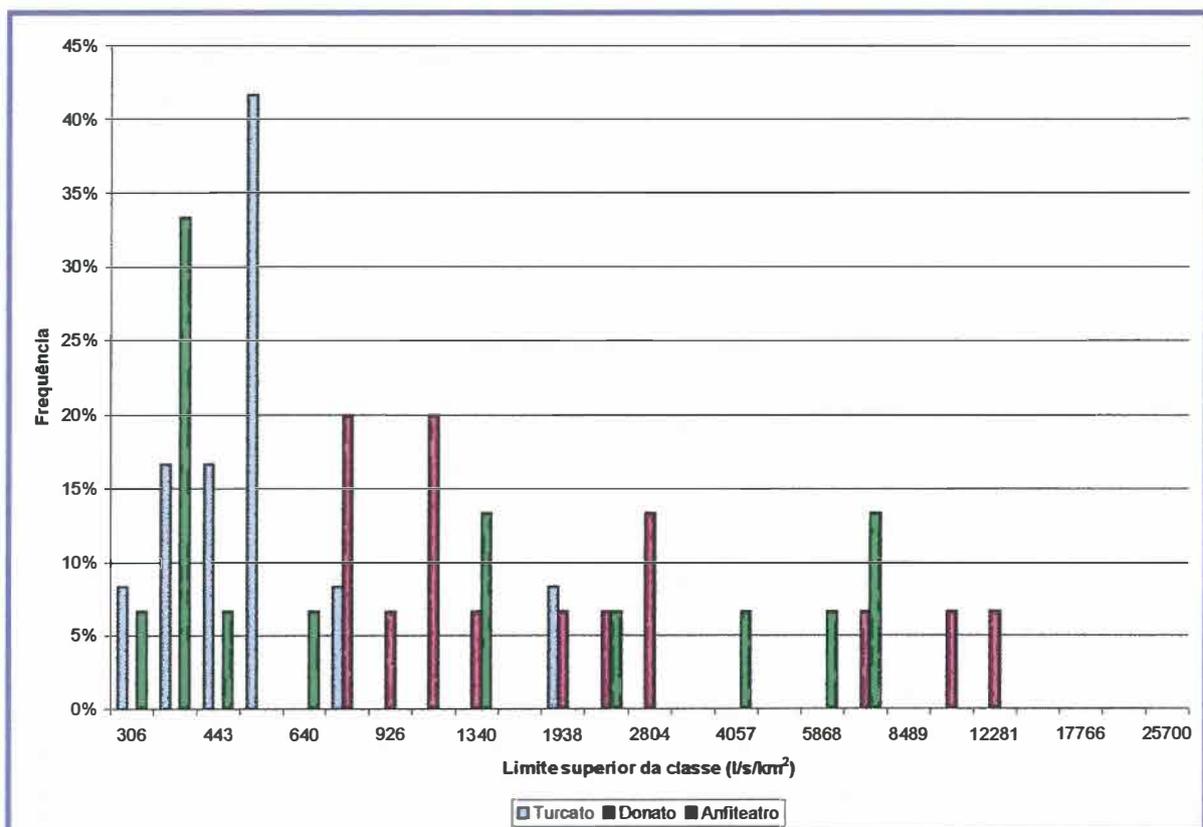


Figura 5.12. Histograma das vazões específicas máximas no período de plantio direto

5.1.5. Ajuste das séries parciais a uma distribuição de Poisson

A aproximação por séries parciais, descrito em FLOOD (1975), é um tratamento estatístico muito simples que consiste em enumerar todas as vazões máximas (picos) que excedem um determinado valor (Q_o). A razão de excedência (L) é dada pelo número de picos que excedem Q_o (M) dividido pelo número de anos da série registrada (N). Essa razão (L) será usada para corrigir o tempo de retorno dos picos, pois não foi escolhido um pico por ano e sim, em média, L pico por ano. Logo, o tempo de retorno (Tr), em anos, é obtido por:

$$Tr(anos) = \frac{1}{L \cdot P(Q \geq Q_i / Q_i \geq Q_o)} \quad (5.1)$$

onde $P(Q \geq Q_i / Q_i \geq Q_o)$ é a probabilidade da vazão (Q) ser maior que o i -ésimo pico registrado (Q_i), em ordem decrescente, dado que Q_i é maior que Q_o .

A distribuição dos picos foi considerada como exponencial, logo:

$$P(Q \geq Q_i / Q_i \leq Q_o) = e^{-(Q_o - Q_i)/B} \quad (5.2)$$

onde o parâmetro B é estimado por:

$$B = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (Q_i - Q_o) \quad (5.3)$$

Dessa forma, considerando as Equações 5.1 e 5.2, a vazão máxima em função do tempo de retorno é obtida através de:

$$Q(Tr) = Q_o + B \cdot [\ln(L) + \ln(Tr)] \quad (5.4)$$

A vazão média de cheia (Q_{mx}) obtida através das M cheias independentes escolhidas durante os N anos de registro é fornecida, segundo Tucci (1993b), pela Equação 5.4 considerando uma distribuição de Poisson, ou seja:

$$Q_{mx} = Q_o + B \cdot [\ln(L) + 0,5772] \quad (5.5)$$

A Tabela 5.1 apresenta as estatísticas das séries parciais de vazões máximas determinadas para as bacias embutidas do Potiribu. Na tabela também é apresentada a vazão específica de cada bacia. As vazões específicas foram calculadas em função da vazão média de cheia (Equação 5.5) de cada bacia para cada situação.

Tabela 5.1 – Estatística das séries parciais de vazão máxima

| Período de Plantio | Anfiteatro | | | Donato | | | | Turcato | |
|--|--------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|
| | Conv. ¹ | Direto | | Convencional | | Direto | | Conv. ¹ | Direto ¹ |
| Valores da série | sem ENSO | com ENSO | sem ENSO | com ENSO | sem ENSO | com ENSO | sem ENSO | sem ENSO | sem ENSO |
| No. de anos (<i>N</i>) | 3 | 6 | 5 | 3 | 3 | 6 | 5 | 5 | 4 |
| No. de eventos (<i>M</i>) | 23 | 15 | 12 | 17 | 16 | 15 | 10 | 21 | 12 |
| <i>L</i> (<i>M/N</i>) | 7,67 | 2,50 | 2,40 | 5,67 | 5,33 | 2,50 | 2,00 | 4,20 | 3,0 |
| Máximo (m ³ /s) | 1,15 | 0,84 | 0,50 | 28,27 | 17,11 | 11,26 | 2,91 | 12,60 | 36,09 |
| Mínimo (m ³ /s) | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,62 | 0,62 | 0,70 | 0,74 | 5,26 | 5,60 |
| <i>Q</i> ₀ (m ³ /s) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 5,00 | 5,00 |
| Média (m ³ /s) | 0,22 | 0,25 | 0,12 | 5,23 | 3,79 | 3,05 | 1,51 | 7,84 | 10,91 |
| Desvio padrão (m ³ /s) | 0,27 | 0,30 | 0,14 | 7,66 | 5,00 | 3,41 | 0,82 | 1,94 | 8,17 |
| Média de cheia ² (m ³ /s) | 0,52 | 0,36 | 0,16 | 11,43 | 7,91 | 4,30 | 1,78 | 10,72 | 14,91 |
| Média de Cheia específica (m ³ /s/km ²) | 4,13 | 2,84 | 1,29 | 10,40 | 7,19 | 3,91 | 1,62 | 0,55 | 0,76 |

1 – Período sem registro do ENSO

2 – Valor obtido pela Equação 5.5

A Tabela 5.2 apresenta as vazões máximas calculadas pela Equação 5.4 para diferentes *Tr* nas bacias embutidas do Potiribu. Essa tabela é ilustrada pela Figura 5.13, Figura 5.14 e Figura 5.15.

Tabela 5.2 – Vazões máximas pela método POT

| Tr (anos) | Anfiteatro | | | Donato | | | | Turcato | |
|-----------|------------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | Conv. | Direto | | Convencional | | Direto | | Conv. | Direto |
| | S/ENSO | C/ENSO | S/ENSO | C/ENSO | S/ENSO | C/ENSO | S/ENSO | S/ENSO | S/ENSO |
| 1 | 0,41 | 0,23 | 0,11 | 8,70 | 6,01 | 2,83 | 1,20 | 9,08 | 11,50 |
| 2 | 0,54 | 0,38 | 0,17 | 11,98 | 8,29 | 4,60 | 1,89 | 11,05 | 15,60 |
| 3 | 0,61 | 0,47 | 0,21 | 13,90 | 9,62 | 5,63 | 2,30 | 12,20 | 17,99 |
| 5 | 0,71 | 0,58 | 0,25 | 16,32 | 11,30 | 6,93 | 2,81 | 13,65 | 21,02 |
| 10 | 0,84 | 0,73 | 0,32 | 19,60 | 13,58 | 8,70 | 3,51 | 15,62 | 25,12 |

A Figura 5.13 apresenta uma mudança significativa das vazões máximas entre os períodos de uso específico do solo na bacia do Anfiteatro. No período de plantio direto houve uma redução dos valores das vazões máximas, sendo bem destacada esta redução quando comparada com os períodos sem os valores sob efeito do ENSO.

A Figura 5.14 também apresenta uma mudança significativa das vazões máximas entre os períodos de uso específico do solo na bacia do Donato. Nessa figura, podemos comparar tanto os períodos com e sem os valores sob efeito do ENSO. Em ambos, houve uma significativa redução dos valores de vazão máxima no período de plantio direto.

A Figura 5.15 apresenta uma mudança significativa das vazões máximas entre os períodos de uso específico do solo na bacia do Turcato. Essa mudança resultou, ao contrário do ocorrido nas bacias do Anfiteatro e Donato, num aumento dos valores das vazões máximas no período de plantio direto.

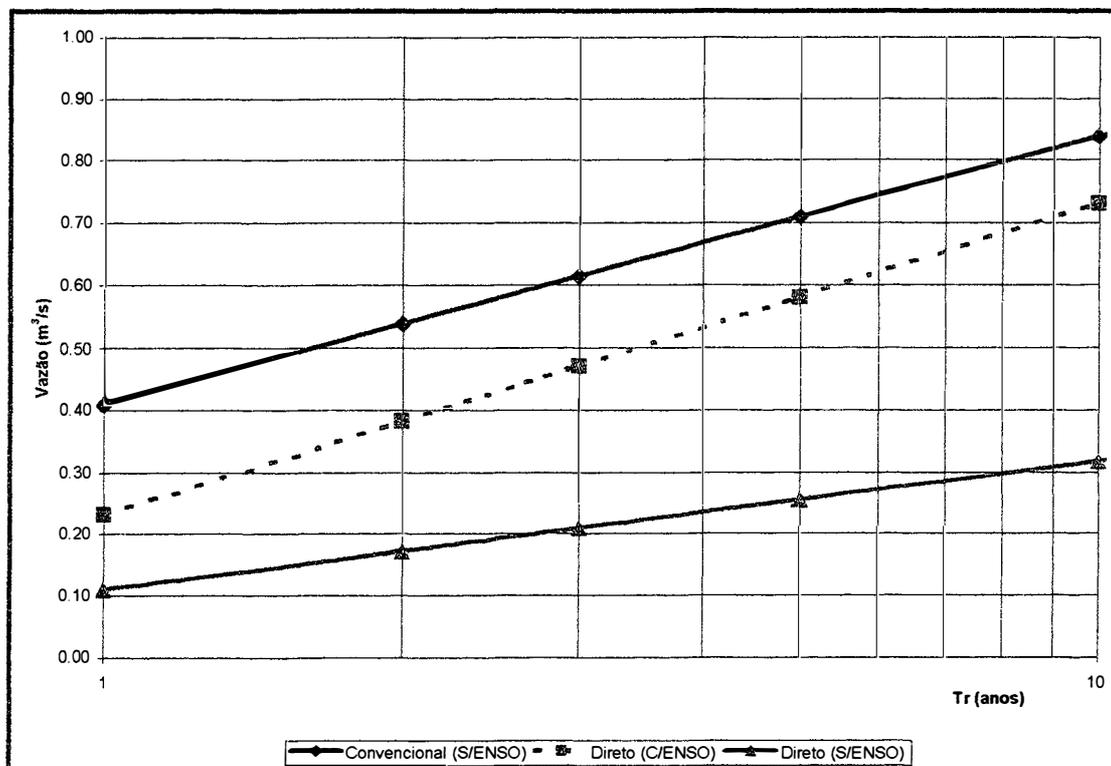


Figura 5.13. Vazões máximas na bacia do Anfiteatro

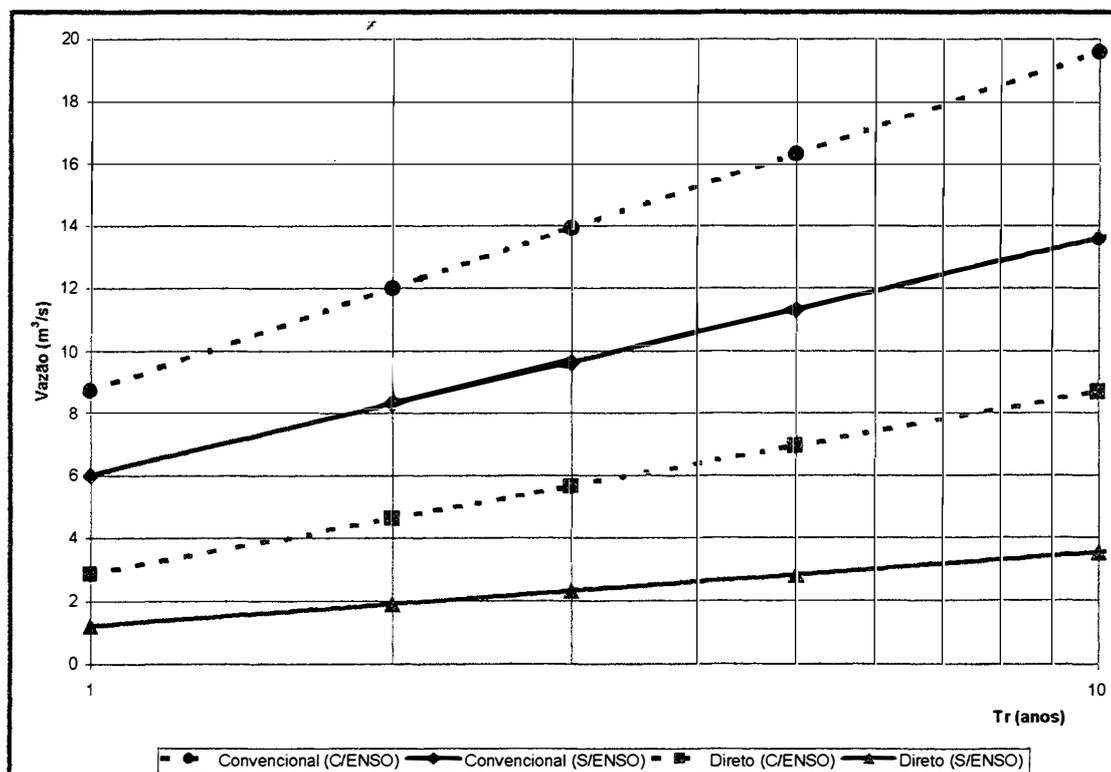


Figura 5.14. Vazões máximas na bacia do Donato

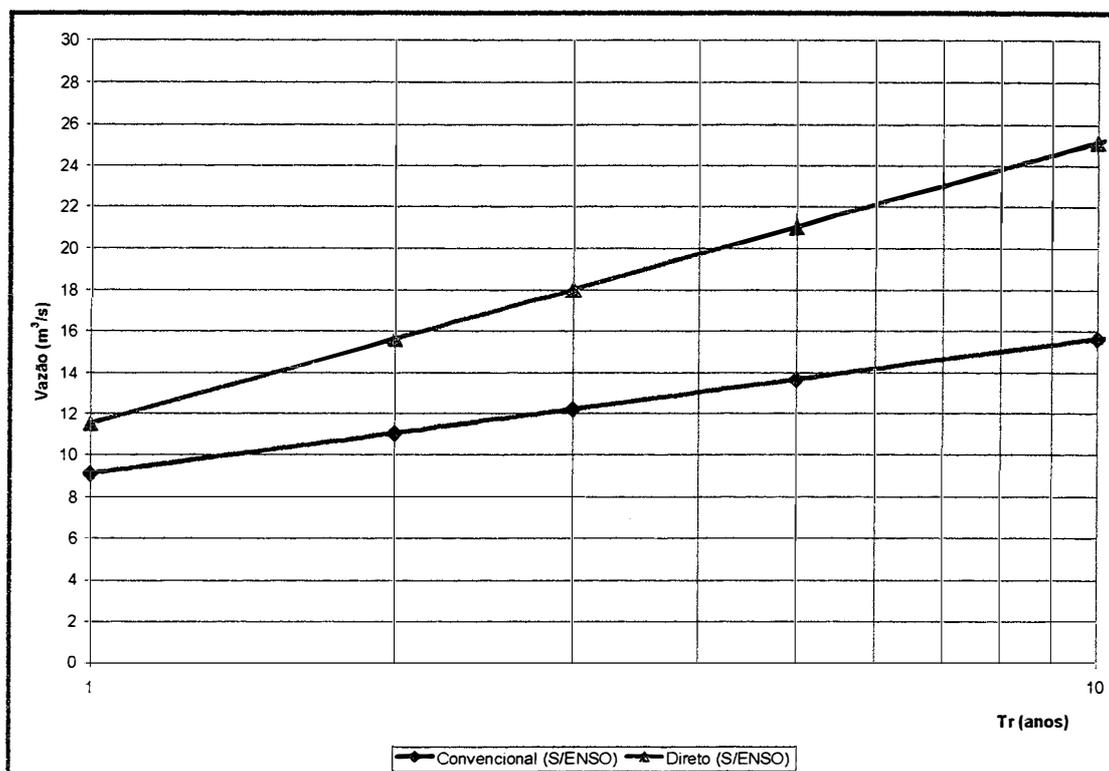


Figura 5.1 5. Vazões máximas na bacia do Turcato

Através dos valores mostrados na Tabela 5.1 podemos verificar estatisticamente as alterações observadas nas figuras anteriores. Na Tabela 5.3 é mostrado o teste F para as variâncias das séries de vazões máximas para cada período de uso específico do solo. Pela tabela verificamos que ao nível de significância de 5% as variâncias dos períodos de plantio convencional e direto são estatisticamente não equivalentes. A variância no período de plantio direto só é maior que a variância no plantio convencional para a bacia do Turcato, para as demais bacias ocorre o contrário.

Tabela 5.3 – Teste F para as variâncias

| Séries | Anfiteatro | | Donato | | | | Turcato | |
|-------------------------------|-------------|--------|-----------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | Sem ENSO | | <i>Com ENSO</i> | | Sem ENSO | | Sem ENSO | |
| Período de Plantio | Conv. | Direto | Conv. | Direto | Conv. | Direto | Conv. | Direto |
| Variância em $[m^3/s]^2$ | 0.07 | 0.02 | 58.71 | 11.61 | 25.03 | 0.68 | 3.75 | 66.68 |
| No. de observações | 23 | 12 | 17 | 15 | 16 | 10 | 21 | 12 |
| Graus de Liberdade | 22 | 11 | 16 | 14 | 15 | 9 | 20 | 11 |
| Estatística F | 3.67 | | 5.06 | | 36.84 | | 17.78 | |
| <i>Fcr</i> ($\alpha = 5\%$) | 2.63 | | 2.44 | | 3.01 | | 2.31 | |

Para testar se as médias nos períodos de uso específico do solo são diferentes, foi utilizada a equação sugerida por Benjamin e Cornell (1970):

$$d_{cr} = k_{\alpha} \sqrt{\frac{\sigma_C^2}{M_C} + \frac{\sigma_D^2}{M_D}} \quad (5.6)$$

onde d_{cr} é a diferença crítica até a qual as médias podem ser consideradas equivalentes, k_α é calculado em função do nível de significância α desejado, seguindo uma distribuição normal padronizada, σ_C^2 e σ_D^2 são as variâncias dos períodos convencional e direto, respectivamente, e M_C e M_D são os números de valores dos períodos convencional e direta, respectivamente. Quanto menor o valor de α mais forte é a evidência da diferença entre as médias.

A Tabela 5.4 mostra os valores de d_{cr} para cada par de séries (convencional e direto) das bacias embutidas do Potiribu. Ao nível de significância de 1%, as médias de cheia dos períodos convencional e direto são diferentes nas bacias do Anfiteatro e Donato, sendo a média de cheia do período de plantio convencional a maior. Na bacia do Turcato, as médias de cheia dos períodos de uso específico do solo são diferentes ao nível de significância de 5%, sendo, ao contrário das bacias do Anfiteatro e do Donato, a maior média a do período de plantio direto.

Tabela 5.4 – Teste da diferença entre as médias (amostras simples)

| Séries | Anfiteatro | | Donato | | | | Turcato | |
|---|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| | Sem ENSO | | Com ENSO | | Sem ENSO | | Sem ENSO | |
| Período de Plantio | Conv. | Direto | Conv. | Direto | Conv. | Direto | Conv. | Direto |
| Média (μ) - m ³ /s | 0.52 | 0.16 | 11.43 | 4.30 | 7.91 | 1.78 | 10.72 | 14.91 |
| Variância (σ) - [m ³ /s] ² | 0.07 | 0.02 | 58.71 | 11.61 | 25.03 | 0.68 | 3.75 | 66.68 |
| No. de observações | 23 | 12 | 17 | 15 | 16 | 10 | 21 | 12 |
| $ \mu_C - \mu_D $ | 0.36 | | 7.13 | | 6.13 | | 4.19 | |
| d_{cr} | 0.163 | $\alpha = 1\%$ | 4.783 | $\alpha = 1\%$ | 2.972 | $\alpha = 1\%$ | 3.939 | $\alpha = 5\%$ |

A Figura 5.16 mostra as vazões máximas (Equação 5.4) adimensionalizadas pela média (Equação 5.5) no período de plantio convencional nas bacias embutidas do Potiribu. Na figura, verificamos que as séries de vazões adimensionalizadas do Donato com e sem os valores sob efeito do ENSO são praticamente coincidentes, mostrando que o efeito do ENSO foi de apenas aumentar a média da série nesse período. Observamos, também na figura, que a partir da vazão média de cheia, as vazões máximas adimensionalizadas do Donato tendem a ser maiores que as do Anfiteatro e as do Turcato, sendo que as do Turcato tendem a ser as menores das três. Esse comportamento se inverte para valores de vazões máximas menores que a média. O Turcato, por ser a maior bacia em área, deve apresentar vazões máximas mais próximas da média, como comprova a figura. Porém, é estranho que o Anfiteatro, que é a menor bacia, não apresente valores de vazão máxima com o maior afastamento da média.



Figura 5.16. Vazões máximas adimensionalizadas no período de plantio convencional

A Figura 5.17 apresenta as vazões adimensionalizadas no período de plantio direto nas bacias embutidas do Potiribu. Na figura, verificamos que as séries de vazões adimensionalizadas do Anfiteatro ($0,125 \text{ km}^2$) e do Donato ($1,1 \text{ km}^2$) são muito próximas, tanto com os valores sob efeito do ENSO quanto sem eles, indicando que, nesse período, a diferença de escala entre as duas bacias não influenciou na distribuição das vazões máximas. Nesse período, o efeito do ENSO, além de aumentar a média da série, provocou um aumento da dispersão dos valores de vazão máxima com relação à média. O Turcato, como no período anterior, apresenta vazões máximas mais próximas da média.

Comparando a Figura 5.16 com a Figura 5.17, verificamos que o período de plantio direto apresenta valores de vazão máxima com maior dispersão em torno do valor médio do que no período de plantio convencional.

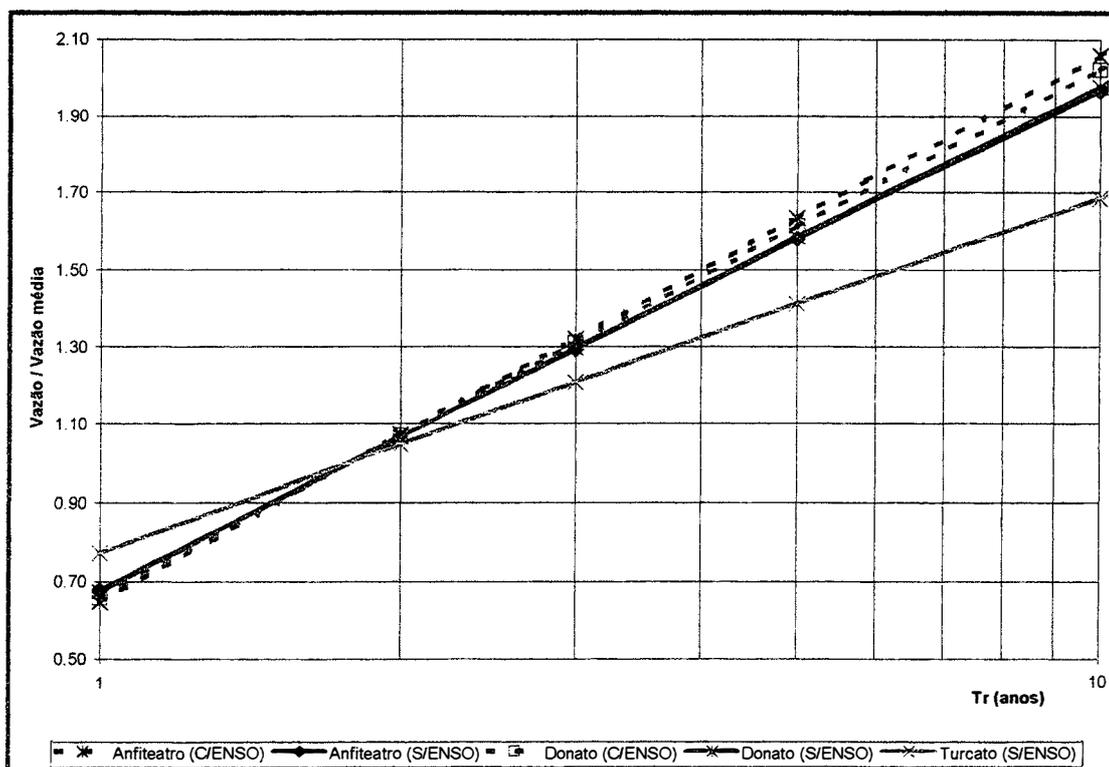


Figura 5.17. Vazões máximas adimensionalizadas no período de plantio direto

5.1.6 Conclusão

Pelos resultados expostos acima concluímos que a mudança do uso do solo devido ao emprego do plantio direto no lugar do convencional foi capaz de alterar a distribuição das vazões máximas da seguinte maneira:

- a) Redução dos picos nas bacias menores (Anfiteatro e Donato); e
- b) Aumento dos picos na maior bacia (Turcato);

Vale ressaltar que, desconsiderando as chuvas sob efeito do ENSO, as precipitações máximas diárias são praticamente homogêneas em ambos os períodos de uso específico do solo, como exposto no item 4.4.2.

5.2. Vazões médias de cheia na região do Ijuí

As vazões específicas de cheia de cada bacia apresentadas na Tabela 5.1 mostram uma contradição com o conceito usual de que a vazão específica aumenta com a diminuição da área da bacia. A tabela mostra que a vazão específica de cheia da bacia do Donato (1,1 km²) é sempre a maior das três bacias em ambos períodos, com e sem a presença do ENSO. A bacia do Turcato, como já era esperado, apresenta a menor vazão específica. O fato novo que a tabela revela é que a bacia do Anfiteatro (0,125 km²) não apresenta a maior vazão específica, mostrando que, para bacias muito pequenas, a tendência de aumento da vazão específica com a diminuição da área pode não ocorrer.

A Figura 5.18 ilustra a observação anterior. Na figura, notamos que a vazão específica da bacia do Donato é a maior em ambos os períodos, se afastando da tendência das demais bacias da região do Ijuí. Na figura, observa-se que somente o Turcato apresenta a tendência de maior escoamento no período de plantio direto (1994-1998).

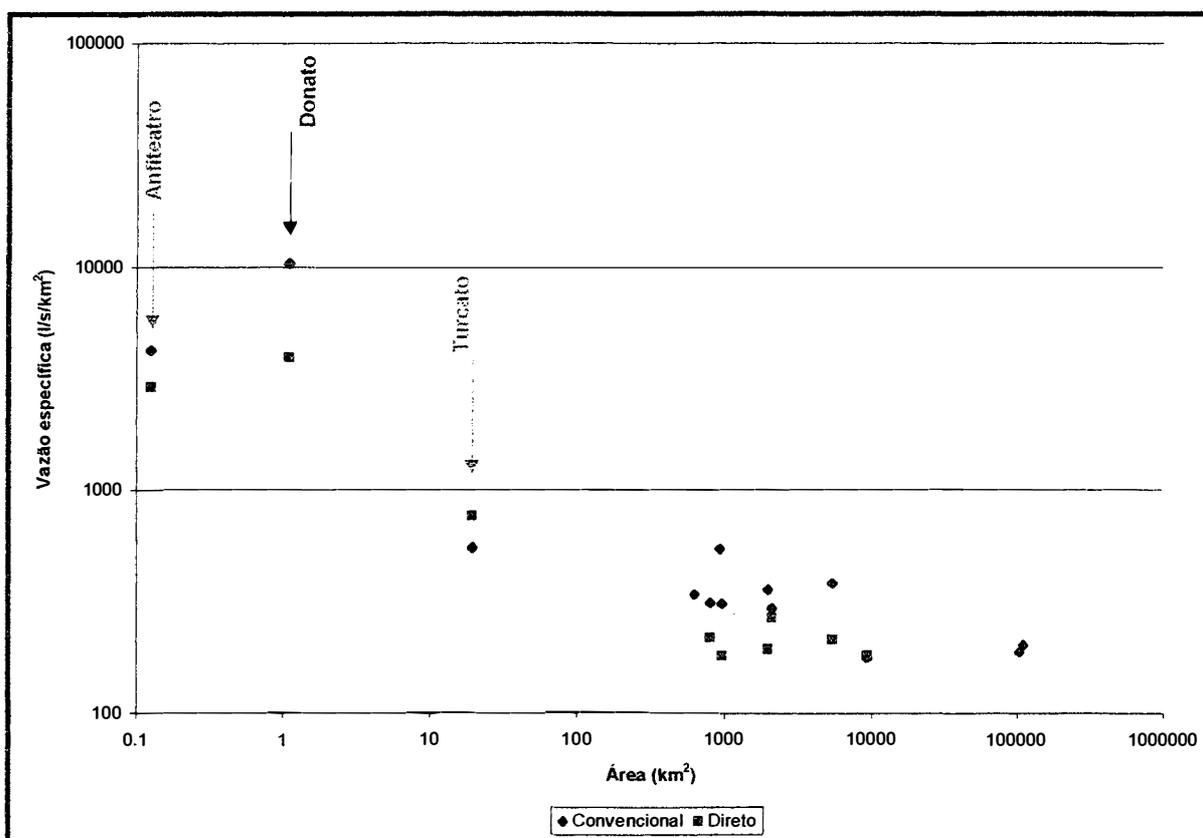


Figura 5.18. Vazão específica média de cheia em relação à área das bacias do rio Ijuí, em ambos períodos

A Figura 5.19 apresenta a relação entre vazão média de cheia e a área das bacias da região do Ijuí. Na figura, voltamos a observar que a vazão da bacia do Donato (1,1 km²) no período convencional se destaca por ser da mesma magnitude da vazão da bacia do Turcato (19,5 km²).

A Figura 5.20 apresenta a extrapolação do ajuste da vazão média de cheia das bacias de meso escala (Tabela 3.1) para as bacias de micro e macro escala, além da bacia vertente. Pela figura, comprovamos que essa extrapolação subestima os valores da vazão média de cheia das bacias de micro escala (Donato) e vertente (Anfiteatro). Porém, a extrapolação para as bacias de macro escala (Garruchos e Passo São Borja) não acarreta em erros expressivos.

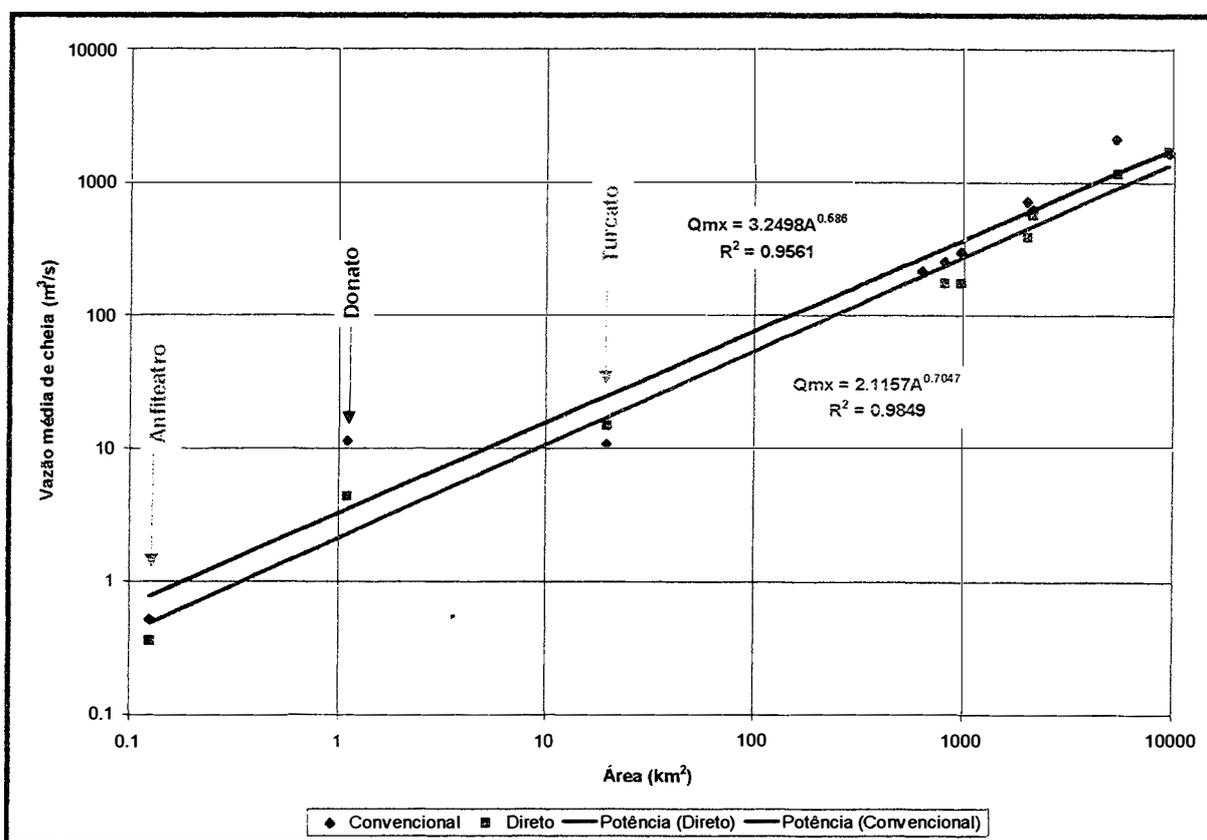


Figura 5.19. Vazão média de cheia em relação à área das bacias do rio Ijuí (ambos períodos)

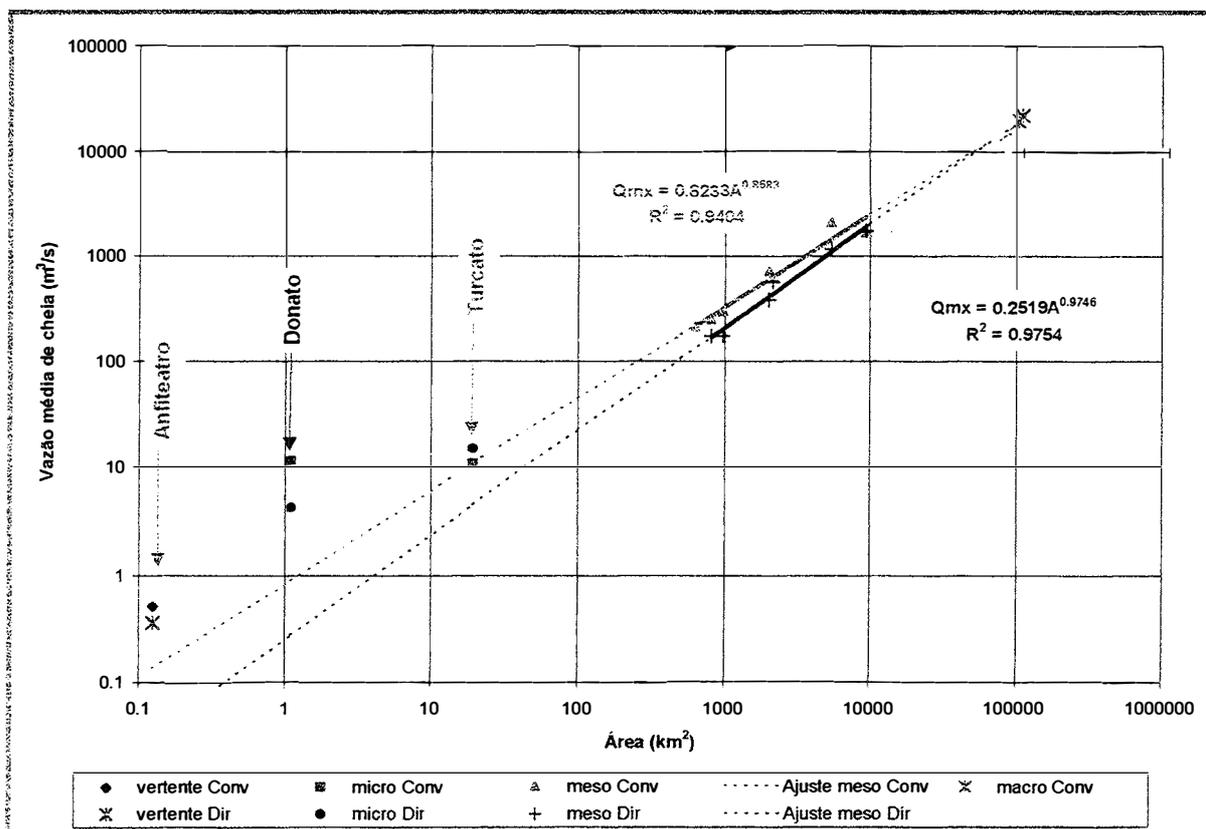


Figura 5.20. Ajuste da vazão média de cheia em função da área das bacias de meso escala

Analisando a Figura 5.19 e a Figura 5.20, observa-se uma mudança na tendência geral da vazão média de cheia de todas as bacias, inclusive as de meso escala (100-10.000 km²), o que nos leva a concluir que essa mudança se deve, em parte, à variabilidade da precipitação. Por isso, foi também analisado o período completo de dados (1989-1998).

Na Figura 5.21, observa-se que existe uma tendência geral bem definida de aumento da vazão média de cheia com a área para todas as bacias, sendo que a bacia do Donato apresenta uma vazão média de cheia elevada considerando essa tendência.

Contudo, se forem considerados apenas as bacias de meso escala (100-10.000 km²) no ajuste da vazão média de cheia com a área da bacia, como normalmente ocorre em regionalizações, será obtido um ajuste que subestima as vazões das bacias embutidas do rio Potiribu, como mostra a Figura 5.22. A subestimativa se deve, além da escala espacial das bacias, ao fato que nas bacias embutidas do rio Potiribu foram adotados os valores de vazões máximas instantâneas e nas bacias de meso e macro escala as vazões máximas diárias. A vazão máxima instantânea é sempre maior (ou pelo menos igual) que o valor da máxima diária, sendo que essa diferença aumenta com a diminuição da área. No entanto, esse mesmo ajuste pode ser utilizado para calcular as vazões médias de cheia das bacias de macro escala (100.000 km²) com uma boa precisão.

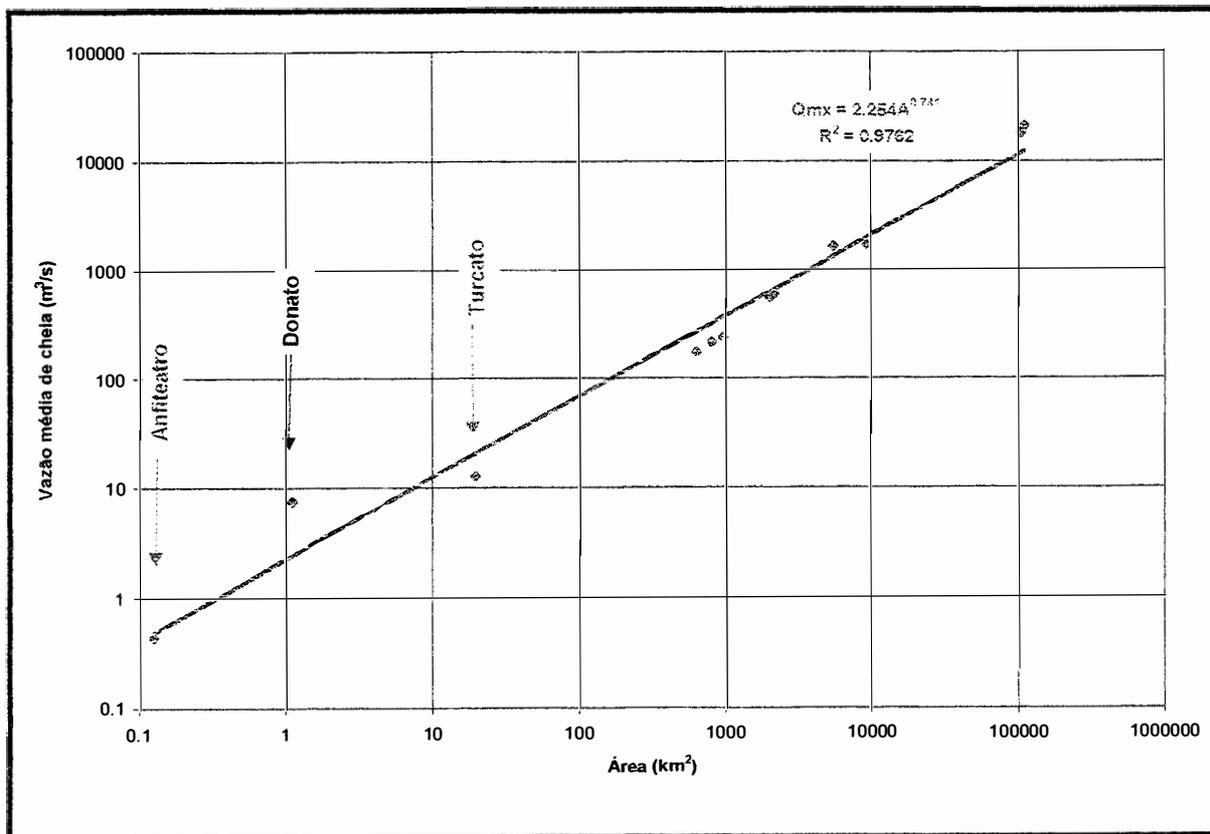


Figura 5.21. Vazão média de cheia em relação a área das bacias (1989-1998)

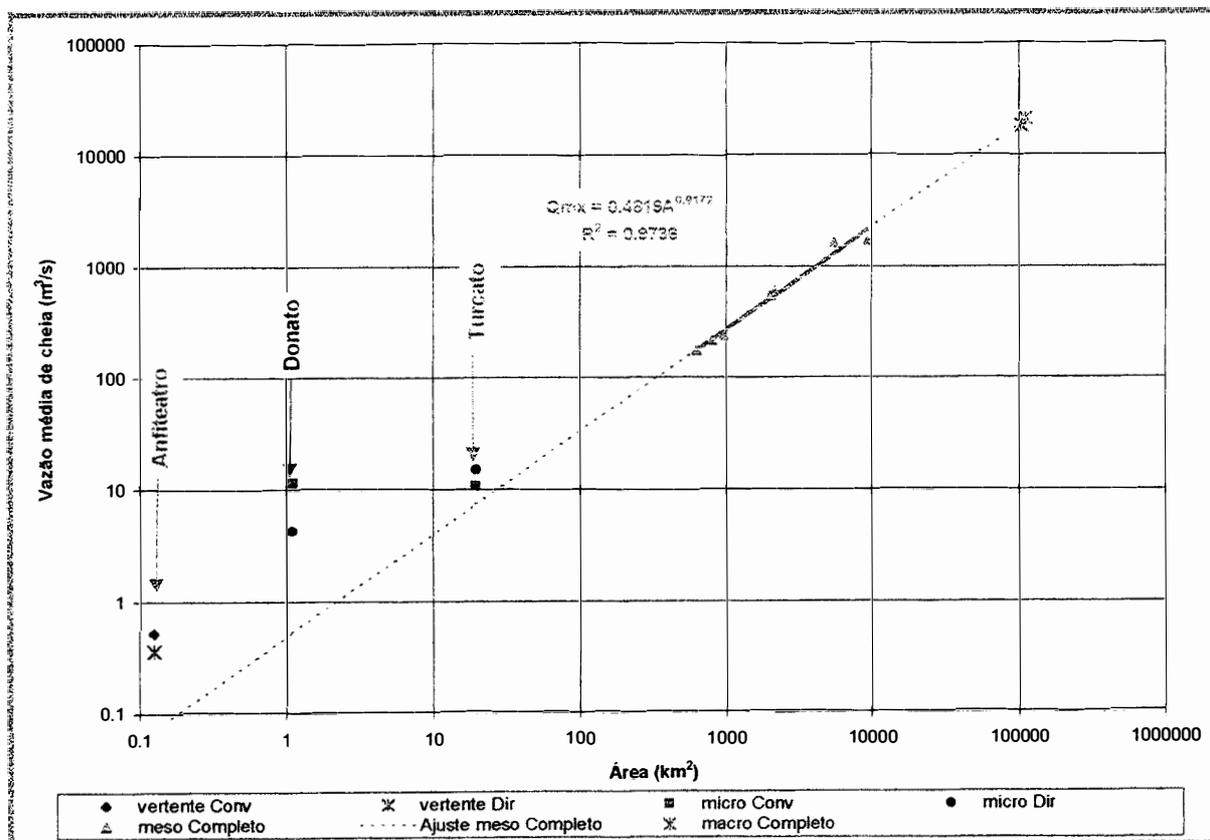


Figura 5.22. Ajuste de Q_{mx} em função da área das bacias de meso escala (1989-1998)

5.3. Conclusão

As conclusões principais desse capítulo que tratou do comportamento da vazão máxima nas bacias embutidas do rio Potiribu e demais bacias do rio Ijuí, com relação aos períodos de uso solo (plantio convencional e plantio direto) e com a escala são:

a) A bacia do Anfiteatro é muito pequena (12,5 ha) para ser considerada como uma bacia hidrográfica de escoamento superficial, devendo ser considerada como área de recarga, pois parte significativa do escoamento sub-superficial gerado pela infiltração nessa bacia produz escoamento superficial fora da bacia, mais a jusante, nas bacias maiores (Donato e Turcato), de forma que não podemos mais quantificá-los como originários dessa bacia. No Anfiteatro, a água infiltra verticalmente até encontrar a camada de basalto quando desloca-se lateralmente para jusante da bacia, saindo em forma de escoamento superficial ou sub-superficial nas bacias maiores (Donato e Turcato). Por isso, a vazão específica de cheia dessa bacia é menor que a do Donato, contrariando a tendência de aumento dessa vazão com a diminuição da área (Figura 5.18). Porém, se fosse possível computar todo o escoamento sub-superficial dessa bacia junto com o escoamento superficial originado nessa bacia, provavelmente obteríamos uma vazão específica maior. Isto significa que, nessa escala de vertente (12,5 ha) e, principalmente, após o plantio direto, o escoamento superficial e a infiltração são os processos hidrológicos dominantes, de forma que, nesta escala, praticamente não existe escoamento de base.

b) O plantio direto provocou uma redução nos picos de cheia das bacias menores (Donato e Anfiteatro) e um aumento na bacia do Turcato (Figura 5.13, Figura 5.14 e Figura 5.15), o que se deve ao fato desse tipo de plantio promover maior capacidade de infiltração do solo e deixá-lo por mais tempo com cobertura vegetal, aumentando assim a interceptação vegetal. O aumento da infiltração faz com que aumente o escoamento de base da bacia do Turcato de modo mais significativo do que nas bacias menores, de forma que os picos de cheia dessa bacia foram maiores nesse período.

c) A regionalização da vazão média de cheia pela área das bacias de meso escala (100-10.000 km²) da bacia do rio Ijuí subestima as vazões das bacias de escalas menores (micro e vertente), porém reproduz corretamente as vazões das bacias de macro escala (100.000 km²), como mostra a Figura 5.22.

d) A bacia do Donato apresenta uma vazão média de cheia elevada em relação a tendência geral das bacias da região do rio Ijuí (Figura 5.21). Isso nos leva a supor que a relação armazenamento *versus* geração de escoamento superficial produz máxima vazão específica nessa escala (1,1 km²).

6. VOLUMES DE CHEIAS

6.1. Determinação das variáveis dos eventos

Com base nos registros de vazão e precipitação das bacias embutidas do Potiribu foram escolhidos 403 eventos, sendo que 106 eventos são referentes à bacia do Anfiteatro (38 no período de plantio convencional e 68 no plantio direto), 126 ocorreram na bacia do Donato (69 no período de plantio convencional e 57 no plantio direto) e 171 registrados na bacia do Turcato (103 no período de plantio convencional e 68 no plantio direto).

Cada evento consiste da precipitação total (P_{total}) e do hidrograma correspondente de cada bacia. Para melhor caracterização dos hidrogramas, foram identificadas as seguintes variáveis dos hidrogramas: as vazões inicial, final e de pico (Q_{ini} , Q_{final} e Q_p , respectivamente) e os tempos de pico e de base (t_p e t_b).

Nos hidrogramas selecionados, foi realizada a separação do escoamento superficial do subterrâneo pelo método gráfico direto (Tucci, 1993a), sendo que o escoamento sub-superficial, de difícil separação, foi considerado junto com o escoamento superficial para compor o volume de cheia.

A Figura 6.1, além de identificar as variáveis estudadas, ilustra o método utilizado na separação dos escoamentos. Os pontos A e B foram determinados pela inspeção visual da plotagem das vazões numa escala mono-log (vazão na escala logarítmica).

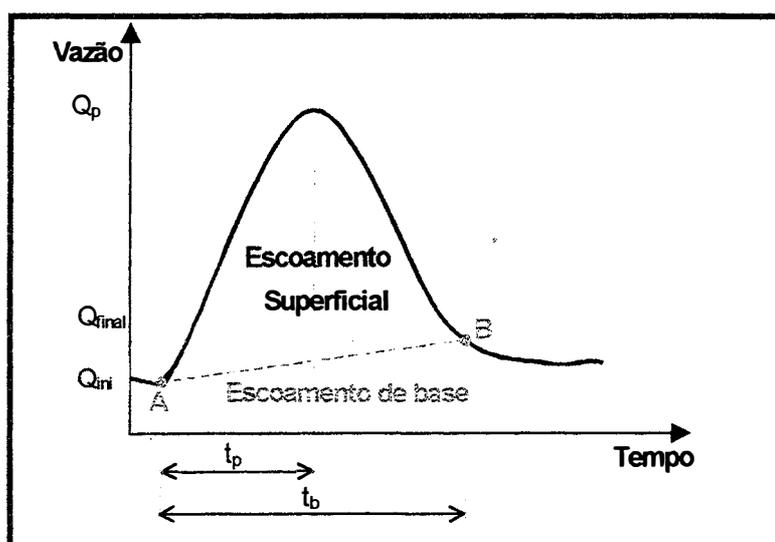


Figura 6.1. Método gráfico direto de separação do escoamento

Nos Anexos 2, 3 e 4 são apresentados os valores das variáveis dos eventos utilizados no estudo, selecionados para cada bacia em cada cenário. Para o cálculo das variáveis foi utilizado o programa Hydrom (Cochonneau, 1991)

A P_{total} foi obtida através dos dados dos pluviógrafos 14, 23 e 51, sendo escolhido os valores do posto que fornecesse um hietograma compatível com o hidrograma do evento.

A precipitação nos 5 dias anteriores ao evento (IPA - 5d) foi calculada com base nos pluviômetros 13 e 52 e nos pluviógrafos 14 e 51, sendo escolhido os valores do posto com dados na seguinte seqüência de prioridade: 52, 51, 13 e 14, devido à confiabilidade dos observadores de cada posto.

O coeficiente de escoamento superficial (C) foi obtido pela razão entre o escoamento superficial (Q_{esc}), calculado pelo método gráfico direto, e a P_{total} .

No final de cada tabela, são mostradas as estatísticas (média, desvio padrão, máximo e mínimo) de cada variável.

6.2. Relação entre Precipitação e Escoamento Superficial

Através dos eventos selecionados no item 6.1, foi analisada a relação entre a precipitação total e o escoamento superficial. Para tanto, foi utilizada uma função empírica de potência como referência, do tipo:

$$Q_{esc} = aP_{total}^b \quad (6.1)$$

onde Q_{esc} é o escoamento superficial em mm, P_{total} é a precipitação total em mm, a e b são os parâmetros a serem ajustados para cada bacia, em cada cenário.

Da Figura 6.2 até a Figura 6.7 são apresentados os ajustes da Equação 6.1 para as bacias embutidas do Potiribu em cada época de uso específico do solo.

Na Figura 6.2 observa-se uma grande dispersão dos pontos observados em relação à tendência central para os valores observados na bacia do Anfiteatro no período de plantio convencional. Essa dispersão diminui muito no período direto, como podemos observar na Figura 6.3. Isso mostra uma maior uniformidade da resposta da bacia aos eventos chuvosos no período de plantio direto em relação ao convencional. Vale ressaltar que essa maior uniformidade da geração do escoamento superficial no período de plantio direto não se deve ao regime de precipitação desse período, pois, como foi apresentado no capítulo 3, o regime de precipitação nos períodos não apresenta diferenças significativas, mas refere-se a uma resposta hidrológica da mudança de uso do solo.

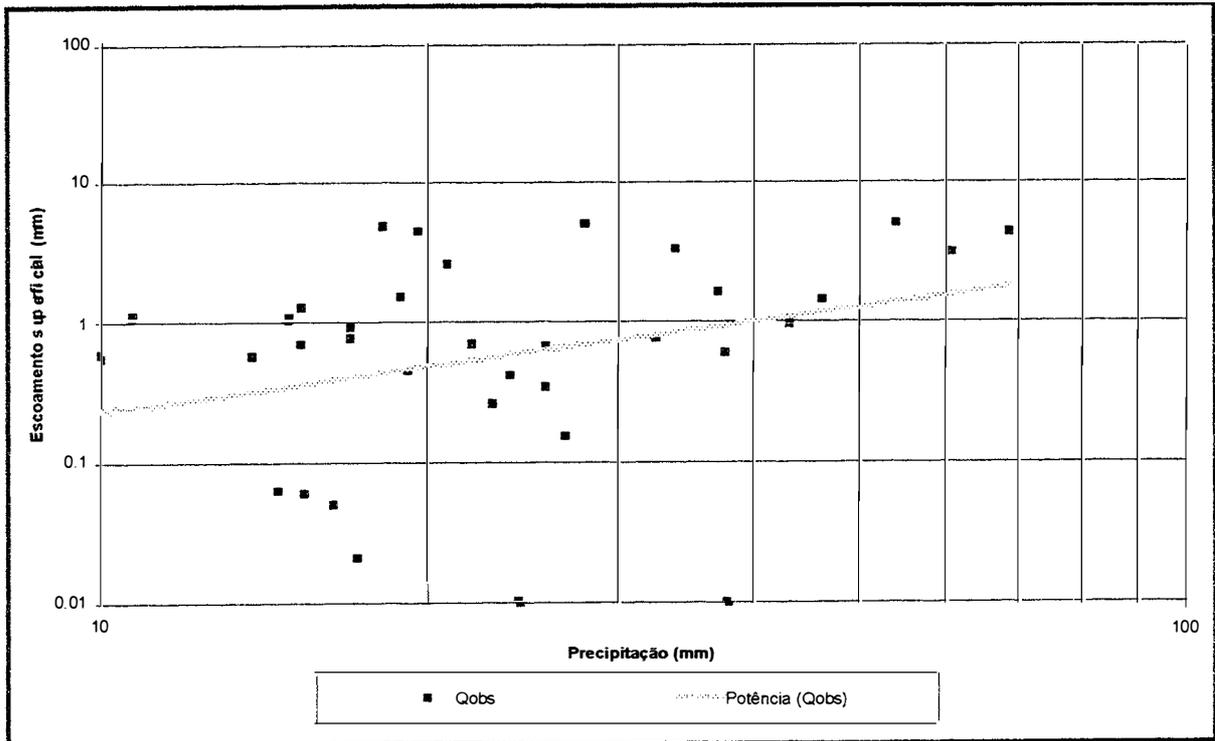


Figura 6.2. Relação entre Q_{esp} e P_{total} para a bacia do Anfiteatro (Convencional)

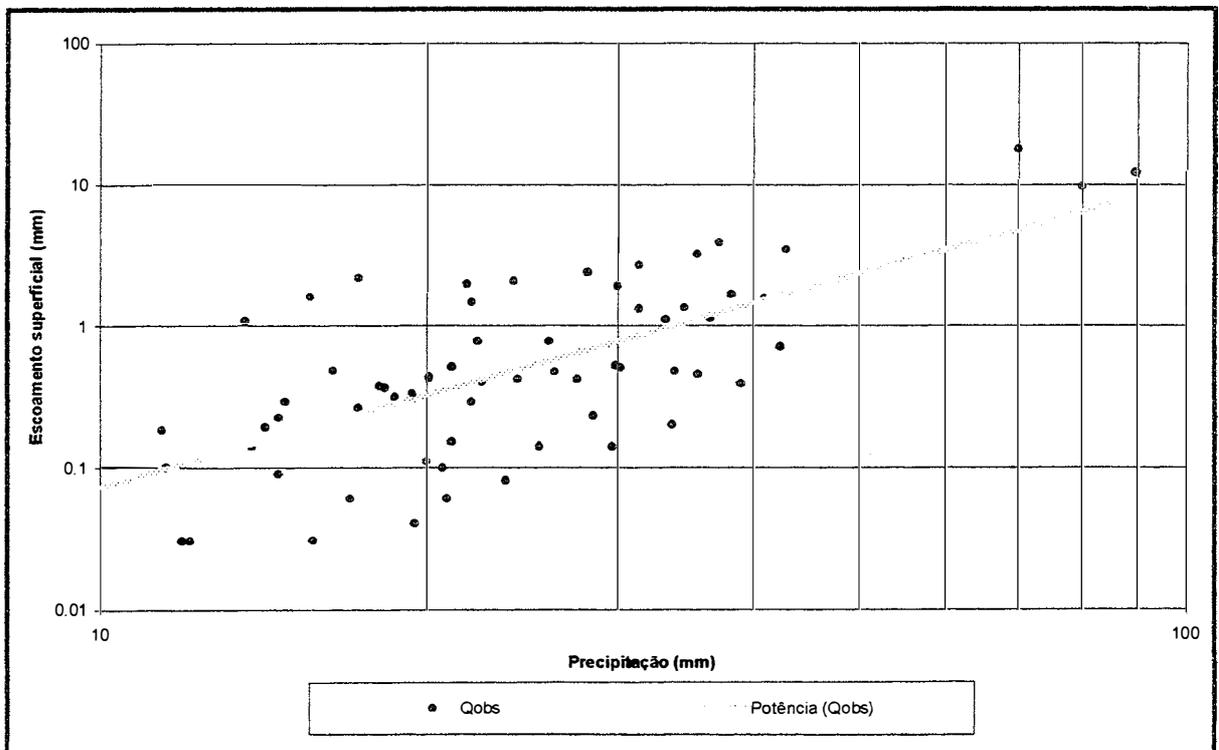


Figura 6.3. Relação entre Q_{esp} e P_{total} para a bacia do Anfiteatro (Plantio Direto)

Na Figura 6.4 verificamos que a bacia do Donato apresenta para o período de plantio convencional um ajuste melhor do que o da bacia do Anfiteatro, no mesmo período, mostrando que o aumento da área resultou numa geração mais uniforme do escoamento superficial.

Pela Figura 6.5 observamos que, como na bacia do Anfiteatro, a geração do escoamento superficial no período de plantio direto é mais uniforme do que no período convencional na bacia do Donato. Comparando com o mesmo período na bacia do Anfiteatro, verificamos que a bacia do Donato apresenta uma distribuição mais uniforme dos dados observados em relação a tendência geral.

Na Figura 6.6 observamos que a maior bacia, a do Turcato, apresenta a distribuição mais uniforme dos dados observados do período de plantio convencional.

A Figura 6.7 confirma as análises anteriores de que quanto maior a bacia, mais uniforme é a distribuição das observações em relação à tendência central e que o período de plantio direto também apresenta uma distribuição mais uniforme que a do plantio convencional. Isso se justifica pelo fato de que, quanto maior for a bacia, menor é a influencia da variabilidade das condições iniciais na resposta da bacia para um evento chuvoso. O período de plantio direto mostrou ser mais regular, com menor variabilidade das condições iniciais, em relação ao período convencional, devido a uma maior uniformidade da cobertura vegetal e umidade do solo no plantio direto em relação ao convencional. A umidade do solo se mantém mais constante no plantio direto em relação ao convencional porque o plantio direto favorece a infiltração e diminui a evaporação da água retida no solo, por manter uma cobertura vegetal constante.

Na Figura 6.8 podemos observar a comparação dos ajustes da precipitação e volume escoado na bacia do Anfiteatro nos períodos de plantio convencional e plantio direto. Pela figura, verificamos que o ajuste do período convencional gera mais escoamento do que o do período de plantio direto para pequenas precipitações (menores que 30 mm). Contudo, para grandes precipitações, é o ajuste do plantio direto que fornece escoamentos maiores.

A Figura 6.9 mostra que, na bacia do Donato, o ajuste do período de plantio convencional gera mais escoamento do que o do plantio direto. Contudo, essa tendência se inverte para precipitações maiores que 60 mm.

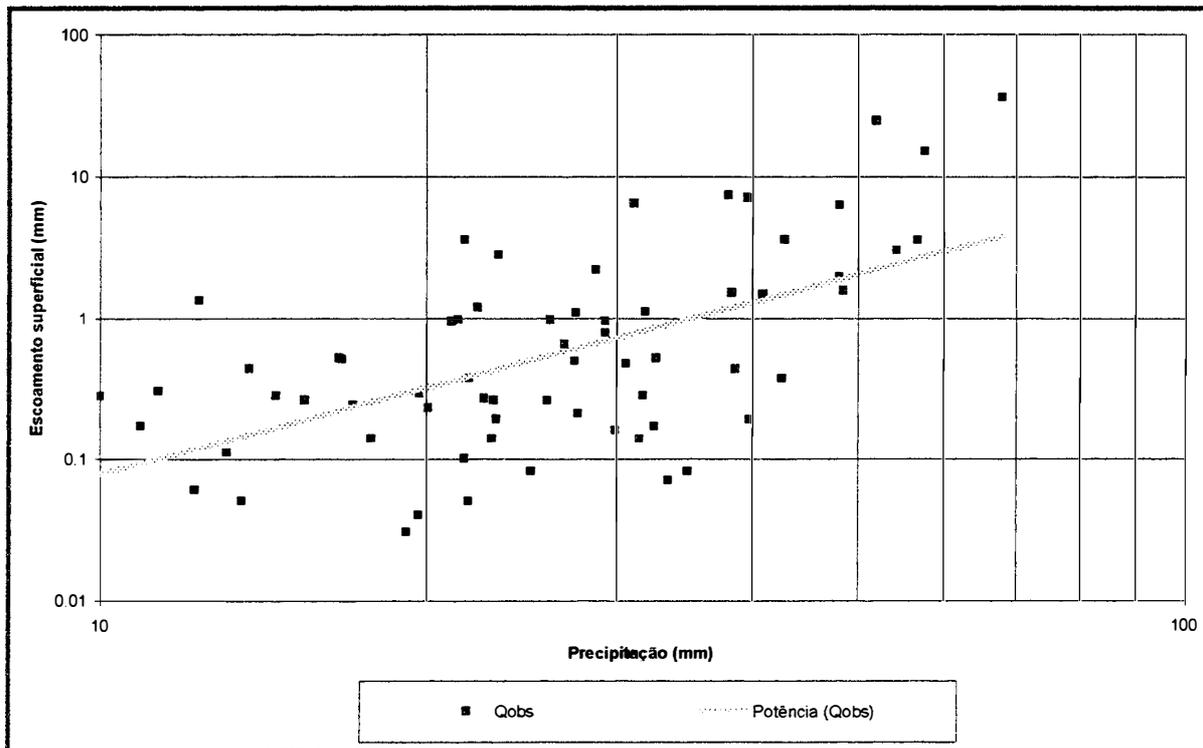


Figura 6.4. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Donato (Convencional)

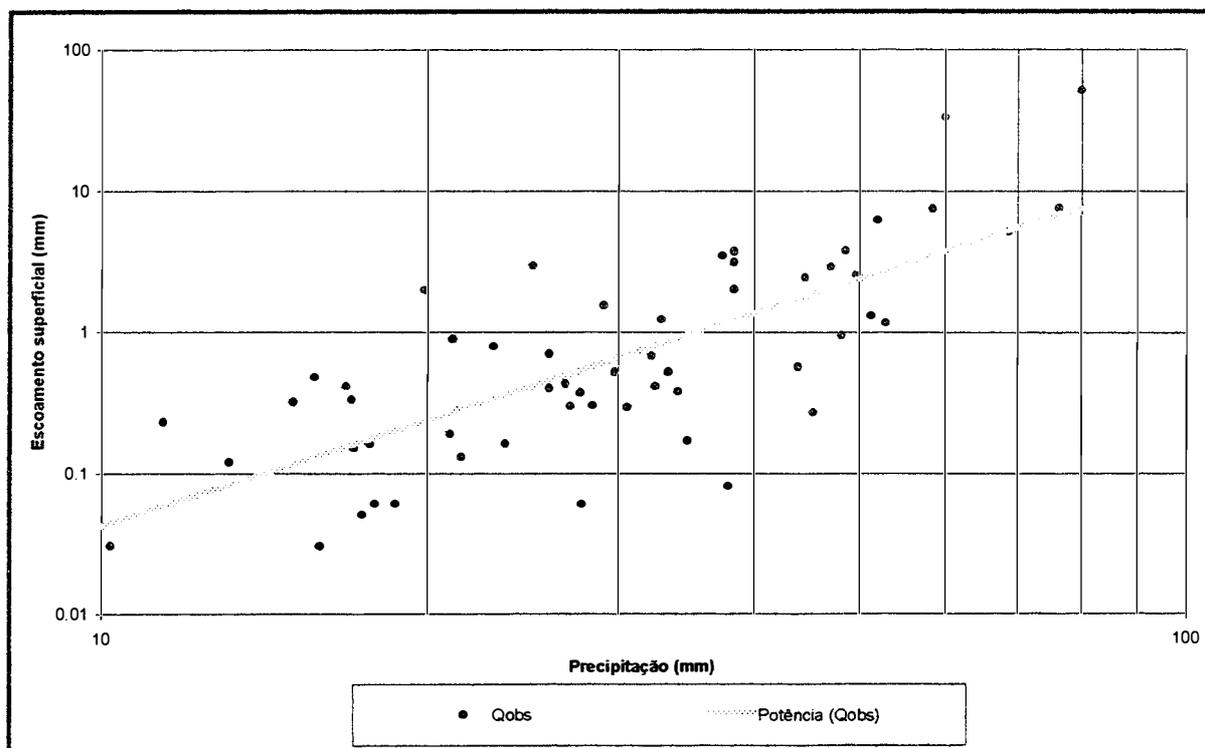


Figura 6.5. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Donato (Plantio Direto)

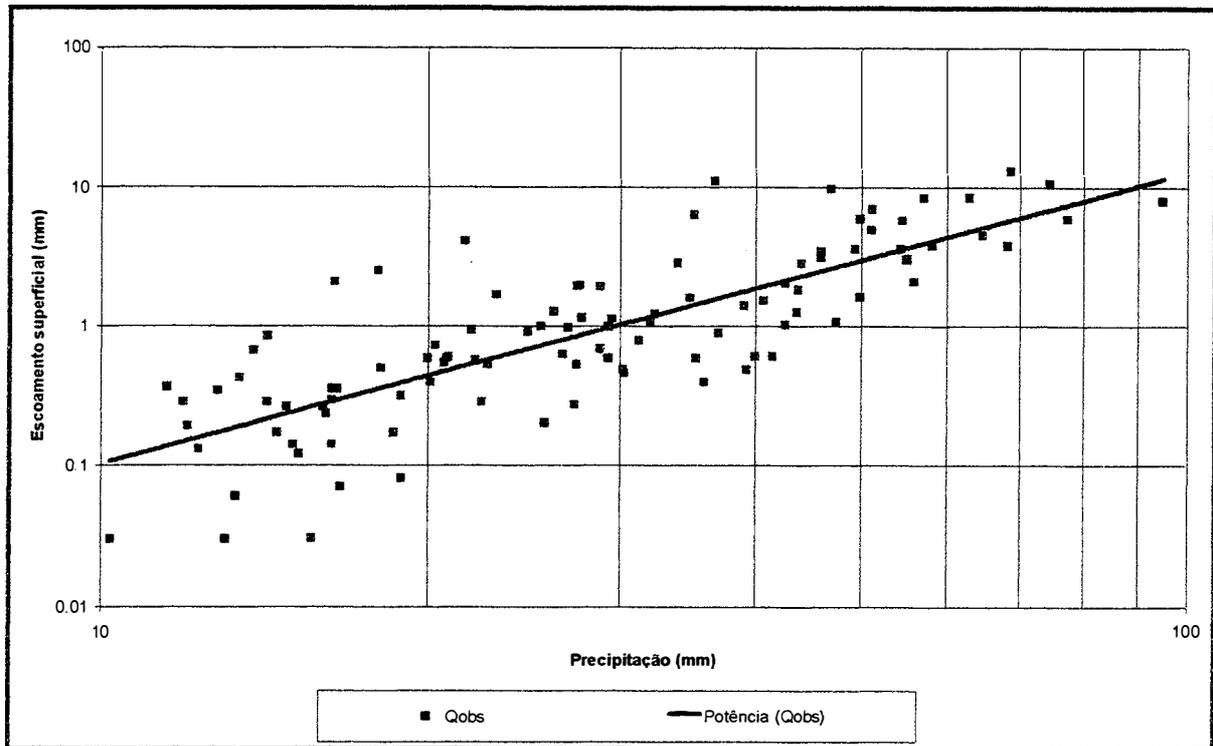


Figura 6.6. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Turcato (Convencional)

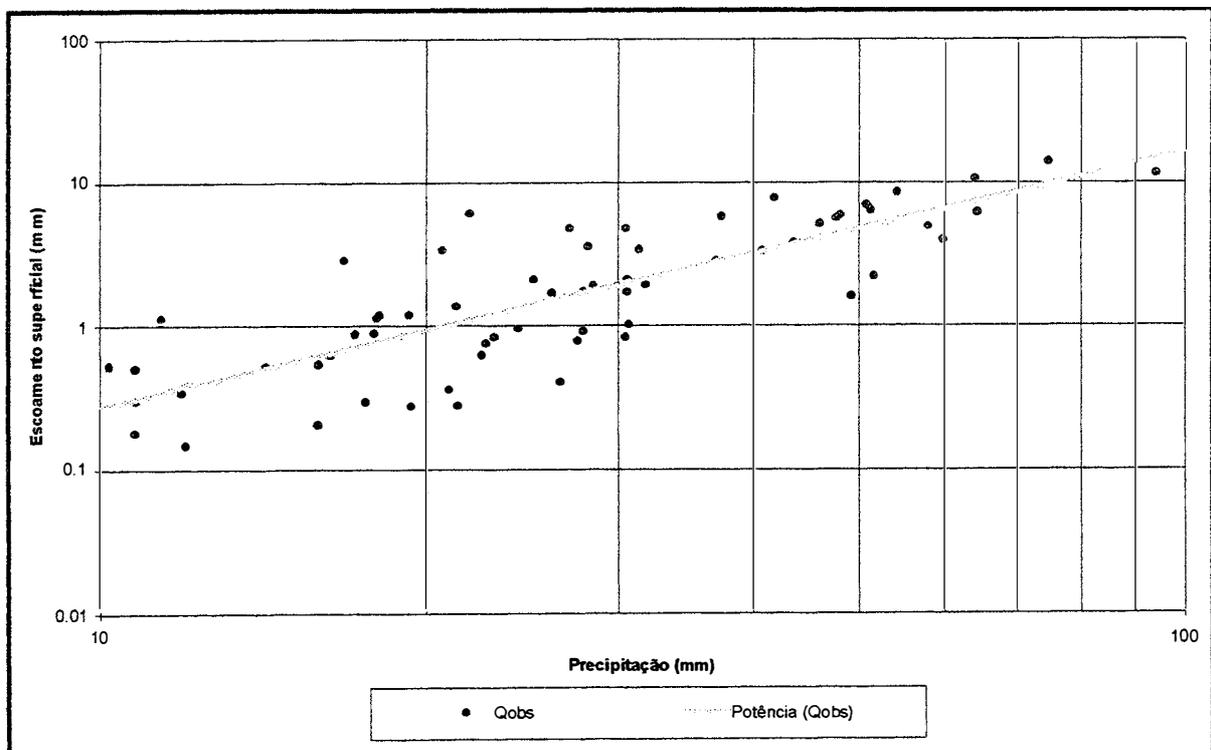


Figura 6.7. Ajuste de Q_{esp} em função de P_{total} para a bacia do Turcato (Plantio Direto)

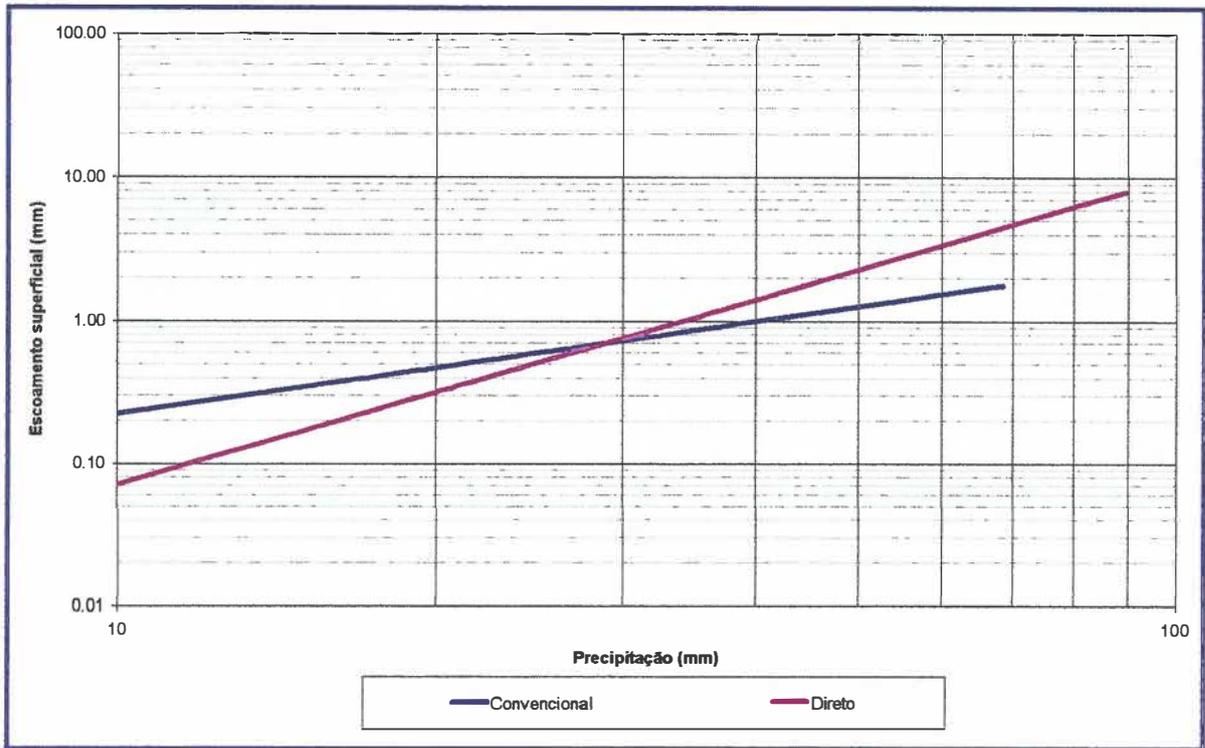


Figura 6.8. Tendência média do escoamento superficial na bacia do Anfiteatro

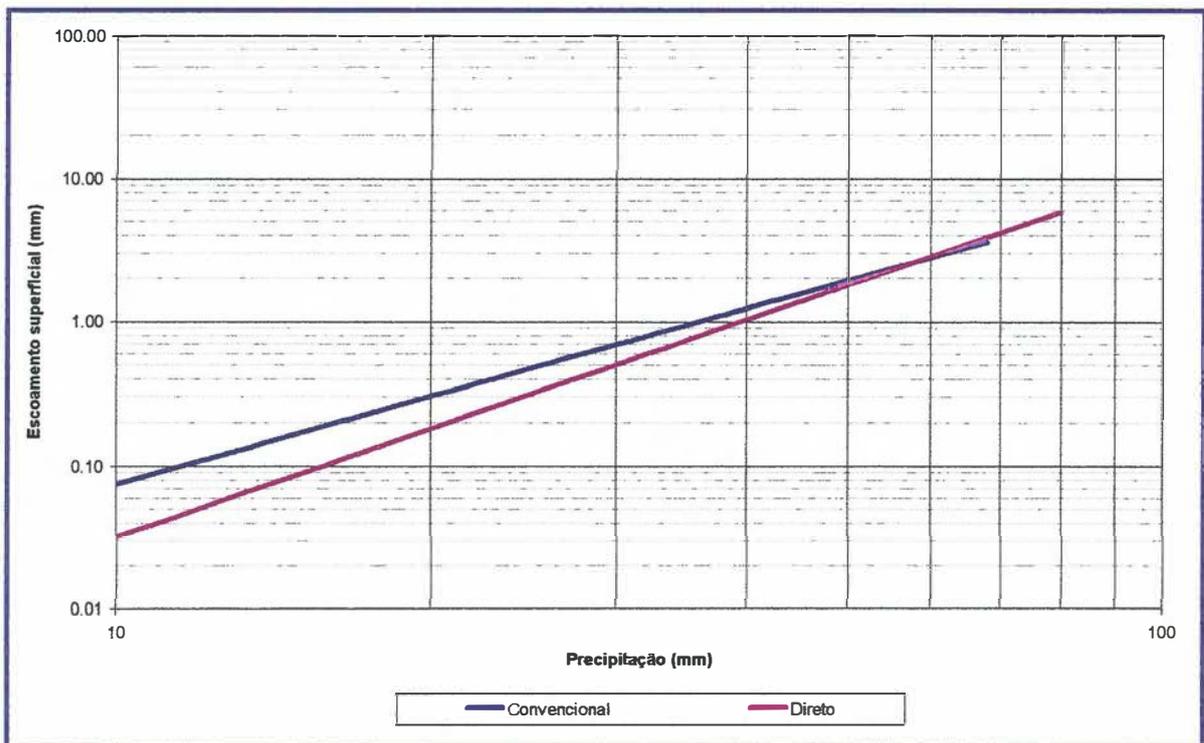


Figura 6.9. Tendência média do escoamento superficial na bacia do Donato

Na Figura 6.10 verificamos que, ao contrário do observado nas bacias anteriores, na bacia do Turcato é o ajuste do período de plantio direto que gera mais escoamento para precipitações menores que 100 mm.

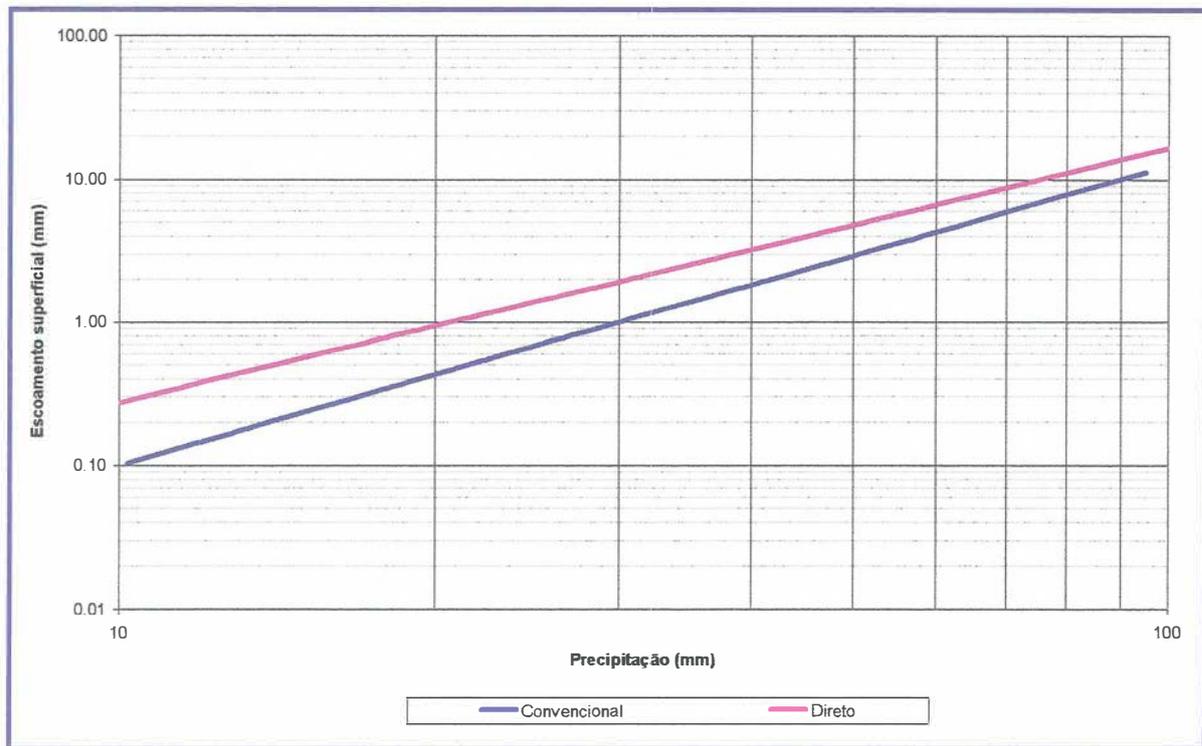


Figura 6.10. Tendência média do escoamento superficial na bacia do Turcato

A Figura 6.11 mostra a comparação dos ajustes da relação precipitação e volume escoado para cada bacia no período convencional. Pela figura, verificamos que, para precipitações maiores que 30 mm, quanto maior for a bacia, maior será a escoamento produzido pela mesma precipitação. Contudo, para precipitações menores que 20 mm, é a menor bacia (Anfiteatro) que produz os maiores escoamentos.

A Figura 6.12 mostra que, no período de plantio direto, é a maior bacia (Turcato) que produz mais escoamento, porém, a menor bacia (Anfiteatro) não produz menos escoamento, e sim a bacia intermediária (Donato).

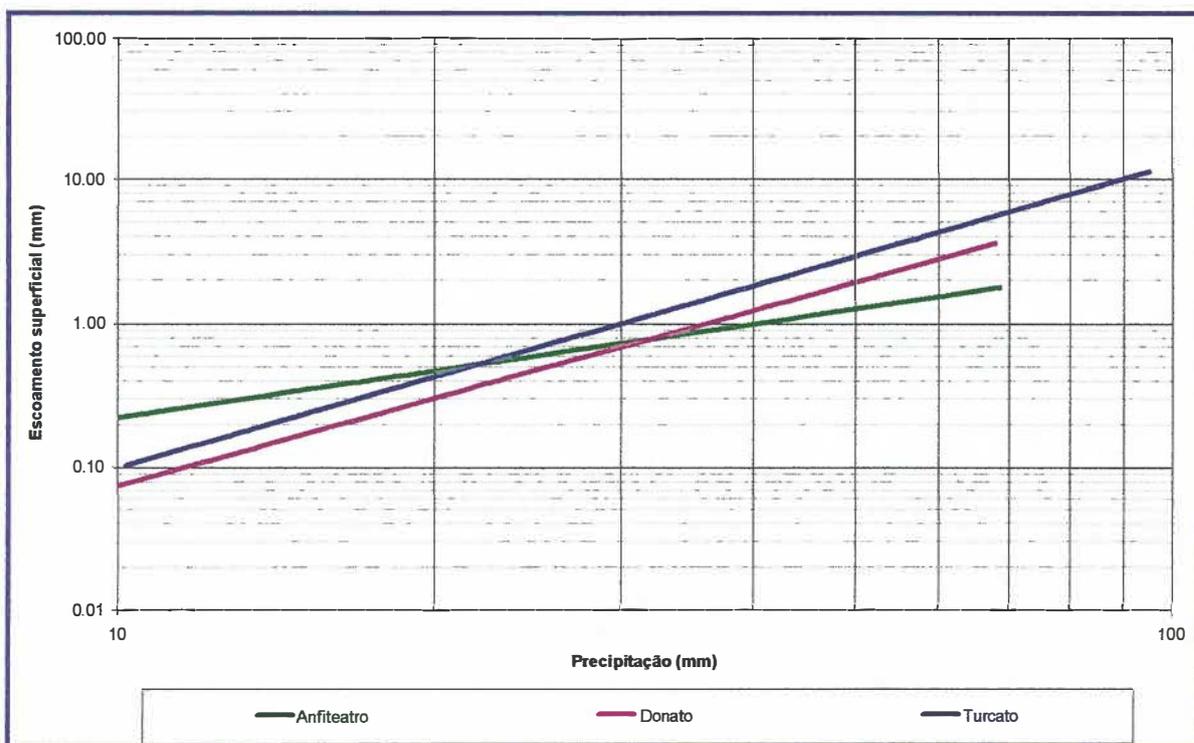


Figura 6.11. Tendência média do escoamento superficial no período de plantio convencional

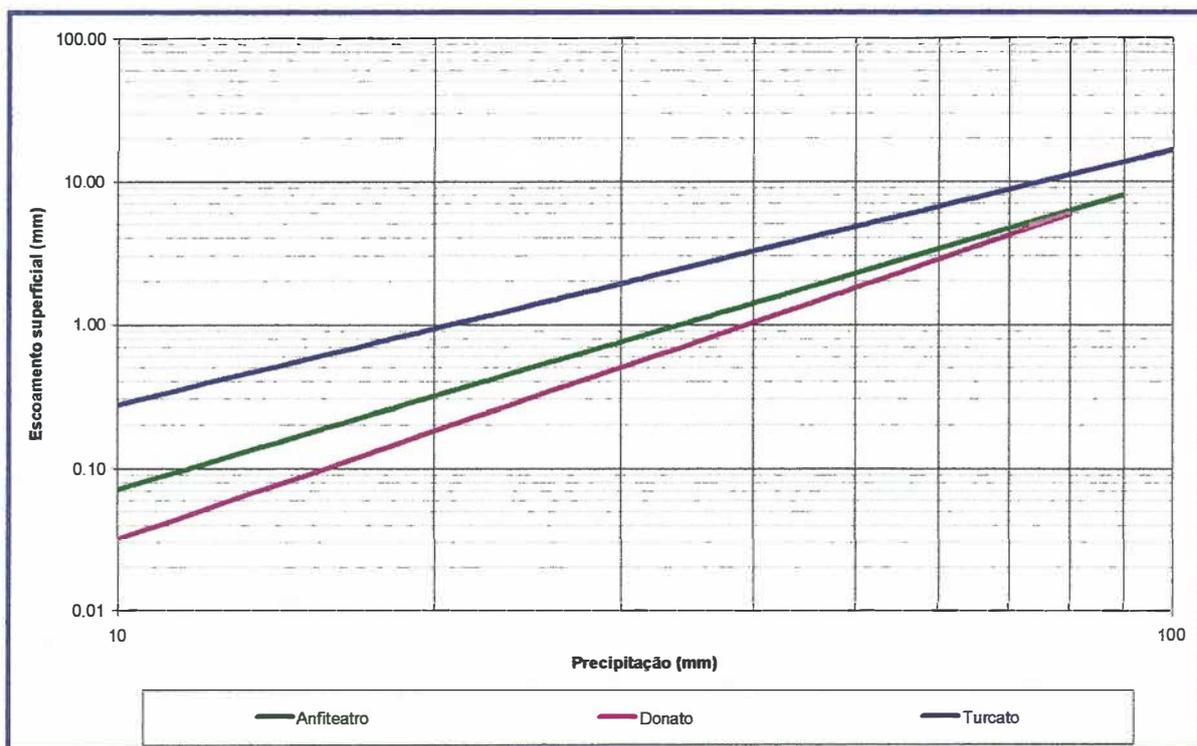


Figura 6.12. Tendência média do escoamento superficial no período de plantio direto

6.3. Relação entre a vazão de pico e o coeficiente de escoamento

Complementando a análise das variáveis dos eventos observados, foi observada uma forte correlação entre o pico do hidrograma (Q_p , em m^3/s) e o coeficiente de escoamento superficial (C). A relação entre Q_p e C foi analisada usando uma função empírica de potência similar à Equação 6.1, de forma que

$$C = \frac{Q_{esc}}{P_{total}} = c_1 Q_p^{c_2} \quad (6.2)$$

onde c_1 e c_2 são os parâmetros a serem ajustados para cada bacia, em cada cenário.

A Figura 6.13 mostra os resultados para a bacia do Anfiteatro. Não há muita diferença nesta relação entre os cenários de plantio convencional e plantio direto, existindo um pequena tendência do período de plantio direto gerar maiores coeficientes de escoamento do que o período convencional para picos menores que $0,10 m^3/s$.

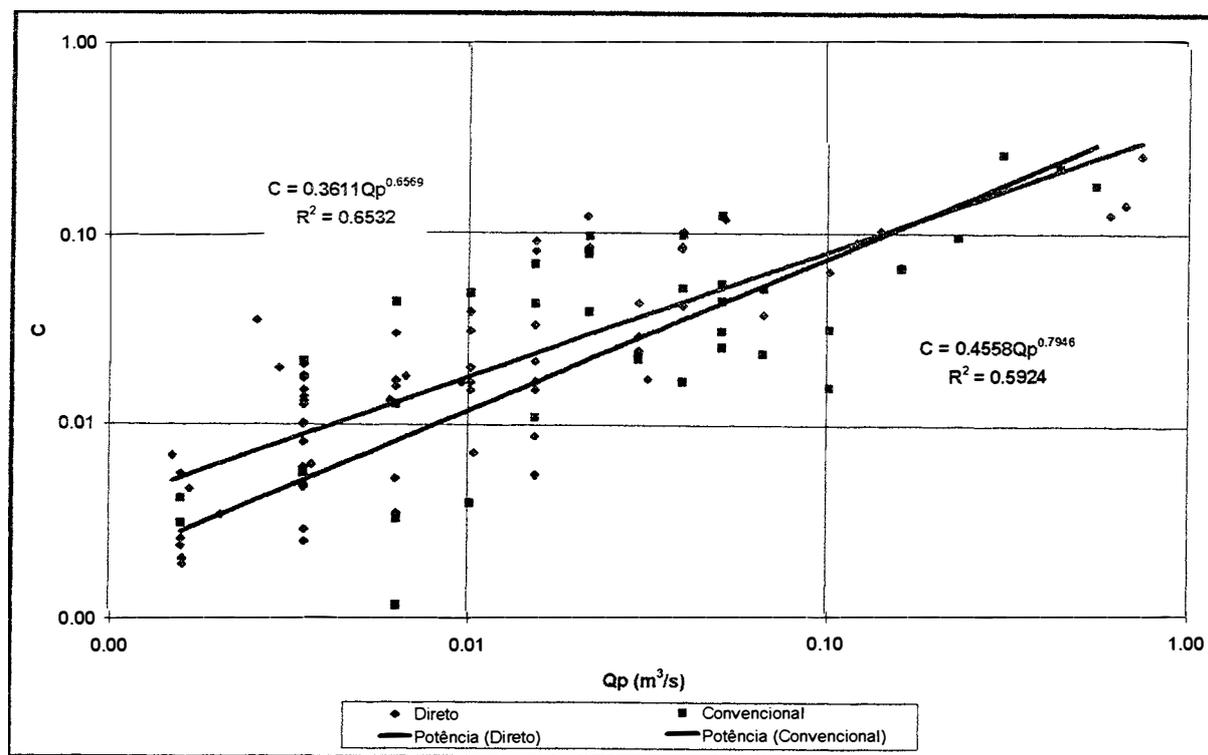


Figura 6.13. Relação entre Q_p e C na bacia do Anfiteatro

Na Figura 6.14 verificamos que a mudança de cenário na bacia do Donato não alterou significativamente a relação entre Q_p e C . A estatística R^2 dos ajustes dessa bacia foi melhor que a da bacia do Anfiteatro, mostrando maior regularidade dos eventos na bacia.

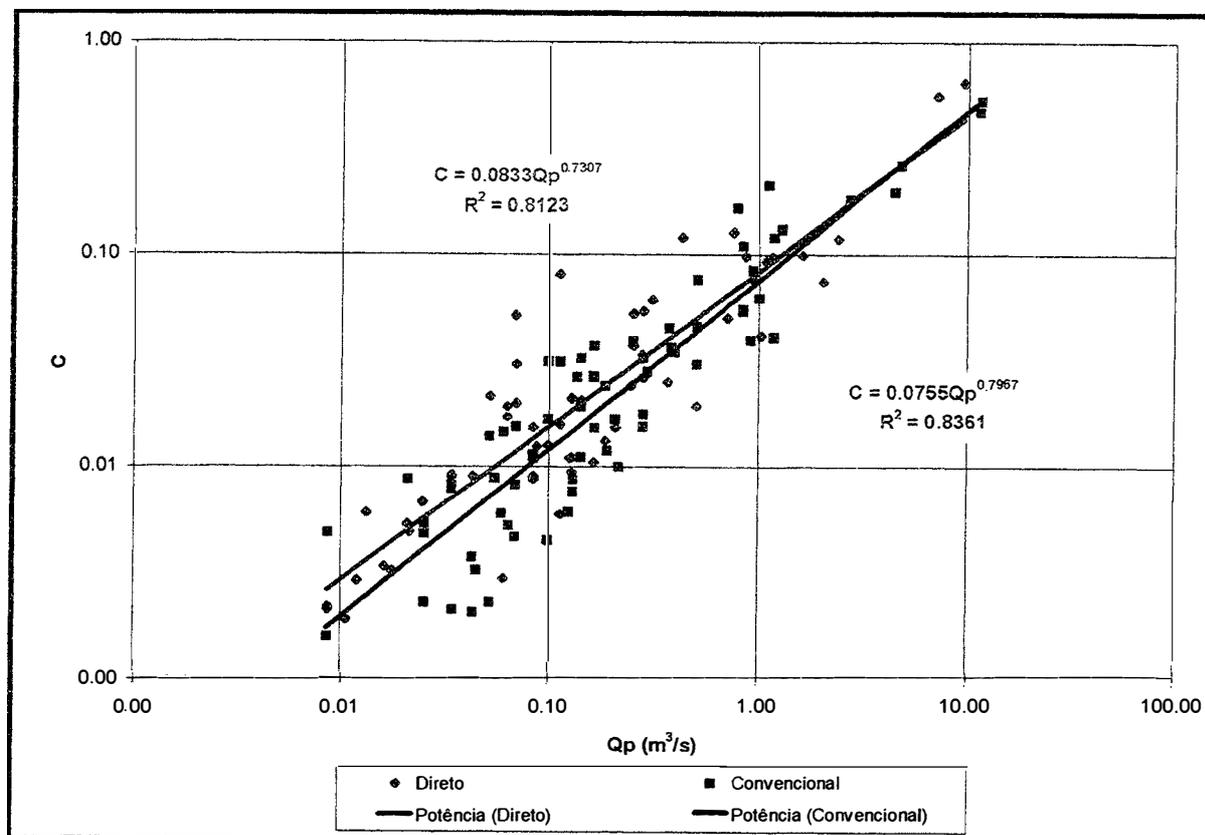


Figura 6.14. Relação entre Q_p e C na bacia do Donato

A Figura 6.15 mostra que, na bacia do Turcato, no período de plantio direto, os valores de C foram maiores que no período convencional para o mesmo valor de Q_p .

Em suma, o ajuste da Equação 6.2 é aceitável para as bacias do Donato e Turcato, porém para o Anfiteatro a dispersão é grande e a tendência apresentada não representa satisfatoriamente os pontos observados.

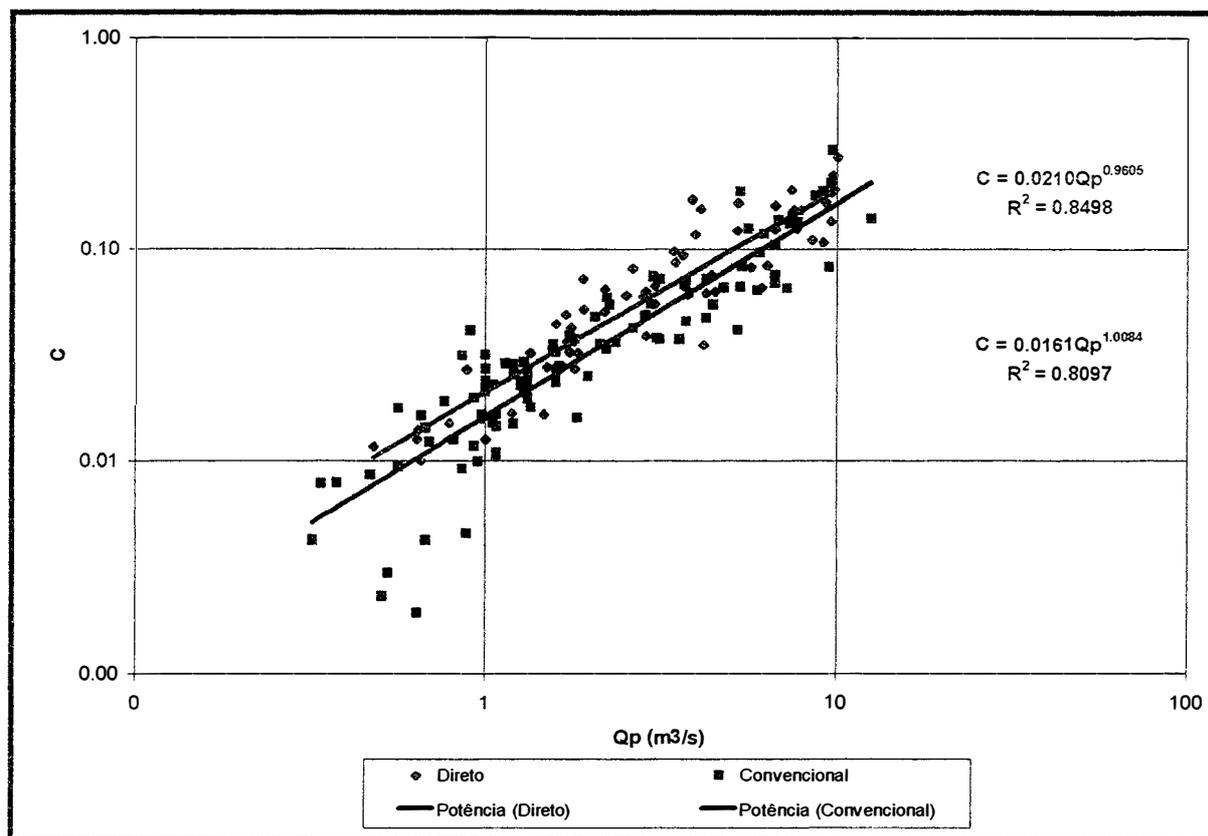


Figura 6.15. Relação entre Q_p e C na bacia do Turcato

A Figura 6.16 e a Figura 6.17 mostram a comparação dos ajustes entre pico e coeficiente de escoamento para as bacias embutidas do Potiribu. Para uma análise melhor, foram adotados os valores de vazão máxima específica (Q'_p) dividindo os valores do pico (Q_p) pela área de cada bacia. Com isso, o valor de c_1 da Equação 6.15 foi modificado, resultando em:

$$c_1' = c_1 \cdot A^{c_2} \quad (6.3)$$

onde A é a área da bacia em km^2 . Os valores de c_2 e R^2 não são alterados pela substituição de Q_p por Q'_p .

Na Figura 6.16 verificamos que os ajustes para as bacias do Anfiteatro e Donato são equivalentes no período de plantio convencional. Contudo, a bacia do Turcato, a maior, apresenta maiores valores de C do que as outras bacias, para um mesmo valor de Q'_p , apresentando a tendência dessa diferença ser maior quanto maior for Q'_p . Outro detalhe interessante, mostrado pela figura, é que, como o valor máximo de C é a unidade (1,00), logo, segundo a tendência, cada bacia teria um valor limite para a vazão máxima.

As bacias do Anfiteatro e do Donato apresentam como limite superior para a vazão máxima específica, segundo a tendência dos seus ajuste, valores próximos ($21,5$ e $23,3$ $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, respectivamente), porém, esses valores são bem distintos quando transformados em vazões máximas ($2,7$ e $25,6$ m^3/s , respectivamente). A bacia do Turcato apresenta como limite superior para a vazão máxima específica um valor pequeno: $3,1$ $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, que corresponde a 60 m^3/s .

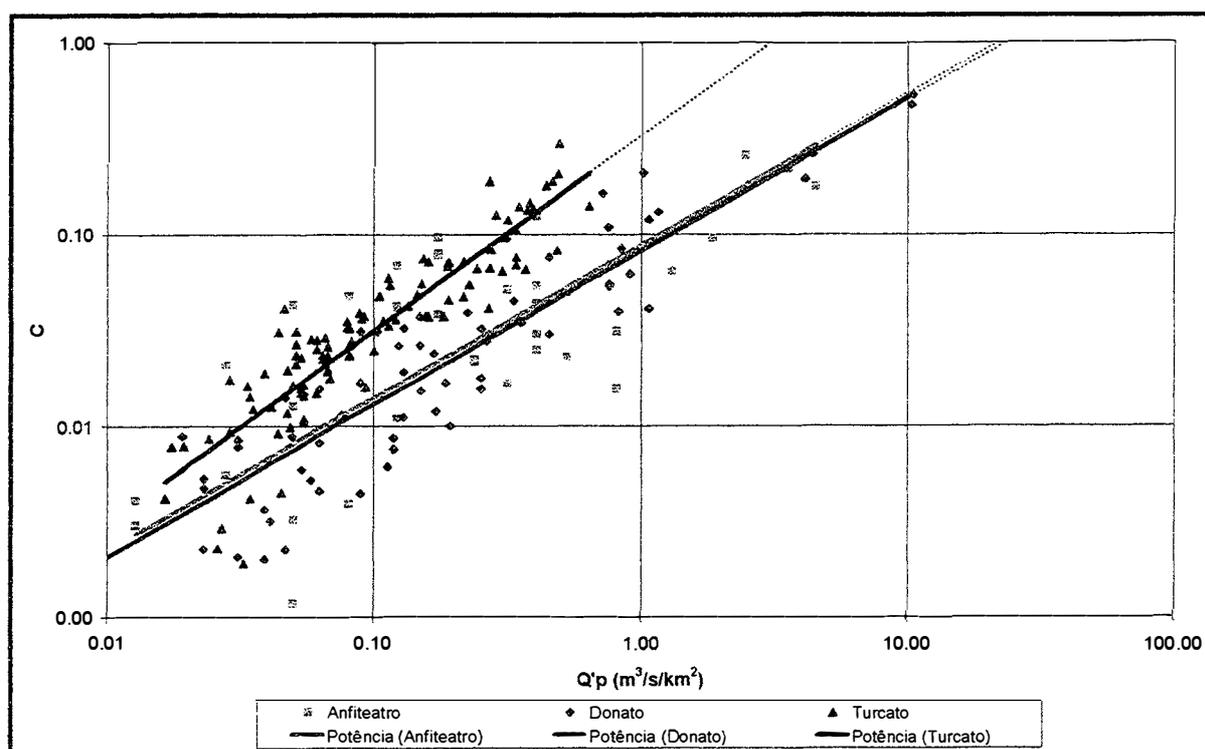


Figura 6.16. Relação entre Q'_p e C no período de plantio convencional

A Figura 6.17 mostra a comparação dos ajustes para as bacias no período de plantio direto. Nesse período, os valores limites para a vazão máxima específica nas bacias passariam a ser, segundo os ajustes para o período de plantio direto: $37,7$ $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (Anfiteatro); $27,3$ $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (Donato) e $2,9$ $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (Turcato). Com exceção da bacia do Anfiteatro, os valores limites são próximos dos valores do período anterior. O novo valor para a bacia do Anfiteatro não deve ser considerado, já que o ajuste não é bom.

Uma explicação possível para fato que o ajuste da maior bacia é diferente das bacias menores é que, quanto maior a bacia, maior é o efeito do armazenamento na bacia e nos cursos d'água, o que provoca uma amortização maior do pico de cheia (Figura 6.18).

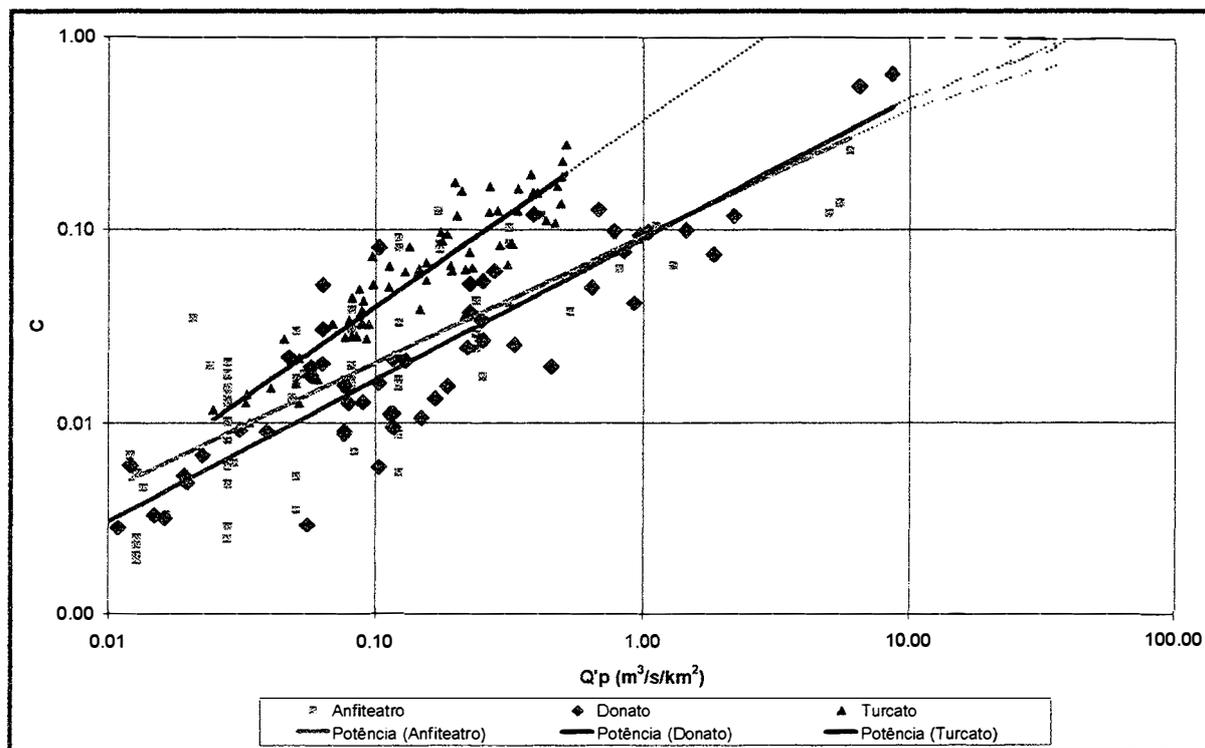


Figura 6.17. Relação entre $Q'p$ e C no período de plantio direto

Em bacias muito pequenas, como a do Anfiteatro e do Donato, o efeito do armazenamento é muito pequeno (Hidrograma 1, na Figura 6.18), fazendo com que a bacia maior (Donato) não amortença o pico mais do que a menor (Anfiteatro) como mostra a Figura 6.16. A bacia do Turcato, por ser a maior, tem um amortecimento maior dos picos (Hidrograma 2, na Figura 6.18), de forma que para uma mesma vazão de pico, esta bacia gera um maior escoamento, consequentemente, um maior coeficiente de escoamento. Essa diferença é maior, quanto maior for o pico, como mostra a Figura 6.16 e a Figura 6.17.

Pela Figura 6.17 verificamos que o efeito de amortecimento no período de plantio direto foi maior, de maneira que foi possível distinguir o ajustes diferentes para as bacias do Anfiteatro e do Donato.

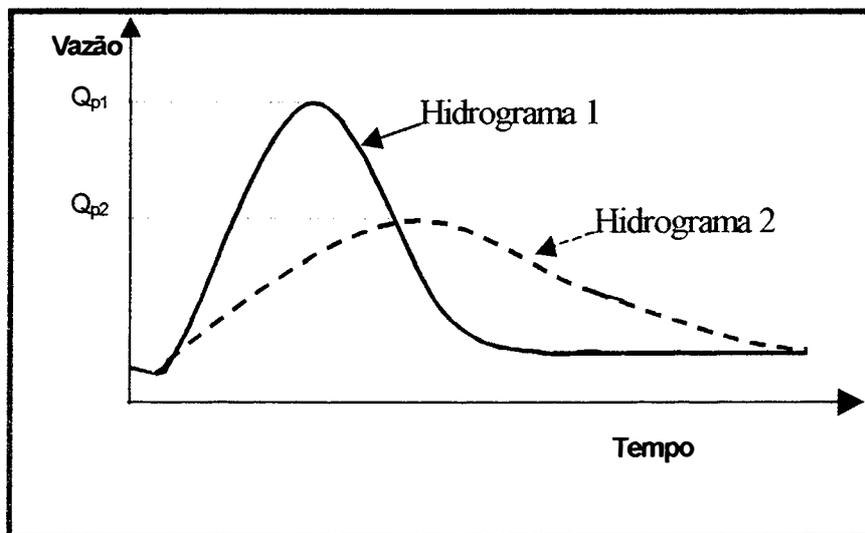


Figura 6.18. Hidrogramas com amortecimentos diferentes para o mesmo Q_{esc}

6.4. Estudo de eventos de cheia simultâneos nas bacias

As análises anteriores foram sobre as variáveis dos eventos observados (P_{total} , Q_{esc} , C , Q_p e Q'_p), vistas de maneira isolada ou comparando com outra variável. Porém, para uma melhor compreensão dessas variáveis, que são fortemente interrelacionadas, é necessário que se analise o todo, ou seja, que o conjunto de variáveis seja analisado como um único grupo.

Para tanto, foi escolhido o hidrograma, por este ser a função integradora dos processos hidrológicos, para a melhor compreensão do comportamento hidrológico das bacias embutidas do Potiribu nos cenários de plantio convencional e plantio direto.

Do total de eventos observados, foram selecionados os que foram registrados simultaneamente nas três bacias, resultando em 20 eventos (10 em cada cenário), apresentados na Tabela 6.1.

Esses eventos simultâneos apresentam a vantagem de mostrar a resposta hidrológicas das bacias para a mesma precipitação e nas mesmas condições.

A Figura 6.19 apresenta o tempo de pico dos hidrogramas observados nas bacias embutidas do Potiribu, nos 20 eventos selecionados. Pela figura observamos que, em média, quanto maior a bacia, maior será o tempo de pico, como era de se esperar. Isso sempre se observa no período de plantio direto, mas nem sempre no convencional, devido à heterogeneidade da cobertura do solo que influi na infiltração e no escoamento.

Tabela 6.1 – Eventos registrados simultaneamente nas bacias embutidas do Potiribu

| | Tabela 6.1 – Eventos registrados simultaneamente nas bacias embutidas do Potiribu | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|----------|--------|--------------------|----------------|-------|------|------------------|-------|--------------------|----------------|-------|------|------------------|-------|--------------------|----------------|-------|------|------------------|-------|
| | Anfiteatro | | | | | | | | | Donato | | | | | | Turcato | | | | | |
| | No. | Data | IPA mm | P _{total} | Q _p | tp | tb | Q _{esc} | C | P _{total} | Q _p | tp | tb | Q _{esc} | C | P _{total} | Q _p | tp | tb | Q _{esc} | C |
| | | 5 dias | (mm) | (l/s) | (min) | (min) | (mm) | (%) | (mm) | (l/s) | (min) | (min) | (mm) | (%) | (mm) | (l/s) | (min) | (min) | (mm) | (%) | |
| Período de Plantio Convencional | 1 | 03/08/92 | 19.9 | 17.0 | 15.4 | 85 | 343 | 0.72 | 4.24 | 17.8 | 34.2 | 252 | 467 | 0.14 | 0.79 | 20.3 | 1560 | 195 | 714 | 0.72 | 3.55 |
| | 2 | 23/08/92 | 6.0 | 13.8 | 21.9 | 13 | 129 | 0.53 | 3.84 | 13.7 | 113.7 | 40 | 174 | 0.43 | 3.14 | 13.8 | 2062 | 136 | 424 | 0.66 | 4.78 |
| | 3 | 11/09/92 | 3.6 | 54.1 | 231.0 | 30 | 360 | 5.14 | 9.50 | 54.3 | 842.0 | 35 | 336 | 3 | 5.52 | 51.2 | 6048 | 243 | 685 | 4.91 | 9.59 |
| | 4 | 18/09/92 | 12.0 | 20.9 | 51.2 | 11 | 890 | 2.57 | 12.30 | 19.7 | 43.1 | 50 | 299 | 0.04 | 0.20 | 20.1 | 1320 | 47 | 402 | 0.39 | 1.94 |
| | 5 | 29/11/92 | 14.5 | 22.0 | 51.2 | 8 | 78 | 0.67 | 3.05 | 21.9 | 51.9 | 6 | 89 | 0.05 | 0.23 | 26.6 | 1590 | 166 | 629 | 0.62 | 2.33 |
| | 6 | 16/12/92 | 0.0 | 37.1 | 51.2 | 17 | 265 | 1.62 | 4.37 | 39.8 | 25.3 | 152 | 431 | 0.19 | 0.48 | 40.0 | 1050 | 212 | 880 | 0.60 | 1.50 |
| | 7 | 24/03/93 | 8.2 | 25.8 | 51.2 | 38 | 160 | 0.65 | 2.52 | 31.5 | 99.0 | 21 | 107 | 0.14 | 0.44 | 34.8 | 3745 | 144 | 498 | 1.59 | 4.57 |
| | 8 | 27/04/93 | 0.0 | 23.9 | 39.7 | 9 | 55 | 0.40 | 1.67 | 23.3 | 1176.0 | 13 | 124 | 2.78 | 11.93 | 43.8 | 5264 | 344 | 616 | 1.81 | 4.13 |
| | 9 | 04/10/93 | 41.8 | 17.0 | 39.7 | 61 | 279 | 0.87 | 5.12 | 21.9 | 99.0 | 156 | 329 | 0.37 | 1.69 | 21.9 | 2639 | 145 | 644 | 0.93 | 4.25 |
| | 10 | 17/10/93 | 17.1 | 60.8 | 66.8 | 71 | 669 | 3.08 | 5.07 | 48.5 | 143.0 | 330 | 1516 | 1.58 | 3.26 | 64.7 | 6666 | 93 | 781 | 4.49 | 6.94 |
| 11 | 13/10/94 | 12.9 | 39.0 | 3.5 | 71 | 370 | 0.39 | 1.00 | 51.3 | 365.2 | 50 | 348 | 1.3 | 2.53 | 59.9 | 6104 | 128 | 733 | 3.95 | 6.59 | |
| Período de Plantio Direto | 12 | 18/10/94 | 58.2 | 22.0 | 163.0 | 85 | 178 | 1.44 | 6.55 | 25 | 2414.0 | 76 | 118 | 2.95 | 11.80 | 28.2 | 7668 | 144 | 507 | 3.53 | 12.52 |
| | 13 | 22/10/94 | 77.1 | 13.8 | 3.5 | 6 | 157 | 0.14 | 1.01 | 27.7 | 185.8 | 40 | 95 | 0.37 | 1.34 | 31.4 | 9143 | 73 | 332 | 3.38 | 10.76 |
| | 14 | 31/10/94 | 0.0 | 21.1 | 30.0 | 19 | 168 | 0.51 | 2.42 | 21.1 | 1020.0 | 30 | 56 | 0.88 | 4.17 | 21.3 | 4520 | 321 | 550 | 1.35 | 6.34 |
| | 15 | 06/09/98 | 9.2 | 35.6 | 3.5 | 302 | 917 | 0.45 | 1.26 | 38.4 | 113.7 | 710 | 2046 | 3.12 | 8.13 | 47.7 | 3967 | 1005 | 1656 | 5.61 | 11.76 |
| | 16 | 23/10/98 | 0.0 | 27.6 | 15.4 | 59 | 574 | 0.42 | 1.52 | 15 | 128.3 | 58 | 151 | 0.32 | 2.13 | 27.6 | 1662 | 120 | 749 | 0.77 | 2.79 |
| | 17 | 25/10/98 | 28.6 | 19.4 | 6.3 | 128 | 365 | 0.33 | 1.70 | 15.7 | 69.7 | 88 | 388 | 0.48 | 3.06 | 27.9 | 2519 | 247 | 1102 | 1.69 | 6.06 |
| | 18 | 16/02/99 | 24.2 | 24.3 | 31.8 | 25 | 123 | 0.42 | 1.73 | 23 | 275.7 | 46 | 251 | 0.78 | 3.39 | 24.3 | 2875 | 58 | 485 | 0.94 | 3.87 |
| | 19 | 09/06/99 | 0.6 | 14.2 | 6.1 | 20 | 300 | 0.19 | 1.34 | 29.8 | 63.0 | 340 | 730 | 0.52 | 1.74 | 64.3 | 3452 | 760 | 1850 | 6.24 | 9.70 |
| | 20 | 02/07/99 | 0.1 | 6.5 | 1.7 | 60 | 150 | 0.03 | 0.46 | 23.6 | 24.8 | 310 | 410 | 0.16 | 0.68 | 40.8 | 2626 | 350 | 1760 | 3.32 | 8.14 |

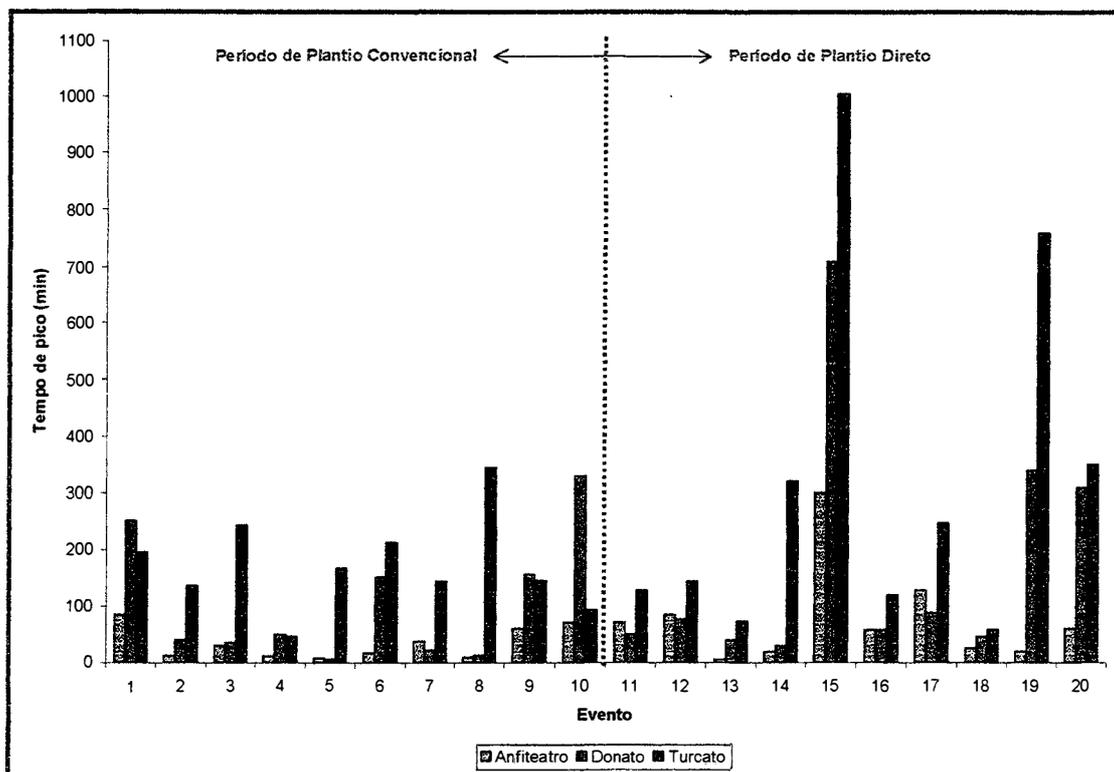


Figura 6.19. Comparação do tempo de pico dos 20 eventos selecionados

Na Figura 6.20 podemos comparar as vazões máximas específicas (Q'_p) dos 20 eventos selecionados. Pela figura verificamos que, em média, a bacia do Anfiteatro apresenta maior valor de vazão máxima específica no período convencional, porém, no período de plantio direto, são as bacia do Donato e Turcato que se destacam mais.

A Figura 6.21 apresenta o volume escoado nos eventos selecionados. No período de plantio direto, observamos uma clara tendência de que a maior bacia produza o maior escoamento, o que não ocorre no plantio convencional.

Na Figura 6.22, verificamos que o coeficiente de escoamento superficial C (Equação 6.2) tem comportamento similar ao do volume escoado apresentado na Figura 6.21, pois foi adotada a mesma precipitação para cada uma das três sub-bacias.

A Figura 6.23 e a Figura 6.24 ilustram eventos ocorridos no período de plantio convencional. Os eventos são representados pela distribuição da precipitação no tempo (hietograma) e pelos hidrogramas das vazões específicas das bacia embutidas do Potiribu. Nas figuras, observamos que a menor bacia, Anfiteatro, apresenta maiores valores de vazão específica, porém, não é a maior bacia (Turcato) que possui os menores valores e sim a bacia do Donato.

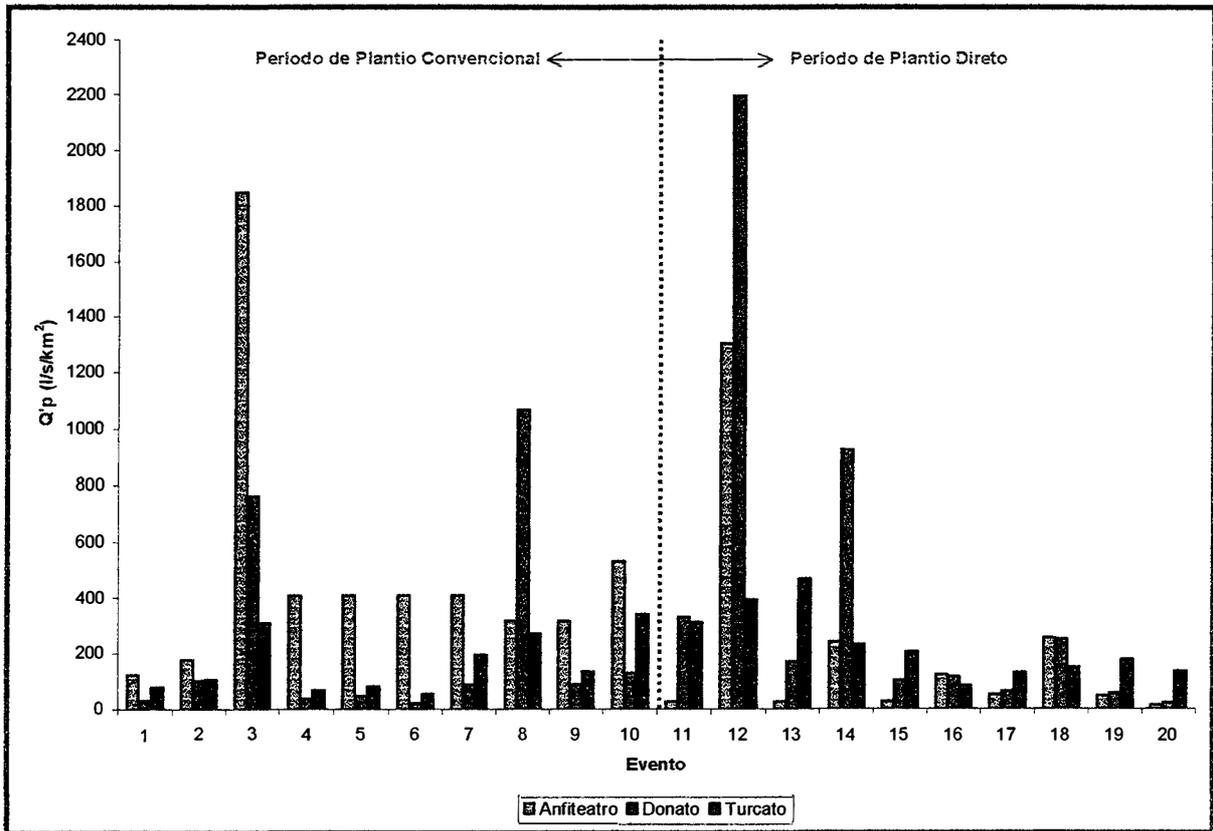


Figura 6.20. Comparação da vazão máxima específica dos 20 eventos selecionados

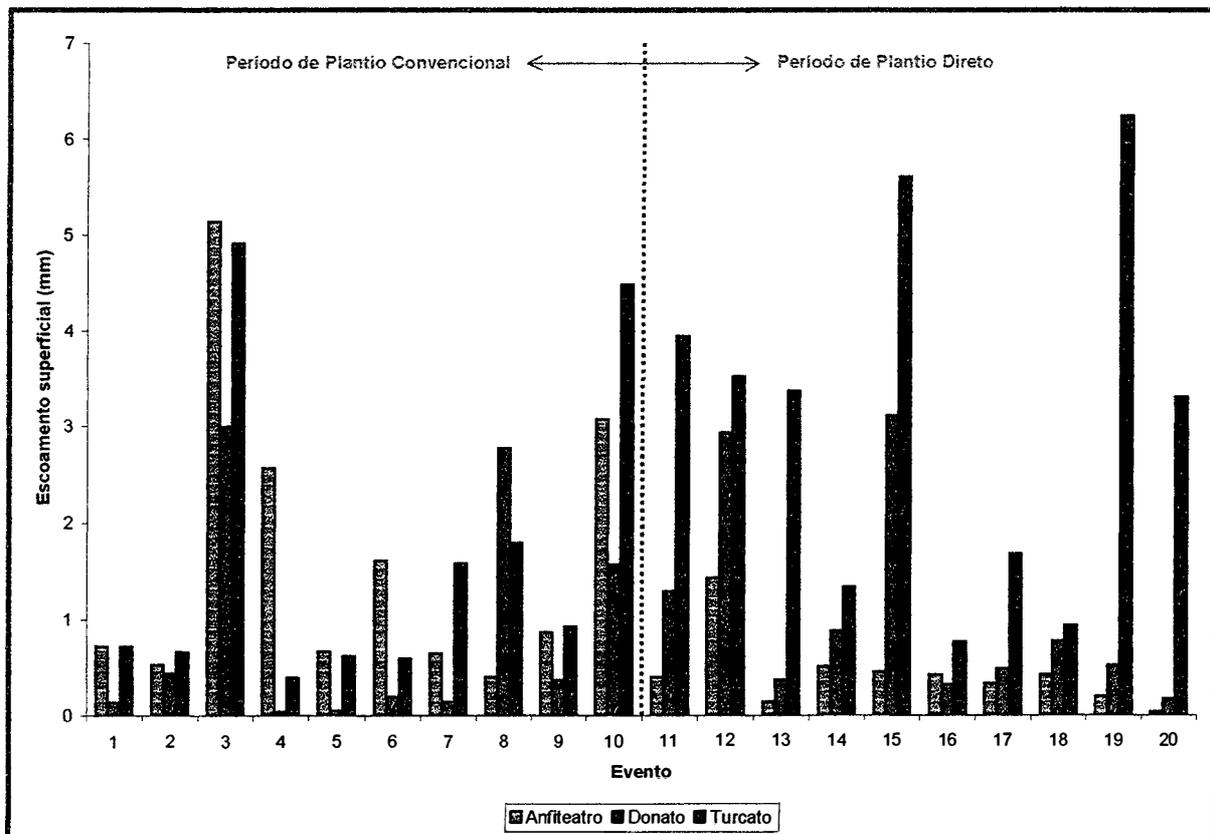


Figura 6.21. Comparação do volume escoado dos 20 eventos selecionados

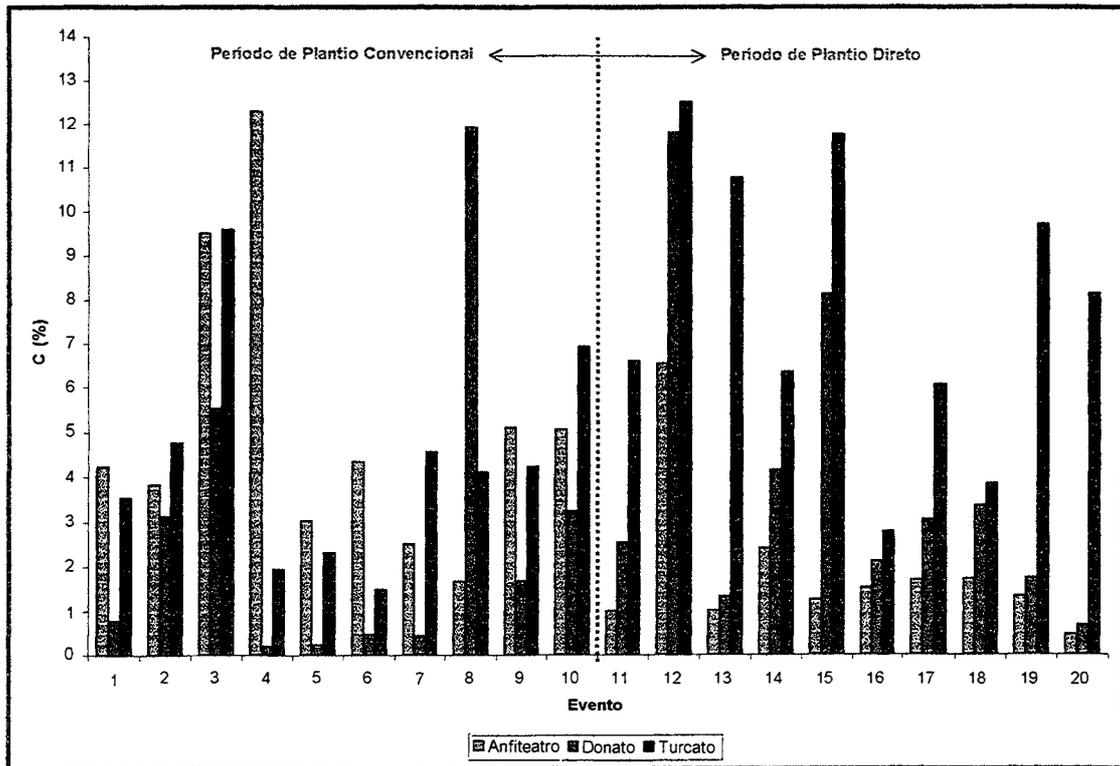


Figura 6.22. Comparação do coeficiente de escoamento (C) dos 20 eventos selecionados

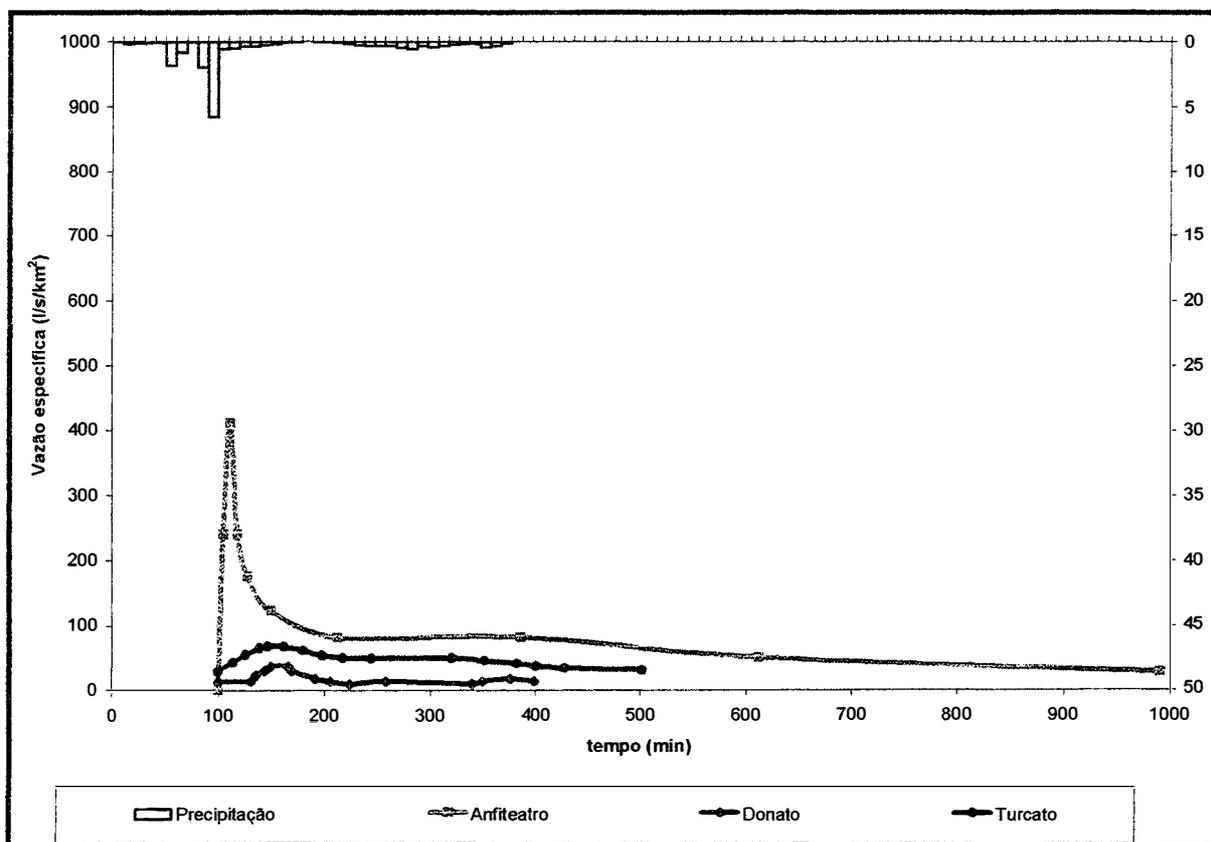


Figura 6.23. Evento do dia 18/09/92

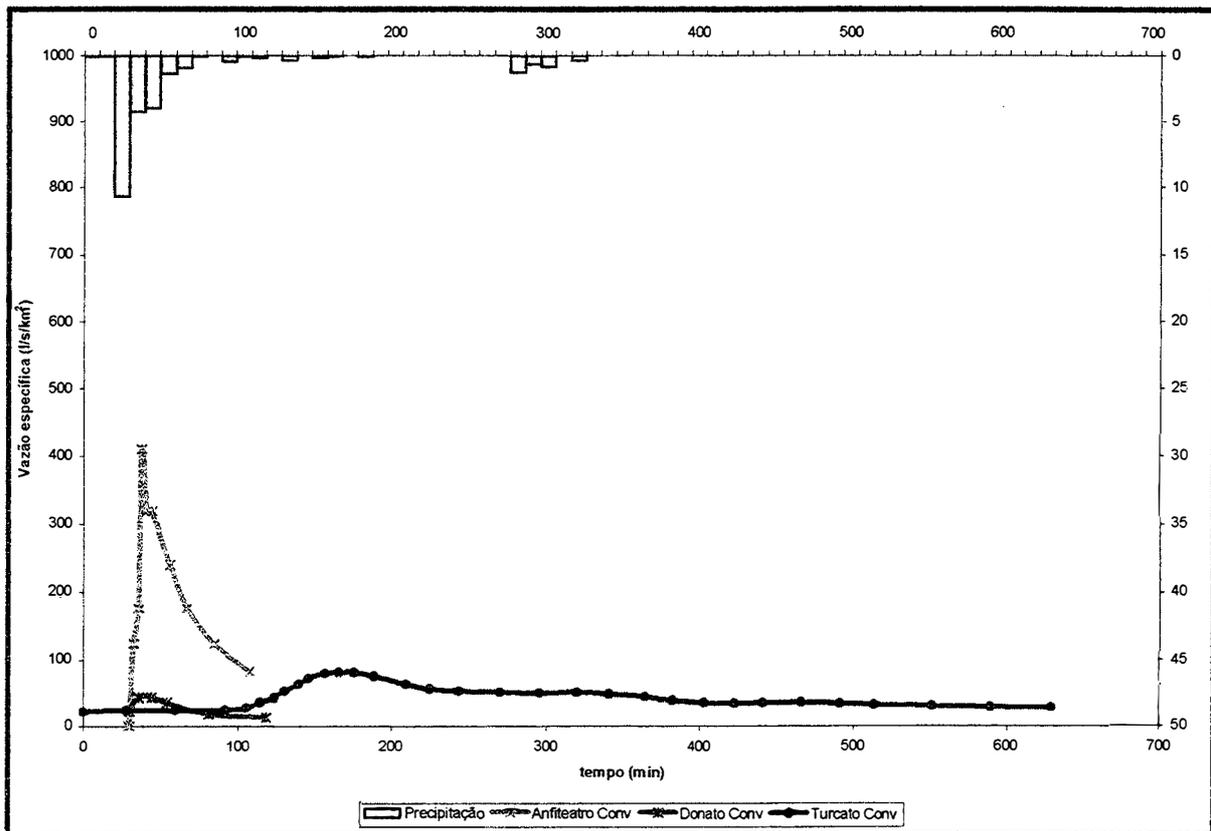


Figura 6.24. Evento do dia 29/11/92

A Figura 6.25 e a Figura 6.26 ilustram eventos no período de plantio direto. Essas figuras mostram que a vazão específica da bacia do Donato, que no plantio convencional era a menor (Figura 6.23 e Figura 6.24), aumentou significativamente em relação à vazão específica do Anfiteatro. As figuras mostram também que a vazão específica do Turcato está mais próxima da vazão específica do Anfiteatro, porém continua menor. Essa tendência também foi observada em outros eventos.

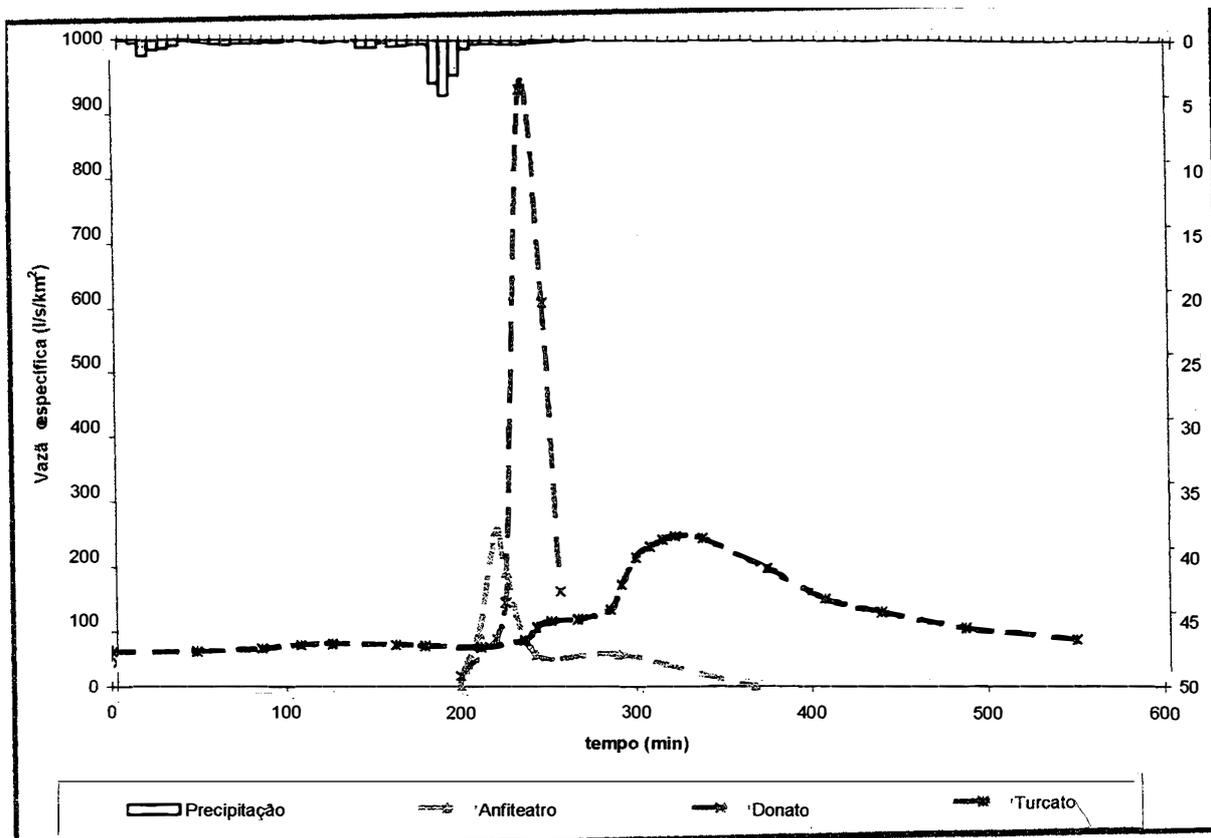


Figura 6.25. Evento do dia 31/10/94

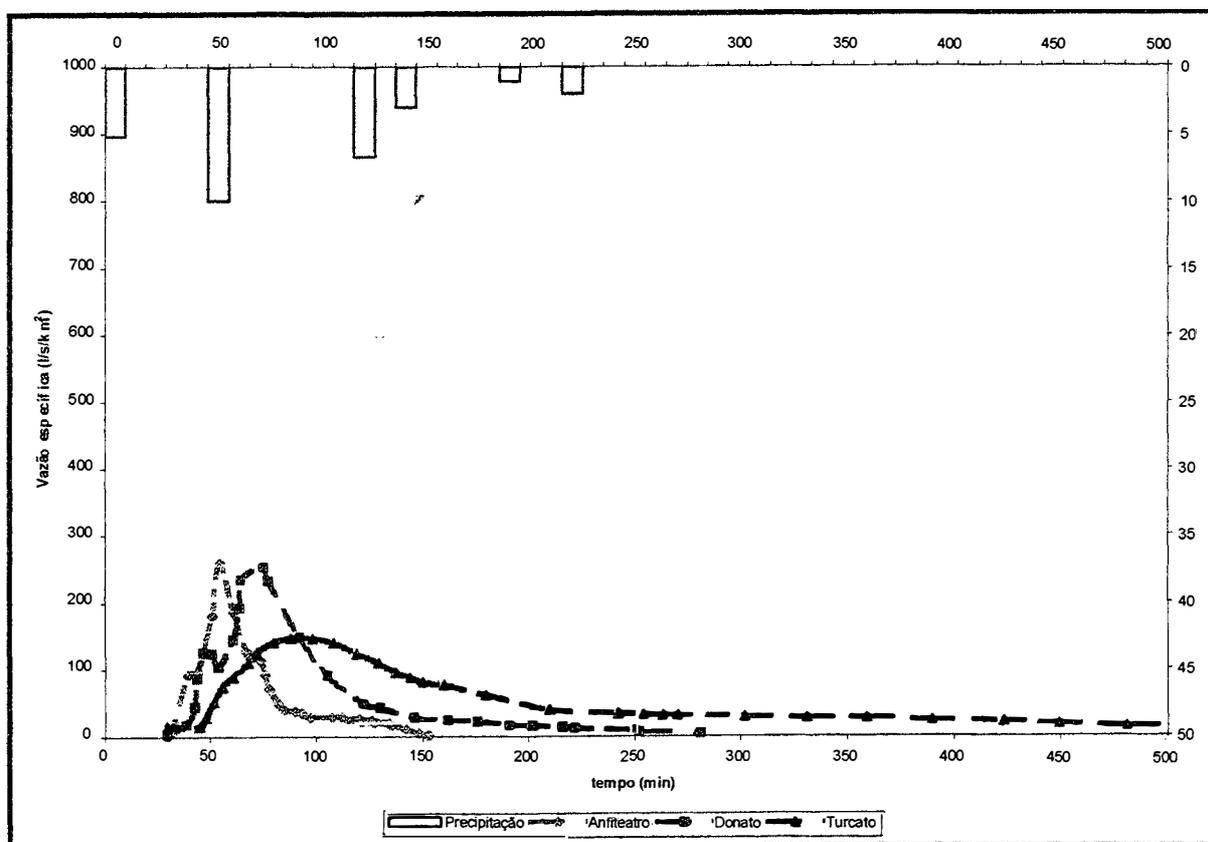


Figura 6.26. Evento do dia 16/02/99

6.5. Conclusão

As análises deste capítulo fornecem as seguintes conclusões:

a) quanto maior for a área da bacia, mais uniforme é a resposta hidrológica da bacia, em forma de escoamento superficial, para as precipitações. Isso se justifica pelo fato de que quanto maior for a bacia, menor é a influência da variabilidade das condições iniciais (umidade, topografia, tipo de solo, cobertura vegetal, entre outras) na resposta da bacia para um evento chuvoso.

b) no período de plantio direto, foi observada uma resposta hidrológica (escoamento superficial) mais uniforme do que no período de plantio convencional. O período de plantio direto mostrou ser mais regular, com menor variabilidade das condições iniciais, em relação ao período convencional, devido a uma maior uniformidade da cobertura vegetal e umidade do solo no plantio direto em relação ao convencional. A umidade do solo se mantém mais constante no plantio direto em relação ao convencional porque o tipo de plantio direto favorece a infiltração e diminui a evaporação da água retida no solo, por manter uma cobertura vegetal constante.

c) comparando os volumes escoados pelas bacias nos dois períodos de uso do solo, obtemos as seguintes constatações:

– o Anfiteatro produz mais escoamento superficial no plantio convencional para precipitações até 30 mm;

– o Donato produz mais escoamento superficial no plantio convencional para precipitações até 60 mm;

– o Turcato gera mais escoamento superficial no plantio direto.

Isso nos leva a concluir que o plantio direto aumenta a capacidade de infiltração do solo, o que produz, nas bacias menores, menos escoamento superficial para precipitações de pequena magnitude, e, na maior, aumento do volume escoado devido ao aumento do escoamento sub-superficial na bacia, que, nesta escala (19,5 km²) influi significativamente no escoamento superficial.

d) no período de plantio convencional foi observado que:

– a bacia do Anfiteatro produz, em relação às demais bacias, mais escoamento superficial para precipitações até 20 mm;

– a bacia do Turcato gera, em relação às demais bacias, mais escoamento superficial para precipitações maiores que 30 mm.

Isso se deve ao fato que, nesse tipo de plantio, o escoamento superficial é gerado na escala de vertente ($12,5 \text{ km}^2$) para precipitações de pequena magnitude (até 20 mm) e que para precipitações maiores, a influencia do escoamento sub-superficial aumenta, de modo que a maior bacia (Turcato) passa a fornecer maior volume escoado.

e) no período de plantio direto é o Turcato que gera maior volume escoado, mostrando que, para esse tipo de plantio, o escoamento sub-superficial produzido pela maior capacidade de infiltração do solo é capaz de influir significativamente no volume escoado em bacias dessa escala ($19,5 \text{ km}^2$), para qualquer magnitude de precipitação.

f) em bacias muito pequenas, como a do Anfiteatro e do Donato, o efeito do armazenamento é muito pequeno, fazendo com que a bacia maior (Donato) não amortea o pico mais do que a menor (Anfiteatro) como mostra a Figura 6.16. A bacia do Turcato, por ser a maior, apresenta um amortecimento maior dos picos, de forma que para uma mesma vazão de pico, esta bacia gera um maior escoamento, conseqüentemente, um maior coeficiente de escoamento. Essa diferença é maior, quanto maior for o pico, como mostra a Figura 6.16 e a Figura 6.17. Pela Figura 6.17 verificamos que o efeito de amortecimento no período de plantio direto foi maior, de maneira que foi possível distinguir o ajustes diferentes para as bacias do Anfiteatro e do Donato.

g) o plantio direto produz respostas hidrológicas (tempo de pico e volume escoado) que aumentam com o aumento da área da bacia, como era de se esperar. Mas isso nem sempre é observado no plantio convencional devido à heterogeneidade da cobertura do solo nesse tipo de plantio.

h) em eventos observados no plantio convencional, o Anfiteatro produz vazões específicas maiores que as do Donato e Turcato, mostrando que esse tipo de plantio produz pouca capacidade de amortecimento nessa escala ($12,5 \text{ ha}$). Porém, em eventos observados no plantio direto, é o Donato que gera maiores vazões específicas, o que nos induz a supor que esse tipo de plantio aumenta consideravelmente a capacidade de amortecimento na escala vertente (Anfiteatro).

7. CURVAS DE PERMANÊNCIA E VAZÕES MÍNIMAS

7.1. Análise das curvas de permanências das bacias embutidas do Potiribu

As curvas de permanência para as bacias embutidas do Potiribu foram calculadas com base nos valores diários de vazão, obtidos através da média das vazões instantâneas registradas no linígrafo, utilizando o programa Hydrom (Cochonneau, 1991), num período de dados comum para as três bacias.

A metodologia adotada para a determinação das curvas foi a empírica fornecida por Tucci, 1993b. No período de plantio convencional o período comum de dados é de julho de 92 até abril de 1994, pois não há registros contínuos de vazões na bacia do anfiteatro antes desse período. As curvas desse período serão denominadas de “convencional”.

No período de plantio direto, o posto da bacia do Turcato parou de funcionar no período de janeiro de 1996 a junho de 1998, sendo, então, o período comum de dados de maio de 1994 a dezembro de 1995 e julho de 1998 a setembro de 1999. As curvas desse período serão denominadas de “direto”.

Para não perder os dados dos períodos não comuns às três bacias, foram determinadas as curvas de permanência das bacias do Donato e do Turcato no período de novembro de 1989 a abril de 1994, que serão denominadas de “89-94”, e as curvas das bacias do Anfiteatro e do Donato no período de maio de 1994 a setembro de 1999, que serão denominadas de “94-99”.

A Figura 7.1 apresenta as curvas de permanência das bacias embutidas do Potiribu no período de plantio convencional. A vazão (Q) foi adimensionalizada pela média das vazões (Q_{md}) no período. Analisando a figura, verificamos que a bacia do Anfiteatro passa mais de 75% do tempo com vazões diárias nulas no período convencional, enquanto a bacia do Donato passa menos de 4% e o arroio Turcato é perene. Observamos que quanto maior a bacia, maior a capacidade de regularização da mesma. Outro detalhe exposto nesta figura é que a inclusão dos dados do período de novembro de 89 a junho de 1992 não alterou significativamente a curva de permanência das bacias de Donato e Turcato.

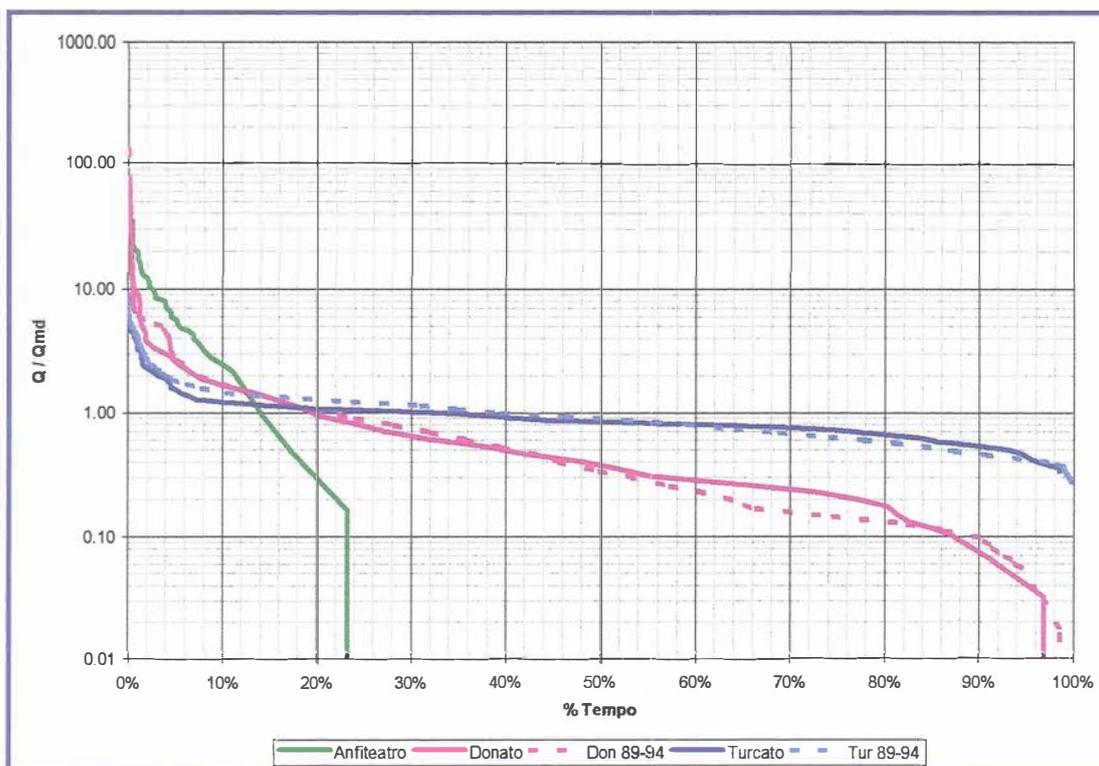


Figura 7.1. Curvas de permanência (Q/Q_{md}) das bacias embutidas do Potiribu (convencional)

A Figura 7.2 apresenta as curvas de permanência das bacias embutidas do Potiribu no período de plantio direto. Na figura, observamos que a bacia do Anfiteatro passa mais de 82% do tempo com vazões diárias nulas no período e a bacia do Donato passa quase 12%, mostrando que o período de plantio direto foi mais seco que o período de plantio convencional. Portanto, as diferenças nas curvas de permanência não podem ser atribuídas à diferença de plantio.

A Figura 7.3 e a Figura 7.4 apresentam as curvas de permanência adotando a vazão específica de cada bacia nos dois cenários. As figuras destacam uma melhor capacidade de regularização das bacias maiores, como era de se esperar.

O Anexo 5 apresenta a comparação das curvas de permanência do período de plantio convencional e do período de plantio direto para cada bacia embutida do rio Potiribu, adotando a vazão adimensionalizada pela média (Q/Q_{md}) e usando a vazão específica.

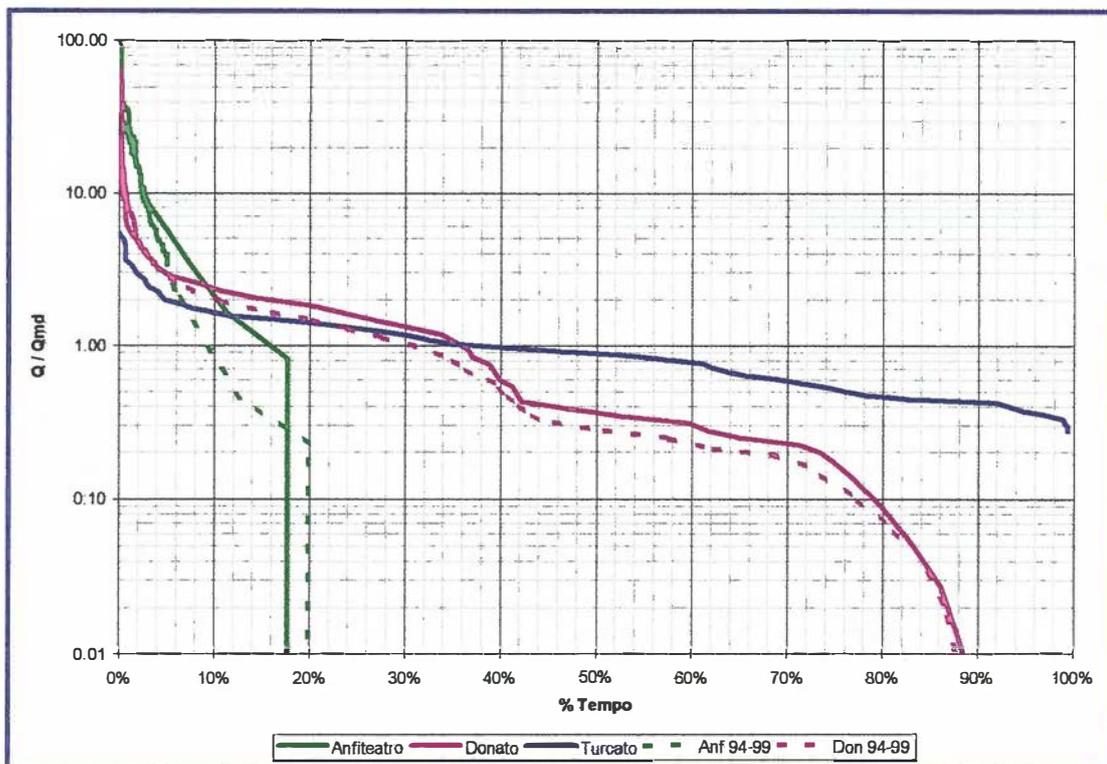


Figura 7.2. Curvas de permanência (Q/Q_{md}) das bacias embutidas do Potiribu (direto)

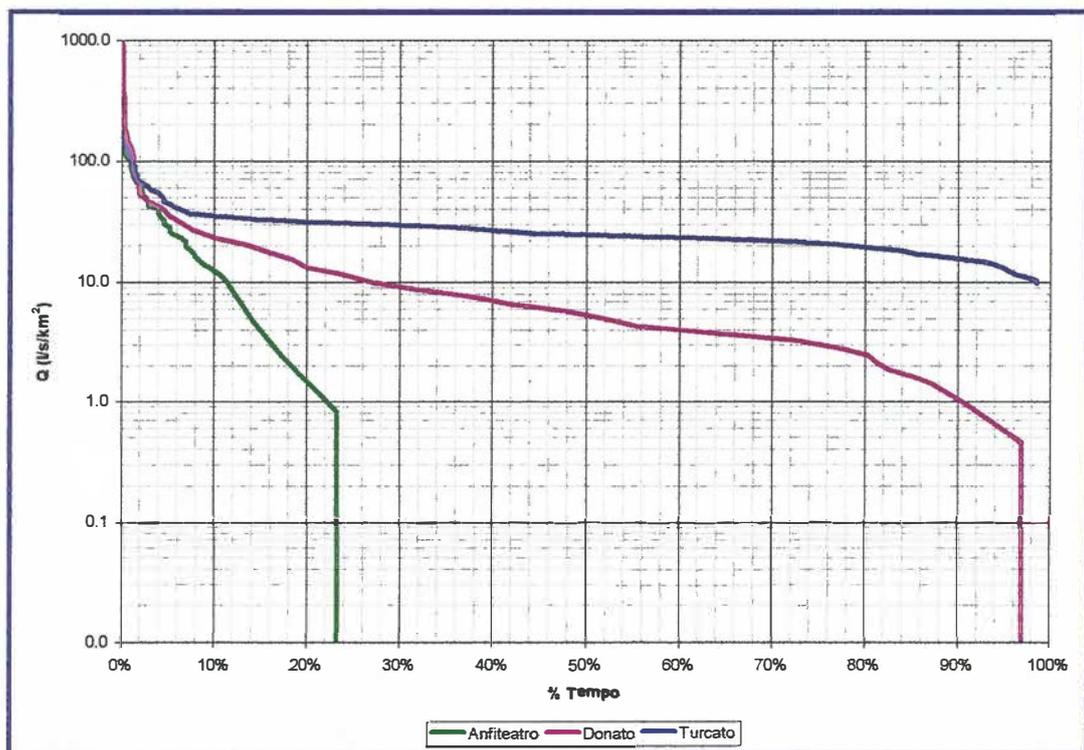


Figura 7.3. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias embutidas do Potiribu (convencional)

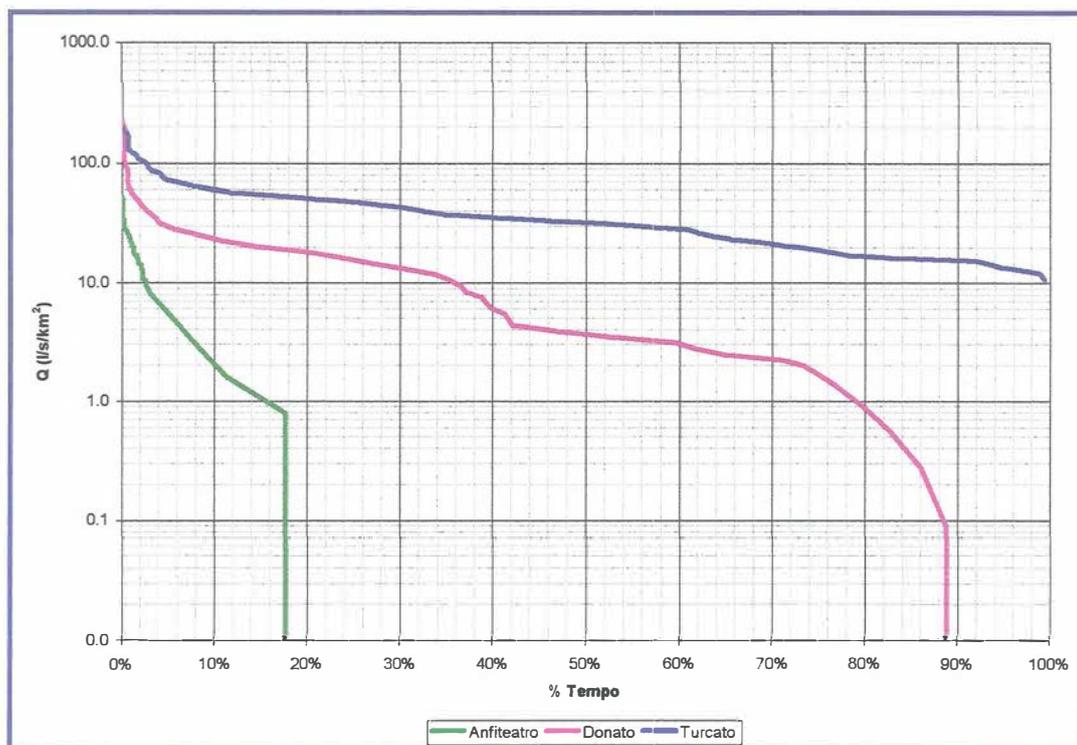


Figura 7.4. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias embutidas do Potiribu (direto)

A Figura 7.5 apresenta as curvas de permanências das bacias embutidas do Potiribu no período completo de dados de cada bacia. Na figura observa-se que as curvas do Donato e do Turcato se tocam quando a vazão dessas bacias se aproxima da média. O mesmo é visto na Figura 7.1 e na Figura 7.2.

Pelo exposto neste item concluímos que:

- A bacia do Anfiteatro apresenta pouca regularização de vazão, passando maior parte do tempo sem vazões;
- A bacia do Turcato apresenta uma regularização muito boa, mantendo vazões muito próximas da média na maior parte do tempo;
- o período de plantio direto foi mais seco em termo de vazão, devido à variabilidade da precipitação que, apresentou períodos chuvosos mais concentrados no plantio direto do que no convencional. Portanto, as diferenças não podem ser atribuídas aos diferentes tipos de plantio.

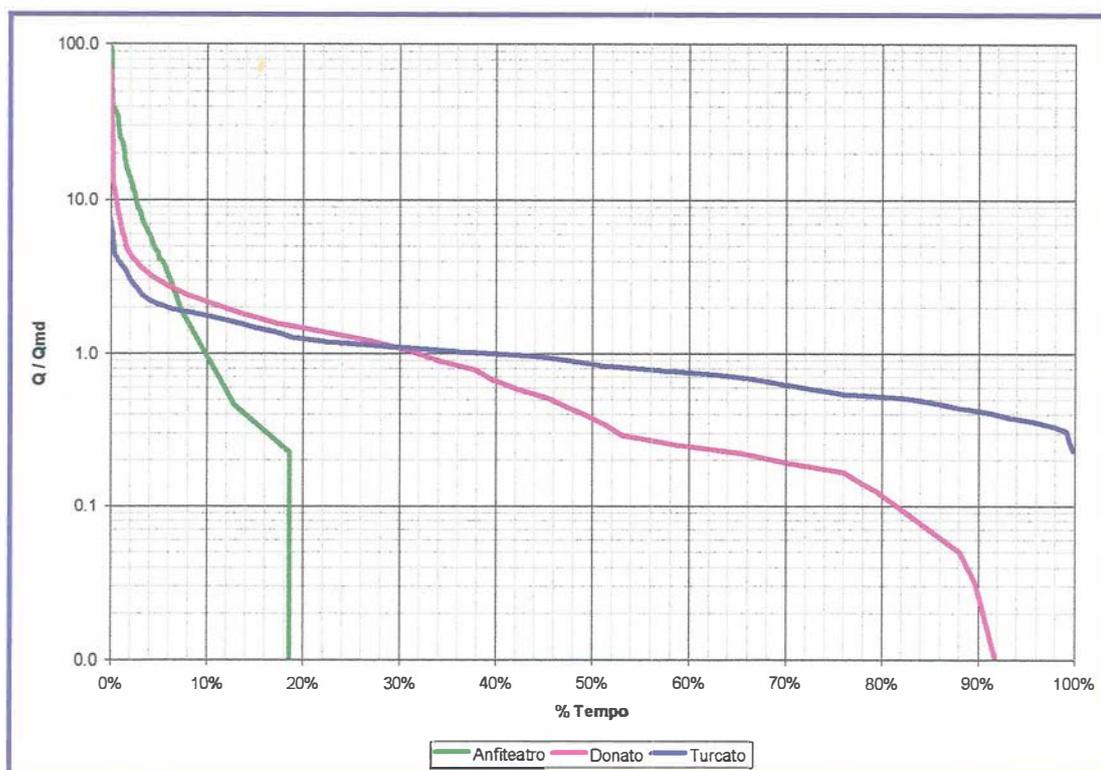


Figura 7.5. Curvas de permanência das bacias do embutidas do Potiribu (período completo)

7.2. Análise das curvas de permanências das bacias da região do Ijuí

A análise das curvas de permanência das bacias embutidas do Potiribu foi complementada através da comparação com as curvas de permanência das bacias da região do Potiribu descritas no capítulo 3. Essas bacias são de escalas maiores (acima de 600 km^2) e também sofreram uma mudança de plantio como as bacias embutidas do Potiribu, porém, por serem de maior escala (meso e macro), elas retratam o comportamento hidrológico da região mais marcado pelo regime hidrológico do período do que do uso do solo.

No Anexo 6 são apresentadas as curvas de permanência das bacias da região do rio Ijuí (incluindo as do rio Potiribu) nos dois períodos de uso do solo: convencional (01/89-04/93) e direto (05/94-12/98). A seguir serão analisadas essas curvas para o período completo de dados (1989-1998).

A Figura 7.6 apresenta as curvas de permanências das bacias estudadas no período de 1989 a 1998. Observa-se, na figura, que a bacia do Turcato apresenta a melhor regularização das bacias da região do rio Ijuí. Outra verificação constatada na figura é que as vazões das bacias se aproximam da média para a permanência de 30%, com exceção do Anfiteatro, o que deixa claro que bacias nessa escala (12,5 ha) não são capazes de regularizar suas vazões.

A Figura 7.7 apresenta as curvas de permanências das vazões específicas das bacias da região do rio Ijuí no período de 1989 a 1998. Consta-se, na figura, que a bacia do Turcato apresenta as maiores vazões específicas das bacias estudadas para vazões com permanência acima de 40%.

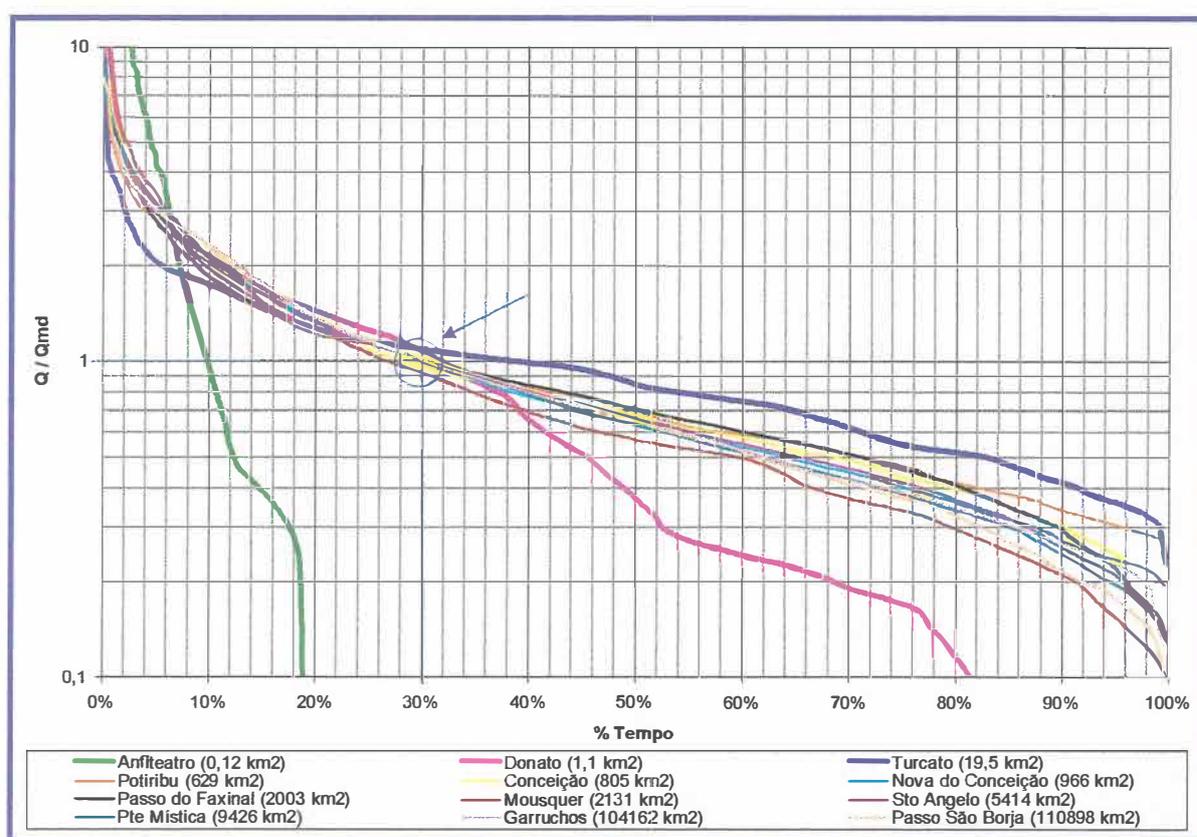


Figura 7.6. Curvas de permanência das bacias do rio Ijuí (1989-1998)

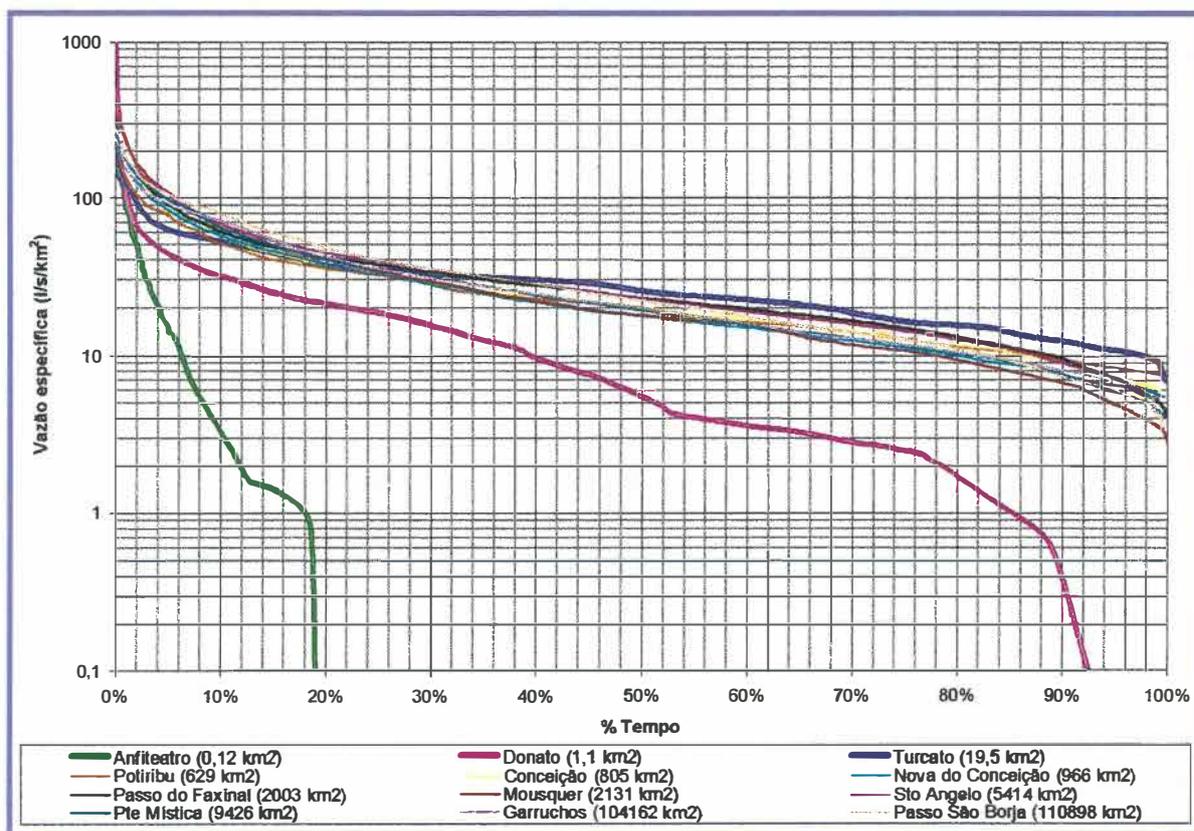


Figura 7.7. Curvas de permanência das vazões específicas das bacias do rio Ijuí (1989-1998)

7.3. Regionalização das vazões características das curvas de permanência

Para um melhor entendimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas estudadas, as seguintes variáveis foram regionalizadas em função da área da bacia:

1. Vazão média no período (Q_{md});
2. Q_{50} ; e
3. Q_{95} .

7.3.1. Vazão média

A vazão média de cada bacia foi calculada através da média aritmética das vazões diárias de cada período.

A Figura 7.8 apresenta os valores de vazão média relacionados com as áreas das bacias nos dois cenários. A figura mostra uma tendência das vazões médias do período de plantio direto serem maiores do que as do período de plantio convencional nas bacias maiores (acima de 10 km²) e menores nas bacias menores. Nas bacias de meso escala (10-10.000 km²) as vazões médias nos dois períodos são próximas.

A regionalização da vazão média, geralmente, é feita tomando como base bacias de meso ou macro escala. Neste trabalho, a título de comparação, a regionalização da vazão média em função da área foi feita segundo a Equação 7.1 para as bacias de meso escala e extrapolada para as bacias vertente, micro e macro escala (Tabela 3.1), como mostra a Figura 7.9

$$Q_{md} = cA^d \quad (7.1)$$

onde: c e d são os parâmetros de ajuste.

A Figura 7.9 apresenta o ajuste da vazão média com a área das bacias de meso escala considerando o período completo (1989-1998). O ajuste para a meso escala é muito bom, e podendo ser utilizado para estimar as vazões médias na micro (Donato e Turcato) e macro (Garruchos e Passo São Borja) escala. Porém a bacia vertente está fora de ajuste, sendo sua vazão média bem menor que o previsto no ajuste.

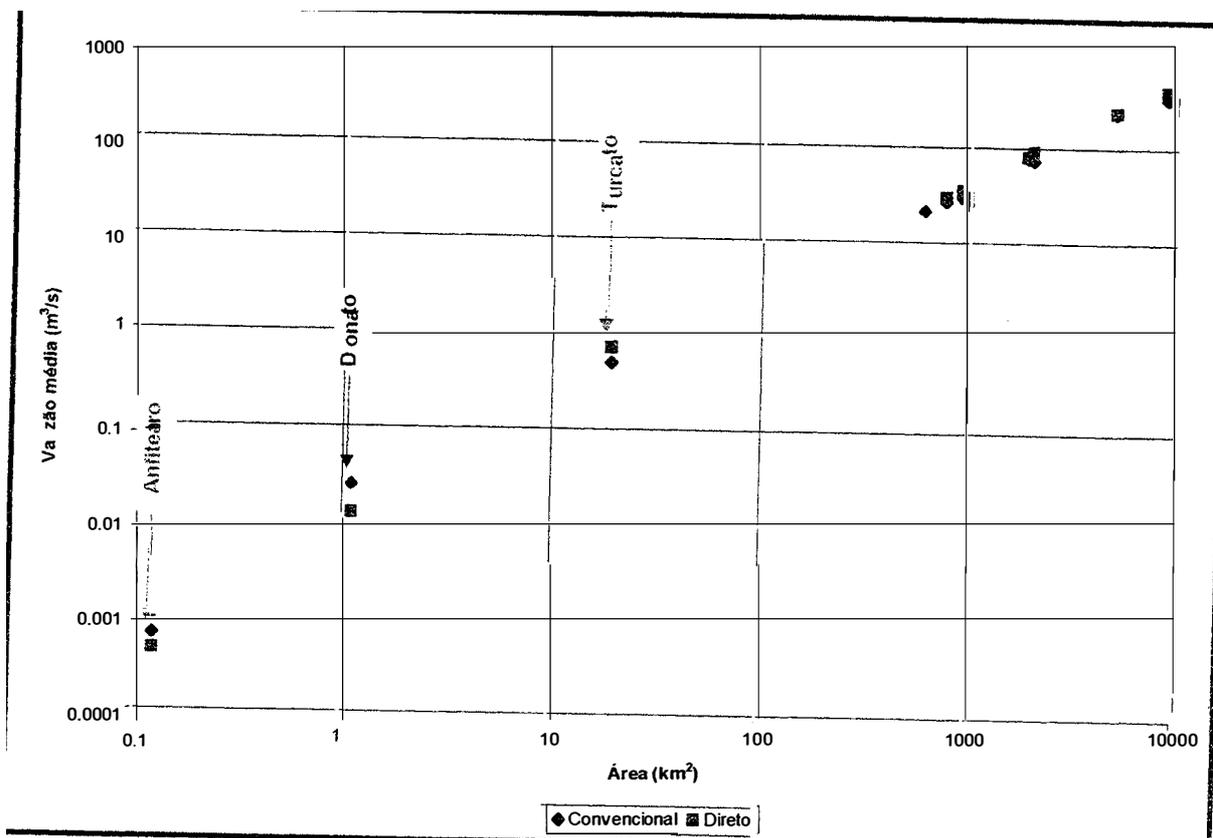


Figura 7.8. Valores de Vazões médias *versus* Áreas das bacias estudadas

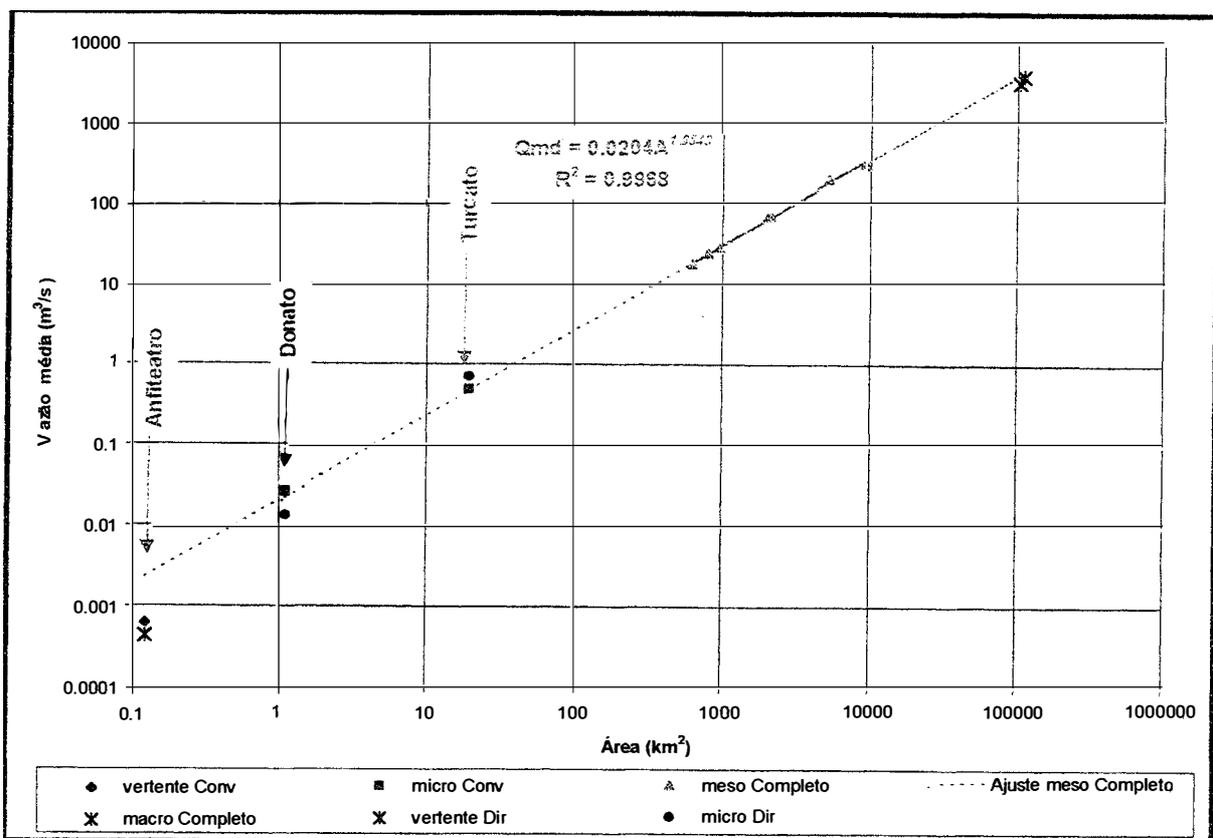


Figura 7.9. Ajuste das vazões médias em função da área das bacias de meso escala

7.3.2. Q_{50}

A vazão Q_{50} é aquela extraída da curva de permanência cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de 50%.

A Figura 7.10 mostra os valores de Q_{50} em relação com a área das bacias estudadas. Na figura, não foram plotados os valores da bacia do Anfiteatro, pois, em ambos períodos, o valor de Q_{50} dessa bacia é nulo. Pela figura, observamos que apenas na bacia do Donato o valor de Q_{50} do período de plantio direto foi menor que o do período de plantio convencional. Nas bacias de meso escala (10-10.000 km²) as vazões médias nos dois períodos são muito próximas.

A Figura 7.11 mostra o ajuste dos valores de Q_{50} em função da área das bacias de meso escala, segundo a Equação 7.2, para o período completo de dados (1989-1998) e sua extrapolação para bacias de micro e macro escala. Na figura observa-se que o ajuste é bastante satisfatório, podendo ser utilizado para estimar o Q_{50} das bacias de macro escala ($A > 100.000$ km²) e para a bacia do Turcato (19,5 km²). O ajuste superestima o Q_{50} da bacia do Donato. A bacia vertente está fora do ajuste, pois seu valor nulo não tem como ser previsto pela Equação 7.2.

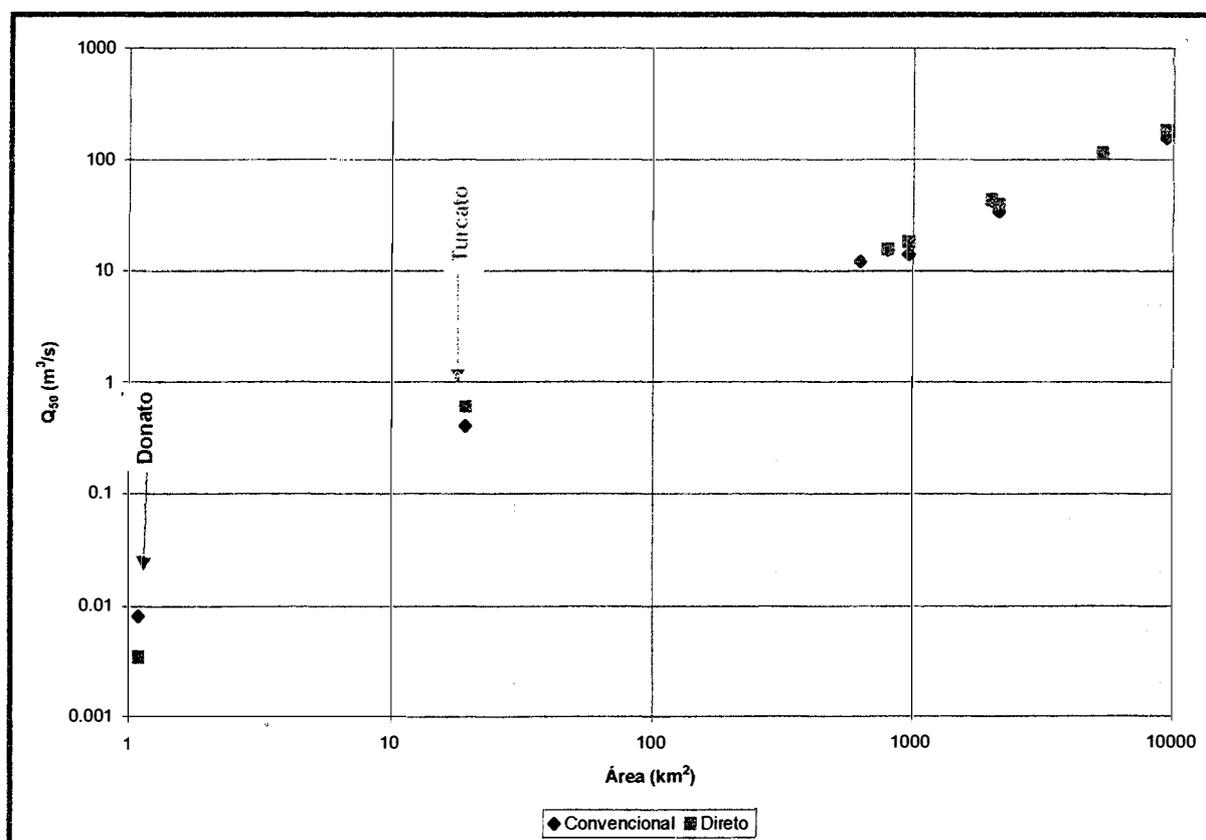


Figura 7.10. Valores de Q_{50} versus Área das bacias estudadas, nos dois cenários

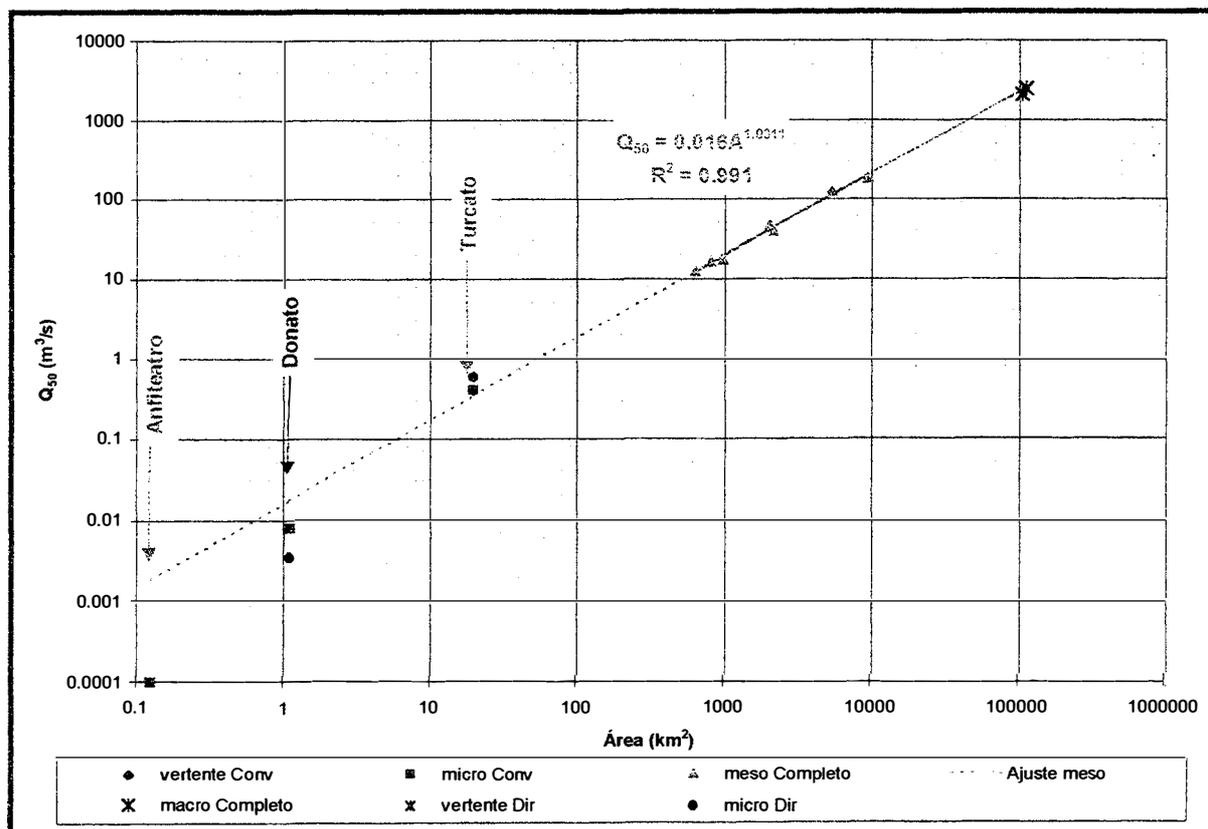


Figura 7.11. Ajuste de Q_{50} em função da área das bacias de meso escala

$$Q_{50} = eA^f \quad (7.2)$$

onde: e e f são os parâmetros de ajuste.

7.3.3. Q_{95}

A vazão Q_{95} é aquela extraída da curva de permanência cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de 95%.

A Figura 7.12 apresenta os valores de Q_{95} em relação com a área das bacias estudadas. Na figura, não foram plotados os valores da bacia do Anfiteatro, porque, em ambos períodos, o valor de Q_{95} dessa bacia é nulo. O valor nulo de Q_{95} para a bacia do Donato no período de plantio direto é estranho, já que o curso d'água dessa bacia é considerado perene. Isso pode ser devido a erro na curva-chave para valores baixos de vazão. Será necessário refazer a curva-chave utilizando medições de vazões baixas em épocas de estiagem, para confirmar o valor de Q_{95} dessa bacia. Observa-se na figura que os valores de Q_{95} das bacias de meso escala (100-10.000 km^2) são semelhantes em ambos os períodos.

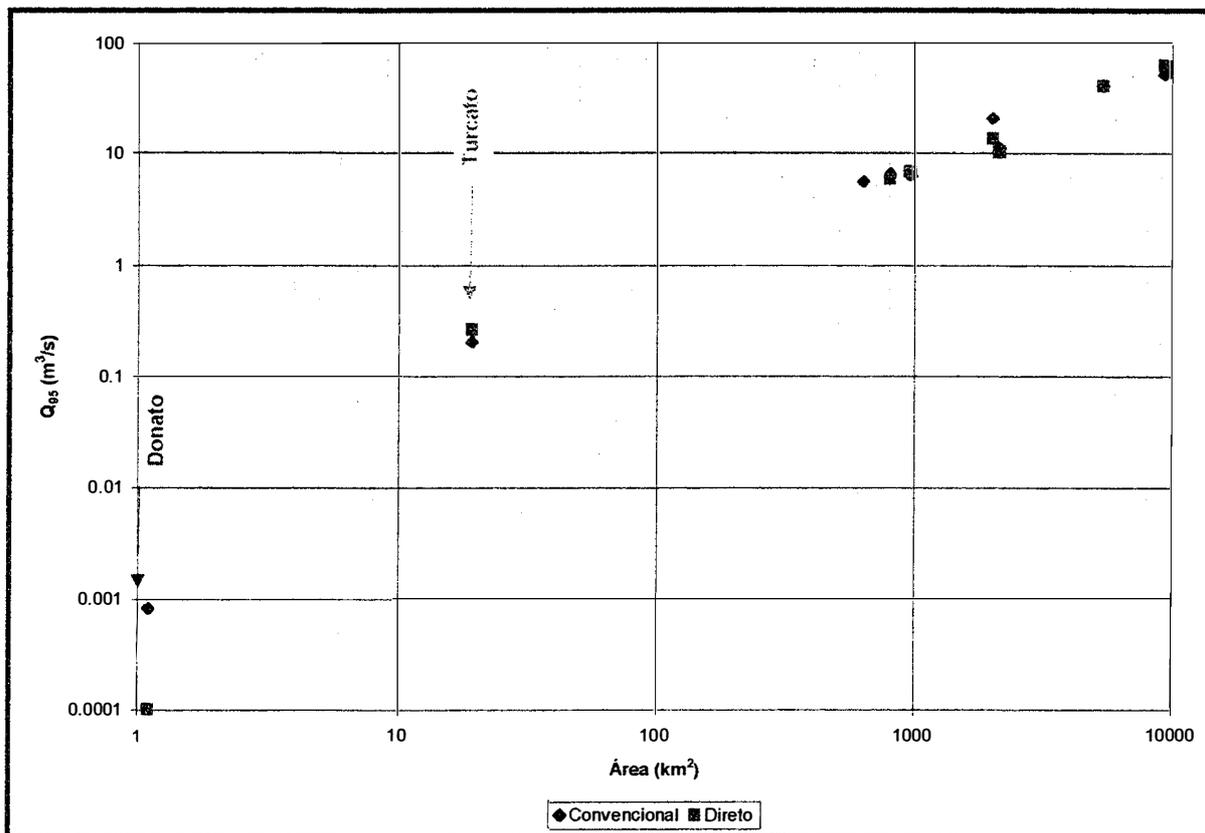


Figura 7.12. Valores de Q_{95} versus Área das bacias estudadas, nos dois cenários

A Figura 7.13 apresenta o ajuste dos valores de Q_{95} em função da área das bacias de meso escala, segundo a Equação 7.3, para o período completo de dados (1989-1998) e sua extrapolação para bacias de micro e macro escala.. O ajuste é satisfatório para as bacias de macro escala e para a bacia do Turcato ($19,5 \text{ km}^2$), além das bacias de meso escala na qual foi feito. No período de plantio direto, houve uma mudança significativa do valor de Q_{95} da bacia do Donato, que passou a ser nula.

$$Q_{95} = gA^h \quad (7.3)$$

onde: g e h são os parâmetros de ajuste.

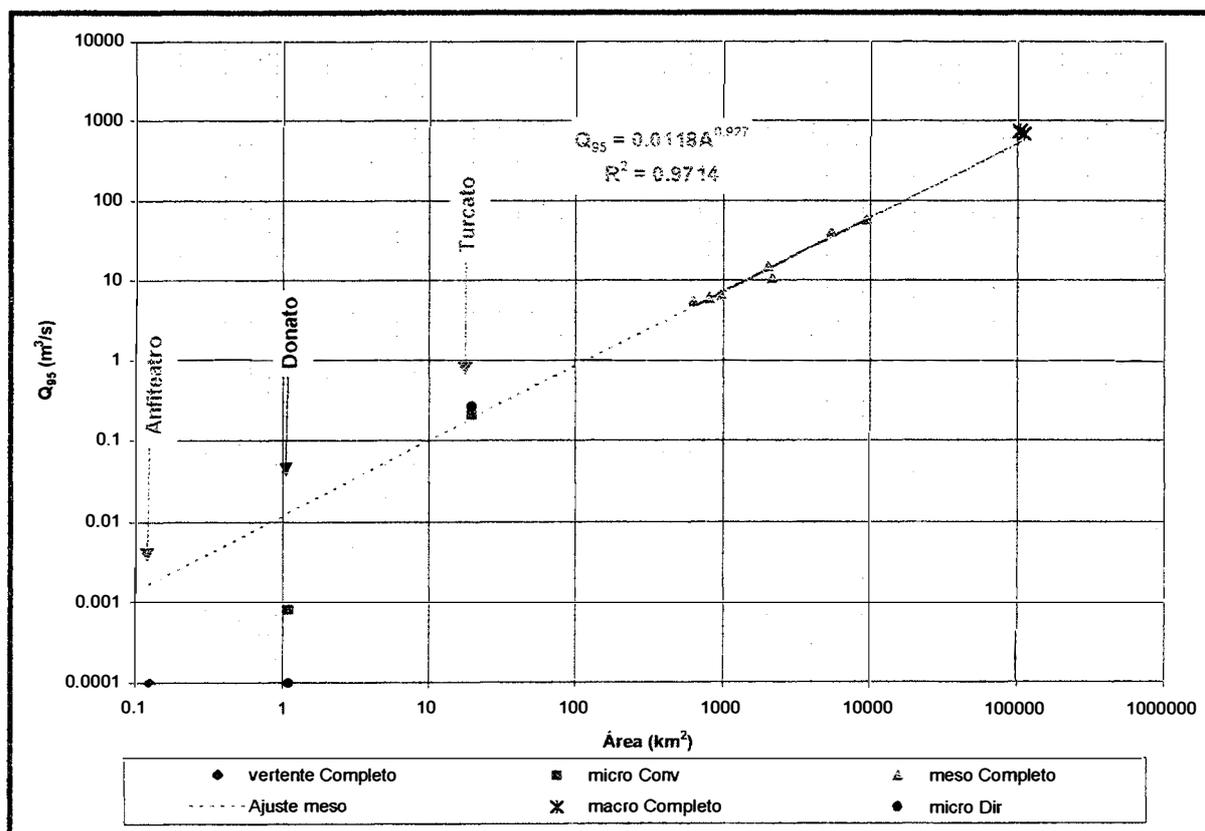


Figura 7.13. Ajuste de Q_{95} em função da área das bacias de meso escala

7.3.4. Resumo dos resultados

A Tabela 7.1 apresenta um resumo dos resultados da regionalização das vazões Q_{md} , Q_{50} e Q_{95} para as bacias de meso escala (10-10.000 km²) no período completo de dados (1989-1998).

Tabela 7.1 – Resumo da regionalização das variáveis Q_{md} , Q_{50} e Q_{95}

| Variável hidrológica | Parâmetros | | R^2 | Intervalo de Validade |
|----------------------|------------|--------|--------|--|
| | Símbolo | Valor | | |
| Q_{md} | c | 0,0204 | 0,9968 | micro, meso e macro escalas. Superestima o valor para o Anfiteatro. |
| | d | 1,0648 | | |
| Q_{50} | e | 0,0160 | 0,9910 | Turcato, meso e macro escala. Superestima o valor para o Donato. |
| | f | 1,0811 | | |
| Q_{95} | g | 0,0118 | 0,9714 | Turcato, meso e macro escala. Superestima o valor para o Donato. |
| | h | 0,9270 | | |

7.4. Regionalização das curvas de permanência

A curva de permanência pode ser ajustada a uma função matemática que represente bem o trecho de interesse da curva. O trecho da curva de permanência normalmente utilizado é a faixa entre 50% e 95%. Esse trecho pode ser ajustado através dos valores de Q_{50} e Q_{95} estimados pela regionalização (Equações 7.2 e 7.3) a uma equação do tipo exponencial, utilizada na Log-Normal.

Segundo Tucci (1993b), a curva de permanência obtida com base na distribuição Log-Normal, através das vazões Q_{50} e Q_{95} , segue a equação:

$$Q = e^{p.k_1+k_2} \quad (7.4)$$

onde:

$$k_1 = -\frac{\ln\left(\frac{Q_{50}}{Q_{95}}\right)}{0,45}; \quad (7.5)$$

$$k_2 = \ln Q_{50} - 0,50k_1; \quad (7.6)$$

p = probabilidade no intervalo de 0 a 1;

Q = vazão, em m^3/s , para a probabilidade p ;

Q_{50} e Q_{95} são as vazões, em m^3/s , para as probabilidades de 50% e 95%.

Substituindo os valores de Q_{50} e Q_{95} pelas equações 7.2 e 7.3, adotando os valores dos coeficientes ajustados para as bacias de meso escala no período completo de dados (Tabela 7.1), obtemos:

$$k_1 = -0.68 - 0.342 \ln A; \quad (7.7)$$

$$k_2 = -3.80 + 1.25 \ln A; \quad (7.8)$$

onde A é a área da bacia em km^2 .

A regionalização é válida para as bacias de meso escala, porém pode ser extrapolada até a bacia do Turcato e para as bacias de macro escala (Garruchos e Passo São Borja).

A Figura 7.14 mostra as curvas regionalizadas para as bacias de meso escala e para o Turcato. Comparadas com as curvas apresentadas na Figura 7.6, as curvas dessa figura são de menor precisão, contudo, são capazes de sintetizar melhor as informações das bacias na faixa mais utilizada (entre 50% e 95%), como ilustra a Figura 7.15, facilitando a regionalização.

A metodologia acima não poderia ser aplicada à bacia vertente (Anfiteatro) nem para a bacia do Donato, pois o Q_{95} dessas bacias é nulo.

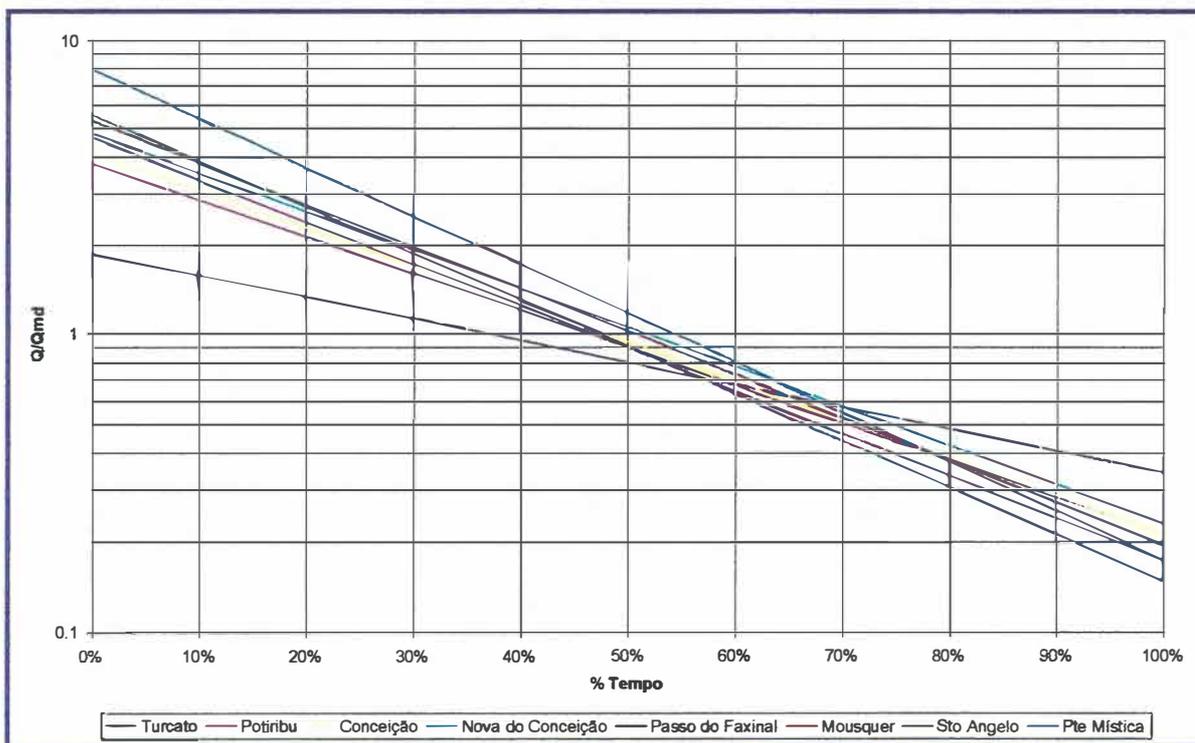


Figura 7.14. Curvas de permanência regionalizadas

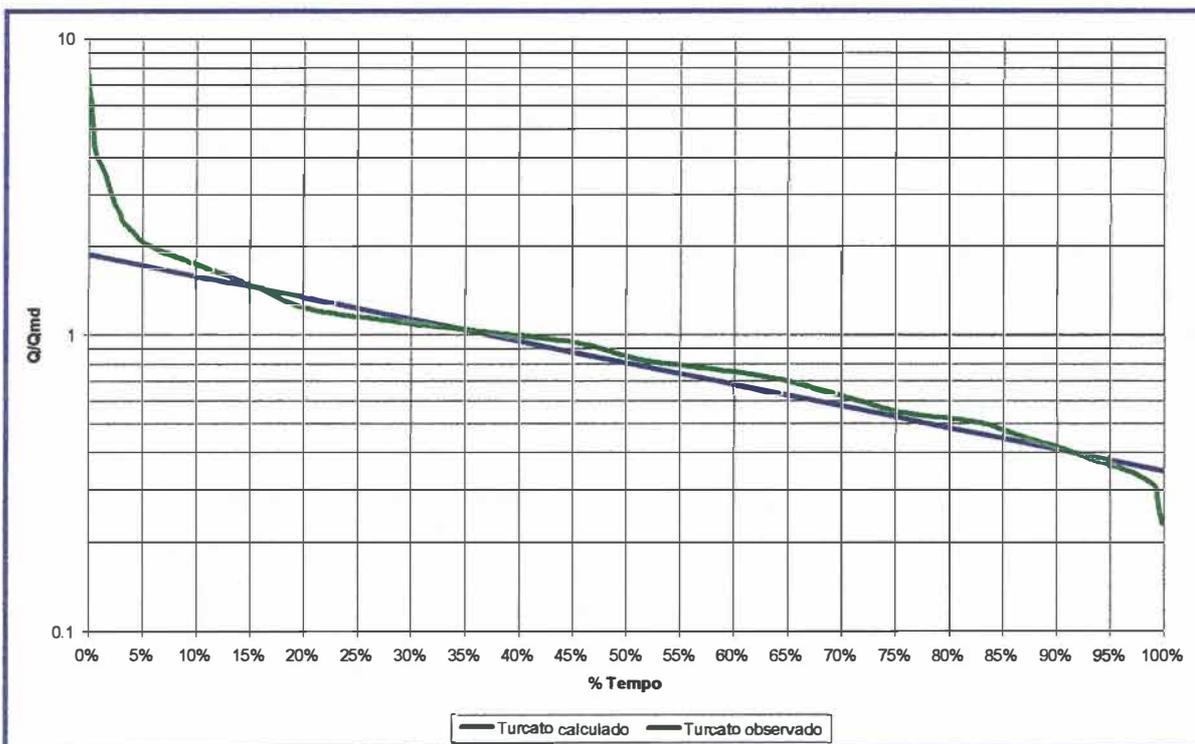


Figura 7.15. Curvas de permanência regionalizada para a bacia do Turcato

7.5. Análise das curvas de permanência

Analisando detalhadamente as curvas de permanência das bacias da região do Ijuí, encontramos pontos característicos em comum, como mostram a Figura 7.16 e a Figura 7.17. As figuras mostram, além das curvas de permanência das vazões adimensionalizadas, a curva de permanência das precipitações adimensionalizadas pela média, obtida através da série de valores diários do posto pluviométrico de Conceição, representativo da região (item 4.2.1)

Os valores de Q_{50} e Q_{95} que foram regionalizados em função da área apresentando bons ajustes (Figura 7.11 e Figura 7.13), não apresentam nenhuma relação aparente quando plotados na curva de permanência adimensionalizados pela vazão média (Q_{md}).

Ao contrário, os valores de Q_{md} , que também apresentaram boa correlação com a área (Figura 7.9), aparecem nas curvas de permanência próximos da probabilidade de 30%, em ambos os períodos, nas bacias de meso e macro escala.

As bacias embutidas do Potiribu apresentam valores diferentes de probabilidade (p) para a Q_{md} , em função da bacia e do período. A bacia do Turcato foi a que melhor regularizou as vazões, mantendo os valores acima da média em 40% do tempo, em ambos períodos, ao contrário da bacia do Anfiteatro, que no período de plantio direto, passou menos de 10% do tempo com vazões acima da média.

As figuras mostram outro ponto interessante, que é o cruzamento da maiorias das curvas, com exceção apenas das curvas do Anfiteatro e do Donato no plantio convencional e do Anfiteatro e Turcato no plantio direto, mostrando ser um ponto característico da região e invariante com a escala da maioria das bacias.

Esse ponto, no período de plantio convencional (grifado em vermelho na Figura 7.16), equivale a $Q/Q_{md} = 1,20$ para $p = 22\%$, ou seja, em 22% do tempo, as vazões foram maiores que 120% da vazão média nesse período na maioria das bacia da região (com exceção do Anfiteatro e do Donato). Analisando esse ponto juntamente com a curva de permanência da bacia do Anfiteatro, que praticamente só tem escoamento quando existe precipitação capaz de gerar escoamento, fato comprovado na Figura 7.16 pela comparação da curva de permanência dessa bacia com a da chuva, observamos que a probabilidade ($p = 22\%$) corresponde ao tempo em que ocorreu escoamento superficial (*runoff*) na bacia, ocorrendo, no restante do tempo, escoamento de base (subterrâneo e sub-superficial).

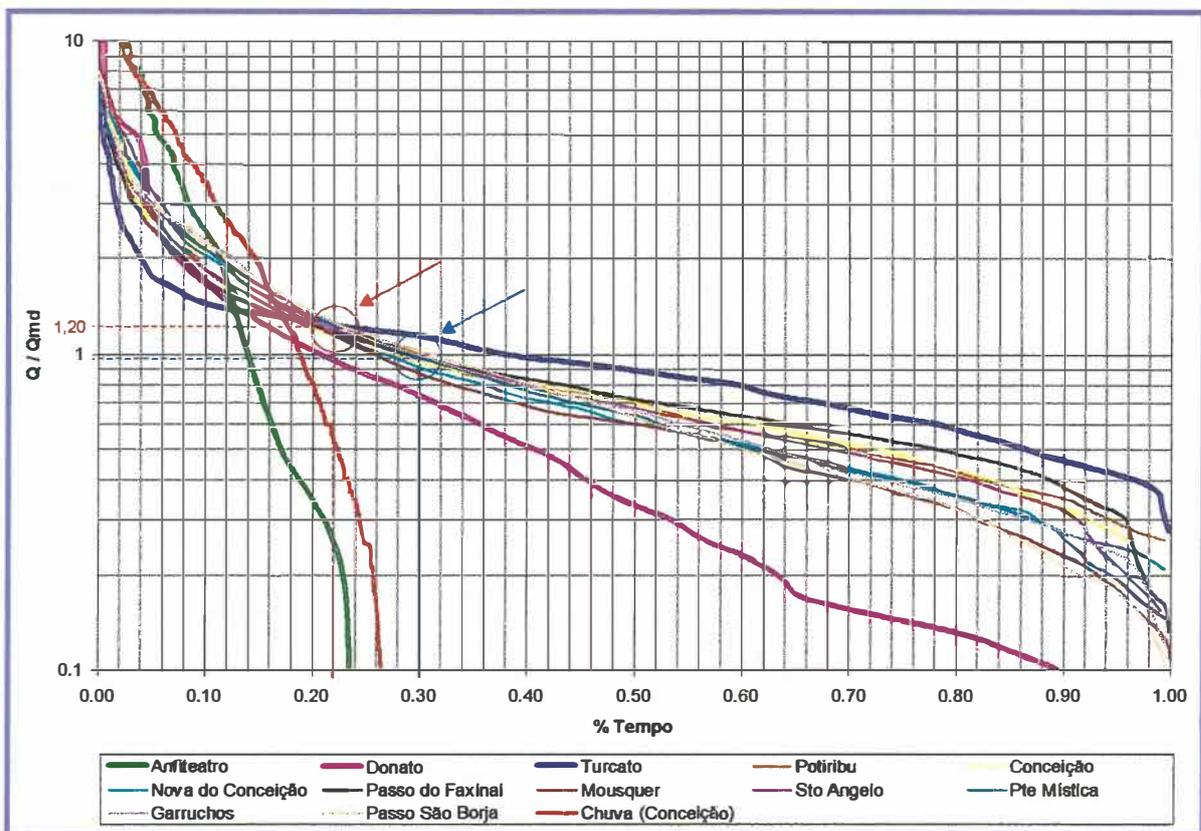


Figura 7.16. Pontos em comum das curvas de permanência (convencional)

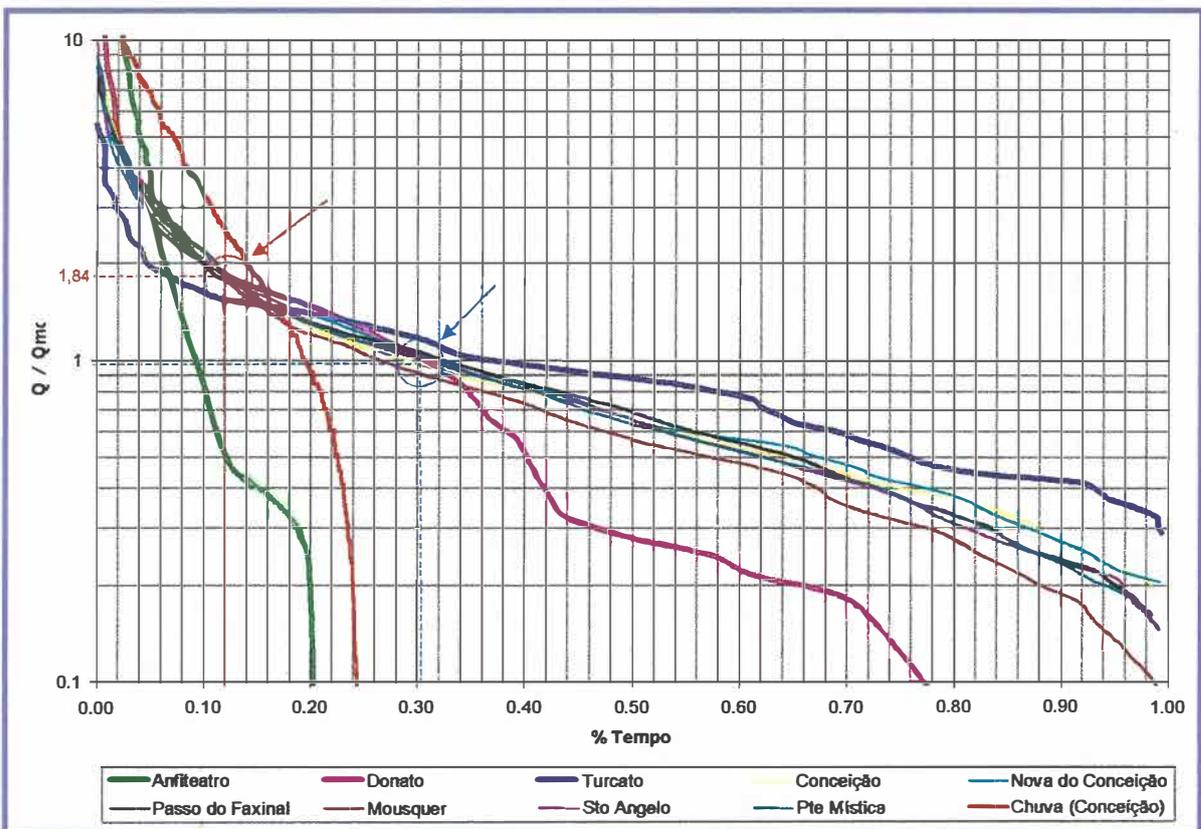


Figura 7.17. Pontos em comum das curvas de permanência (plântio direto)

A vazão do período convencional ($Q_x = 1,20 \cdot Q_{md}$) deve corresponder a vazão necessária para saturar o solo das bacias. O valor dessa vazão está intimamente ligado aos mesmos processos hidrológicos que geraram a vazão média, de forma que, quando adimensionalizada pela média, apresenta o mesmo valor para as bacias com diferentes escalas.

A Figura 7.17 mostra o ponto de cruzamento das curvas de permanência no período de plantio direto, indicando que houve alterações em relação ao ponto do período anterior. Nesse período, o ponto equívale a $Q/Q_{md} = 1,84$ para $p = 12\%$, ou seja, em 12% do tempo, as vazões foram maiores que 184% da vazão média nesse período na maioria das bacia da região (com exceção do Anfiteatro e do Turcato). A análise da curva do Anfiteatro mostra um ponto de inflexão próximo dessa probabilidade, mostrando que, provavelmente, esse ponto também corresponde ao tempo em que ocorreu escoamento superficial (*runoff*) na bacia. A partir desta análise, concluímos que o período de plantio direto apresentou escoamento superficial numa fração de tempo menor que no período convencional.

A vazão do período de plantio direto ($Q_x = 1,84 \cdot Q_{md}$), provavelmente, também corresponde a vazão necessária para saturar o solo das bacias. O valor maior dessa vazão no período direto em relação ao convencional se deve ao fato que o solo nesse período esteve mais seco que no período anterior, sendo necessário uma vazão maior para saturá-lo.

A Figura 7.18 e a Figura 7.19 mostram as séries de vazões adimensionalizadas pela média das bacias (meso e macro escala) da região do Ijuí. As figuras comprovam que a vazão média do período é um excelente fator de adimensionalização da série temporal de vazões, mostrando um comportamento similar para todas as bacias da região.

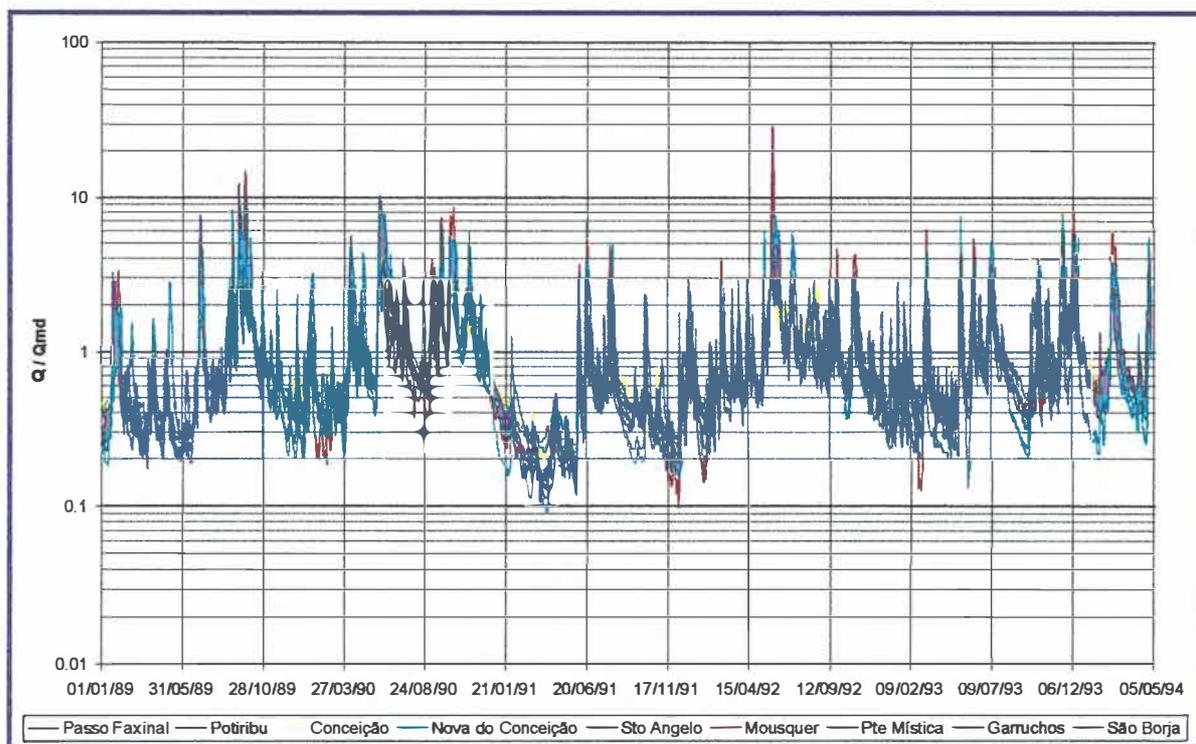


Figura 7.18. Série de vazões adimensionalizadas das bacias da região do Ijuí (Convencional)

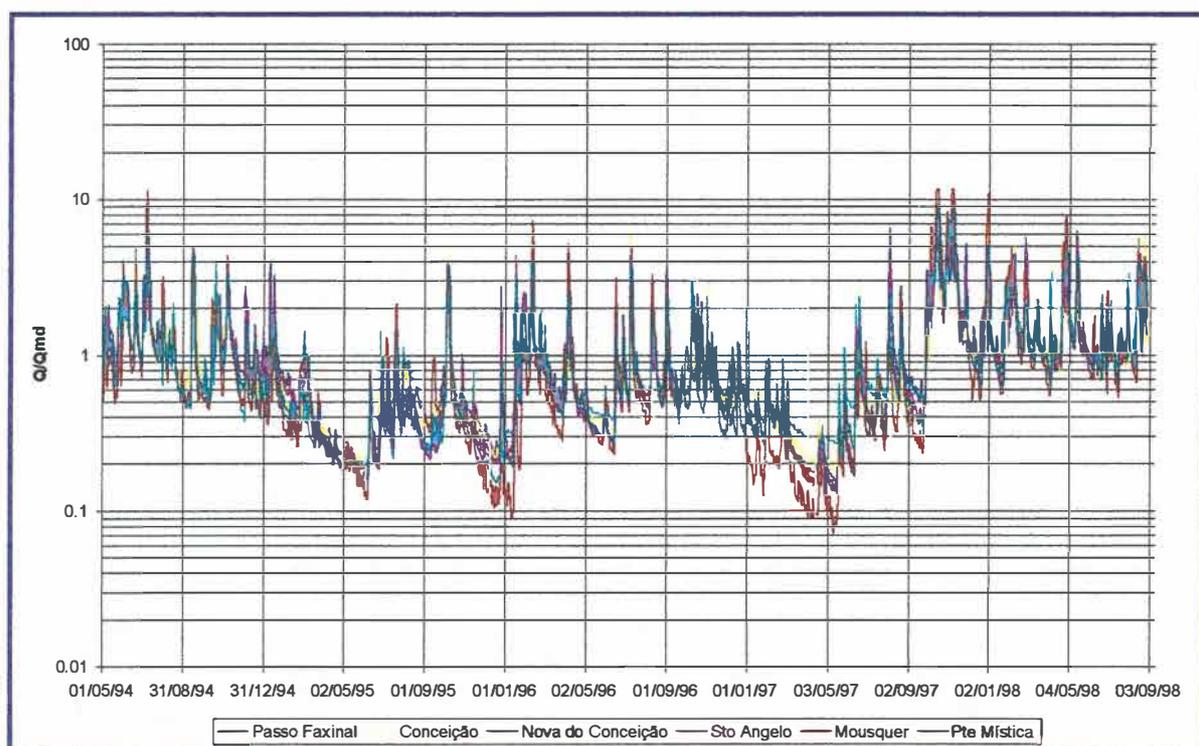


Figura 7.19. Série de vazões adimensionalizados das bacias da região do Ijuí (Direto)

7.6. Análise da $Q_{7,10}$

As vazões mínimas também foram analisadas em função da $Q_{7,10}$ que é a vazão mínima de sete dias de duração com tempo de retorno de dez anos.

Os valores de $Q_{7,10}$ foram calculados determinando, para cada bacia, a menor média móvel de 7 vazões diárias consecutivas no ano hidrológico. Os valores mínimos anuais de sete dias de duração foram ajustados a uma distribuição estatística de Weibull, conforme Tucci (1993b). Para o ajuste foram utilizados os valores das bacias de meso escala adotando todo o período de análise (1989-1998) e a Equação 7.9.

$$Q_{7,10} = iA^j \quad (7.9)$$

onde: i e j são os parâmetros de ajuste.

A Figura 7.20 mostra os valores obtidos para as bacias da região de Ijuí e as bacias embutidas do Potiribu. Os valores de $Q_{7,10}$ das bacias do Anfiteatro e do Donato são nulos. Na figura, também é apresentada a tendência dos valores de $Q_{7,10}$ em função da áreas das bacias de meso e macro escala. Verificamos que o valor da bacia do Turcato está dentro da tendência das bacias maiores.

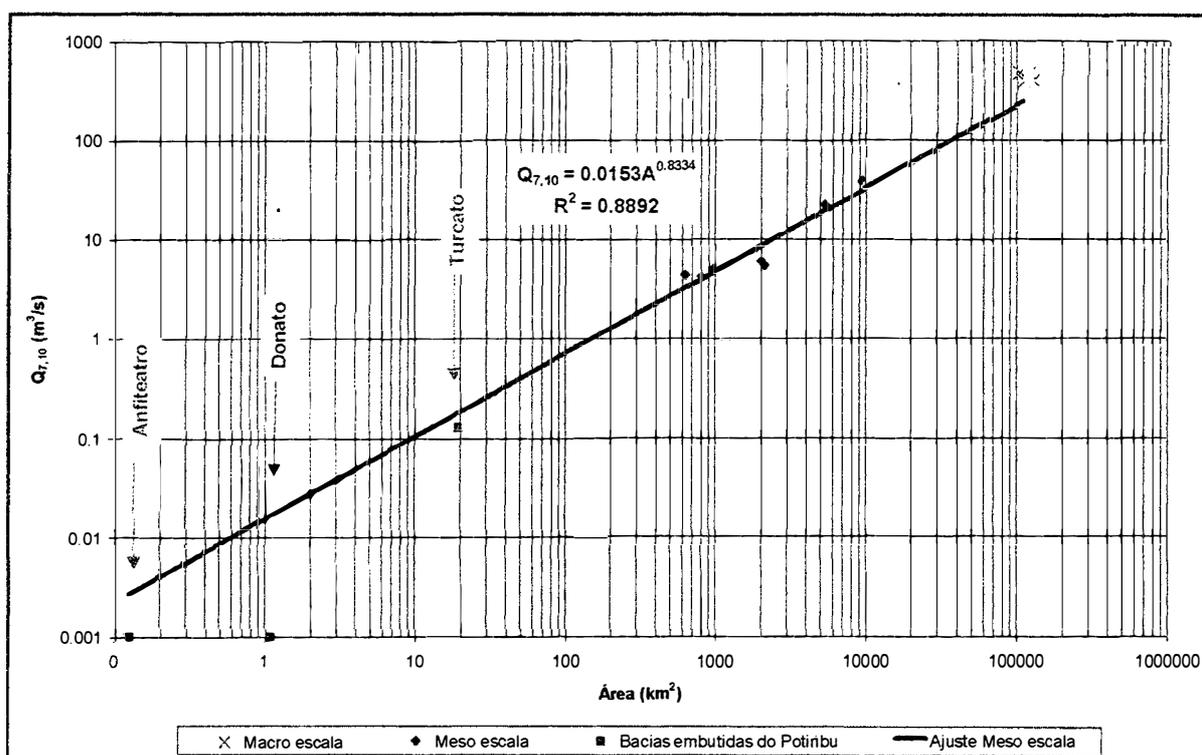


Figura 7.20. Tendência dos valores de $Q_{7,10}$ das bacias de meso e macro escala

A Tabela 7.2 mostra a relação entre as vazões média de longo período (Qmd), $Q_{7,10}$ e Q_{95} . Na tabela verificamos que os valores para as bacias do Anfiteatro e do Donato se afastam da tendências das demais bacias.

Tabela 7.2 – Análise da relação entre Qmd, $Q_{7,10}$ e Q_{95}

| | Anfiteatro | Donato | Turcato | Passo Faxinal | Potiribu | Conceição | N. Conceição | Sto Angelo | Mouquer | Pte Mística | Garruchos | São Borja |
|-------------------|------------|--------|---------|---------------|----------|-----------|--------------|------------|---------|-------------|-----------|-----------|
| Qmd | 0.00 | 0.01 | 0.42 | 66.06 | 17.71 | 23.85 | 27.00 | 188.24 | 67.49 | 288.34 | 3184.63 | 3803.40 |
| $Q_{7,10}$ | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 6.22 | 4.46 | 4.33 | 5.09 | 22.44 | 5.57 | 40.07 | 478.47 | 400.29 |
| Q_{95} | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 14.80 | 5.32 | 6.08 | 6.23 | 40.09 | 10.70 | 56.50 | 730.00 | 678.00 |
| $Q_{7,10}/Qmd$ | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.09 | 0.25 | 0.18 | 0.19 | 0.12 | 0.08 | 0.14 | 0.15 | 0.11 |
| Q_{95}/Qmd | 0.00 | 0.00 | 0.31 | 0.22 | 0.30 | 0.25 | 0.23 | 0.21 | 0.16 | 0.20 | 0.23 | 0.18 |
| $Q_{7,10}/Q_{95}$ | - | - | 0.98 | 0.42 | 0.84 | 0.71 | 0.82 | 0.56 | 0.52 | 0.71 | 0.66 | 0.59 |

7.7. Conclusão

Esse capítulo nos leva as seguintes conclusões

- a) A bacia do Anfiteatro apresenta pouca regularização de vazão, passando maior parte do tempo sem vazões. Nessa bacia (vertente), praticamente só existe vazão quando chove, exceto no período de efeito do El Niño 97/98, pois o solo estava muito úmido.
- b) A bacia do Turcato apresenta a melhor regularização e maior vazão específica das bacias estudadas na região do rio Ijuí.
- c) O período de plantio direto foi mais seco em termo de vazão, devido à variabilidade da precipitação que apresentou períodos chuvosos mais concentrados no plantio direto do que no convencional. Portanto, as diferenças nas curvas de permanência não podem ser atribuídas aos diferentes tipos de plantio.
- d) As vazões das bacias se aproximam da média para a permanência de 30% (Figura 7.6, Figura 7.16 e Figura 7.17), com exceção do Anfiteatro, o que deixa claro que bacias nessa escala (12,5 ha) não são capazes de regularizar suas vazões.
- e) A regionalização das variáveis Qmd, Q_{50} , Q_{95} , e $Q_{7,10}$ para as bacias de meso escala (100-10.000 km²) no período completo de dados (1989-1998) apresentou as seguintes conclusões:

– O ajuste da Q_{md} é aceitável tanto para as bacias de macro escala (1000.000 km^2) como para as de micro escala (1-20 km^2), além das bacias de meso escala para as quais o ajuste foi feito. Esse ajuste superestima a vazão média da bacia vertente (12,5 ha), indicando que os processos hidrológicos dominantes que influem nessa variável são diferentes na escala vertente das demais escalas.

– O ajuste da Q_{50} é aceitável tanto para as bacias de macro escala (1000.000 km^2) como para o Turcato (20 km^2), além das bacias de meso escala para as quais o ajuste foi feito. Esse ajuste superestima o valor para o Donato (1,1 km^2), sugerindo que os processos hidrológicos dominantes que influem nessa variável são diferentes a partir dessa escala. O valor para a bacia do Anfiteatro é nulo, não podendo ser representado por um ajuste do tipo utilizado (Equação 7.2).

– O ajuste da Q_{95} é aceitável para as bacias de macro escala (1000.000 km^2) e para o Turcato (20 km^2), além das bacias de meso escala para as quais o ajuste foi feito. Esse ajuste não consegue representar os valores das bacias do Donato e do Anfiteatro, indicando a mudança escalar dos processos hidrológicos dominantes.

– O ajuste da $Q_{7,10}$ é aceitável para o Turcato (20 km^2) e subestima os valores das bacias de macro escala (1000.000 km^2). Esse ajuste não consegue representar os valores das bacias do Donato e do Anfiteatro, pois os mesmos são nulos, não podendo ser representados pelo tipo de ajuste adotado (Equação 7.4).

f) A bacia do Anfiteatro apresenta área muito pequena para se comportar como bacia de escoamento superficial, pois a precipitação sobre essa área gera escoamento mais a jusante, fora da bacia, devendo, então, ser considerada como área de recarga. O mesmo comportamento ocorre com a bacia do Donato no período de plantio direto, mostrando que esse plantio gera, no Donato, mais infiltração, que surgirá na calha do rio mais a jusante, o que é comprovado com o aumento do escoamento na bacia do Turcato, neste período.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1. Conclusões

O importante fato de que diferentes forças tendem a dominar em diferentes níveis de escala coloca diversas limitações sobre a validade de relações matemáticas no meio de formulação física de objetos de bacias de evidência empírica em uma dada escala (Klemes, 1983).

O objetivo geral deste trabalho, que buscou encontrar as limitações das relações matemáticas que descrevem as variáveis hidrológicas estudando as bacias embutidas do rio Potiribu e das demais bacias do rio Ijuí, reproduz a afirmação de Klemes.

Os resultados desse estudo forneceram conclusões que podem ser utilizadas para melhor esclarecer a influência da escala nas variáveis hidrológicas estudadas. As conclusões podem ser divididas em duas partes: as relacionadas com a mudança de método de plantio nas bacias embutidas do rio Potiribu; e as conclusões referentes à extrapolação da regionalização das variáveis hidrológicas das bacias de meso escala para a estimativas dessas variáveis nas escalas menores (micro e vertente) e numa escala maior (macro).

As conclusões referentes à mudança de plantio convencional para o plantio direto nas bacias embutidas do rio Potiribu são:

- A bacia do Anfiteatro é muito pequena (12,5 ha) para ser considerada como uma bacia hidrográfica de geração de escoamento superficial, pois parte significativa do escoamento sub-superficial gerado pela infiltração nessa bacia produz escoamento superficial e/ou sub-superficial fora da bacia, mais a jusante, nas bacias maiores (Donato e Turcato), de forma que não podemos mais quantificá-los como originários dessa bacia. Isso deve ao seu divisor geológico (basalto) que faz com que a água, que infiltrou verticalmente, ao encontrar a camada basáltica passe a escoar lateralmente até surgir nas outras bacias mais a jusante. Por isso, a vazão específica de cheia dessa bacia é menor que a do Donato, contrariando a tendência de aumento dessa vazão com a diminuição da área (Figura 5.18). Porém, se fosse possível computar todo o escoamento sub-superficial dessa bacia junto com o escoamento superficial originado nessa bacia, provavelmente obteríamos uma vazão específica maior.

- O plantio direto provocou uma redução nos picos de cheia das bacias menores (Donato e Anfiteatro) e um aumento na bacia do Turcato (Figura 5.13, Figura 5.14 e Figura 5.15), o que se deve ao fato desse tipo de plantio promover maior capacidade de infiltração do solo e deixá-lo por mais tempo com cobertura vegetal, aumentando assim a interceptação vegetal e diminuindo a evaporação. O aumento da infiltração faz com que aumente o escoamento de base da bacia do Turcato de modo mais significativo do que nas bacias menores, de forma que os picos de cheia dessa bacia foram maiores nesse período. Isto nos leva a pensar que as bacias do Anfiteatro e do Donato são áreas de recarga para a bacia do Turcato.

- no período de plantio direto, foi observada uma resposta hidrológica (escoamento superficial) mais uniforme do que no período de plantio convencional. O período de plantio direto mostrou ser mais regular, com menor variabilidade das condições iniciais (microtopografia, cobertura vegetal, umidade do solo, entre outras), em relação ao período convencional, devido a uma maior uniformidade da cobertura vegetal e umidade do solo no plantio direto em relação ao convencional. A umidade do solo se mantém mais constante no plantio direto em relação ao convencional porque o tipo de plantio direto favorece a infiltração e diminui a evaporação da água retida no solo, por manter uma cobertura vegetal constante. O plantio direto produz respostas hidrológicas (tempo de pico e volume escoado) que aumentam com o aumento da área da bacia, como era de se esperar. Mas isso nem sempre foi observado no plantio convencional devido à heterogeneidade da cobertura do solo nesse tipo de plantio.

- em bacias muito pequenas, como a do Anfiteatro e do Donato, o efeito do armazenamento é muito pequeno de modo que os hidrogramas dessas bacias apresentam maior pico e menor tempo de base do que os hidrogramas gerados na bacia do Turcato (Figura 6.18). A bacia do Turcato, por ser a maior, apresenta um amortecimento maior dos picos, de forma que para uma mesma vazão de pico, esta bacia gera um maior escoamento, conseqüentemente, um maior coeficiente de escoamento. Essa diferença é maior, quanto maior for o pico, como mostra a Figura 6.16 e a Figura 6.17.

- em eventos observados no plantio convencional, o Anfiteatro produz vazões específicas maiores que as do Donato e Turcato, porém, em eventos observados no plantio direto, é o Donato que gera maiores vazões específicas, o que nos induz a pensar que esse tipo de plantio aumenta mais significativamente a capacidade de infiltração na bacia do Anfiteatro do que nas demais bacias.

- A bacia do Anfiteatro apresenta pouca regularização de vazão, passando maior parte do tempo sem vazões. Nessa bacia, praticamente só existe vazão quando há precipitação. Em contrapartida, a bacia do Turcato apresenta a melhor regularização e maior vazão específica das bacias estudadas na região do rio Ijuí.

- O período de plantio direto foi mais seco em termos de vazão, devido à variabilidade da precipitação que apresentou períodos chuvosos mais concentrados no período de plantio direto do que no período de plantio convencional. Portanto, as diferenças nas curvas de permanência desses dois períodos não podem ser atribuídas aos diferentes tipos de plantio.

Em suma, a mudança do tipo de plantio provocou alterações significativas no comportamento hidrológico das bacias embutidas do rio Potiribu, sendo que as conseqüências dessas alterações, em cada bacia, foram de magnitudes diferentes.

As conclusões obtidas pela extrapolação da regionalização das variáveis hidrológicas das bacias de meso escala (100-10.000 km²) para a estimativa dessas variáveis nas escalas menores (micro: 1-20 km²; e vertente: 12,5 km²) e numa escala maior (macro: 100.000 km²) são as seguintes:

- A regionalização da vazão média de cheia pela área das bacias de meso escala (100-10.000 km²) da bacia do rio Ijuí subestima as vazões das bacias de escalas menores (micro e vertente), porém reproduz corretamente as vazões das bacias de macro escala (100.000 km²), como mostra a Figura 5.22.

- A bacia do Donato apresenta uma vazão média de cheia elevada em relação à tendência geral das bacias da região do rio Ijuí (Figura 5.21). Isso nos leva a supor que a relação armazenamento *versus* geração de escoamento superficial produz máxima vazão específica nessa escala (1,1 km²).

- As vazões das bacias se aproximam da média para a permanência de 30% (Figura 7.6, Figura 7.16 e Figura 7.17), com exceção do Anfiteatro (12,5 ha) que não é capaz de regularizar suas vazões.

- O ajuste da Q_{md} é aceitável tanto para as bacias de macro escala (1000.000 km²) como para as de micro escala (1-20 km²), além das bacias de meso escala para as quais o ajuste foi feito. Esse ajuste superestima a vazão média da bacia vertente (12,5 km²), indicando que os processos hidrológicos dominantes que influem nessa variável são diferentes na escala vertente das demais escalas.

- O ajuste da Q_{50} é aceitável tanto para as bacias de macro escala (1000.000 km^2) como para o Turcato (20 km^2), além das bacias de meso escala para as quais o ajuste foi feito. Esse ajuste superestima o valor para o Donato ($1,1 \text{ km}^2$), indicando que os processos hidrológicos dominantes que influem nessa variável são diferentes a partir dessa escala. O valor para a bacia do Anfiteatro é nulo, não podendo ser representado por uma ajuste do tipo utilizado (Equação 7.2).

- O ajuste da Q_{95} é aceitável para as bacias de macro escala (1000.000 km^2) e para o Turcato (20 km^2), além das bacias de meso escala para as quais o ajuste foi feito. Esse ajuste não consegue representas os valores das bacias do Donato e do Anfiteatro, indicando a mudança escalar dos processos hidrológicos dominantes.

- O ajuste da $Q_{7,10}$ é aceitável para o Turcato (20 km^2) e subestima os valores das bacias de macro escala (1000.000 km^2). Esse ajuste não consegue representas os valores das bacias do Donato e do Anfiteatro, pois os mesmos são nulos, não podendo ser representados pelo tipo de ajuste adotado (Equação 7.4).

O resumo das conclusões é apresentado na Tabela 8.1, que mostra em que bacias a regionalização de cada variável hidrológica estudada é aceitável. Pela tabela, observa-se que a vazão média de longo período é a variável hidrológica de maior amplitude escalar ($1-100.000 \text{ km}^2$), enquanto a $Q_{7,10}$ é a de menor amplitude, sendo aceitável apenas na escala onde foi feito a sua regionalização. O Turcato ($19,5 \text{ km}^2$) apresenta comportamento hidrológico compatível com as bacias de meso escala ($100-10.000 \text{ km}^2$), pois todas as regionalizações feitas na meso escala podem ser utilizadas nessa bacia.

Tabela 8.1 – Validade da regionalização das variáveis hidrológicas estudadas

| Variável Hidrológica | Anfiteatro (0,125 km²) | Donato (1,1 km²) | Turcato (19,5 km²) | meso escala (100-10.000 km²) | macro escala (100.000 km²) |
|------------------------------|--|--|--|--|--|
| Vazão média de cheia | não aceitável | não aceitável | aceitável | aceitável | aceitável |
| Vazão média de longo período | não aceitável | aceitável | aceitável | aceitável | aceitável |
| Q_{50} | não aceitável | não aceitável | aceitável | aceitável | aceitável |
| Q_{95} | não aceitável | não aceitável | aceitável | aceitável | aceitável |
| $Q_{7,10}$ | não aceitável | não aceitável | aceitável | aceitável | não aceitável |

Todos os resultados estão sujeitos as incertezas nas medições pluviométricas e fluviométricas, porém as incertezas de maior significado estão nas curvas chave adotadas para cada bacia, principalmente em suas extrapolações. As bacias embutidas do rio Potiribu, por terem sido estudadas isoladamente, estão mais sujeitas a essas incertezas. As demais bacias tiveram seus resultados agrupados de acordo com a escala, mostrando resultados coerentes dentro da classe de escala, de modo que podemos considerar que as incertezas nas medições e nas curvas chave dessas bacias exerceram pouca influência nos resultados deste trabalho.

A separação dos escoamentos pelo método direto também gera incertezas, porém, como foi utilizado muitos eventos (mais de 500 nas três bacias embutidas do rio Potiribu) usando sempre o mesmo critério, podemos considerar que essas incertezas não influíram nas conclusões deste trabalho.

8.2. Recomendações

O tema de escalas hidrológicas é muito amplo, porém seu entendimento se faz necessário para o desenvolvimento da ciência hidrológica (Klemes, 1983; Pilgrim, 1983; Wood et al., 1988; Shamir, 1995; Feddes, 1995; Hatton et al., 1995; Hendersom-Sellers et al., 1995; Bárdossy, 1995; Becker, 1995; Dooge, 1997; Wood, 1998; Kirkby, 1999; Merz et al. 1999). Por isso, recomenda-se que se façam mais estudos sobre este tema, abordando os seguintes tópicos:

- Regionalização da curva de regularização para bacias numa ampla extensão de escalas.
- Regionalização de parâmetros para a modelagem hidrológicas de bacias em escalas diferentes.
- Estudos sobre a influência da escala na geração e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas.
- Estudos sobre a influência da escala na qualidade da água de cursos d'água.
- Estudar outros tipos de ajuste para a regionalização das variáveis hidrológicas, de modo que se possa, com um só ajuste, atender uma ampla extensão de escalas.
- Estudar a regionalização das variáveis hidrológicas em diferentes escalas utilizando outras variáveis independentes além da área.
- Repetir as análises de regionalização das variáveis hidrológicas para bacias de outras regiões, e, se possível, com um período mais longo de dados e com o maior número possível de bacias.
- Estudar mais detalhadamente os pontos característicos das curvas de permanência.
- Analisar o efeito da mudança de plantio na evapotranspiração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BÁRDOSSY, A., 1995. Stochastic downscaling of GCM - output results using atmospheric circulation patterns. In: FEDDES, R. A. (ed.) *Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological Processes*. Cambridge: University Press. p. 119-123.
2. BECKER, A., 1995. Problems and progress in macroscale hydrological modelling. In: FEDDES, R. A. (ed.) *Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological Processes*. Cambridge: University Press. p. 135-143.
3. BELTRAME, L. F. de S. (coord.), 2000. *Consistência de Dados Hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Alto Uruguai, Sub-Bacia 75*. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.
4. BENJAMIN, J. R.; CORNELL, C. A., 1970. *Probability, statistics, and decision for Civil Engineers*. New York: McGraw-Hill. p. 415-436.
5. BORGES, A. L. O. & BORDAS, M. P., 1988. Choix de bassins représentatifs et expérimentaux pour l'étude de l'érosion sur le plateau basaltique sudaméricain. In: PORTO ALEGRE SIMPOSIUM, 1988, Porto Alegre. *Sediment budgets*. Wallingford: IAHS. p. 161-169.
6. BORGES, A. L. O. & BORDAS, M. P., 1990. Escolha de bacias representativas e experimentais para o estudo da erosão no planalto basáltico sulamericano. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., 1990, Londrina. *Anais*.
7. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2000a. *Base de dados Hidrológicos – Hidrodata*. Bacia 7: Bacia do Uruguai. Brasília. Cd-rom. Versão 1.1
8. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2000b. *Sistemas de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia – Hidrogeo*. Bacia 7: Bacia do Uruguai. Brasília. Cd-rom. Versão 1.1
9. CASTRO, N. M. R., 1996. *Ruissellement et érosion sur des bassins versants de grande culture du plateau basaltique du sud du Brésil (Rio Grande do Sul)*. 224p. Tese (doutorado) - Université Louis Pasteur, Strasbourg.
10. CASTRO, N. M. R. & CHEVALLIER, P., 1993. Funcionamento hidrossedimentológico de uma terra roxa estruturada ao longo do ciclo cultural sob chuvas simuladas (Projeto Potiribu - RS). In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2., 1993, Gramado. p. 456-465.

11. CASTRO, N. M. R.; AUZET, A. V.; BORBAS, M. P.; CHEVALLIER, P.; LEPRUN, J. C.; MIETTON, M., 1997. Écoulement et transfert de sédiments dans les bassins versants de grande culture sur basalte du Rio Grande do Sul (Brésil). In: RABAT SYMPOSIUM, 1997, Rabat. *Human Impact on erosion and sedimentation*. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences. p. 65-73.
12. CASTRO, N. M. R.; AUZET, A. V.; CHEVALLIER, P.; LEPRUN, J. C., 1999. Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. *Hydrological Processes*, Chichester, v. 13, n. 11, p. 1621-1628, Aug.
13. CASTRO, N. M. R.; CHEVALLIER, P.; GOLDENFUM, J. A., 2000. *Projeto Potiribu, atualização 1989 – 1998: dados básicos de fluviometria e pluviometria*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. (Recursos Hídricos. Publicação n. 35)
14. CHEVALLIER, P., 1991. *As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS - Brasil)*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. (Recursos Hídricos. Publicação n. 24)
15. CHEVALLIER, P., 1993a. *Projeto Potiribu: dados básicos de fluviometria e pluviometria 1989-1992*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. (Recursos Hídricos. Publicação n. 26)
16. CHEVALLIER, P., 1993b. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. cap. 13, p. 485-525.
17. CHEVALLIER, P. & DHEIN, R. A., 1993. Les précipitations exceptionnelles des 26 et 27 mai 1992 dans la région d'Ijuí (Rio Grande do Sul, Brésil). *Sécheresse*, v. 4, n. 3, sept., p. 159-164.
18. CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W., 1988. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
19. COCHONNEAU, G., 1991. *Hydrom: sistema de banco de dados hidrométricos, manual do usuário*. Montpellier: ORSTOM.
20. DOOGE, J. C. I., 1997. Scale problems in Hydrology. In: BURAS, N. (ed.) *Reflections on hydrology: science and practice*. Washington: American Geophysical Union. p. 89-143

21. FEDDES, R. A., 1995. Remote sensing - inverse modelling approach to determine large scale effective soil hydraulic properties in soil - vegetation - atmosphere systems . In: FEDDES, R. A. (ed.) *Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological Processes*. Cambridge: University Press. p. 33-42.
22. FLOOD studies report. 1975. London: Natural Environment Research Council. p. 185-213.
23. HATTON, T. J.; DAWES, W. R.; VERTESSY, R. A., 1995. The importance of landscape position in scaling SVAT models to catchment scale hydroecological prediction. In: FEDDES, R. A. (ed.) *Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological Processes*. Cambridge: University Press. p. 43-53
24. HENDERSON-SELLERS, a.; MCGUFFIE, K.; DURBIDGE, T. B., 1995. Modelling the hydrological response to large scale land use change. In: FEDDES, R. A. (ed.) *Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological Processes*. Cambridge: University Press. p. 63-88.
25. INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS (IPAGRO), 1989. *Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, v. 3.
26. KIRKBY, M. J., 1999. Translating models from hillslope (1 ha) to catchment (1000 . km²) scales. In: DIEKKBÜGER, B.; KIRKBY, M. J.; SCHRÖDER, V. (ed.) *Regionalization in Hydrology*. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences. p. 1-12. (IAHS. Publication n. 254)
27. KLEMES, V., 1983. Conceptualization and scale in hydrology. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 65, n. 1/3, p. 1-23, Aug.
28. LANNA, A. E. L., 1993. Elementos de Hidrologia Estatística. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. cap. 4, p. 79-176.
29. MENDIONDO, E. M., 1995. *Integração das Escalas Hidrológicas nas Sub-Bacias Embutidas do Rio Potiribú, RS*. Dissertação (Mestrado Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
30. MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M., 1997a. Escalas Hidrológicas. I: Conceitos. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 2, n. 1. p. 59-79, jan/jun.

31. MENDIONDO, E. M. & TUCCI, C. E. M., 1997b. Escalas Hidrológicas. II: Diversidade de processos na bacia vertente. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 2, n. 1. p. 81-100, jan/jun.
32. MERZ, B; BÁRDOSSY, A., PLATE, E. J., 1999. Transition from the point scale to the small catchment scale: exemplified on the Weiherbach catchment. In: DIEKKBÜGER, B.; KIRKYBY, M. J.; SCHRÖDER, V. (ed.) *Regionalization in Hydrology*. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences. p. 23-32. (IAHS. Publication n. 254)
33. PILGRIM, D. H., 1983. Some problems in transferring hydrological relationships between small and large drainage basins and between regions. *Journal of Hydrology*, Amsterdam: Elsevier Science Publishes B. V., n. 65, p. 49-72.
34. SHAMIR, U., 1995. Opening address of the first George Kovacs colloquium. In: FEDDES, R. A. (ed.) *Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological Processes*. Cambridge: University Press. p. 1-2.
35. SKINNER, B. J.; PORTER, S. C., 1995. *The Blue Planet* an introduction to earth system science. New York, John Wiley. p. 224-249.
36. TUCCI, C. E. M., 1993a. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. cap. 11, p. 391-441.
37. TUCCI, C. E. M., 1993b. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. cap. 15, p. 573-619.
38. TUCCI, C. E. M., 1998. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. da Universidade UFRGS: ABRH. 669p.
39. TUCCI, C. E. M. & CLARKE, R., 1997. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan/jun.
40. WOOD, E. F., 1995. Heterogeneity and scaling land-atmospheric water and energy fluxes in climate systems. In: FEDDES, R. A. (ed.) *Space and Time Scale Variability and Interdependencies in Hydrological Processes*. Cambridge: University Press. p. 3-19.
41. WOOD, E. F., 1998. Scale Analyses for Land-Surface Hydrology. In: SPOSITO, G. (ed.) *Scale dependence and scale invariance in hydrology*. Cambridge University Press. cap. 1, p. 1-29.

42. WOOD, E. F.; SIVAPALAN, M. BEVEN, K; BAND, L., 1988. Effects of spatial variability in scale with implications to hydrologic modeling. *Journal of Hydrology*, Amsterdam: Elsevier Science Publishes B. V., n. 102, p. 29-47.

| | |
|------------------------------------|----|
| precipitação máxima diária | 66 |
| precipitação mensal | 63 |
| precipitações excepcionais | 69 |
| probabilidade de anos secos | 57 |
| probabilidade de anos úmidos | 56 |
| processos dominantes | |
| níveis dominantes | 9 |
| projeto Potiribu | 26 |
| Projeto Potiribu | 2 |

R

| | |
|--|----|
| regionalização5, 6, 17, 18, 95, 126, 131, 132, 139, 141, 143, 146 | |
| rio Potiribu | 21 |

S

| | |
|-------------------------------|--------|
| separação do escoamento | 96 |
| séries parciais | 73, 83 |

T

| | |
|------------------------------|----|
| tempo de base | 96 |
| tempo de retorno | 83 |
| tempos de pico | 96 |
| terra roxa estruturada | 30 |
| terraço | 32 |

U

| | |
|-------------------|----|
| <i>up-scaling</i> | |
| integração | 14 |

V

| | |
|----------------------|-----|
| vazão final | 96 |
| vazão máxima | 83 |
| vazão média | 126 |
| vazão Q_{50} | 128 |
| vazão Q_{95} | 129 |
| vazões inicial | 96 |
| vazões mínimas | 138 |
| vertentes | 16 |

Anexos

Anexo 1 – Análise da precipitações mensais na bacia do rio Potiribu

Da Figura A.1 a Figura A.12 são apresentadas as séries mensais de precipitação adimensionalizadas pela média de cada posto para cada mês do ano. Para melhor visualização da variabilidade temporal das precipitações mensais as figuras também mostram a média móvel do mês nos 5 últimos anos.

Na Figura A.1 observamos que o mês de janeiro de 1996 é responsável pelo aumento da média deste mês no período de dados do projeto Potiribu. Esse valor é equivalente ao ocorrido em 1984, comparando os valores do posto de Conceição.

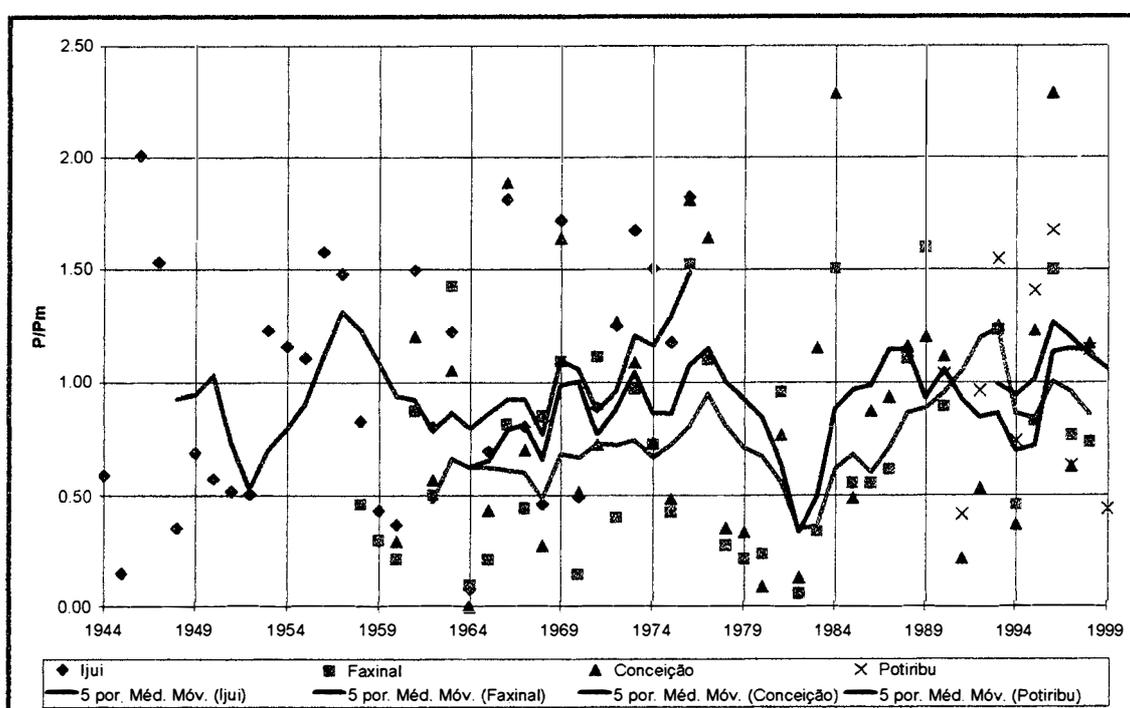


Figura A.1. Série de precipitações do mês de janeiro

Na Figura A.2 verificamos que o mês que eleva a média dos últimos 11 anos é o de fevereiro de 1998, ainda sob o efeito do ENSO segundo Castro et al (2000).

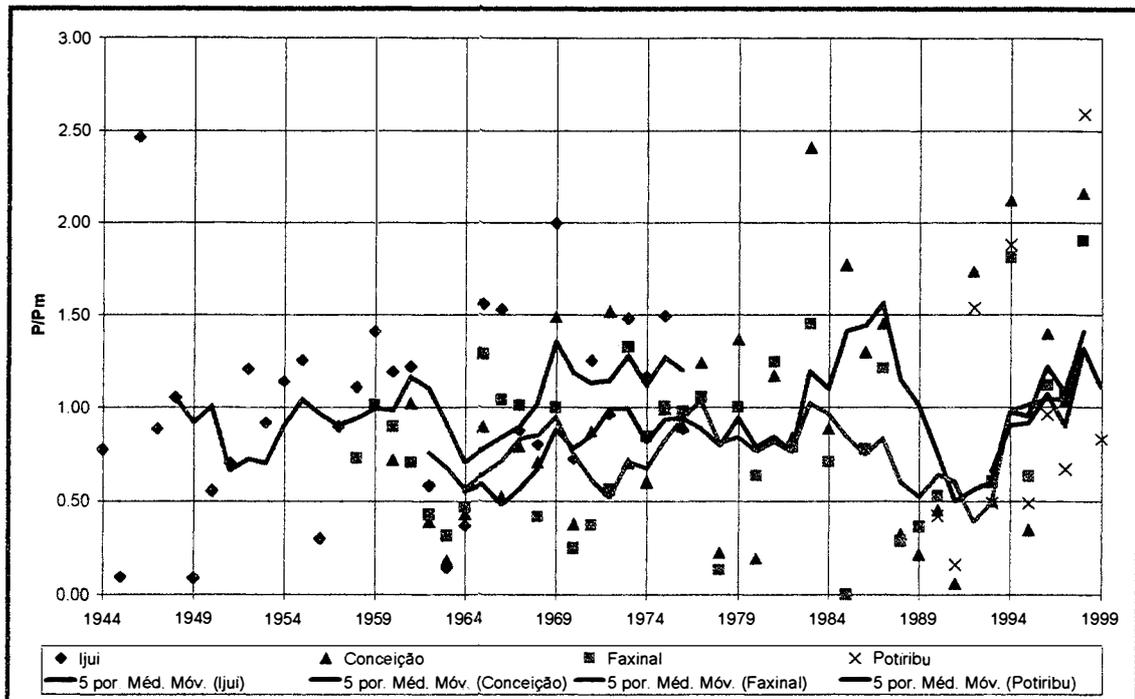


Figura A.2. Série de precipitações do mês de fevereiro

O mês de março com maior precipitação mensal dos últimos 11 anos foi o de 1993, como mostra a Figura A.3. No mês de abril temos com precipitação mensal elevada (acima de 1,50 vezes a média) os anos de 1990 (plântio convencional) e de 1998 (plântio direto), de maneira que os dois períodos são praticamente homogêneos, como mostra a Figura A.4.

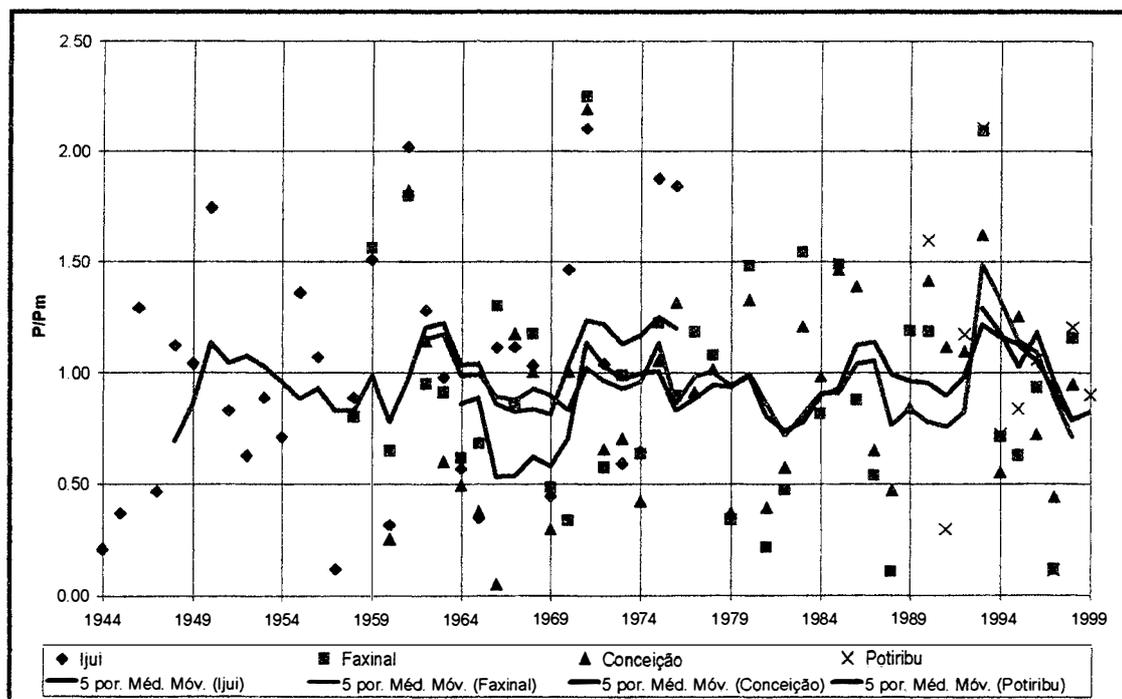


Figura A.3. Série de precipitações do mês de março

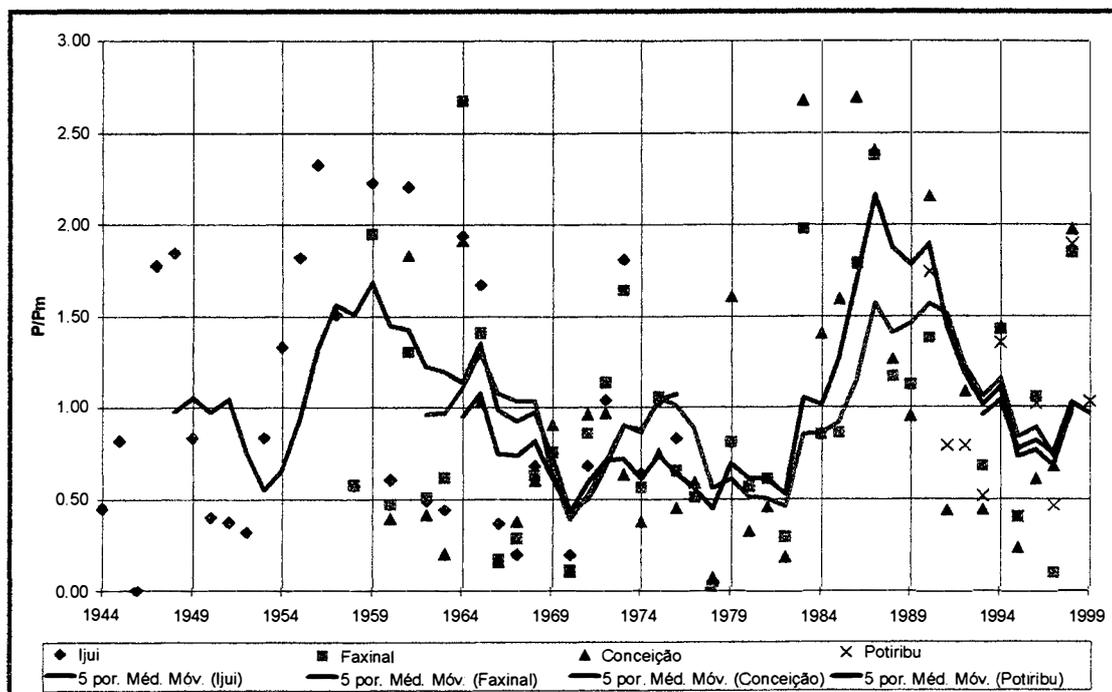


Figura A.4. Série de precipitações do mês de abril

O mês de maio de 1992 teve uma precipitação mensal extremamente elevada em decorrência do efeito do ENSO, de maneira que a média do período de plantio convencional é muito maior do que a do plantio direto, como mostra a Figura A.5.

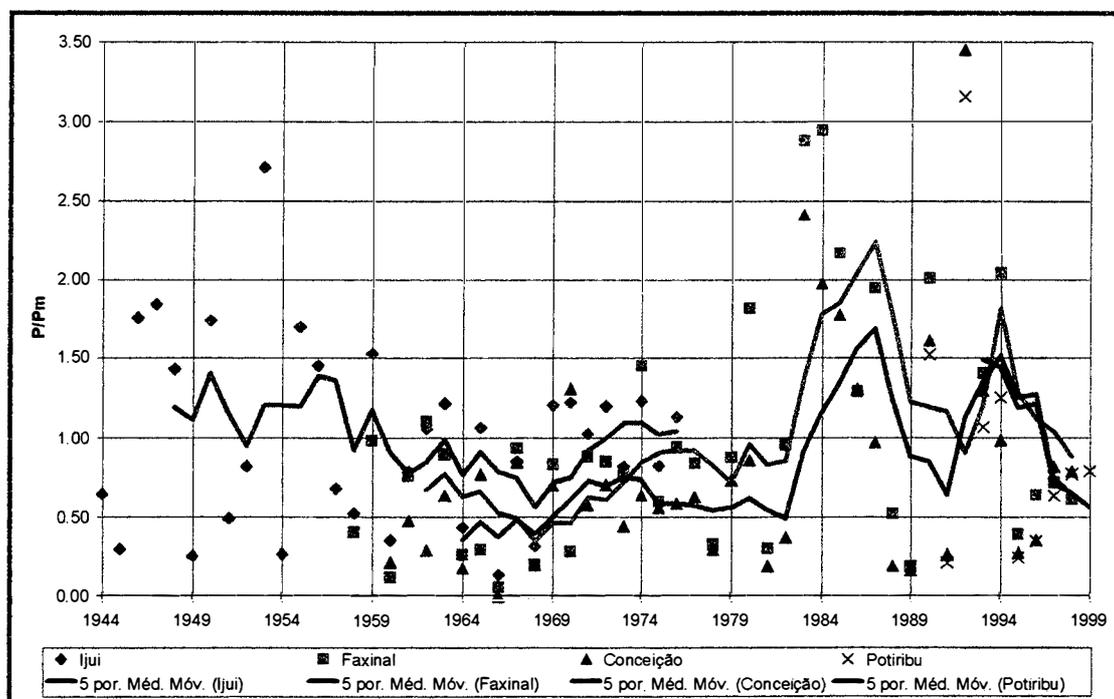


Figura A.5. Série de precipitações do mês de maio

O mês de junho apresenta o anos de 1991 como o de maior precipitação mensal no período 1989-1999, tornando a média do período de plantio convencional é ligeiramente maior do que a do plantio direto, como mostra a Figura A.6.

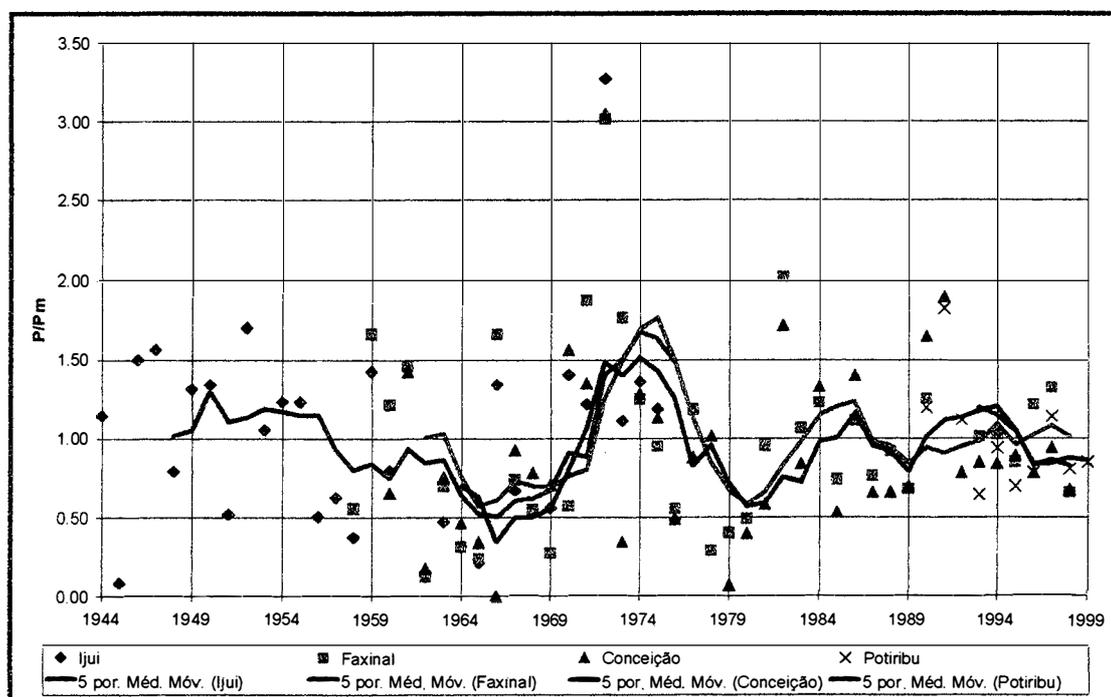


Figura A.6. Série de precipitações do mês de junho

O mês de julho apresentou precipitações mensais uniformes no período de 1989-1999, como mostra a Figura A.7.

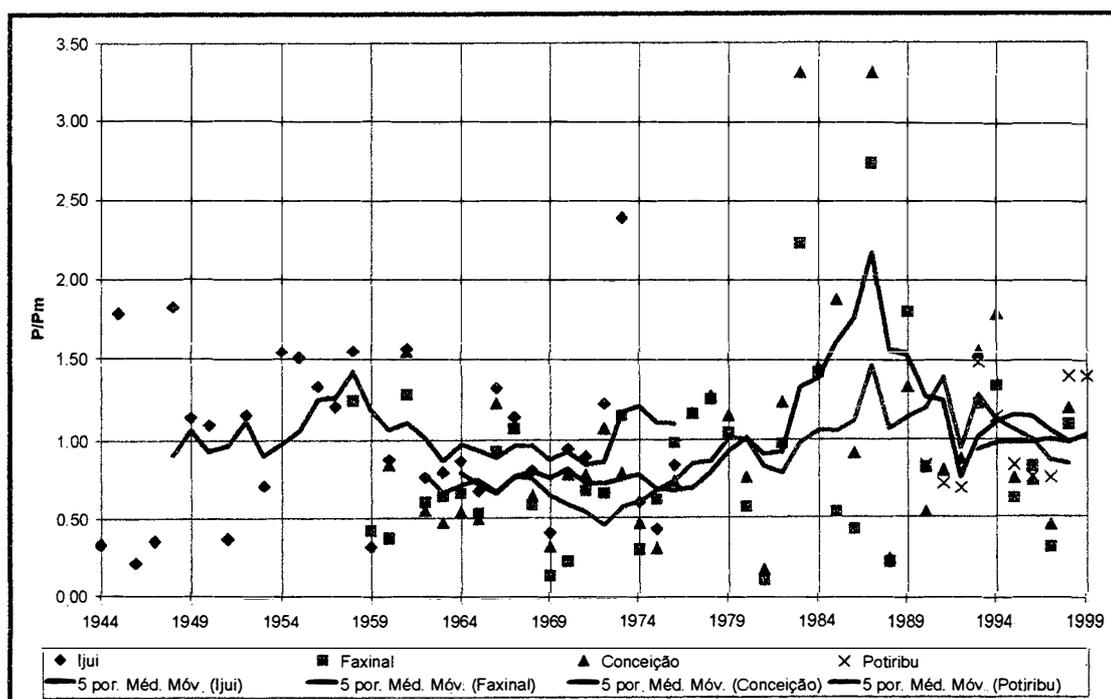


Figura A.7. Série de precipitações do mês de julho

O mês de agosto se caracterizou por apresentar os três últimos anos (1996, 1997 e 1998) com precipitações mensais elevadas, de forma a elevar muito a média do período de plantio direto com relação ao de plantio convencional, como mostra a Figura A.8.

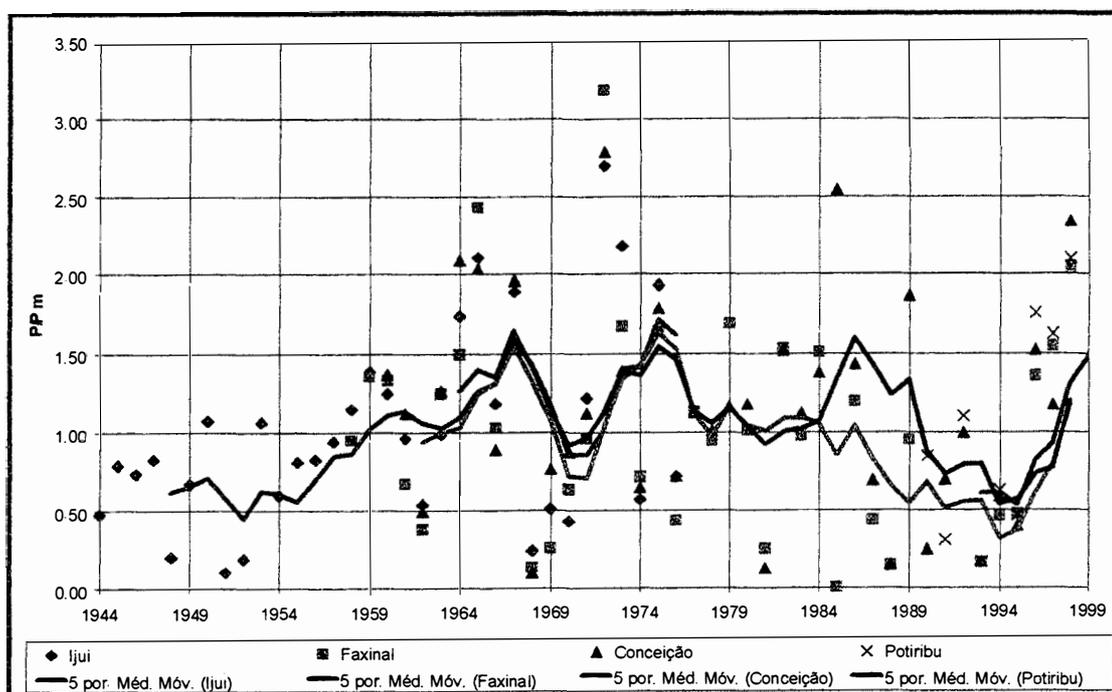


Figura A.8. Série de precipitações do mês de agosto

Na Figura A.9 verificamos que o mês de setembro apresentou precipitações mensais elevadas nos primeiros anos do projeto Potiribu (1989 e 1990) de maneira que a média no período de plantio convencional é maior do no de plantio direto.

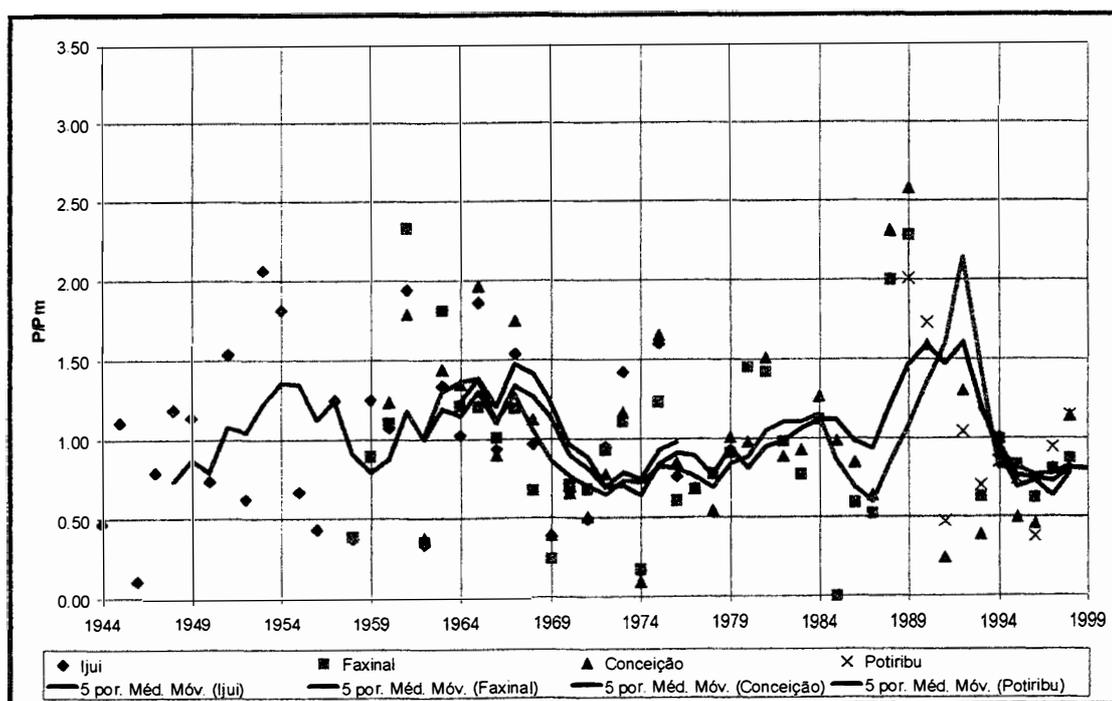


Figura A.9. Série de precipitações do mês de setembro

O mês de outubro se caracterizou por um valor de precipitação mensal extremamente elevado em 1997 devido ao efeito do ENSO, o que tornou a média do período de plantio direto elevada com relação a do período de plantio convencional, como mostra a Figura A.10.

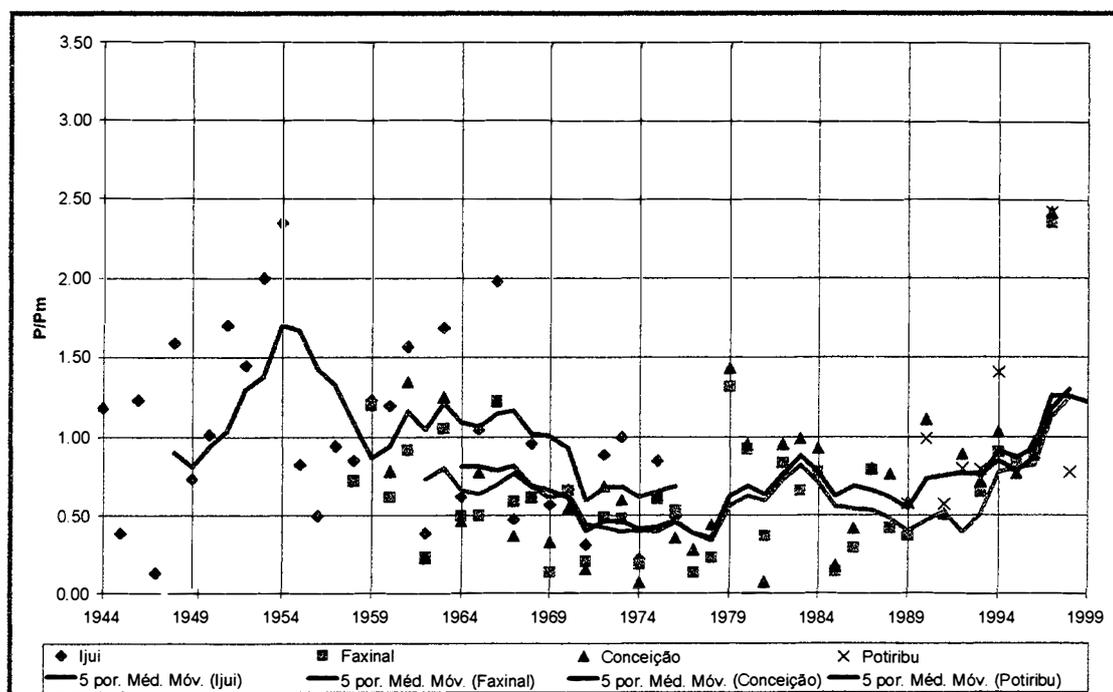


Figura A.10. Série de precipitações do mês de outubro

O mês de novembro se caracterizou pela alternância de valores extremos elevados, nos anos 1990, 1993 e 1997 (ENSO), e valores extremos baixos (menor que 0,5 vezes a média do período) nos anos 1991, 1995 e 1998, deixando a média do período de plantio direto menor que a do plantio convencional, como mostra a Figura A.11.

O mês de dezembro, representado na Figura A.12, apresentou ano de 1997 (ENSO) com uma precipitação mensal elevada e o ano 1992 com uma precipitação extremamente baixa, de maneira que a média no período convencional é ligeiramente menor que a do plantio direto.

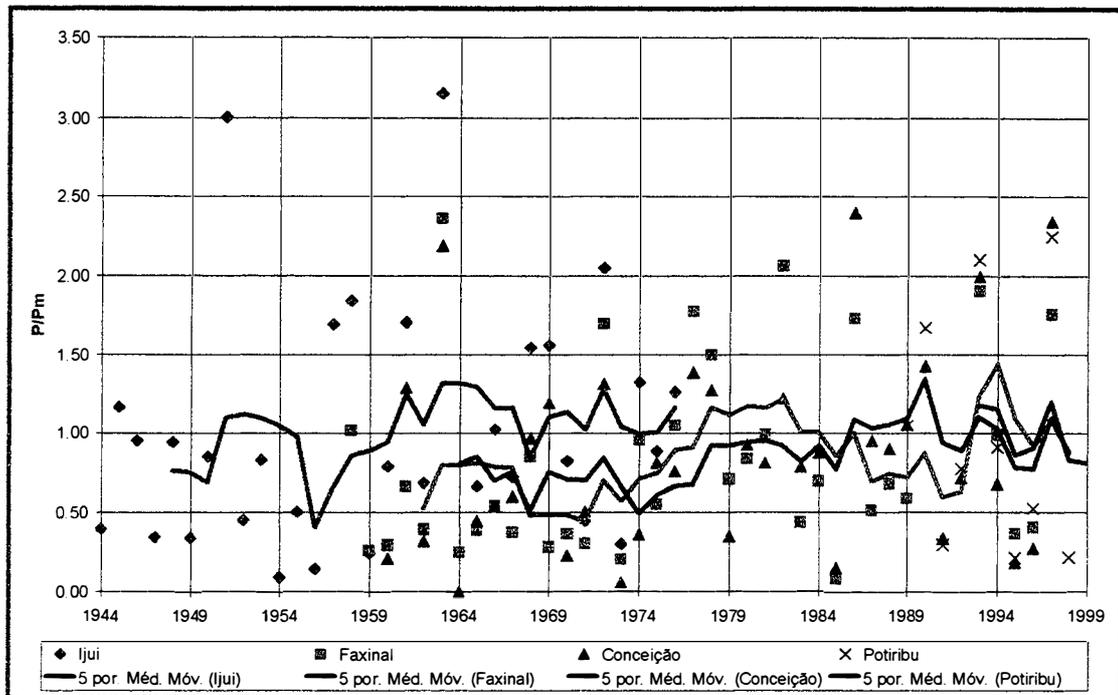


Figura A.11. Série de precipitações do mês de novembro

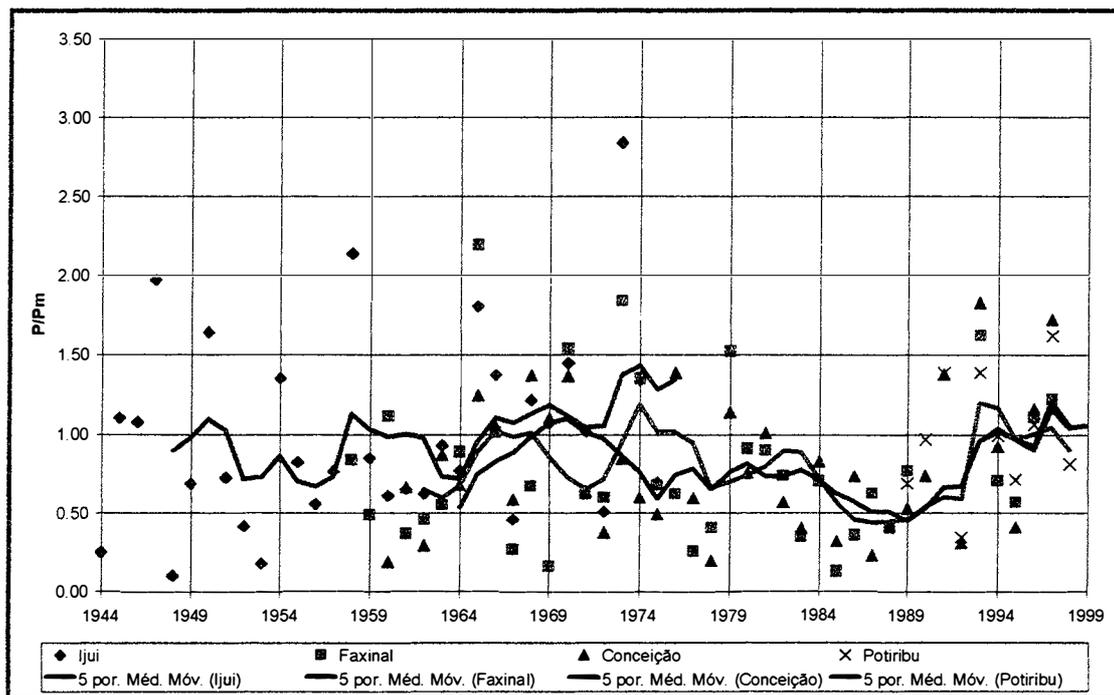


Figura A.12. Série de precipitações do mês de dezembro

Anexo 2 – Valores das variáveis dos eventos da bacia do Anfiteatro

Tabela A.1 – Eventos da bacia do Anfiteatro (Período Convencional)

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _{pico} (l/s) | t _{pico} (min) | t _{base} (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Esc. Sup. (mm) | C (%) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|--------------|
| 30/07/92 23:50 | 0.00 | 6.30 | 51.20 | 8.00 | 27.00 | 10.00 | 7.20 | 0.54 | 5.40 |
| 03/08/92 22:06 | 0.00 | 0.50 | 15.40 | 85.00 | 343.00 | 17.00 | 19.90 | 0.72 | 4.24 |
| 06/08/92 04:41 | 0.00 | 0.50 | 15.40 | 4.00 | 221.00 | 14.90 | 17.30 | 1.02 | 6.85 |
| 10/08/92 08:06 | 0.10 | 0.50 | 3.50 | 15.00 | 174.00 | 9.50 | 29.80 | 0.20 | 2.11 |
| 23/08/92 00:05 | 0.00 | 0.50 | 21.90 | 13.00 | 129.00 | 13.80 | 6.00 | 0.53 | 3.84 |
| 01/09/92 08:35 | 0.10 | 1.60 | 6.30 | 68.00 | 187.00 | 15.30 | 19.50 | 0.66 | 4.31 |
| 11/09/92 21:21 | 30.00 | 15.40 | 231.00 | 30.00 | 360.00 | 54.10 | 3.60 | 5.14 | 9.50 |
| 12/09/92 18:22 | 1.60 | 6.30 | 39.70 | 11.00 | 250.00 | 10.70 | 66.80 | 1.04 | 9.72 |
| 18/09/92 01:54 | 0.00 | 3.50 | 51.20 | 11.00 | 890.00 | 20.90 | 12.00 | 2.57 | 12.30 |
| 24/09/92 13:34 | 21.90 | 39.70 | 308.40 | 62.00 | 119.00 | 18.20 | 13.50 | 4.66 | 25.60 |
| 05/10/92 18:15 | 0.00 | 0.10 | 1.60 | 6.00 | 212.00 | 14.60 | 4.30 | 0.06 | 0.41 |
| 16/10/92 05:50 | 0.00 | 0.10 | 1.60 | 104.00 | 185.00 | 16.40 | 0.00 | 0.05 | 0.30 |
| 24/10/92 13:22 | 0.00 | 39.70 | 444.60 | 11.00 | 38.00 | 19.60 | 20.40 | 4.31 | 21.99 |
| 26/10/92 02:02 | 0.00 | 1.60 | 21.90 | 174.00 | 399.00 | 18.90 | 48.90 | 1.47 | 7.78 |
| 28/10/92 11:25 | 0.00 | 1.60 | 10.20 | 4.00 | 262.00 | 9.20 | 69.90 | 0.44 | 4.78 |
| 29/11/92 21:35 | 0.00 | 10.20 | 51.20 | 8.00 | 78.00 | 22.00 | 14.50 | 0.67 | 3.05 |
| 16/12/92 22:32 | 0.10 | 10.20 | 51.20 | 17.00 | 265.00 | 37.10 | 0.00 | 1.62 | 4.37 |
| 08/01/93 13:31 | 0.00 | 0.50 | 10.20 | 6.00 | 42.00 | 15.40 | 38.00 | 0.06 | 0.39 |
| 15/01/93 07:24 | 0.00 | 0.10 | 1.60 | 7.00 | 25.00 | 24.40 | 10.00 | 0.01 | 0.04 |
| 16/01/93 20:24 | 1.60 | 3.50 | 102.00 | 7.00 | 36.00 | 37.70 | 40.20 | 0.59 | 1.56 |
| 17/01/93 07:24 | 0.00 | 0.50 | 6.30 | 2.00 | 22.00 | 9.20 | 98.20 | 0.03 | 0.33 |
| 28/01/93 13:00 | 0.00 | 10.20 | 102.00 | 30.00 | 123.00 | 46.30 | 50.80 | 1.44 | 3.11 |
| 05/02/93 18:14 | 0.00 | 0.10 | 1.60 | 7.00 | 26.00 | 37.90 | 8.10 | 0.01 | 0.03 |
| 20/02/93 18:09 | 0.00 | 0.10 | 6.30 | 14.00 | 33.00 | 17.30 | 5.50 | 0.02 | 0.12 |
| 06/03/93 12:58 | 0.00 | 10.20 | 66.80 | 38.00 | 90.00 | 32.50 | 39.90 | 0.75 | 2.31 |
| 24/03/93 19:17 | 0.00 | 0.10 | 51.20 | 38.00 | 160.00 | 25.80 | 8.20 | 0.65 | 2.52 |
| 27/04/93 17:34 | 0.00 | 1.60 | 39.70 | 9.00 | 55.00 | 23.90 | 0.00 | 0.40 | 1.67 |
| 19/09/93 21:13 | 0.00 | 3.50 | 15.40 | 11.00 | 122.00 | 23.00 | 22.00 | 0.25 | 1.09 |
| 30/09/93 10:00 | 0.00 | 1.60 | 30.00 | 12.00 | 111.00 | 19.20 | 27.30 | 0.43 | 2.24 |
| 04/10/93 09:42 | 0.00 | 1.60 | 39.70 | 61.00 | 279.00 | 17.00 | 41.80 | 0.87 | 5.12 |
| 17/10/93 15:07 | 0.00 | 1.60 | 66.80 | 71.00 | 669.00 | 60.80 | 17.06 | 3.08 | 5.07 |
| 23/01/94 19:24 | 0.00 | 0.50 | 3.50 | 2.00 | 174.00 | 26.90 | 0.00 | 0.15 | 0.56 |
| 31/01/94 11:41 | 0.00 | 0.10 | 30.00 | 105.00 | 233.00 | 43.20 | 0.00 | 0.94 | 2.18 |
| 04/02/94 17:11 | 0.00 | 0.50 | 21.90 | 17.00 | 276.00 | 15.30 | 98.20 | 1.21 | 7.91 |
| 17/02/94 02:24 | 0.00 | 1.60 | 163.00 | 79.00 | 221.00 | 68.60 | 100.60 | 4.41 | 6.43 |
| 06/04/94 09:15 | 0.00 | 0.10 | 6.30 | 14.00 | 219.00 | 25.80 | 10.80 | 0.33 | 1.28 |
| 24/04/94 17:12 | 0.00 | 0.10 | 21.90 | 11.00 | 376.00 | 33.90 | 54.50 | 3.25 | 9.59 |
| 25/04/94 18:11 | 0.50 | 6.30 | 561.40 | 22.00 | 144.00 | 28.00 | 60.50 | 4.95 | 17.68 |
| Média | 1.47 | 4.81 | 70.37 | 31.42 | 199.34 | 25.11 | 28.56 | 1.30 | 5.20 |
| Desvio Padrão | 5.93 | 9.16 | 122.16 | 37.87 | 176.47 | 14.39 | 28.80 | 1.55 | 5.90 |
| Máximo | 30.00 | 39.70 | 561.40 | 174.00 | 890.00 | 68.60 | 100.60 | 5.14 | 25.60 |
| Mínimo | 0.00 | 0.10 | 1.60 | 2.00 | 22.00 | 9.20 | 0.00 | 0.01 | 0.03 |

Tabela A.2 – Eventos da bacia do Anfiteatro (Período de Plantio Direto)

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|----------|
| 03/05/94 22:44 | 0.00 | 1.60 | 66.80 | 109.00 | 281.00 | 41.00 | 0.00 | 1.53 | 3.73 |
| 09/05/94 04:42 | 0.00 | 0.50 | 39.70 | 136.00 | 447.00 | 24.10 | 0.00 | 2.05 | 8.51 |
| 25/05/94 09:05 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 159.00 | 361.00 | 28.50 | 26.40 | 0.23 | 0.81 |
| 26/05/94 17:36 | 0.00 | 0.50 | 3.50 | 5.00 | 195.00 | 12.10 | 45.90 | 0.03 | 0.25 |
| 31/05/94 06:09 | 0.00 | 0.50 | 3.50 | 41.00 | 393.00 | 26.30 | 35.70 | 0.47 | 1.79 |
| 06/06/94 11:18 | 0.00 | 0.10 | 3.50 | 179.00 | 353.00 | 33.70 | 18.40 | 0.20 | 0.59 |
| 19/06/94 05:13 | 0.00 | 0.10 | 39.70 | 89.00 | 382.00 | 28.20 | 4.20 | 2.35 | 8.33 |
| 01/07/94 02:05 | 0.00 | 0.10 | 10.20 | 168.00 | 315.00 | 34.60 | 0.00 | 1.33 | 3.84 |
| 06/07/94 03:23 | 0.00 | 0.00 | 15.40 | 32.00 | 1158.00 | 42.90 | 9.50 | 3.46 | 8.07 |
| 13/10/94 05:44 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 71.00 | 370.00 | 39.00 | 12.90 | 0.39 | 1.00 |
| 18/10/94 05:50 | 0.00 | 6.30 | 163.00 | 85.00 | 178.00 | 22.00 | 58.20 | 1.44 | 6.55 |
| 19/10/94 18:49 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 4.00 | 406.00 | 33.90 | 41.90 | 0.47 | 1.39 |
| 22/10/94 13:54 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 6.00 | 157.00 | 13.80 | 77.10 | 0.14 | 1.01 |
| 23/10/94 13:14 | 0.00 | 0.00 | 6.30 | 53.00 | 174.00 | 26.00 | 55.40 | 0.77 | 2.96 |
| 31/10/94 21:20 | 0.00 | 0.00 | 30.00 | 19.00 | 168.00 | 21.10 | 0.00 | 0.51 | 2.42 |
| 05/11/94 03:15 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 5.00 | 482.00 | 29.90 | 39.90 | 0.52 | 1.74 |
| 15/01/95 19:15 | 0.00 | 3.50 | 10.20 | 3.00 | 99.00 | 18.70 | 17.70 | 0.31 | 1.66 |
| 06/07/95 11:54 | 0.00 | 0.05 | 1.51 | 7.00 | 186.00 | 8.80 | 19.00 | 0.06 | 0.68 |
| 19/07/95 13:39 | 0.00 | 0.00 | 2.59 | 3.00 | 1221.00 | 22.30 | 0.00 | 0.77 | 3.45 |
| 28/07/95 21:24 | 0.00 | 0.22 | 6.73 | 39.00 | 1696.00 | 22.50 | 0.00 | 0.40 | 1.78 |
| 30/07/95 10:00 | 0.03 | 0.09 | 2.99 | 7.00 | 574.00 | 14.80 | 18.20 | 0.29 | 1.96 |
| 26/10/95 14:12 | 0.00 | 0.27 | 21.70 | 10.00 | 386.00 | 17.30 | 21.90 | 2.14 | 12.37 |
| 04/02/96 20:15 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 8.00 | 302.00 | 11.90 | 42.10 | 0.03 | 0.25 |
| 08/02/96 16:28 | 0.00 | 0.10 | 3.50 | 8.00 | 594.00 | 22.00 | 18.00 | 0.29 | 1.32 |
| 09/02/96 22:47 | 0.00 | 0.10 | 6.30 | 5.00 | 299.00 | 11.40 | 57.80 | 0.18 | 1.58 |
| 10/02/96 10:10 | 0.00 | 0.00 | 15.40 | 37.00 | 665.00 | 33.20 | 55.10 | 1.09 | 3.28 |
| 30/03/96 01:02 | 0.00 | 0.50 | 39.70 | 5.00 | 466.00 | 15.60 | 8.80 | 1.59 | 10.19 |
| 06/04/96 17:36 | 0.00 | 0.50 | 30.00 | 42.00 | 565.00 | 38.20 | 78.70 | 1.64 | 4.29 |
| 09/04/96 20:16 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 5.00 | 262.00 | 19.50 | 55.30 | 0.04 | 0.21 |
| 26/06/96 11:01 | 0.00 | 0.10 | 21.90 | 118.00 | 476.00 | 31.40 | 1.80 | 2.66 | 8.47 |
| 08/08/96 18:52 | 0.00 | 0.00 | 15.40 | 72.00 | 1667.00 | 35.50 | 8.20 | 3.21 | 9.04 |
| 13/08/96 02:58 | 0.00 | 0.50 | 39.70 | 59.00 | 167.00 | 31.40 | 143.30 | 1.31 | 4.17 |
| 30/08/96 21:13 | 0.00 | 0.00 | 3.50 | 16.00 | 373.00 | 17.30 | 6.30 | 0.26 | 1.50 |
| 16/09/96 04:30 | 0.00 | 0.00 | 1.60 | 10.00 | 56.00 | 8.60 | 0.00 | 0.02 | 0.23 |
| 24/10/96 16:51 | 0.00 | 0.00 | 10.20 | 92.00 | 510.00 | 36.50 | 21.00 | 1.11 | 3.04 |
| 02/11/96 16:30 | 0.00 | 0.00 | 10.20 | 3.00 | 185.00 | 18.30 | 23.60 | 0.36 | 1.97 |
| 05/12/96 21:15 | 0.00 | 0.00 | 10.46 | 18.00 | 122.00 | 21.10 | 13.30 | 0.15 | 0.71 |
| 10/12/96 15:30 | 0.00 | 0.00 | 9.62 | 18.00 | 338.00 | 30.20 | 42.00 | 0.50 | 1.66 |
| 24/04/97 22:11 | 0.00 | 0.10 | 15.40 | 9.00 | 106.00 | 20.00 | 38.00 | 0.11 | 0.55 |
| 16/07/97 20:01 | 0.00 | 0.10 | 1.60 | 10.00 | 376.00 | 25.50 | 10.30 | 0.14 | 0.55 |
| 19/07/97 06:20 | 0.00 | 0.10 | 3.50 | 132.00 | 1060.00 | 18.10 | 37.90 | 0.37 | 2.04 |
| 21/10/97 03:12 | 21.90 | 21.90 | 102.00 | 38.00 | 71.00 | 30.00 | 28.40 | 1.89 | 6.30 |
| 02/11/97 20:26 | 15.40 | 21.90 | 30.00 | 2.00 | 111.00 | 16.40 | 178.90 | 0.47 | 2.87 |
| 04/11/97 23:26 | 15.40 | 21.90 | 121.00 | 22.00 | 110.00 | 21.80 | 37.20 | 1.95 | 8.94 |
| 05/11/97 13:36 | 21.90 | 21.90 | 746.50 | 88.00 | 281.00 | 69.90 | 97.20 | 17.87 | 25.57 |
| 25/12/97 20:33 | 0.00 | 0.00 | 6.30 | 10.00 | 73.00 | 17.00 | 68.70 | 0.06 | 0.35 |
| 07/02/98 04:29 | 0.00 | 10.20 | 621.80 | 41.00 | 208.00 | 80.00 | 54.40 | 9.69 | 12.11 |
| 25/02/98 17:59 | 0.00 | 3.50 | 683.50 | 25.00 | 216.00 | 89.70 | 46.70 | 12.26 | 13.67 |
| 13/03/98 19:00 | 0.00 | 0.10 | 10.20 | 10.00 | 154.00 | 14.60 | 23.20 | 0.22 | 1.51 |
| 28/03/98 01:30 | 0.00 | 0.10 | 15.40 | 1.00 | 319.00 | 20.10 | 0.00 | 0.43 | 2.14 |
| 06/04/98 19:16 | 0.00 | 0.10 | 3.50 | 228.00 | 321.00 | 20.70 | 0.00 | 0.10 | 0.48 |
| 12/05/98 12:15 | 0.00 | 0.50 | 6.30 | 12.00 | 52.00 | 9.50 | 3.90 | 0.05 | 0.53 |
| 13/05/98 15:18 | 0.10 | 0.10 | 15.40 | 412.00 | 894.00 | 42.40 | 20.20 | 0.71 | 1.67 |
| 26/05/98 01:23 | 0.00 | 0.10 | 3.50 | 11.00 | 340.00 | 20.90 | 0.00 | 0.06 | 0.29 |
| 10/06/98 18:04 | 0.10 | 0.50 | 3.50 | 7.00 | 168.00 | 29.70 | 0.00 | 0.14 | 0.47 |
| 11/08/98 04:10 | 0.10 | 0.50 | 15.40 | 5.00 | 43.00 | 11.50 | 0.00 | 0.10 | 0.87 |
| 03/09/98 09:19 | 0.00 | 0.10 | 1.60 | 197.00 | 213.00 | 15.70 | 30.80 | 0.03 | 0.19 |
| 06/09/98 21:55 | 0.00 | 0.10 | 3.50 | 302.00 | 917.00 | 35.60 | 9.20 | 0.45 | 1.26 |
| 17/09/98 21:56 | 0.10 | 1.60 | 141.00 | 159.00 | 316.00 | 37.20 | 38.80 | 3.86 | 10.38 |
| 03/10/98 21:52 | 0.10 | 0.50 | 21.90 | 214.00 | 820.00 | 13.60 | 9.20 | 1.07 | 7.87 |
| 23/10/98 13:12 | 0.00 | 0.50 | 15.40 | 59.00 | 574.00 | 27.60 | 0.00 | 0.42 | 1.52 |
| 25/10/98 12:29 | 0.50 | 0.50 | 6.30 | 128.00 | 365.00 | 19.40 | 28.60 | 0.33 | 1.70 |
| 16/02/99 11:54 | 0.00 | 0.21 | 31.82 | 25.00 | 123.00 | 24.30 | 24.20 | 0.42 | 1.65 |
| 29/03/99 03:50 | 0.00 | 0.01 | 3.69 | 26.00 | 113.00 | 14.60 | 0.00 | 0.09 | 0.62 |
| 26/05/99 09:30 | 0.00 | 0.01 | 2.06 | 320.00 | 600.00 | 23.70 | 2.00 | 0.08 | 0.34 |

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 28/05/99 22:40 | 0.00 | 2474.00 | 52.16 | 50.00 | 130.00 | 9.50 | 40.70 | 1.12 | 11.79 |
| 09/06/99 14:10 | 0.13 | 0.32 | 6.07 | 20.00 | 300.00 | 14.20 | 0.60 | 0.19 | 1.34 |
| 02/07/99 06:50 | 0.00 | 0.01 | 1.69 | 60.00 | 150.00 | 6.50 | 0.10 | 0.03 | 0.46 |
| Média | 1.11 | 38.19 | 49.37 | 64.25 | 390.49 | 25.64 | 28.04 | 1.31 | 3.63 |
| Desvio Padrão | 4.49 | 299.84 | 141.35 | 84.78 | 344.62 | 14.97 | 33.00 | 2.83 | 4.51 |
| Máximo | 21.90 | 2474.00 | 746.50 | 412.00 | 1696.00 | 89.70 | 178.90 | 17.87 | 25.57 |
| Mínimo | 0.00 | 0.00 | 1.51 | 1.00 | 43.00 | 6.50 | 0.00 | 0.02 | 0.19 |

Anexo 3 – Valores das variáveis dos eventos da bacia do Donato

Tabela A.3 – Eventos da bacia do Donato (Período Convencional)

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|----------|
| 11/11/89 16:19 | 36 | 36 | 131 | 40 | 108 | 27.6 | 10.6 | 0.21 | 0.76 |
| 23/11/89 04:23 | 23.7 | 50 | 214.6 | 33 | 86 | 25.9 | 39 | 0.26 | 1.00 |
| 24/11/89 06:48 | 148.6 | 277.8 | 909.2 | 43 | 74 | 27.5 | 42.5 | 1.09 | 3.96 |
| 28/12/89 17:02 | 16.8 | 20.25 | 69.4 | 48 | 93 | 21.7 | 18.2 | 0.1 | 0.46 |
| 30/12/89 13:34 | 16.8 | 27.6 | 190 | 28 | 92 | 22.6 | 46.5 | 0.27 | 1.19 |
| 05/03/90 06:20 | 10.3 | 10.3 | 64.45 | 143 | 209 | 32.5 | 16 | 0.17 | 0.52 |
| 24/04/90 14:07 | 27.6 | 36 | 45.25 | 91 | 198 | 25 | 10.8 | 0.08 | 0.32 |
| 10/05/90 11:39 | 31.5 | 45.25 | 131 | 177 | 294 | 42.6 | 0 | 0.37 | 0.87 |
| 27/05/90 18:26 | 27.6 | 31.5 | 54.75 | 165 | 529 | 31.7 | 0 | 0.28 | 0.88 |
| 03/06/90 04:12 | 40.5 | 40.5 | 166 | 181 | 288 | 30.6 | 165.6 | 0.47 | 1.54 |
| 04/06/90 13:13 | 31.5 | 40.5 | 59.5 | 20 | 70 | 8.4 | 113 | 0.05 | 0.60 |
| 05/06/90 09:31 | 23.7 | 125 | 838 | 21 | 80 | 12.3 | 57.4 | 1.34 | 10.89 |
| 20/06/90 02:02 | 74.35 | 90.5 | 249 | 47 | 396 | 38.3 | 0 | 1.51 | 3.94 |
| 19/08/90 08:48 | 69.4 | 101 | 292 | 36 | 72 | 10 | 15.5 | 0.28 | 2.80 |
| 04/09/90 16:13 | 36 | 50 | 137 | 10 | 160 | 11.3 | 32 | 0.3 | 2.65 |
| 06/09/90 13:12 | 45.25 | 101 | 369.6 | 59 | 177 | 21.1 | 32.6 | 0.95 | 4.50 |
| 11/09/90 18:59 | 36 | 59.5 | 379.3 | 366 | 692 | 40.9 | 44.9 | 1.5 | 3.67 |
| 20/09/90 08:17 | 54.75 | 95.75 | 1005.2 | 487 | 657 | 56.8 | 24.9 | 3.54 | 6.23 |
| 24/11/90 15:13 | 50 | 40.5 | 125 | 36 | 131 | 23 | 16.3 | 0.14 | 0.61 |
| 02/12/90 16:42 | 45.25 | 54.75 | 69.4 | 98 | 332 | 23.2 | 0 | 0.19 | 0.82 |
| 05/12/90 12:05 | 45.25 | 59.5 | 206 | 44 | 132 | 15.4 | 16.4 | 0.26 | 1.69 |
| 06/12/90 13:24 | 50 | 54.75 | 84.9 | 55 | 140 | 9.1 | 54.9 | 0.1 | 1.10 |
| 23/12/90 14:43 | 31.5 | 45.25 | 4520 | 57 | 144 | 38 | 0 | 7.36 | 19.37 |
| 23/04/91 13:09 | 16.98 | 25.3 | 143 | 75 | 229 | 38.6 | 0.3 | 0.43 | 1.11 |
| 17/06/91 09:27 | 3.6 | 16.98 | 164.4 | 63 | 299 | 29.2 | 0 | 0.78 | 2.67 |
| 18/06/91 22:25 | 8.66 | 185.8 | 1280 | 34 | 307 | 48.1 | 47.3 | 6.28 | 13.06 |
| 10/07/91 08:08 | 12.82 | 16.98 | 43.06 | 45 | 77 | 13.5 | 0 | 0.05 | 0.37 |
| 31/07/91 05:50 | 4.5 | 12.82 | 69.7 | 76 | 498 | 32.6 | 20.9 | 0.51 | 1.56 |
| 06/08/91 01:00 | 8.66 | 34.18 | 502.6 | 51 | 134 | 21.4 | 0 | 0.98 | 4.58 |
| 06/10/91 01:31 | 4.5 | 16.98 | 185.8 | 180 | 267 | 26.8 | 7.6 | 0.65 | 2.43 |
| 28/10/91 00:51 | 3.6 | 4.5 | 25.3 | 61 | 167 | 34.9 | 6.6 | 0.08 | 0.23 |
| 12/04/92 04:23 | 4.5 | 4.5 | 84.36 | 96 | 195 | 20.1 | 15.7 | 0.23 | 1.14 |
| 13/04/92 16:06 | 3.6 | 4.5 | 8.66 | 81 | 362 | 12.2 | 36.1 | 0.06 | 0.49 |
| 12/05/92 13:16 | 4.5 | 43.06 | 502.6 | 36 | 220 | 28.7 | 32.4 | 2.19 | 7.63 |
| 03/06/92 06:59 | 185.8 | 185.8 | 502.6 | 65 | 110 | 16.7 | 3.9 | 0.51 | 3.05 |
| 05/06/92 10:01 | 143 | 336.4 | 842 | 14 | 80 | 22.3 | 31 | 1.2 | 5.38 |
| 08/06/92 20:29 | 164.4 | 538.8 | 11565 | 157 | 357 | 68 | 19.5 | 35.8 | 52.65 |
| 05/07/92 09:59 | 113.7 | 128.3 | 278.8 | 16 | 40 | 10.9 | 47.5 | 0.17 | 1.56 |
| 03/08/92 20:19 | 4.5 | 12.82 | 34.18 | 252 | 467 | 17.8 | 19.9 | 0.14 | 0.79 |
| 08/08/92 03:59 | 12.82 | 25.3 | 99.02 | 97 | 242 | 16.6 | 17.3 | 0.52 | 3.13 |
| 23/08/92 00:22 | 16.98 | 21.14 | 113.7 | 40 | 174 | 13.7 | 6 | 0.43 | 3.14 |
| 01/09/92 08:33 | 8.66 | 21.14 | 51.94 | 164 | 352 | 17.1 | 19.5 | 0.24 | 1.40 |
| 11/09/92 21:58 | 8.66 | 51.94 | 842 | 35 | 336 | 54.3 | 3.6 | 3 | 5.52 |
| 18/09/92 02:25 | 16.98 | 16.98 | 43.06 | 50 | 299 | 19.7 | 12 | 0.04 | 0.20 |
| 24/09/92 14:24 | 4.5 | 43.06 | 931 | 94 | 538 | 42.8 | 13.5 | 3.6 | 8.41 |
| 20/10/92 09:08 | 3.6 | 4.5 | 8.66 | 273 | 483 | 19.2 | 14.7 | 0.03 | 0.16 |
| 29/11/92 22:32 | 25.3 | 16.98 | 51.94 | 6 | 89 | 21.9 | 14.5 | 0.05 | 0.23 |
| 16/12/92 20:56 | 4.5 | 8.66 | 25.3 | 152 | 431 | 39.8 | 0 | 0.19 | 0.48 |
| 28/01/93 14:31 | 3.6 | 4.5 | 278.8 | 39 | 215 | 29.2 | 50.8 | 0.95 | 3.25 |
| 20/02/93 07:27 | 1.8 | 1.8 | 34.2 | 579 | 815 | 33.5 | 5.5 | 0.07 | 0.21 |
| 06/03/93 13:48 | 8.66 | 185.8 | 1176 | 38 | 80 | 48.1 | 39.9 | 1.97 | 4.10 |
| 24/03/93 20:08 | 1.8 | 16.98 | 99.02 | 21 | 107 | 31.5 | 8.2 | 0.14 | 0.44 |
| 27/04/93 17:58 | 2.7 | 60.82 | 1176 | 13 | 124 | 23.3 | 0 | 2.78 | 11.93 |
| 11/05/93 23:07 | 12.82 | 185.8 | 2744 | 37 | 134 | 39.6 | 31.1 | 7.07 | 17.85 |
| 30/05/93 14:49 | 12.82 | 21.14 | 143 | 40 | 107 | 14.5 | 11.4 | 0.28 | 1.93 |
| 04/06/93 09:17 | 8.66 | 25.3 | 394 | 50 | 248 | 31.9 | 24.4 | 1.11 | 3.48 |
| 16/06/93 23:49 | 43.06 | 43.06 | 84.36 | 76 | 236 | 23.1 | 4.6 | 0.26 | 1.13 |
| 02/07/93 05:10 | 43.06 | 69.7 | 278.8 | 72 | 119 | 27.4 | 0 | 0.49 | 1.79 |
| 04/07/93 16:35 | 34.18 | 113.7 | 797.5 | 68 | 325 | 21.7 | 19.5 | 3.55 | 16.36 |

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 10/07/93 13:02 | 43.06 | 128.3 | 1124 | 83 | 718 | 31.1 | 21.2 | 6.48 | 20.84 |
| 20/09/93 07:09 | 3.6 | 4.5 | 25.3 | 67 | 276 | 29.9 | 23 | 0.16 | 0.54 |
| 04/10/93 10:48 | 16.98 | 25.3 | 99.02 | 156 | 329 | 21.9 | 41.8 | 0.37 | 1.69 |
| 13/10/93 04:33 | 16.98 | 21.14 | 34.18 | 125 | 241 | 13 | 0 | 0.11 | 0.85 |
| 17/10/93 11:31 | 4.5 | 8.66 | 143 | 330 | 1516 | 48.5 | 17.06 | 1.58 | 3.26 |
| 15/11/93 20:02 | 16.98 | 21.14 | 60.82 | 35 | 258 | 19.7 | 74.4 | 0.29 | 1.47 |
| 17/02/94 08:12 | 4.5 | 21.14 | 4823 | 70 | 244 | 57.7 | 100.6 | 15.01 | 26.01 |
| 21/04/94 15:02 | 4.5 | 4.5 | 21.14 | 207 | 581 | 31.7 | 11 | 0.28 | 0.88 |
| 24/04/94 11:23 | 21.14 | 21.14 | 164.4 | 163 | 387 | 26 | 54.5 | 0.97 | 3.73 |
| 26/04/94 00:11 | 164.4 | 886.5 | 11410 | 19 | 112 | 52 | 60.5 | 24.42 | 46.96 |
| Média | 32.34 | 74.52 | 780.00 | 98.3 | 276.5 | 28.08 | 26.28 | 2.14 | 5.22 |
| Desvio Padrão | 41.85 | 131.66 | 2052.12 | 106.4 | 231.3 | 13.00 | 29.27 | 5.50 | 9.45 |
| Máximo | 185.80 | 886.50 | 11565 | 579 | 1516 | 68.00 | 165.60 | 35.80 | 52.65 |
| Mínimo | 1.80 | 1.80 | 8.66 | 6.00 | 40.00 | 8.40 | 0.00 | 0.03 | 0.16 |

Tabela A.4 – Eventos da Bacia do Donato (Período de Plantio Direto)

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 31/05/94 08:07 | 25.3 | 84.36 | 307.6 | 186 | 818 | 47.1 | 35.7 | 2.89 | 6.14 |
| 22/07/94 08:48 | 34.18 | 51.94 | 113.7 | 132 | 530 | 26.8 | 0 | 0.43 | 1.60 |
| 01/10/94 21:55 | 8.66 | 34.18 | 128.3 | 70 | 229 | 34.1 | 8 | 0.38 | 1.11 |
| 03/10/94 09:50 | 4.5 | 8.66 | 69.7 | 52 | 195 | 11.4 | 70 | 0.23 | 2.02 |
| 13/10/94 05:39 | 3.6 | 21.14 | 365.2 | 50 | 348 | 51.3 | 12.9 | 1.3 | 2.53 |
| 18/10/94 05:43 | 34.18 | 365.2 | 2414 | 76 | 118 | 25 | 58.2 | 2.95 | 11.80 |
| 22/10/94 13:03 | 21.14 | 43.06 | 185.8 | 40 | 95 | 27.7 | 77.1 | 0.37 | 1.34 |
| 31/10/94 19:50 | 21.14 | 164.4 | 1020 | 30 | 56 | 21.1 | 0 | 0.88 | 4.17 |
| 05/11/94 01:23 | 21.14 | 34.18 | 69.7 | 166 | 1484 | 38.4 | 37.4 | 2 | 5.21 |
| 12/11/94 10:08 | 25.3 | 25.3 | 43.06 | 134 | 261 | 17.7 | 9.7 | 0.16 | 0.90 |
| 15/11/94 04:35 | 25.3 | 43.06 | 60.82 | 52 | 70 | 10.2 | 19.5 | 0.03 | 0.29 |
| 17/11/94 12:18 | 21.14 | 69.7 | 164.4 | 87 | 141 | 28.4 | 32.9 | 0.3 | 1.06 |
| 17/12/94 13:28 | 8.66 | 12.82 | 84.36 | 49 | 141 | 17.1 | 17.6 | 0.15 | 0.88 |
| 21/12/94 13:50 | 68.81 | 75.56 | 1155 | 64 | 154 | 38.4 | 30.8 | 3.74 | 9.74 |
| 10/04/95 18:12 | 2.88 | 4.23 | 11.99 | 96 | 163 | 17.4 | 0 | 0.05 | 0.29 |
| 01/10/95 01:01 | 3.897 | 2.835 | 21.06 | 60 | 182 | 9.4 | 20 | 0.05 | 0.53 |
| 21/01/96 19:00 | 3.177 | 3.663 | 16.31 | 64 | 185 | 17.9 | 20.4 | 0.06 | 0.34 |
| 24/01/96 20:00 | 3.663 | 3.231 | 13.28 | 121 | 603 | 21.5 | 16.7 | 0.13 | 0.60 |
| 29/03/96 16:00 | 13.65 | 23.18 | 244.4 | 4 | 65 | 16.8 | 8.8 | 0.41 | 2.44 |
| 06/04/96 16:00 | 17.81 | 34 | 87.44 | 60 | 180 | 32.5 | 78.7 | 0.41 | 1.26 |
| 07/07/96 22:03 | 4.23 | 118.1 | 859.8 | 59 | 1318 | 76.4 | 10.4 | 7.49 | 9.80 |
| 13/08/96 23:03 | 1.35 | 4.05 | 21.56 | 118 | 478 | 34.8 | 143.3 | 0.17 | 0.49 |
| 30/08/96 21:01 | 1.8 | 3.87 | 17.81 | 121 | 182 | 18.7 | 6.3 | 0.06 | 0.32 |
| 05/12/96 20:04 | 4.05 | 4.5 | 125.4 | 60 | 236 | 27.1 | 13.3 | 0.3 | 1.11 |
| 19/04/97 04:02 | 0.9 | 0.9 | 8.66 | 59 | 598 | 38 | 1.7 | 0.08 | 0.21 |
| 24/04/97 01:04 | 0.9 | 1.8 | 8.66 | 59 | 360 | 27.8 | 38 | 0.06 | 0.22 |
| 02/08/97 00:03 | 2.7 | 4.5 | 34.18 | 61 | 182 | 13.1 | 30 | 0.12 | 0.92 |
| 20/08/97 02:04 | 4.5 | 8.66 | 51.94 | 118 | 1916 | 52.9 | 10 | 1.15 | 2.17 |
| 28/09/97 11:00 | 2.7 | 12.82 | 99.02 | 60 | 960 | 43.9 | 0 | 0.56 | 1.28 |
| 21/10/97 03:00 | 60.82 | 278.8 | 2028 | 5 | 183 | 68.7 | 28.4 | 5.13 | 7.47 |
| 04/11/97 23:05 | 12.82 | 394 | 1601 | 56 | 59 | 19.9 | 37.2 | 1.97 | 9.90 |
| 26/11/97 15:00 | 51.94 | 51.94 | 207.2 | 60 | 185 | 25.9 | 15.5 | 0.4 | 1.54 |
| 28/12/97 07:01 | 60.82 | 164.4 | 708.5 | 122 | 184 | 49.8 | 33.3 | 2.51 | 5.04 |
| 30/12/97 09:05 | 43.06 | 69.7 | 250 | 60 | 357 | 32.9 | 97.2 | 1.23 | 3.74 |
| 24/01/98 09:00 | 8.66 | 12.82 | 113.7 | 121 | 184 | 45.4 | 2.8 | 0.27 | 0.59 |
| 25/01/98 15:05 | 4.5 | 16.98 | 128.3 | 58 | 178 | 30.6 | 65.8 | 0.29 | 0.95 |
| 26/01/98 12:00 | 8.66 | 34.18 | 278.8 | 60 | 184 | 25.9 | 102.2 | 0.69 | 2.66 |
| 04/02/98 03:00 | 8.66 | 69.7 | 502.6 | 123 | 240 | 48.2 | 57.2 | 0.94 | 1.95 |
| 07/02/98 02:02 | 8.66 | 185.8 | 7148 | 60 | 123 | 60 | 54.4 | 33.41 | 55.68 |
| 25/02/98 16:03 | 2.7 | 575 | 9540 | 58 | 177 | 80 | 46.7 | 51.61 | 64.51 |
| 06/04/98 20:06 | 12.82 | 21.14 | 143 | 128 | 309 | 32.2 | 0 | 0.67 | 2.08 |
| 27/04/98 12:35 | 25.3 | 84.36 | 753 | 248 | 1008 | 58.5 | 93.4 | 7.41 | 12.67 |
| 12/05/98 12:01 | 21.14 | 25.3 | 84.36 | 48 | 246 | 21 | 3.9 | 0.19 | 0.90 |
| 13/05/98 16:10 | 21.14 | 51.94 | 430.2 | 392 | 2188 | 52 | 20.2 | 6.23 | 11.98 |
| 10/06/98 14:38 | 16.98 | 25.3 | 84.36 | 182 | 515 | 33.4 | 0 | 0.52 | 1.56 |
| 01/07/98 07:01 | 16.98 | 84.36 | 931 | 38 | 968 | 48.6 | 0 | 3.76 | 7.74 |
| 07/07/98 20:46 | 12.82 | 43.06 | 250 | 28 | 534 | 29.1 | 12.3 | 1.54 | 5.29 |
| 06/09/98 09:10 | 25.3 | 34.18 | 113.7 | 710 | 2046 | 38.4 | 9.2 | 3.12 | 8.13 |
| 17/09/98 21:34 | 25.3 | 113.7 | 1072 | 178 | 386 | 37.5 | 38.8 | 3.51 | 9.36 |
| 04/10/98 22:40 | 25.3 | 51.94 | 278.8 | 230 | 1100 | 44.6 | 14.4 | 2.42 | 5.43 |
| 23/10/98 13:39 | 12.82 | 25.3 | 128.3 | 58 | 151 | 15 | 0 | 0.32 | 2.13 |
| 25/10/98 12:52 | 16.98 | 25.3 | 69.7 | 88 | 388 | 15.7 | 28.6 | 0.48 | 3.06 |
| 16/02/99 12:04 | 4.93 | 5.17 | 275.7 | 46 | 251 | 23 | 24.2 | 0.78 | 3.39 |
| 09/06/99 09:30 | 6.76 | 11.58 | 63 | 340 | 730 | 29.8 | 0.6 | 0.52 | 1.74 |
| 12/06/99 09:10 | 3.87 | 3.87 | 10.67 | 100 | 180 | 15.9 | 50.3 | 0.03 | 0.19 |
| 02/07/99 03:20 | 1.88 | 5.49 | 24.77 | 310 | 410 | 23.6 | 0.1 | 0.16 | 0.68 |
| 19/07/99 19:30 | 6.76 | 11.58 | 63 | 90 | 200 | 17 | 29 | 0.33 | 1.94 |
| Média | 204.31 | 236.14 | 615.52 | 110.53 | 454.60 | 32.73 | 29.35 | 2.76 | 5.32 |
| Desvio Padrão | 805.64 | 727.00 | 1584.50 | 112.19 | 497.24 | 16.36 | 30.93 | 8.04 | 11.12 |
| Máximo | 3897.00 | 3663.00 | 9540.00 | 710.00 | 2188.00 | 80.0 | 143.30 | 51.61 | 64.51 |
| Mínimo | 0.90 | 0.90 | 8.66 | 4.00 | 56.00 | 9.40 | 0.00 | 0.03 | 0.19 |

Anexo 4 – Valores das variáveis dos eventos da bacia do Turcato

Tabela A.5 – Eventos da bacia do Turcato (Período Convencional)

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _b (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|----------|
| 11/11/89 | 415.20 | 655.10 | 3745.00 | 144.00 | 704.00 | 27.60 | 10.60 | 1.96 | 7.10 |
| 23/11/89 | 544.40 | 787.60 | 3077.00 | 138.00 | 464.00 | 29.50 | 39.00 | 1.12 | 3.80 |
| 24/11/89 | 655.10 | 1350.00 | 8690.00 | 249.00 | 612.00 | 35.10 | 42.50 | 6.29 | 17.92 |
| 30/12/89 | 260.60 | 323.00 | 1965.00 | 106.00 | 515.00 | 31.20 | 0.00 | 0.78 | 2.50 |
| 31/12/89 | 276.20 | 307.40 | 859.30 | 154.00 | 550.00 | 11.50 | 31.80 | 0.36 | 3.13 |
| 22/01/90 | 213.80 | 245.00 | 1003.00 | 111.00 | 558.00 | 18.10 | 63.80 | 0.49 | 2.71 |
| 24/01/90 | 198.20 | 415.20 | 2968.00 | 870.00 | 1599.00 | 55.20 | 51.80 | 3.04 | 5.51 |
| 05/03/90 | 198.20 | 276.20 | 1590.00 | 190.00 | 851.00 | 49.90 | 16.00 | 1.62 | 3.25 |
| 05/04/90 | 128.70 | 154.20 | 562.80 | 116.00 | 550.00 | 14.80 | 34.40 | 0.26 | 1.76 |
| 06/04/90 | 141.50 | 489.00 | 2258.00 | 517.00 | 1287.00 | 55.10 | 58.40 | 3.01 | 5.46 |
| 07/04/90 | 341.50 | 470.60 | 1740.00 | 429.00 | 1109.00 | 25.40 | 99.10 | 0.99 | 3.90 |
| 24/04/90 | 260.60 | 260.60 | 763.70 | 203.00 | 712.00 | 27.40 | 10.80 | 0.52 | 1.90 |
| 28/04/90 | 198.20 | 341.50 | 907.10 | 219.00 | 1470.00 | 27.70 | 44.80 | 1.14 | 4.12 |
| 10/05/90 | 307.40 | 489.00 | 4260.00 | 151.00 | 596.00 | 42.60 | 0.00 | 2.02 | 4.74 |
| 18/08/90 | 599.70 | 655.10 | 2225.00 | 840.00 | 1291.00 | 29.30 | 15.50 | 0.98 | 3.34 |
| 31/08/90 | 433.70 | 581.30 | 1802.00 | 732.00 | 1130.00 | 32.30 | 1.40 | 1.21 | 3.75 |
| 04/09/90 | 396.80 | 526.00 | 1050.00 | 178.00 | 656.00 | 22.70 | 32.00 | 0.52 | 2.29 |
| 06/09/90 | 452.10 | 954.90 | 5376.00 | 161.00 | 513.00 | 33.90 | 32.60 | 2.83 | 8.35 |
| 07/09/90 | 581.30 | 859.30 | 3150.00 | 136.00 | 467.00 | 23.10 | 50.70 | 1.67 | 7.23 |
| 11/09/90 | 526.00 | 1098.00 | 6206.00 | 669.00 | 1064.00 | 49.90 | 44.90 | 5.91 | 11.84 |
| 20/09/90 | 489.00 | 1835.00 | 7325.00 | 613.00 | 976.00 | 62.90 | 24.90 | 8.35 | 13.28 |
| 21/09/90 | 655.10 | 2192.00 | 9160.00 | 284.00 | 1227.00 | 68.60 | 73.90 | 12.94 | 18.86 |
| 07/10/90 | 692.00 | 1410.00 | 6666.00 | 1144.00 | 1575.00 | 77.40 | 2.80 | 5.86 | 7.57 |
| 04/11/90 | 599.70 | 636.70 | 1200.00 | 198.00 | 911.00 | 22.10 | 7.80 | 0.56 | 2.53 |
| 07/11/90 | 618.20 | 655.10 | 1003.00 | 209.00 | 857.00 | 16.50 | 22.10 | 0.35 | 2.12 |
| 11/11/90 | 855.10 | 1170.00 | 2128.00 | 78.00 | 533.00 | 39.10 | 49.60 | 1.39 | 3.55 |
| 12/11/90 | 883.20 | 1350.00 | 9638.00 | 306.00 | 1239.00 | 46.90 | 60.80 | 9.67 | 20.62 |
| 16/11/90 | 763.70 | 859.30 | 1620.00 | 148.00 | 567.00 | 20.80 | 58.70 | 0.58 | 2.79 |
| 18/11/90 | 811.50 | 1410.00 | 6804.00 | 130.00 | 414.00 | 18.00 | 24.80 | 2.49 | 13.83 |
| 24/11/90 | 692.00 | 859.30 | 2858.00 | 158.00 | 542.00 | 26.10 | 4.90 | 1.27 | 4.87 |
| 26/11/90 | 739.80 | 787.60 | 1050.00 | 161.00 | 369.00 | 12.00 | 27.20 | 0.19 | 1.58 |
| 02/12/90 | 636.70 | 673.50 | 1074.00 | 199.00 | 687.00 | 18.90 | 0.00 | 0.31 | 1.64 |
| 05/12/90 | 655.10 | 739.80 | 1590.00 | 133.00 | 400.00 | 12.80 | 16.40 | 0.34 | 2.66 |
| 06/12/90 | 673.50 | 715.90 | 1290.00 | 171.00 | 501.00 | 16.30 | 54.90 | 0.35 | 2.15 |
| 10/12/90 | 655.10 | 655.10 | 859.30 | 165.00 | 504.00 | 18.60 | 51.60 | 0.17 | 0.91 |
| 17/04/91 | 167.00 | 198.20 | 341.50 | 313.00 | 1265.00 | 25.60 | 4.30 | 0.20 | 0.78 |
| 23/04/91 | 154.20 | 229.40 | 1003.00 | 308.00 | 1644.00 | 42.60 | 0.30 | 1.01 | 2.37 |
| 24/04/91 | 245.00 | 245.00 | 378.40 | 127.00 | 507.00 | 15.20 | 37.10 | 0.12 | 0.79 |
| 16/06/91 | 260.60 | 378.40 | 1260.00 | 768.00 | 1593.00 | 47.50 | 0.00 | 1.07 | 2.25 |
| 18/06/91 | 359.90 | 1410.00 | 4260.00 | 285.00 | 637.00 | 49.40 | 47.30 | 3.59 | 7.27 |
| 27/06/91 | 489.00 | 1003.00 | 5936.00 | 142.00 | 477.00 | 44.10 | 0.00 | 2.83 | 6.42 |
| 31/07/91 | 396.80 | 452.10 | 978.80 | 318.00 | 677.00 | 35.30 | 20.90 | 0.58 | 1.64 |
| 05/10/91 | 341.50 | 692.00 | 3150.00 | 309.00 | 728.00 | 56.00 | 7.60 | 2.09 | 3.73 |
| 28/10/91 | 307.40 | 341.50 | 1074.00 | 64.00 | 399.00 | 35.90 | 6.60 | 0.39 | 1.09 |
| 08/01/92 | 291.80 | 562.80 | 3702.00 | 354.00 | 877.00 | 46.00 | 0.80 | 3.13 | 6.80 |
| 10/02/92 | 291.80 | 415.20 | 1200.00 | 174.00 | 661.00 | 20.90 | 19.40 | 0.59 | 2.82 |
| 13/03/92 | 276.20 | 323.00 | 655.10 | 222.00 | 512.00 | 16.00 | 5.80 | 0.26 | 1.63 |
| 15/03/92 | 307.40 | 470.60 | 1770.00 | 182.00 | 636.00 | 24.70 | 18.20 | 0.90 | 3.64 |
| 22/03/92 | 307.40 | 323.00 | 470.60 | 108.00 | 543.00 | 16.30 | 0.20 | 0.14 | 0.86 |
| 12/04/92 | 307.40 | 433.70 | 1320.00 | 247.00 | 649.00 | 29.30 | 15.70 | 0.58 | 1.98 |
| 12/05/92 | 452.10 | 787.60 | 4780.00 | 403.00 | 974.00 | 54.40 | 32.40 | 3.58 | 6.58 |
| 16/05/92 | 415.20 | 452.10 | 1003.00 | 190.00 | 1096.00 | 13.40 | 55.90 | 0.42 | 3.13 |
| 14/07/92 | 787.60 | 811.50 | 1290.00 | 180.00 | 1112.00 | 20.00 | 0.12 | 0.58 | 2.90 |
| 30/07/92 | 599.70 | 636.70 | 1320.00 | 24.00 | 990.00 | 20.70 | 7.20 | 0.54 | 2.61 |
| 03/08/92 | 618.20 | 692.00 | 1560.00 | 195.00 | 714.00 | 20.30 | 19.90 | 0.72 | 3.55 |
| 08/08/92 | 739.80 | 931.00 | 3702.00 | 168.00 | 519.00 | 27.40 | 17.30 | 1.94 | 7.08 |
| 10/08/92 | 655.10 | 673.50 | 931.00 | 110.00 | 904.00 | 14.20 | 29.80 | 0.28 | 1.97 |
| 23/08/92 | 562.80 | 599.70 | 2062.00 | 136.00 | 424.00 | 13.80 | 6.00 | 0.66 | 4.78 |
| 31/08/92 | 544.40 | 562.80 | 636.70 | 55.00 | 185.00 | 15.60 | 0.00 | 0.03 | 0.19 |

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 01/09/92 | 544.40 | 562.80 | 1260.00 | 118.00 | 982.00 | 28.80 | 19.50 | 0.68 | 2.36 |
| 11/09/92 | 507.50 | 907.10 | 6048.00 | 243.00 | 685.00 | 51.18 | 3.60 | 4.91 | 9.59 |
| 12/09/92 | 636.70 | 787.60 | 1320.00 | 73.00 | 286.00 | 11.90 | 66.80 | 0.28 | 2.35 |
| 18/09/92 | 562.80 | 599.70 | 1320.00 | 47.00 | 402.00 | 20.10 | 12.00 | 0.39 | 1.94 |
| 24/09/92 | 562.80 | 1230.00 | 7717.00 | 375.00 | 998.00 | 51.20 | 13.50 | 6.93 | 13.54 |
| 28/10/92 | 636.70 | 692.00 | 1350.00 | 55.00 | 317.00 | 16.30 | 69.90 | 0.29 | 1.78 |
| 29/11/92 | 433.70 | 544.40 | 1590.00 | 166.00 | 629.00 | 26.60 | 14.50 | 0.62 | 2.33 |
| 16/12/92 | 323.00 | 378.40 | 1050.00 | 212.00 | 880.00 | 40.00 | 0.00 | 0.60 | 1.50 |
| 08/01/93 | 307.40 | 323.00 | 673.50 | 164.00 | 613.00 | 16.10 | 13.10 | 0.23 | 1.43 |
| 15/01/93 | 307.40 | 618.20 | 5320.00 | 220.00 | 1173.00 | 21.60 | 10.00 | 4.06 | 18.80 |
| 26/01/93 | 433.70 | 859.30 | 5600.00 | 152.00 | 444.00 | 16.40 | 50.80 | 2.06 | 12.56 |
| 30/01/93 | 581.30 | 618.20 | 883.20 | 45.00 | 185.00 | 13.30 | 93.80 | 0.06 | 0.45 |
| 20/02/93 | 245.00 | 276.20 | 692.00 | 599.00 | 1467.00 | 39.30 | 5.50 | 0.48 | 1.22 |
| 06/03/93 | 276.20 | 673.50 | 7227.00 | 930.00 | 1304.00 | 58.20 | 39.90 | 3.81 | 4.15 |
| 08/03/93 | 396.80 | 1050.00 | 4468.00 | 264.00 | 777.00 | 68.20 | 122.00 | 3.74 | 5.19 |
| 24/03/93 | 433.70 | 599.70 | 3745.00 | 144.00 | 498.00 | 34.80 | 8.20 | 1.59 | 4.57 |
| 27/04/93 | 489.00 | 763.70 | 5264.00 | 344.00 | 616.00 | 43.80 | 0.00 | 1.81 | 4.13 |
| 11/05/93 | 323.00 | 307.40 | 9506.00 | 1132.00 | 3867.00 | 95.10 | 31.10 | 7.84 | 7.13 |
| 26/05/93 | 198.20 | 198.20 | 323.00 | 205.00 | 504.00 | 18.90 | 0.30 | 0.08 | 0.42 |
| 30/05/93 | 198.20 | 341.50 | 1835.00 | 692.00 | 974.00 | 30.20 | 11.40 | 0.48 | 1.59 |
| 04/06/93 | 276.20 | 907.10 | 3575.00 | 69.00 | 417.00 | 40.70 | 24.40 | 1.52 | 3.73 |
| 16/06/93 | 526.00 | 636.70 | 1560.00 | 393.00 | 1246.00 | 32.00 | 4.60 | 1.06 | 3.31 |
| 10/07/93 | 636.70 | 1027.00 | 7472.00 | 796.00 | 1646.00 | 57.10 | 21.20 | 8.31 | 14.55 |
| 17/07/93 | 655.10 | 692.00 | 931.00 | 323.00 | 565.00 | 14.50 | 0.00 | 0.17 | 1.17 |
| 18/09/93 | 359.90 | 396.80 | 562.80 | 88.00 | 524.00 | 15.00 | 5.70 | 0.14 | 0.93 |
| 20/09/93 | 396.80 | 415.20 | 1590.00 | 61.00 | 755.00 | 37.00 | 23.00 | 0.88 | 2.38 |
| 30/09/93 | 359.90 | 396.80 | 2225.00 | 176.00 | 994.00 | 14.20 | 27.30 | 0.84 | 5.92 |
| 02/10/93 | 378.40 | 452.10 | 526.00 | 126.00 | 280.00 | 10.20 | 33.50 | 0.03 | 0.29 |
| 04/10/93 | 396.80 | 433.70 | 2639.00 | 145.00 | 644.00 | 21.90 | 41.80 | 0.93 | 4.25 |
| 13/10/93 | 396.80 | 396.80 | 507.50 | 41.00 | 144.00 | 13.00 | 0.00 | 0.03 | 0.23 |
| 17/10/93 | 291.80 | 636.70 | 6666.00 | 93.00 | 781.00 | 64.70 | 17.06 | 4.49 | 6.94 |
| 01/11/93 | 489.00 | 739.80 | 1200.00 | 116.00 | 364.00 | 30.30 | 1.00 | 0.45 | 1.49 |
| 12/11/93 | 526.00 | 470.60 | 673.50 | 111.00 | 223.00 | 16.60 | 0.00 | 0.07 | 0.17 |
| 13/11/93 | 470.60 | 526.00 | 1074.00 | 1030.00 | 1794.00 | 41.50 | 17.60 | 0.60 | 2.08 |
| 15/11/93 | 1230.00 | 1003.00 | 5320.00 | 120.00 | 441.00 | 28.80 | 74.40 | 1.92 | 6.67 |
| 23/01/94 | 544.40 | 763.70 | 2355.00 | 93.00 | 513.00 | 26.90 | 0.00 | 0.97 | 3.61 |
| 24/01/94 | 618.20 | 655.10 | 954.90 | 275.00 | 765.00 | 27.30 | 46.20 | 0.27 | 0.99 |
| 05/02/94 | 415.20 | 452.10 | 811.50 | 212.00 | 721.00 | 22.40 | 98.20 | 0.28 | 1.25 |
| 12/02/94 | 452.10 | 581.30 | 1074.00 | 36.00 | 134.00 | 12.30 | 25.60 | 0.13 | 1.06 |
| 14/02/94 | 489.00 | 1027.00 | 6666.00 | 345.00 | 1069.00 | 54.60 | 83.10 | 5.75 | 10.53 |
| 17/02/94 | 618.20 | 2062.00 | 12600.00 | 274.00 | 842.00 | 74.50 | 100.60 | 10.44 | 14.01 |
| 21/04/94 | 341.50 | 489.00 | 1146.00 | 920.00 | 1425.00 | 43.70 | 11.00 | 1.25 | 2.86 |
| 24/04/94 | 359.90 | 692.00 | 3004.00 | 588.00 | 1661.00 | 46.00 | 54.50 | 3.43 | 7.46 |
| 26/04/94 | 599.70 | 1320.00 | 9720.00 | 116.00 | 903.00 | 36.70 | 60.50 | 10.88 | 29.65 |
| Média | 460.71 | 682.68 | 2866.91 | 276.88 | 807.52 | 32.11 | 27.87 | 1.98 | 4.88 |
| Desvio Padrão | 188.69 | 377.28 | 2662.51 | 253.05 | 491.31 | 17.34 | 27.42 | 2.65 | 5.08 |
| Máximo | 1230.00 | 2192.00 | 12600.00 | 1144.00 | 3867.00 | 95.10 | 122.00 | 12.94 | 29.65 |
| Mínimo | 128.70 | 154.20 | 323.00 | 24.00 | 134.00 | 10.20 | 0.00 | 0.03 | 0.17 |

Tabela A.6 – Eventos da bacia do Turcato (Período de Plantio Direto)

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|----------|
| 04/05/94 | 673.50 | 1230.00 | 9622.00 | 223.00 | 681.00 | 50.90 | 0.00 | 6.92 | 13.60 |
| 09/05/94 | 715.90 | 1098.00 | 2822.00 | 182.00 | 658.00 | 31.80 | 0.00 | 1.90 | 5.97 |
| 25/05/94 | 655.10 | 907.10 | 3745.00 | 124.00 | 529.00 | 28.50 | 26.40 | 1.86 | 6.53 |
| 27/05/94 | 763.70 | 859.30 | 1500.00 | 89.00 | 336.00 | 11.90 | 45.90 | 0.33 | 2.77 |
| 31/05/94 | 673.50 | 1230.00 | 6666.00 | 281.00 | 923.00 | 51.30 | 35.70 | 6.39 | 12.46 |
| 03/06/94 | 835.40 | 978.80 | 2192.00 | 328.00 | 681.00 | 17.20 | 13.40 | 0.87 | 5.06 |
| 06/06/94 | 811.50 | 1230.00 | 7864.00 | 364.00 | 1171.00 | 37.40 | 18.40 | 5.76 | 15.40 |
| 18/06/94 | 787.60 | 1770.00 | 9308.00 | 1296.00 | 1788.00 | 64.00 | 4.20 | 10.72 | 16.75 |
| 01/07/94 | 811.50 | 1380.00 | 5208.00 | 773.00 | 1194.00 | 48.10 | 0.00 | 5.91 | 12.29 |
| 05/07/94 | 907.10 | 1998.00 | 7423.00 | 581.00 | 2515.00 | 74.60 | 68.50 | 14.27 | 19.13 |
| 22/07/94 | 1260.00 | 1290.00 | 3040.00 | 251.00 | 994.00 | 30.60 | 0.00 | 1.68 | 5.49 |
| 29/07/94 | 1122.00 | 1122.00 | 1740.00 | 876.00 | 1155.00 | 16.30 | 0.00 | 0.62 | 3.80 |
| 02/08/94 | 1050.00 | 1050.00 | 1590.00 | 302.00 | 667.00 | 10.80 | 14.60 | 0.48 | 4.44 |
| 09/08/94 | 978.80 | 1230.00 | 2858.00 | 326.00 | 665.00 | 26.10 | 1.30 | 1.65 | 6.32 |
| 15/08/94 | 931.00 | 954.90 | 1350.00 | 185.00 | 590.00 | 8.10 | 0.00 | 0.26 | 3.21 |
| 07/09/94 | 618.20 | 692.00 | 978.80 | 280.00 | 476.00 | 10.80 | 1.70 | 0.17 | 1.57 |
| 13/09/94 | 715.90 | 1074.00 | 5600.00 | 979.00 | 5205.00 | 94.00 | 8.30 | 11.77 | 12.52 |
| 01/10/94 | 692.00 | 907.10 | 6344.00 | 244.00 | 823.00 | 58.00 | 8.00 | 4.89 | 8.43 |
| 03/10/94 | 673.50 | 811.50 | 3660.00 | 60.00 | 438.00 | 11.40 | 70.00 | 1.07 | 9.39 |
| 13/10/94 | 673.50 | 1230.00 | 6104.00 | 128.00 | 733.00 | 59.90 | 12.90 | 3.95 | 6.59 |
| 18/10/94 | 715.90 | 1380.00 | 7668.00 | 144.00 | 507.00 | 28.20 | 58.20 | 3.53 | 12.52 |
| 19/10/94 | 978.80 | 1350.00 | 3040.00 | 244.00 | 734.00 | 30.60 | 41.90 | 2.07 | 6.76 |
| 22/10/94 | 931.00 | 1900.00 | 9143.00 | 73.00 | 332.00 | 31.40 | 77.10 | 3.38 | 10.76 |
| 23/10/94 | 1098.00 | 1500.00 | 3490.00 | 107.00 | 1226.00 | 43.60 | 55.40 | 3.79 | 8.69 |
| 31/10/94 | 1027.00 | 1440.00 | 4520.00 | 321.00 | 550.00 | 21.30 | 0.00 | 1.35 | 6.34 |
| 12/11/94 | 954.90 | 1003.00 | 1710.00 | 211.00 | 617.00 | 14.20 | 9.70 | 0.52 | 3.66 |
| 15/11/94 | 907.10 | 978.80 | 1590.00 | 165.00 | 483.00 | 10.80 | 19.50 | 0.30 | 2.78 |
| 17/11/94 | 907.10 | 1290.00 | 5712.00 | 129.00 | 420.00 | 25.10 | 32.90 | 2.07 | 8.25 |
| 15/12/94 | 489.00 | 526.00 | 655.10 | 95.00 | 355.00 | 7.00 | 0.00 | 0.07 | 1.00 |
| 16/12/94 | 507.50 | 581.30 | 1900.00 | 145.00 | 633.00 | 9.60 | 10.70 | 0.70 | 7.29 |
| 21/12/94 | 507.50 | 1027.00 | 9688.00 | 75.00 | 726.00 | 41.80 | 29.60 | 7.77 | 18.59 |
| 27/12/94 | 655.10 | 655.10 | 1802.00 | 132.00 | 462.00 | 22.50 | 0.40 | 0.61 | 2.71 |
| 03/01/95 | 907.10 | 1170.00 | 4208.00 | 41.00 | 203.00 | 23.10 | 41.00 | 0.81 | 3.51 |
| 05/01/95 | 954.90 | 1200.00 | 4260.00 | 54.00 | 264.00 | 18.00 | 19.00 | 1.12 | 6.22 |
| 09/01/95 | 763.70 | 1835.00 | 9754.00 | 606.00 | 1649.00 | 117.60 | 33.00 | 26.46 | 22.50 |
| 15/01/95 | 1098.00 | 1290.00 | 3788.00 | 155.00 | 430.00 | 19.30 | 17.70 | 1.18 | 6.11 |
| 27/01/95 | 787.60 | 835.40 | 1470.00 | 158.00 | 555.00 | 17.60 | 0.00 | 0.29 | 1.65 |
| 05/02/95 | 673.50 | 692.00 | 1003.00 | 93.00 | 699.00 | 9.80 | 6.20 | 0.21 | 2.14 |
| 06/05/95 | 307.40 | 341.50 | 787.60 | 189.00 | 814.00 | 26.60 | 0.00 | 0.40 | 1.50 |
| 10/06/95 | 245.00 | 307.40 | 883.20 | 282.00 | 989.00 | 30.50 | 13.20 | 0.82 | 2.69 |
| 25/06/95 | 307.40 | 1074.00 | 6666.00 | 180.00 | 532.00 | 20.70 | 26.00 | 3.35 | 16.18 |
| 19/07/95 | 307.40 | 452.10 | 1740.00 | 127.00 | 459.00 | 27.90 | 29.70 | 0.90 | 3.23 |
| 28/07/95 | 307.40 | 307.40 | 636.70 | 140.00 | 564.00 | 21.40 | 0.00 | 0.27 | 1.26 |
| 23/09/95 | 243.40 | 250.30 | 479.80 | 139.00 | 307.00 | 12.00 | 22.50 | 0.14 | 1.17 |
| 26/09/95 | 266.50 | 273.20 | 642.60 | 152.00 | 368.00 | 19.40 | 28.30 | 0.27 | 1.39 |
| 04/10/95 | 265.60 | 568.40 | 1757.00 | 1145.00 | 1878.00 | 51.70 | 46.60 | 2.21 | 4.27 |
| 07/10/95 | 260.60 | 655.10 | 4416.00 | 286.00 | 673.00 | 37.00 | 86.90 | 2.81 | 7.59 |
| 25/07/98 | 968.80 | 743.60 | 2198.00 | 257.00 | 615.00 | 18.10 | 33.10 | 1.17 | 6.46 |
| 28/07/98 | 666.80 | 705.20 | 1698.00 | 172.00 | 484.00 | 17.90 | 14.60 | 0.88 | 4.92 |
| 31/07/98 | 647.60 | 743.60 | 4116.00 | 659.00 | 3732.00 | 54.30 | 17.10 | 8.50 | 15.65 |
| 26/08/98 | 1043.00 | 1372.00 | 3892.00 | 303.00 | 2154.00 | 27.10 | 5.50 | 4.70 | 17.34 |
| 06/09/98 | 1006.00 | 1481.00 | 3967.00 | 1005.00 | 1656.00 | 47.70 | 9.20 | 5.61 | 11.76 |
| 12/09/98 | 1006.00 | 1336.00 | 10060.00 | 950.00 | 1748.00 | 21.90 | 0.00 | 6.01 | 27.44 |
| 26/09/98 | 724.40 | 1226.00 | 5249.00 | 797.00 | 1287.00 | 16.80 | 0.00 | 2.79 | 16.61 |
| 02/10/98 | 705.20 | 1006.00 | 1913.00 | 36.00 | 383.00 | 10.20 | 10.00 | 0.53 | 5.20 |
| 4/10/98 | 666.80 | 1805.00 | 8489.00 | 235.00 | 507.00 | 46.10 | 14.40 | 5.11 | 11.08 |
| 10/10/98 | 628.40 | 743.60 | 1734.00 | 82.00 | 470.00 | 30.70 | 0.00 | 1.01 | 3.29 |
| 23/10/98 | 590.00 | 666.80 | 1662.00 | 120.00 | 749.00 | 27.60 | 0.00 | 0.77 | 2.79 |
| 25/10/98 | 628.40 | 724.40 | 2519.00 | 247.00 | 1102.00 | 27.90 | 28.60 | 1.69 | 6.06 |
| 07/11/98 | 590.00 | 551.60 | 1006.00 | 21.00 | 662.00 | 15.90 | 2.20 | 0.20 | 1.26 |
| 16/02/99 | 302.00 | 325.00 | 2875.00 | 58.00 | 485.00 | 24.30 | 24.20 | 0.94 | 3.87 |
| 26/05/99 | 186.80 | 724.40 | 1841.17 | 1020.00 | 1340.00 | 49.30 | 2.00 | 1.59 | 3.23 |
| 28/05/99 | 378.80 | 743.60 | 7547.70 | 1090.00 | 1960.00 | 30.50 | 40.70 | 4.72 | 15.48 |
| 09/06/99 | 398.00 | 743.60 | 3451.72 | 760.00 | 1850.00 | 64.30 | 0.60 | 6.24 | 9.70 |
| 12/06/99 | 570.80 | 724.90 | 1553.40 | 170.00 | 450.00 | 15.90 | 50.30 | 0.54 | 3.40 |

| Data | Q _{ini} (l/s) | Q _{final} (l/s) | Q _p (l/s) | t _{pi} (min) | t _b (min) | P _{total} (mm) | IPA - 5d (mm) | Q _{esc} (mm) | C (%) |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 02/07/99 | 590.00 | 743.60 | 2625.70 | 350.00 | 1760.00 | 40.80 | 0.10 | 3.32 | 8.14 |
| 06/07/99 | 590.00 | 724.40 | 1335.90 | 890.00 | 1160.00 | 22.70 | 45.10 | 0.73 | 3.22 |
| 30/07/99 | 743.60 | 743.60 | 1189.80 | 90.00 | 370.00 | 21.00 | 0.00 | 0.35 | 1.67 |
| Média | 696.40 | 977.99 | 3734.53 | 334.88 | 949.63 | 31.05 | 19.60 | 3.03 | 7.66 |
| Desvio Padrão | 258.55 | 409.63 | 2751.03 | 324.42 | 816.59 | 20.60 | 21.59 | 4.16 | 5.86 |
| Máximo | 1260.00 | 1998.00 | 10060.00 | 1296.00 | 5205.00 | 117.60 | 86.90 | 26.46 | 27.44 |
| Mínimo | 186.80 | 250.30 | 479.80 | 21.00 | 203.00 | 7.00 | 0.00 | 0.07 | 1.00 |

Anexo 5 – Curvas de permanência das bacias embutidas do rio Potiribu

A Figura A.13 mostra as curvas de permanência da bacia do Anfiteatro nos diferentes períodos de dados, adotando a vazão adimensionalizada pela média de cada período. Pela figura, concluímos que o período de plantio direto foi mais seco, em termos de vazão, do que o convencional.

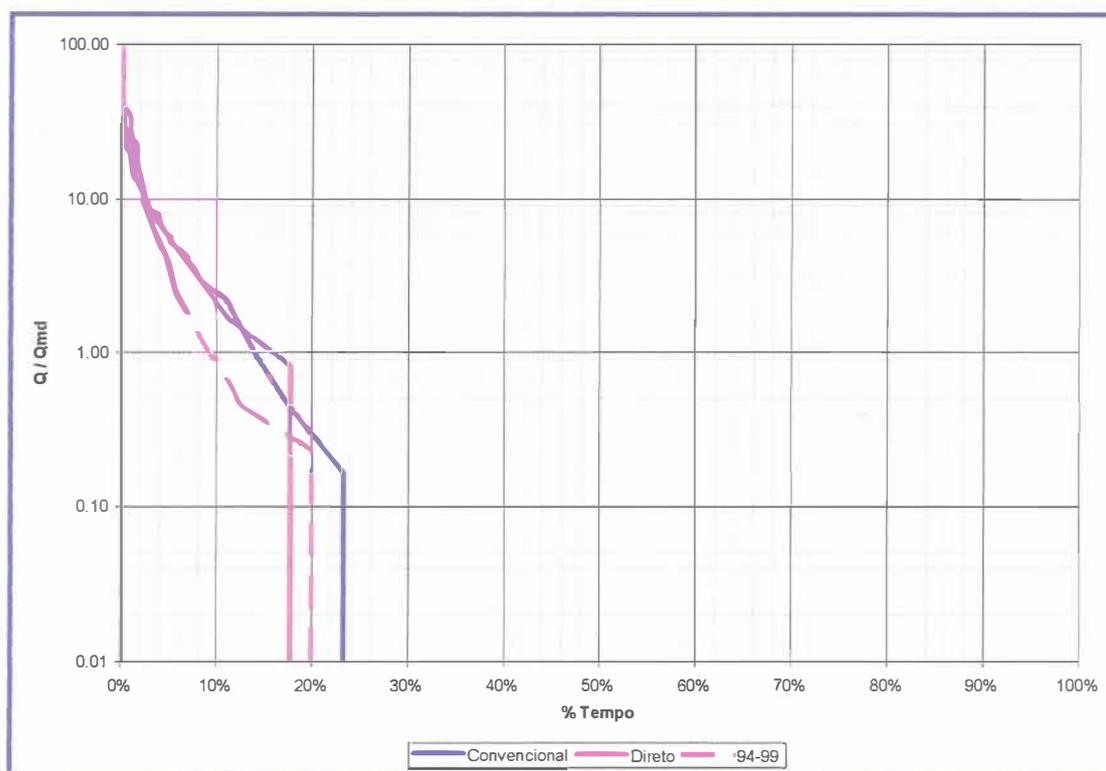


Figura A.13. Curvas de permanência (Q/Qmd) da bacia do Anfiteatro

A Figura A.14 apresenta as curvas de permanência da bacia do Donato nos diferentes períodos de dados, adotando a vazão adimensionalizada pela média de cada período. Na figura, notamos que a curva no período convencional foi capaz de regularizar melhor a vazão do que a curva do período direto.

A Figura A.15 mostra as curvas de permanência da bacia do Turcato nos diferentes períodos de dados, adotando a vazão adimensionalizada pela média de cada período. Observa-se, na figura, que as curvas de permanência dessa bacias nos dois períodos são parecidas, ao contrário das bacias anteriores.

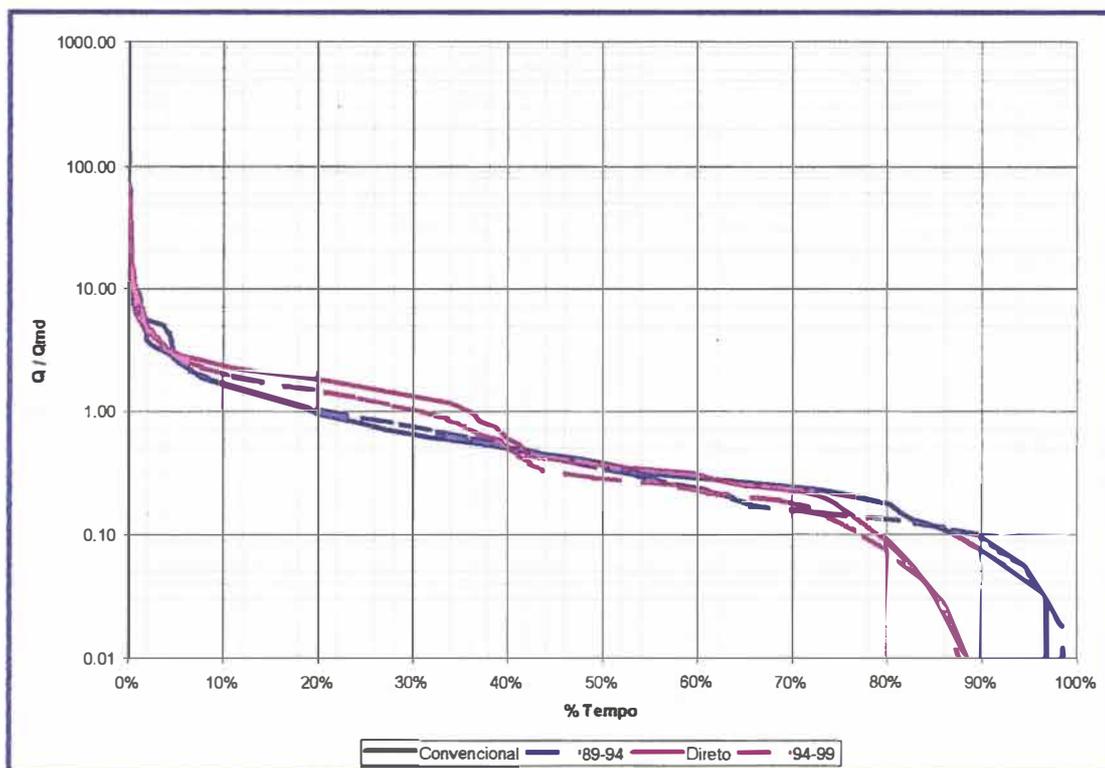


Figura A.14. Curvas de permanência (Q/Q_{md}) da bacia do Donato

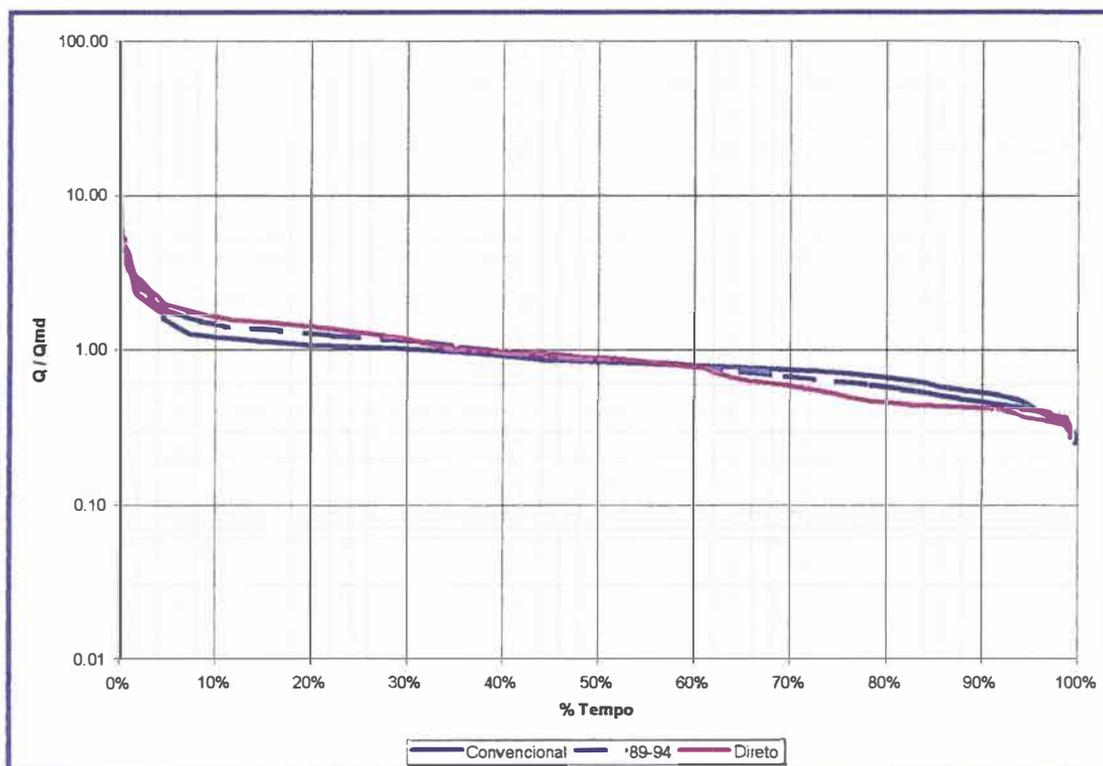


Figura A.15. Curvas de permanência (Q/Q_{md}) da bacia do Turcato

A Figura A.16, Figura A.17 e a Figura A.18 mostram as curvas de permanência das bacias embutidas do Potiribu, adotando as vazões específicas de cada bacia em cada cenário.

A Figura A.16 e a Figura A.17 mostram que no período de plantio direto as vazões específicas das bacias do Anfiteatro e do Donato foram menores que as correspondentes no período de plantio convencional.

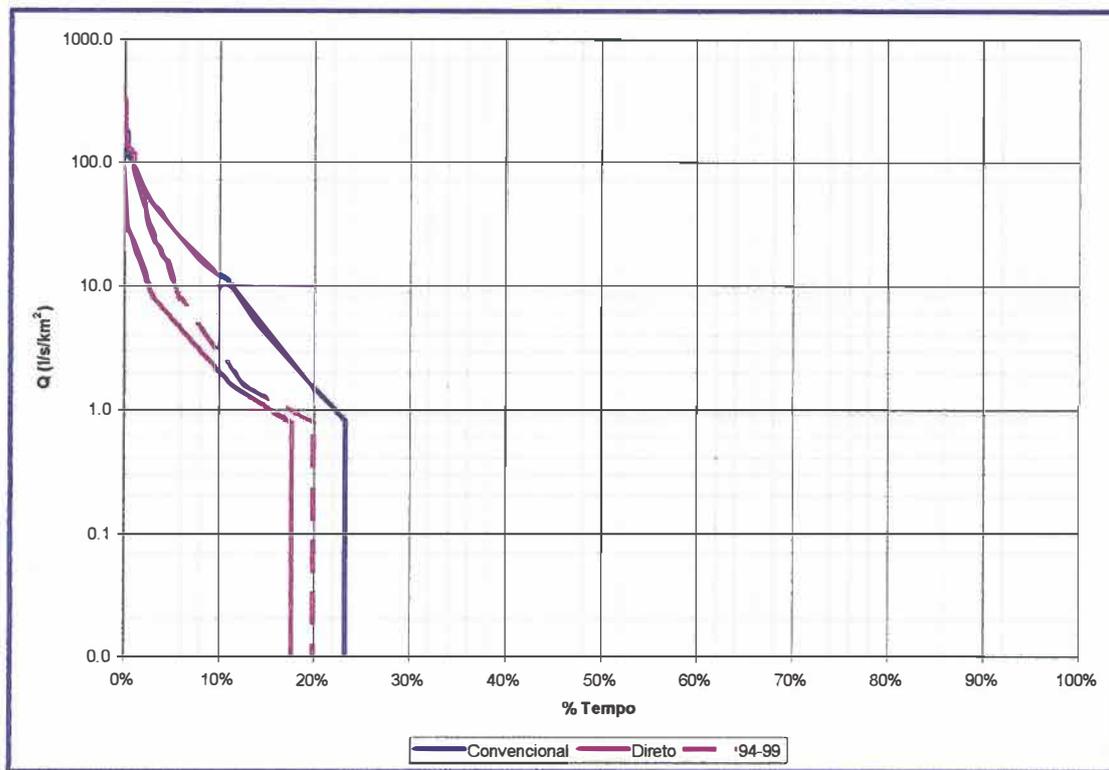


Figura A.16. Curvas de permanência (vazão específica) da bacia do Anfiteatro

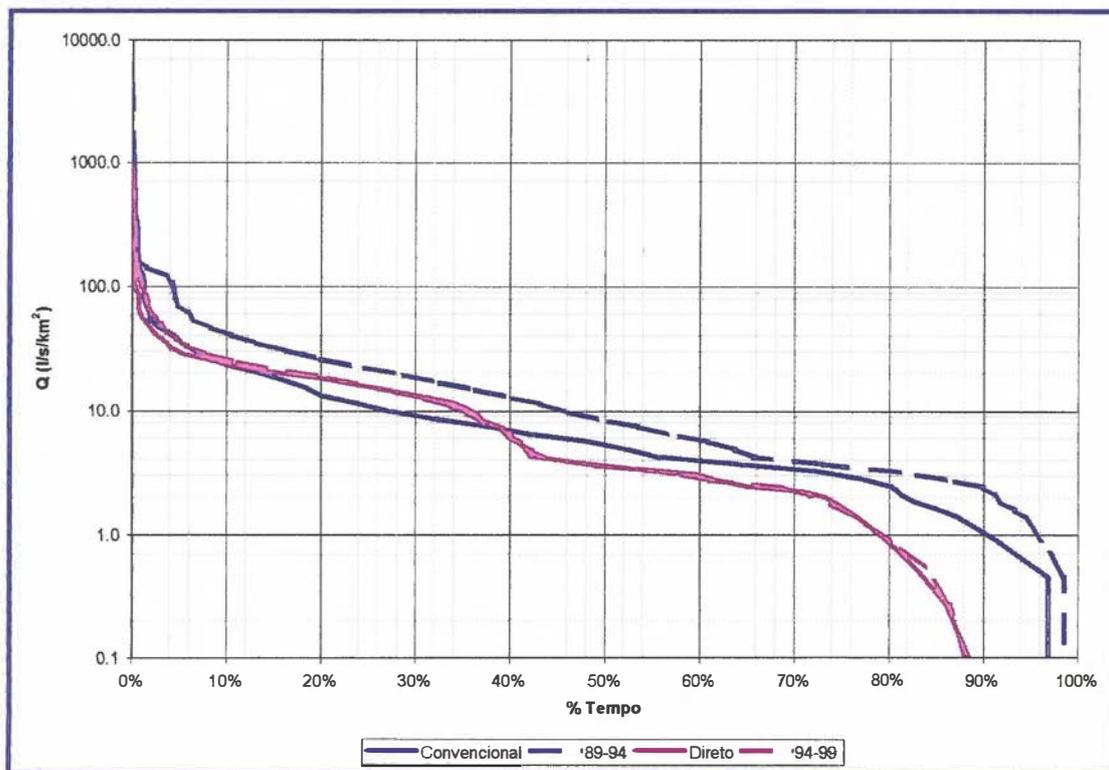


Figura A.17. Curvas de permanência (vazão específica) da bacia do Donato

A Figura A.18 mostra que na bacia do Turcato, ao contrário das bacias do Anfiteatro e do Donato, as vazões específicas no período de plantio direto foram maiores que as do período convencional.

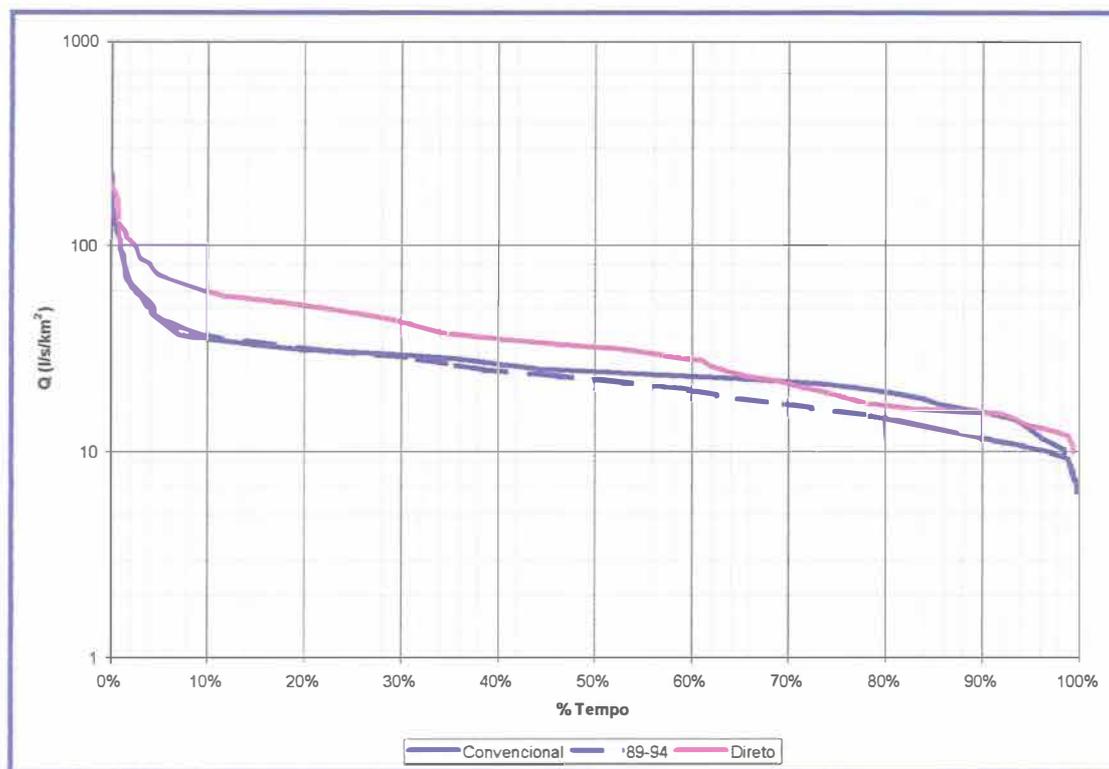


Figura A.18. Curvas de permanência (vazão específica) da bacia do Turcato

Anexo 6 – Curvas de permanência das bacias região do rio Ijuí

A Figura A.19 compara as curvas de permanência das bacias embutidas do Potiribu com as das bacias da região do Ijuí no período convencional (01/89 a 04/93), adotando a vazão adimensionalizada pela média das vazões no período, usando valores diários. Na figura, observamos um ponto comum para a maioria das bacias (com exceção das duas menores: Donato e Anfiteatro), que indica que, em 22% do tempo, as vazões são maiores que 1,20 vezes a vazão média da bacia no período, ou seja $Q/Q_{md} \geq 1,20$ em 22% do tempo. O estudo desse ponto será abordado no item 7.5. Outra observação é que a bacia do Turcato foi a que melhor regularizou as vazões no período, pois sua curva de permanência foi a que menos se afastou da média.

A Figura A.20 apresenta a comparação das curvas de permanência das bacias embutidas do Potiribu com as das bacias da região do Ijuí no período de plantio direto (05/93 a 12/98). Na figura, verificamos que o ponto comum à maioria das bacias (com exceção do Turcato e do Anfiteatro) mudou em relação ponto do período anterior. O novo ponto indica que, em 12% do tempo, as vazões são maiores que 1,84 vezes a vazão média da bacia no período, ou seja $Q/Q_{md} \geq 1,84$ em 12% do tempo. Essa mudança será abordado no item 7.4. Como no período anterior, a bacia do Turcato foi a que melhor regularizou as vazões no período. Vale ressaltar que a bacia do Turcato apresenta um período grande de falha, de forma que não é estranho que a sua curva de permanência não passe pelo ponto comum das outras bacias.

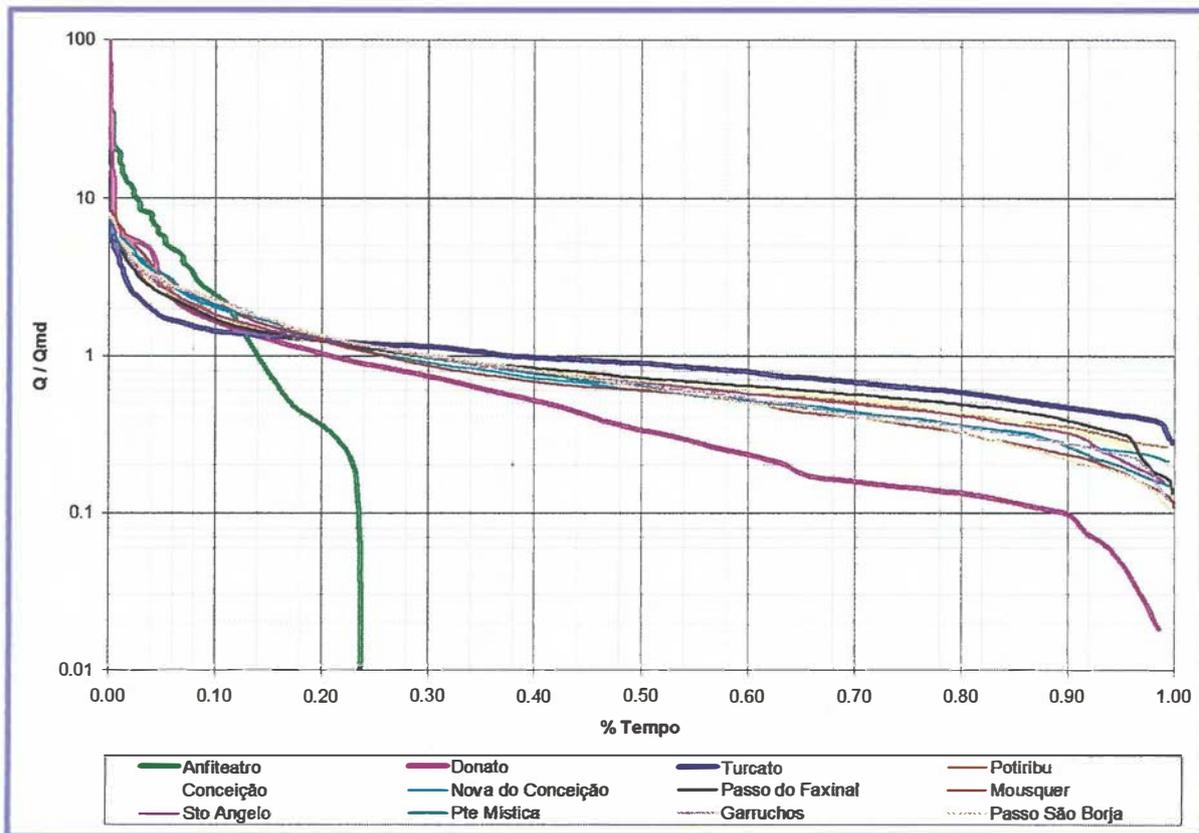


Figura A.19. Curvas de permanência (Q/Q_{md}) das bacias da região do Ijuí (convencional)

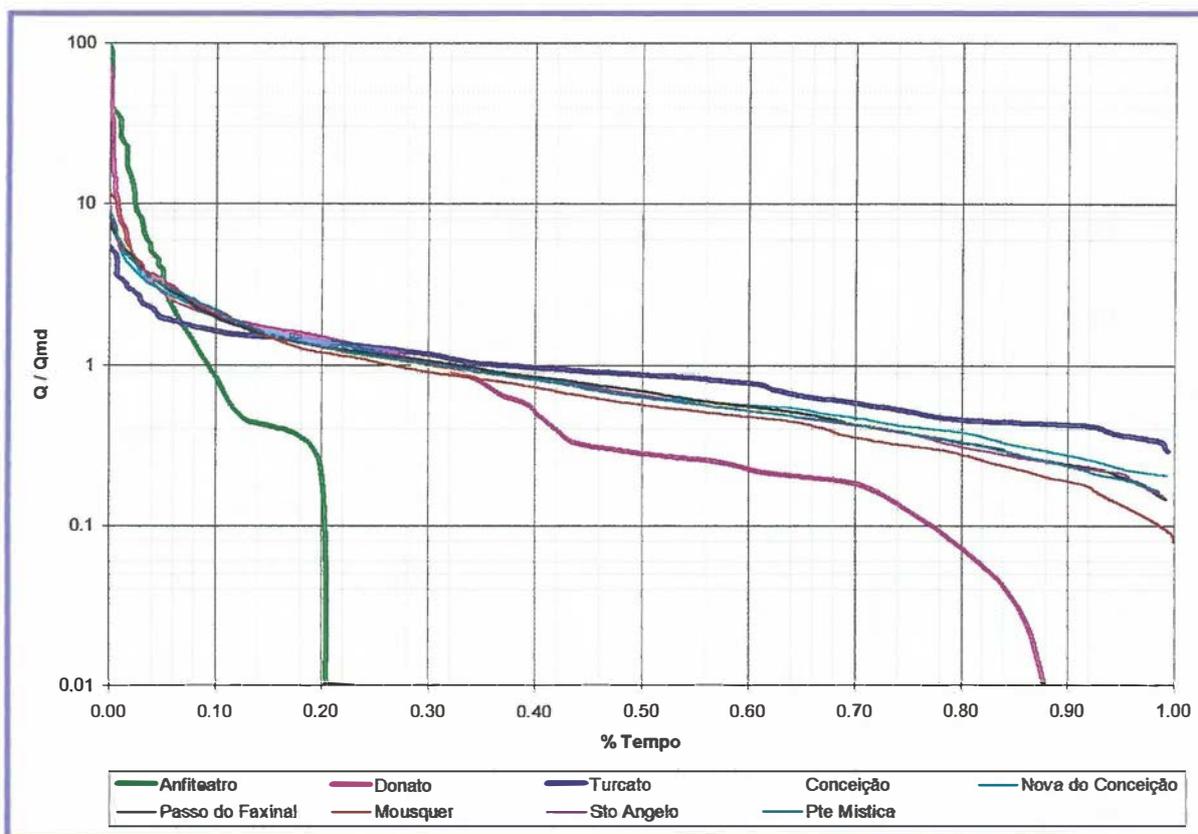


Figura A.20. Curvas de permanência (Q/Q_{md}) das bacias da região do Ijuí (direto)

A Figura A.21 e a Figura A.22 mostram as curvas de permanência adotando a vazão específica das bacias nos dois períodos. As figuras mostram que a bacia do Turcato apresenta os maiores valores de vazão específica nos períodos de estiagem em ambos os períodos, sendo que no período de plantio direto, apresentou os maiores valores na quase totalidade do tempo. As curvas não apresentam pontos em comum, porém, as curvas das bacias da região do Ijuí apresentam valores próximos e comportamento similar, principalmente no período de plantio direto.

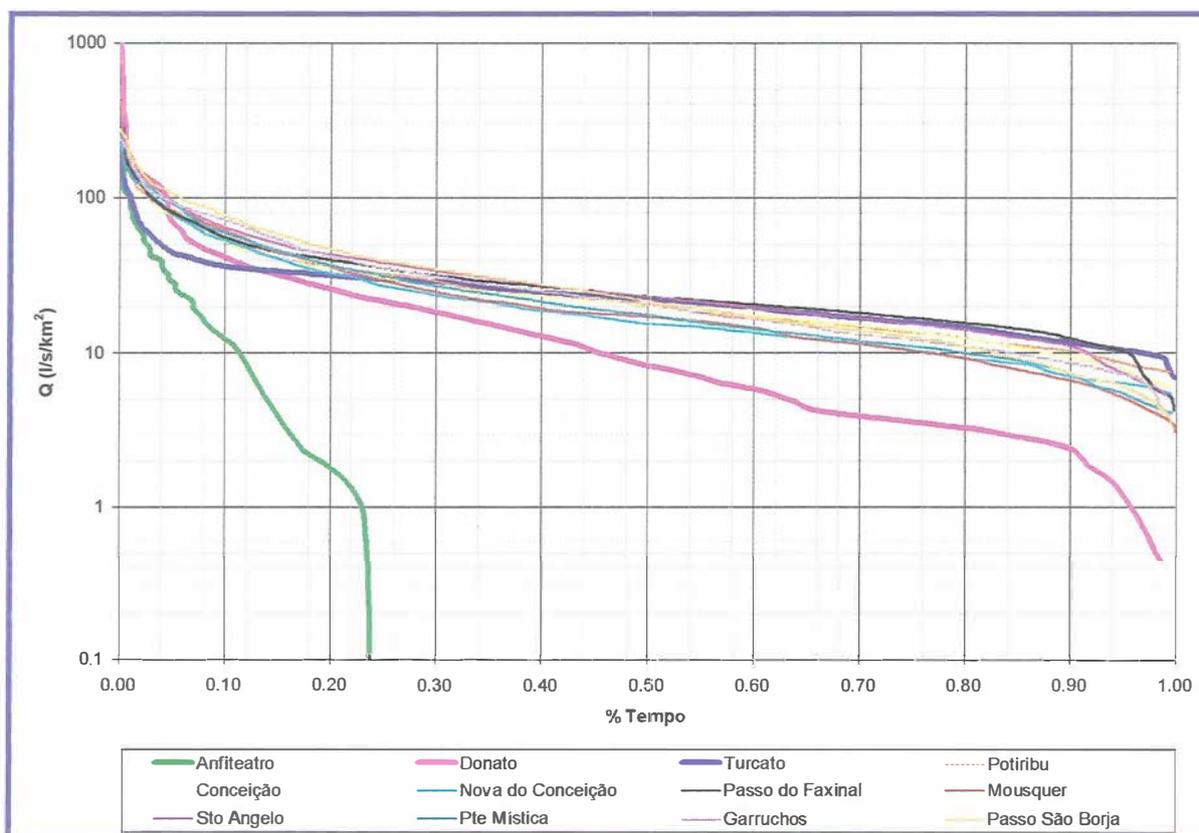


Figura A.21. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias da região do Ijuí (convencional)

A Figura A.23 e a Figura A.24 apresentam as curvas de permanência das bacias da região do Ijuí nos dois períodos, adotando a vazão adimensionalizada pela média. Observamos que o período de maio de 1994 a dezembro de 1998 apresenta a estação mais seca e a mais úmida dos períodos estudados, o que resultou em curvas de permanência mais afastadas da vazão média, ou seja, com menos regularização da vazão.

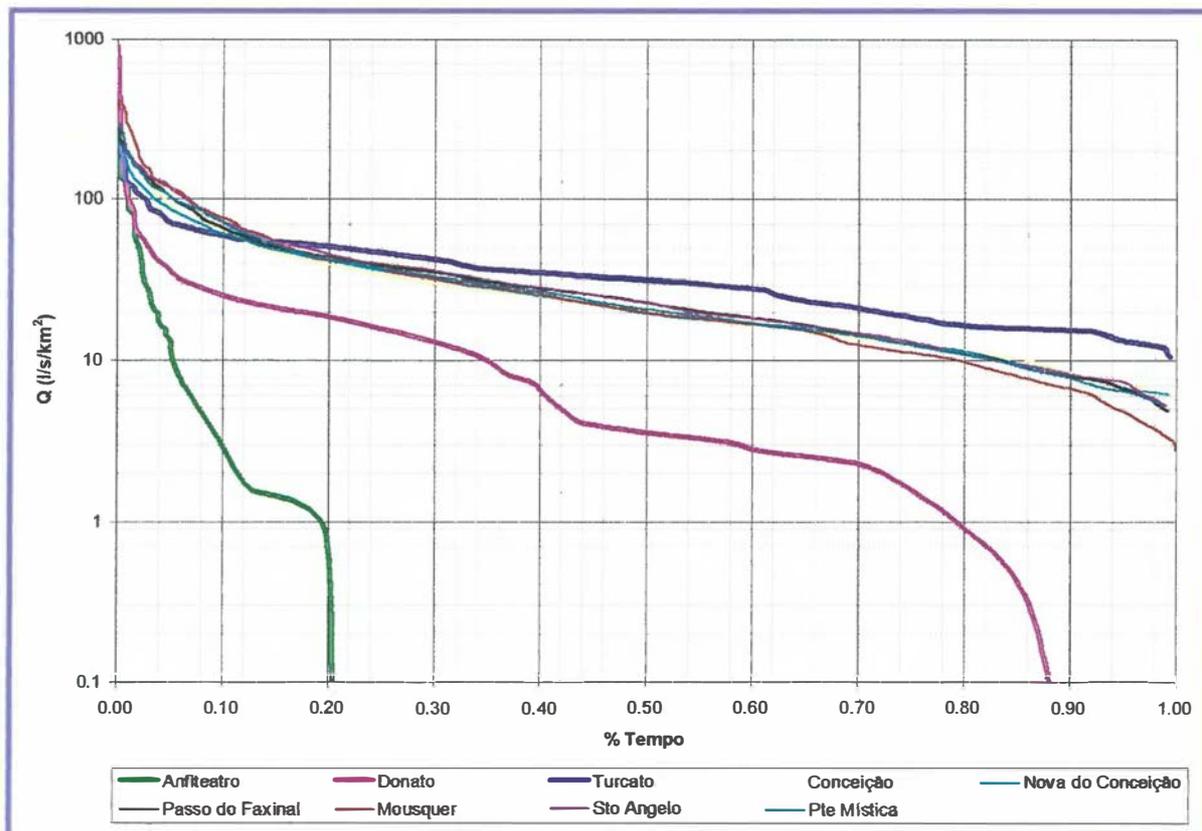


Figura A.22. Curvas de permanência (vazão específica) das bacias da região do Ijuí (direto)

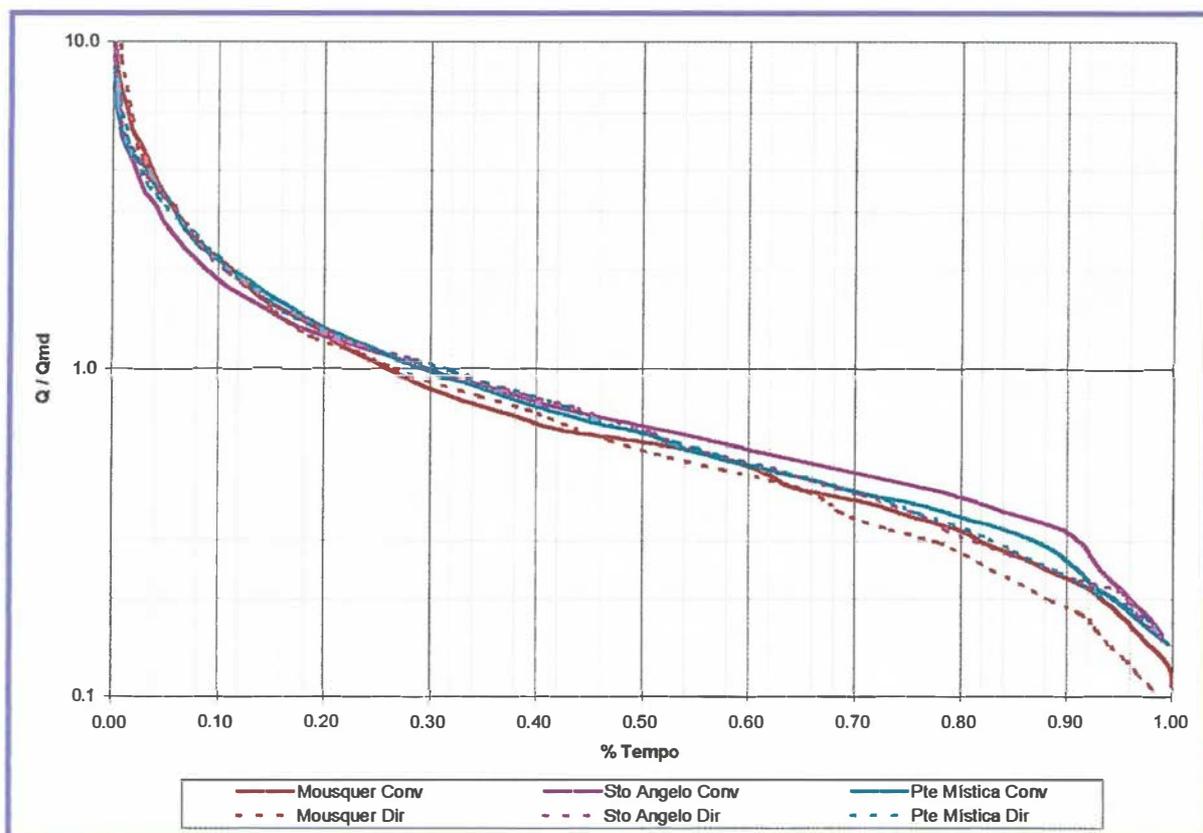


Figura A.23. Comparação das curvas de permanência (Q/Q_{md}) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (a)

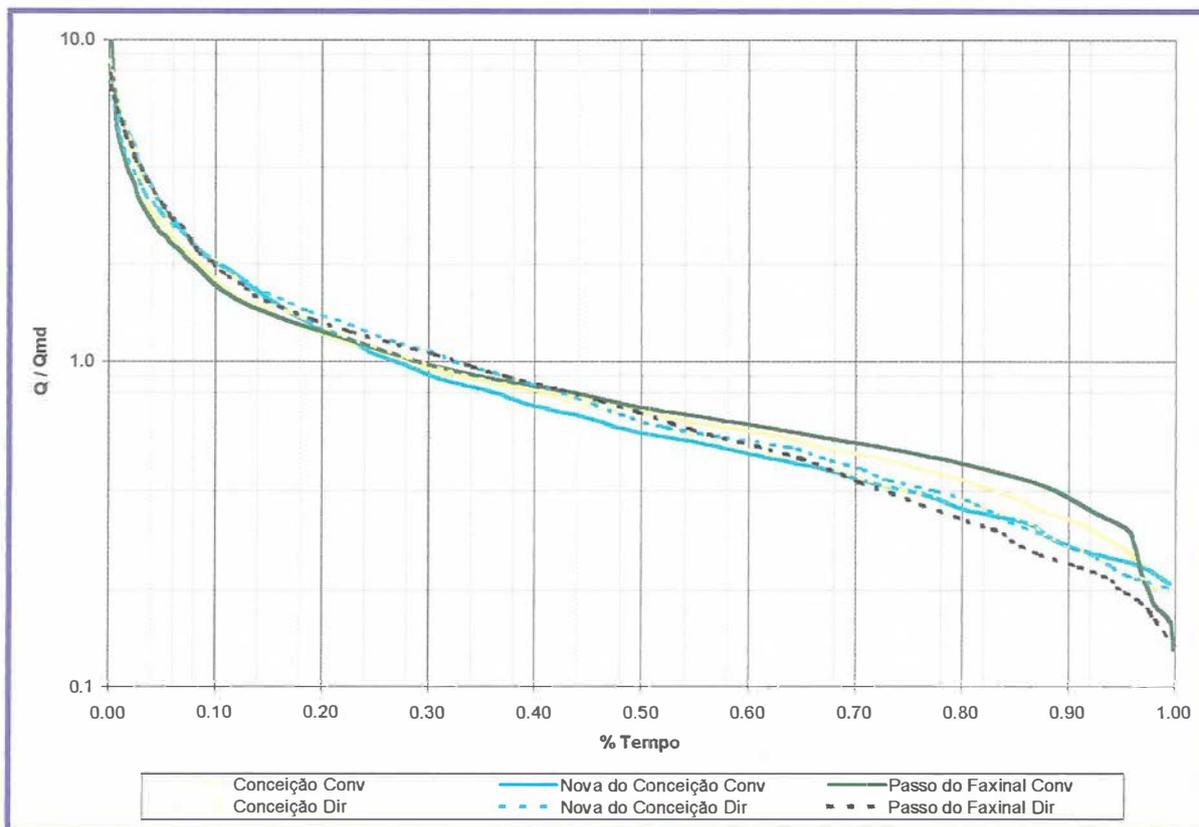


Figura A.24. Comparação das curvas de permanência (Q/Q_{md}) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (b)

A Figura A.25 e a Figura A.26 apresentam as curvas de permanência das bacias da região do Ijuí nos dois períodos, adotando a vazão específica. Com exceção das bacias do Ponte mística e do Nova do Conceição, as vazões específicas das estações secas do período de plantio convencional foram maiores que as vazões correspondentes do período de plantio direto.

Pelo exposto neste item concluímos que:

- A bacia do Turcato apresenta a melhor regularização e maior vazão específica das bacias estudadas na região do rio Ijuí;
- o período de plantio direto foi mais seco em termos de vazão para a maioria das bacias da região do rio Ijuí.
- As vazões das bacias se aproximam da média para a permanência de 30% (Figura A.19 e Figura A.20), com exceção do Anfiteatro, o que deixa claro que bacias nessa escala (12,5 ha) não são capazes de regularizar suas vazões.

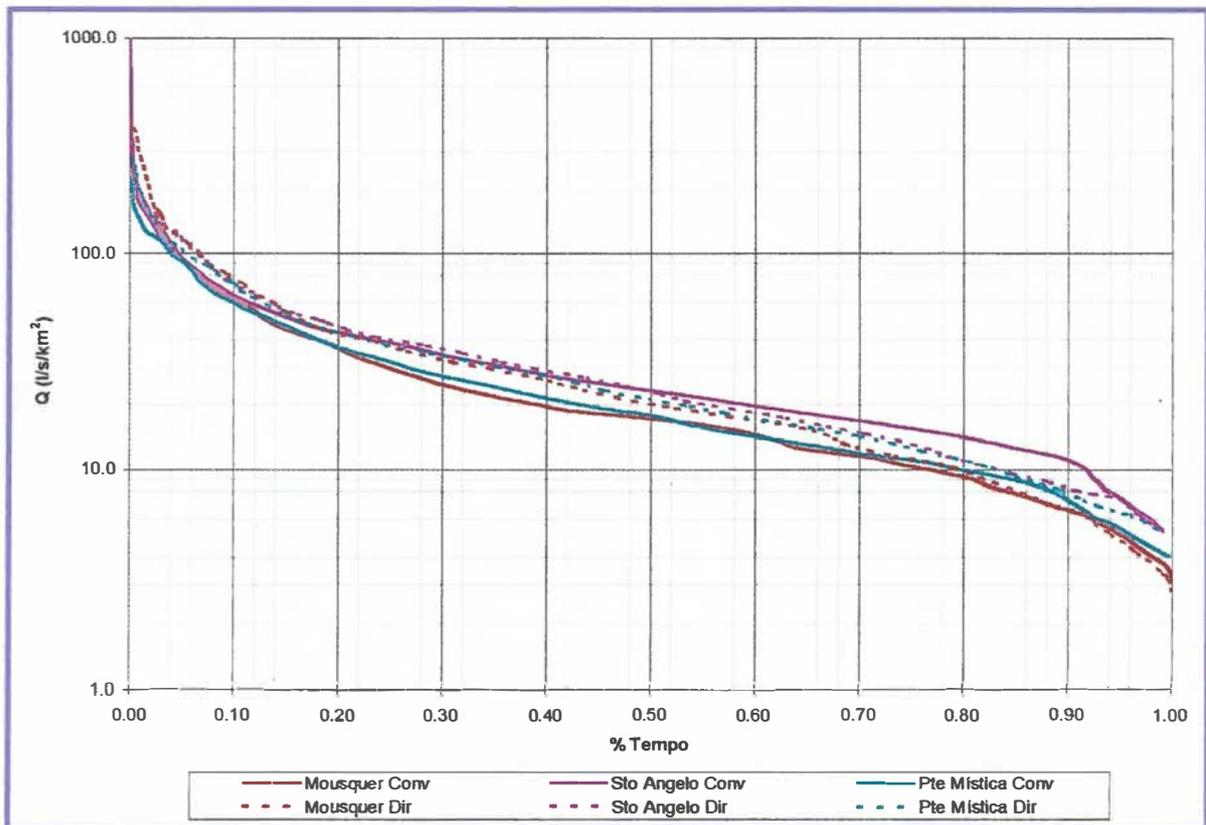


Figura A.25. Comparação das curvas de permanência (vazão específica) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (a)

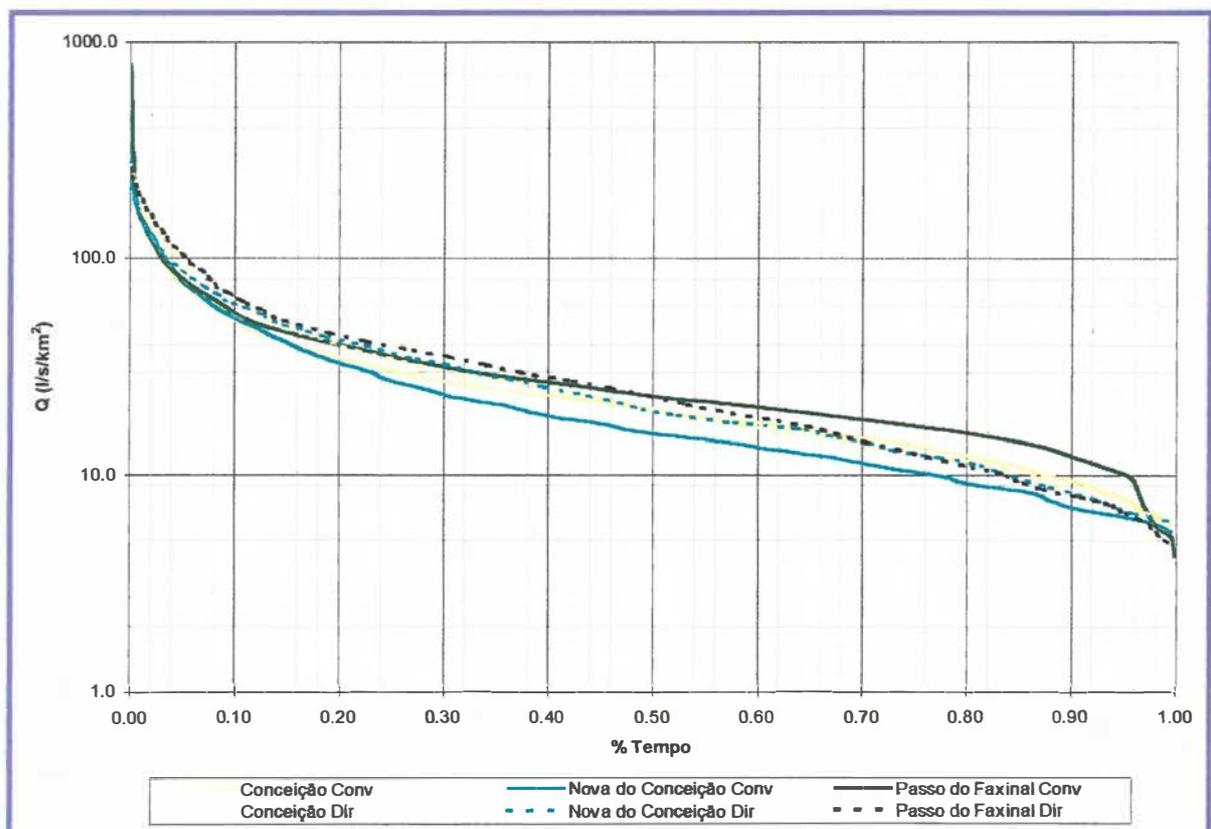


Figura A.26. Comparação das curvas de permanência (vazão específicas) das bacias da região do Ijuí nos dois períodos (b)