UFSM

Dissertação de Mestrado

REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE UM MODELO CHUVA-VAZÃO PARA ESTIMATIVA DE VAZÕES EM BACIAS SEM MONITORAMENTO SISTEMÁTICO

Janice Vendruscolo

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2005

REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE UM MODELO CHUVA-VAZÃO PARA ESTIMATIVA DE VAZÕES EM BACIAS SEM MONITORAMENTO SISTEMÁTICO

---

por

Janice Vendruscolo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Civil.

PPGEC

Santa Maria, RS, Brasil

2005

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado:

REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE UM MODELO CHUVA-VAZÃO PARA ESTIMATIVA DE VAZÕES EM BACIAS SEM MONITORAMENTO SISTEMÁTICO

elaborada por
Janice Vendruscolo

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____
Jussara Cabral Cruz (CT/UFSM)
(Presidente/Orientador

_____
André Luiz Lopes da Silveira (IPH/UFRGS)

_____
Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva (CT/UFSM)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2005.

"Vocês podem me acorrentar,

torturar e até destruir meu corpo,

mas nunca aprisionarão minha mente."

GANDHI

"Se você não conseguir fazer uma coisa grandiosa hoje, faça alguma coisa pequena, mas faça.

Viva um dia de cada vez...

E será mais fácil continuar vivendo. O importante é não parar, pois mesmo um pequeno avanço na direção certa, já é um grande progresso.
Continue andando e fazendo, e o que parecia fora do alcance esta manhã vai parecer um pouco mais próximo ao anoitecer.
A cada momento intenso e apaixonado que você dedica a seu objetivo um pouco mais você se aproxima dele.
Se você para completamente é muito mais difícil recomeçar, então continue andando.
Vá rápido quando puder e devagar quando for obrigado, mas siga seguro em sua direção."

AGRADECIMENTOS

A minha família, por acreditarem na minha capacidade de vencer e, em especial a minha irmã Viviane, pelo apoio a qualquer hora, à manutenção e a assistência na área de informática;

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade em desenvolver meu trabalho em uma Instituição Pública, Gratuita e de Qualidade;

À orientadora Profª. Drª. Jussara Cabral Cruz, pela amizade, pelos ensinamentos recebidos e pela confiança em mim depositada para a realização deste trabalho;

Ao Prof.Ms.Valmir Brondani e Profª.Ms.Ceris B. Denardin, pela confiança em mim depositada para a realização do Mestrado;

Aos professores do PPGEC – Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – UFSM, pela amizade e pelos ensinamentos recebidos;

Aos colegas de Mestrado Sandro P. Acosta e, em especial, Fabiana B. Angnes, pela simpatia, convivência e companheirismo;

Aos acadêmicos de graduação em Engenharia Civil: André I. da Cunha, Marcelo F. Germani e Mateus R. Marchiori, pela amizade, apoio e horas de estudo que passamos juntos;

Aos funcionários Maria da Graça B. Mayer, pela amizade e pelo apoio computacional e ao Eliomar Pappis, pela dedicação em bem atender e pela amizade;

A mim por ter sabido enfrentar tantos obstáculos (desnecessários citá-los);

Á DEUS, pois sem ELE, nada é possível, e com ELE o impossível se torna realidade.

Enfim, a todos aqueles que não lembrei, meu profundo agradecimento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 OBJETIVO 3
1.2 JUSTIFICATIVA 3

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5

2.1 INTRODUÇÃO 5
2.2 MODELOS HIDROLÓGICOS: 7
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS 8
2.4 EXEMPLOS DE MODELOS HIDROLÓGICOS 10
2.5 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA 14
2.5.1 Introdução 14

3 METODOLOGIA 22

3.1 FLUXO METODOLÓGICO 22
3.2 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS 23
3.3 VAZÕES HISTÓRICAS E PLUVIOMETRIA HISTÓRICA 25
3.4 MODELO MOPH 26
3.4.1 Introdução 26
3.4.2 Descrição do Modelo MOPH 27
3.4.3 Descrição dos Parâmetros do Modelo MOPH 27
3.4.4 Ajuste dos Parâmetros do Modelo MOPH 32
3.5 REGRESSÃO 34

4 ÁREA DE ESTUDO 37

4.1 DESCRIÇÃO GERAL 37
4.2 DADOS FLUVIOMÉTRICOS , PLUVIOMÉTRICOS E DE EVAPORAÇÃO 39
4.3 BACIAS DE ESTUDO 43
4.3.1 Características fisiográficas das bacias estudadas 43
4.3.2 Precipitação Média 43

5 AJUSTE DO MODELO MOPH 49

6 REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO MOPH 58

6.1 ESCOLHA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES 58
6.2 RESULTADOS DAS REGRESSÕES 59

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 77

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1 - Estações Fluviométricas Utilizadas 42
Tabela 4-2 - Estações Pluviométricas Utilizadas 43
Tabela 4-3 - Características fisiograficas das bacias estudadas 44
Tabela 4-4 – Coeficientes de Thiessen 46
Tabela 5-1 – Anos (Eventos) utilizados no processo de ajuste do modelo para cada bacia. 50
Tabela 5-2 – Diagrama de barras dos dados fluviométricos e pluviométricos (x: dado consistidos, i: dados incompletos 51
Tabela 5-3 – Bacia 74880000 – Passo do Dias – Área: 826,29 Km² - L: 107,37 Km 54
Tabela 5-4 – Parâmetros de Ajuste para as Bacias 57
Tabela 6-1 – Correlação entre as variáveis independentes 59
Tabela 6-2 – Modelos selecionados para o parâmetro DISTR 62
Tabela 6-3 – Modelos selecionados para o parâmetro EXPO 65
Tabela 6-4 – Modelos selecionados para o parâmetro SMAX 68
Tabela 6-5 – Modelos selecionados para o parâmetro KSUB 71
Tabela 6-6 – Modelos selecionados para o parâmetro KSUP 74

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1– Fluxo Metodológico 22
Figura 3.2 – Fluxograma do Modelo MOPH – Parte I 30
Figura 3.3 – Fluxograma do Modelo MOPH – Parte II 31
Figura 3-4 - Representação esquemática do fluviograma e respectiva curva de permanência Cruz (2001). 34
Figura 4-1 – Localização da área de estudo e identificação das bacias (UFSM/2002)..... 38
Figura 4-2 – Localização das estações pluvio-fluviométricas da área estudada (UFSM/2002). 41
Figura 4-3 – Polígono de Thiessen para a Bacia 74270000..... 45
Figura 4-4– Polígono de Thiessen para a Bacia 75295000..... 45
Figura 5-1 – Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 72400000 - Passo São Geraldo.. 54
Figura 5-2 – Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 74270000 – Passo Rio da Várzea 55
Figura 5-3 - Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 74900000 – Linha União..... 55
Figura 5-4 - Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 75430000 – Passo Major Zeferino 55
Figura 5-5 – Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 85180000 – Ponte Santo Antonio 55
Figura 5-6 – Parâmetro UMIDL com valor 140 para Bacia 72580000 57
Figura 5-7 – Parâmetro UMIDL com valor 100 para a Bacia 72580000..... 57
Figura 6-1 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o DISTR 61
Figura 6-2 - Relação entre DISTRobs e DISTRcalc ajustado..... 63
Figura 6-3 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o EXPO 64
Figura 6-4 - Relação entre EXPOobs e EXPOcalc ajustado..... 66
Figura 6-5 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o SMAX 67
Figura 6-6 - Relação entre SMAXobs e SMAXcal ajustado..... 69
Figura 6-7 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o KSUB 70
Figura 6-8 - Relação entre KSUBobs e KSUBcal ajustado 72
Figura 6-9 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o KSUP 73
Figura 6-10 - Relação entre KSUPobs e KSUPcal ajustado 75
Figura 6-11- Resultado da regressão com e sem as bacias 7475, 7488 e 7490 na região III e IV 76

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE UM MODELO CHUVA-VAZÃO PARA ESTIMATIVA DE VAZÕES EM BACIAS SEM MONITORAMENTO SISTEMÁTICO

Autora: Janice Vendruscolo
Orientadora: Jussara Cabral Cruz
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2005.

Este estudo teve por objetivo verificar a aplicabilidade de uso de regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão para sintetizar vazões em locais carentes de dados hidrometeorológicos. A metodologia teve três fases: Aquisição de dados, Ajuste do modelo e Regionalização Hidrológica. O modelo de ajuste escolhido foi o modelo hidrológico chuva-vazão MOPH, desenvolvido por Silveira (1974), que possui uma estrutura bastante simples, opera com dados de precipitação e taxa de evapotranspiração potencial e possui um algoritmo de separação de escoamentos e de propagação dos mesmos. O modelo possui nove parâmetros: SMAX, UMIDL, UMIDS, CODIS, DISTR, EXPO, Ktanque, KSUB e KSUP. O processo de regionalização dos parâmetros do modelo utilizou cinco variáveis explicativas: Área de Drenagem (A), Comprimento do Rio Principal (L), Declividade do Rio Principal (D), Densidade de Drenagem (DD) e Coeficiente de Compacidade (CC). Os resultados demonstraram que os parâmetros UMIDL, UMIDS, CODIS e Ktanque foram de pouca sensibilidade nos ajustes, de modo que foram considerados constantes para toda a região do estudo. Os demais parâmetros apresentaram resultados promissores quando formaram regiões contíguas hidrologicamente homogêneas.

ABSTRACT

Master Degree Dissertation
Civil Engineering Postgraduation Program
Federal University of Santa Maria

REGIONALIZATION OF THE PARAMETERS OF THE RAIN FLOW MODEL FOR FLOW ESTIMATE IN BASINS WITHOUT SYSTEMATIC MONITORING

Author: Janice Vendruscolo
Advisor: Jussara Cabral Cruz
Date and defense´s place: Santa Maria, 28th February, 2005.

This research had as an objective to verify the usage aplicability of the regionalization of the parameters about rain flow model, in order to synthesize flows at poorly places on hydrometereologicals data. The methodology had three phases: data acquisition, model adjusting and hydrologic regionalization. The adjust model chosen was the rain-flow hydrologic model MOPH, developed by Silveira (1974). This model has a simple structure, that works with precipitation datas and potential evapoperspiration rates, also it has an algorithm of the escapement separation and of the propagation about them. The model has nine parameters: SMAX, UMIDL, UMIDS, CODIS, DISTR, EXPO, Ktanque, KSUB and KSUP. The model parameters regionalization process used five explanation variables: drainage area (A), principal river length (L), principal river declivity (D), drainage density (DD) and compacity coefficient (CC). The results demonstrated that UMIDL, UMIDS, CODIS and Ktanque parameters had a few sensibility on the adjusts, on this way these parameters was considered constant for all region of this study. The others parameters showed promising results when they formed continual regions hydrologicaly homogeneous.

1 INTRODUÇÃO

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender o funcionamento do balanço hídrico e os processos que controlam o movimento da água para entre, outros: i) avaliação da disponibilidade para diferentes usos, ii) avaliação de situações de risco – cheias e secas, iii) avaliação de impactos sobre alterações do uso do solo e, iv) avaliação para dimensionamento de obras hidráulicas. A importância de se adotar a bacia como unidade hidrológica está ligada ao fato de que suas características governam os processos de formação do escoamento. A compreensão do conjunto de processos físicos que ocorrem na bacia é imprescindível para interpretação dos resultados obtidos, suas limitações e sua aplicabilidade a outras regiões.

Na natureza, a manutenção dos recursos hídricos, quanto ao regime de vazão dos cursos d'água e da qualidade da água, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos ao longo de processos evolutivos da paisagem. Um destes mecanismos, por exemplo, é a relação existente entre a cobertura vegetal e a água, especialmente nas cabeceiras dos rios onde estão suas nascentes.

O modelo hidrológico é uma ferramenta extremamente útil, que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas (Tucci, 1998). Entretanto, os modelos hidrológicos possuem limitações básicas como a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos, além da dificuldade em definir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos.

Os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão foram desenvolvidos tendo como objetivo a síntese de séries de vazão em determinados locais, para finalidades como a previsão de vazões ou a síntese de vazões em locais carentes de informações, entre outros.

Além do interesse em séries simuladas de vazões em diferentes regiões, as questões ambientais exigem a compreensão do comportamento da bacia, de como os processos físicos acontecem e interagem dentro de seus limites.

O processo de modelagem supõe a existência de amostra de eventos que possibilitem o ajuste dos parâmetros de modo a representar as condições locais do escoamento em estudo.

Ocorre que muitas vezes a necessidade de informações recai em locais com ausência de dados. Uma rede hidrológica raramente cobre todos os locais de interesse em uma bacia hidrográfica, o que gera lacunas espaciais que precisam ser preenchidas. Nessas situações, um procedimento usual é aplicação de estudos de regionalização. Em regiões com dados deficientes é possível estender as séries de vazões através de modelos hidrológicos chuva-vazão e obter séries de vazões mais representativas para a regionalização.

Segundo Tucci (2001b), a regionalização hidrológica é utilizada para transferir informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

Em geral, encontra-se na literatura do assunto, a regionalização de variáveis ou de funções hidrológicas. A regionalização dos parâmetros para a estimativa de vazões associada às características fisiográficas da bacia hidrográfica, tais como: área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade média do rio principal, densidade de drenagem e coeficiente de compacidade, é outra possibilidade que vem sendo utilizada para estudos de grande abrangência, pois permite inferir sobre a vazão de determinadas bacias que, ou não têm registros, ou os possuem de forma insuficiente.

Então se pergunta: “É possível regionalizar os parâmetros do modelo?.”

Esta é a questão norteadora do presente estudo cujo objetivo é apresentado a seguir.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é verificar a aplicabilidade de uso de regionalização de parâmetros do modelo chuva-vazão MOPH para sintetizar vazões em locais carentes de dados hidrometeorológicos associada às características fisiográficas da bacia hidrográfica.

1.2 Justificativa

O desenvolvimento de regiões urbanizadas e rurais é definido de acordo com a disponibilidade hídrica, ou seja, sua qualidade e quantidade. Para promover o desenvolvimento sustentável e o intercâmbio entre regiões com interesses comuns, ou entre as que brigam pelo direito de utilizar a água para determinado fim, foi necessário reconhecer e adotar o conceito de bacia hidrográfica.

Muitas vezes, os recursos hídricos não são utilizados adequadamente nas bacias hidrográficas, devido a falta de informações hidrológicas existentes. Nestas situações é necessário o uso de ferramentas auxiliares para obtenção desses dados.

Uma das técnicas possíveis é a regionalização de dados.

Uma grande parte dos estudos de regionalização objetivam a obtenção de variáveis tais como: vazão média, vazão máxima, vazão mínima de duração 7 dias e tempo de retorno 10 anos ($Q_{7,10}$), vazão de 95% da curva de permanência (Q_{95}), vazão com 50% da curva de permanência (Q_{50}); ou funções: curva de permanência, curva de regularização.

Os estudos de regionalização de parâmetros para estimativa de vazões associadas às características fisiográficas da bacia hidrográfica é outra possibilidade que vem sendo utilizada para estudos de grande abrangência, pois permite determinar sobre a totalidade da série de vazões obtidas as variáveis hidrológicas: $Q_{7,10}$, Q_{50}, Q_{95}, vazão média e vazão máxima; as funções hidrológicas: curva de permanência, curva de regularização; parâmetros estatísticos relevantes; média, variância, máximos e mínimos relacionados com estas funções, dimensionamento de reservatórios, avaliação de cheias e secas e a propagação de vazões em rios.

A regionalização dos parâmetros de um modelo chuva-vazão, identificada como satisfatória, constitui-se em uma técnica abrangente, pois permite a síntese da série de vazões. Esta pesquisa busca exatamente verificar essa possibilidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

A hidrologia, até a década de 30, era uma ciência que tinha um caráter mais qualitativo do que quantitativo (Tucci, 1998).

No Brasil, a ênfase no aproveitamento dos recursos hídricos se acelerou na década de 70, juntamente com o crescimento desordenado da sociedade moderna que, aliado a intensificação das atividades de caráter poluidor tem provocado o comprometimento do uso dos recursos hídricos, dentre eles, a água. A hidrologia, então passa a torna-se uma disciplina de base para o melhor desenvolvimento e proteção dos recursos hídricos, deixando de ser um dado de entrada de um projeto hidráulico.

Tucci (1998) comenta que nos aproveitamentos dos recursos hídricos as relações ambientais não eram observadas. Os benefícios gerados contribuíam fundamentalmente para o crescimento econômico, que exige maior uso dos recursos naturais. Medidas preventivas foram buscadas para minimizar os danos causados nos recursos naturais, criando uma preocupação maior com a quantificação do impacto ambiental que a exploração humana provocou na bacia.

Segundo Mediondo e Tucci (1997), a preocupação ambiental, que iniciou na década de 70, gerou novos desafios postos pela sociedade tais como: qual é o impacto resultante do uso do solo rural e urbano sobre a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos?; existe modificação climática devido ao efeito estufa e desmatamento?

Estes novos desafios geraram a necessidade de novos conhecimentos por parte do engenheiro-hidrólogo e a sua integração com outras áreas como química, biologia, geografia, pedologia e iteração de conhecimentos na hidrometeorologia, onde existem os mais diferentes processos físicos, químicos e biológicos.

Tucci (1998) relata que a intensificação das ações antrópicas ficou marcante e que os processos não são somente regionais, mas globais, com a interferência de diferentes ações sobre o clima e o comportamento dos processos em todo o planeta.

Para poder responder aos desafios colocados pela sociedade é necessário entender a interação dos processos físicos somado aos processos químicos e biológicos.

A bacia hidrográfica é um delimitador geográfico no qual o comportamento hidrológico tem sido tratado e se constitui na unidade espacial natural da hidrologia.

Segundo Tucci e Collischonn (2001), a natureza dentro de sua complexidade interativa mostra que todos os processos que ocorrem na bacia hidrográfica produzem alterações ou impactos na água que escoa nos rios e lagos. Entender os processos que ocorrem na bacia hidrográfica é essencial para dar respostas aos diferentes usos e sustentabilidade da população.

Conforme Tucci (1998), para o hidrólogo existem ainda os desafios dos aspectos sociais e econômicos do gerenciamento dos recursos hídricos e meio ambiente somados aos problemas ambientais de representação dos processos. Planejar a ocupação da bacia hidrográfica é uma necessidade de uma sociedade com usos crescentes de água e que tende a ocupar espaços com risco cada vez maior de inundação. A tendência atual envolve o desenvolvimento sustentado da bacia hidrográfica, que implica no aproveitamento racional dos recursos com o mínimo dano ao ambiente (Tucci, 1998).

Os modelos hidrológicos tem sido as técnicas utilizadas para representar os processos hidrológicos, buscando prognosticar as condições em que o meio estará sujeito para que seja possível mitigar seus impactos. Estas ferramentas são essenciais para o planejamento e tomada de decisões dentro do complexo processo de condições naturais e para a interferência do homem.

2.2 Modelos Hidrológicos:

Os modelos matemáticos hidrológicos representam uma classe de ferramentas que se desenvolveu de forma significativa nos últimos 50 anos.

Segundo Tucci e Collischonn (2001), a evolução dos modelos se deu com o advento do computador quando os modelos e estas máquinas eram de uso restrito e que depois se acelerou e redirecionou certos usos com o microcomputador. No entanto, o geoprocessamento e o sensoriamento remoto marcaram o avanço dos modelos distribuídos e a representação da diversidade física da bacia hidrográfica.

De outro lado, a evolução dos modelos procurou satisfazer a demanda da sociedade e dos pesquisadores. Inicialmente, o avanço partiu dos engenheiros com a necessidade de dimensionar obras para o desenvolvimento de infra-estrutura como abastecimento, drenagem e irrigação e, depois, com a necessidade de avaliar o impacto ambiental sobre banhados, desmatamento sobre bacias hidrográficas, erosão de áreas agrícolas, transporte de pesticidas e outros. O modelo deixou de ser quantitativo sobre apenas uma variável, a vazão, para representar outros processos que envolvem vários componentes inter-relacionados com o escoamento.

Conforme Tucci e Collischonn (2001), compreender os processos na bacia hidrográfica é fundamental para responder aos diversos usos e sustentabilidade da população. Um mesmo processo pode ser representado de diferentes maneiras, sendo algumas mais apropriadas para determinados casos.

Um modelo hidrológico é definido por Haan apud Silveira (1997), “como um conjunto de leis físicas e empíricas expressas de forma matemática que são combinadas de forma a produzir uma resposta (saída) em função de condições conhecidas e/ou assumidas (entrada)”.

De maneira geral, um modelo é um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros (Tucci, 1998). Os parâmetros mantêm seu valor inalterado durante todo o processo estudado. Assim, um parâmetro possui o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, o que não significa que ele não possa variar

espacialmente. Já as variáveis podem mudar ao longo do tempo que o modelo estiver sendo executado. Os modelos nasceram da necessidade de dar resposta a diferentes questões, inicialmente explicando fenômenos da relação precipitação-vazão como a infiltração, o escoamento em rios para depois buscar integrar os diferentes fenômenos causais da natureza e dos fatores antrópicos.

Tucci (1998) coloca que o modelo hidrológico é uma das ferramentas que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. Utilizado para antecipação de eventos de modo a permitir que medidas preventivas sejam tomadas. No entanto, ressalta que nenhuma metodologia poderá aumentar as informações fornecidas pelos dados e que não se deve deixar de usá-los na aferição dos parâmetros, na tentativa de reduzir as incertezas dos mesmos na estimativa das variáveis hidrológicas. Os modelos hidrológicos apresentam limitações básicas como a qualidade e quantidade dos dados hidrológicos e simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos.

2.3 Classificação dos Modelos

Discussões sobre aspectos relacionados à classificação de modelos podem ser encontrados em Tucci (1998) e no qual se baseia o texto a seguir.

Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Normalmente os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos). Esta é uma das principais classificações consideradas na simulação hidrológica. O tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos).

Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Caso os conceitos de probabilidade sejam ignorados durante elaboração de um modelo, este será denominado determinístico. Note, no

entanto, que uma variável de entrada pode ser aleatória mas o modelo ainda assim é determinístico quando cada valor de entrada produz um único valor de saída. O simples exame de resposta de um sistema pode levar a conclusões erradas. Sistemas não-lineares podem levar a resultados caóticos que erroneamente são interpretados como variáveis aleatórias.

Os modelos podem ser empíricos quando utilizam relações baseadas em observações. Em geral, estes modelos são bastante simples e úteis no dia a dia. No entanto, são pouco robustos, uma vez que são específicos para aquela região para qual as relações foram estimadas. Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como, chuvas extremamente altas, mudança de uso do solo. Os modelos podem também levar em conta na sua elaboração os processos físicos (modelos conceituais) e, em geral são mais complexos que os empíricos, uma vez que procuram descrever todos os processos que envolvem determinado fenômeno estudado.

Apesar dos fenômenos naturais variarem continuamente no tempo, na maioria das vezes, estes fenômenos são representados por modelos discretos. A escolha do intervalo de tempo no qual o modelo será executado depende basicamente do fenômeno estudado, da disponibilidade de dados e da precisão desejada nos resultados. Em geral, quanto menor o intervalo de tempo maior será a precisão dos resultados, aumentando também o custo computacional para geração desses resultados.

Os modelos podem ainda ser classificados como concentrados ou distribuídos. Em modelos concentrados, a variabilidade espacial não é considerada e utilizam somente o tempo como variável independente. Por outro lado, os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial e/ou temporal nas diversas variáveis do modelo. De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e conseqüentemente cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área.

Os modelos geralmente descrevem processos com diferentes níveis de detalhamento e diferentes escalas de tempo. Um modelo pode ser detalhado, apropriado a pequenos intervalos de tempo e espaço, ou ser mais simples e genérico podendo simular o comportamento de regiões inteiras e/ou períodos de tempo mais longos. De fato, muitos modelos trabalham em diferentes escalas espaciais e temporais. Alguns processos podem ser simulados, considerando-se intervalos de tempo bastante pequenos e escalas espaciais muito detalhadas, para que os resultados sejam gerados em intervalos de tempo maiores e escalas espaciais menos detalhadas. A generalização dos dados e resultados pode ser conseguida através do uso de técnicas de geoprocessamento e com o uso de dados de sensoriamento remoto.

2.4 Exemplos de Modelos Hidrológicos

O modelo selecionado para o estudo é do tipo chuva-vazão, concentrado determinístico de simulação que permite sintetizar vazões a partir de dados de precipitação, através de algoritmos que representam a fase terrestre do ciclo hidrológico e englobando processos de armazenamento temporário da água, suas circulações e transformações de estado.

Neste item são apresentados alguns modelos hidrológicos com suas principais características e exemplos de aplicações no Brasil (Tucci, 1998).

- Modelo SMAP foi desenvolvido por Braga, Lotufo e Conejo em 1981.

O modelo SMAP é um modelo determinístico de simulação hidrológica contínuo, do tipo transformação chuva-vazão.

É um modelo de estrutura relativamente simples e opera com dados de chuva e evapotranspiração potencial em intervalos mensais. O modelo realiza o balanço da umidade do solo baseado em dois reservatórios lineares que representam o solo (camada superior) e o aqüífero (reservatório subterrâneo).

Este modelo tem sua aplicação reconhecida em vários estudos de aproveitamento hídricos. O artigo de Barp e Barbosa (1999) aborda a comparação

entre modelo SMAP e modelo de Rede Neurais Artificiais (RNA) aplicado a uma bacia no Estado de Mato Grosso – Rio Guaporé, cujos resultados indicam que o modelo RNA que tem como entrada a série de precipitações e saída a série de vazões apresenta desempenho próximo ao do SMAP manual, quando tomados os critérios de avaliação estatística dos resultados observados contra calculados pelos modelos. O trabalho de Diniz e Clarke (2001) apresenta a regionalização dos parâmetros do modelo SMAP mensal com base nas características físicas e climáticas mais relevantes usando dados de 14 bacias e sub-bacias hidrográficas localizadas na região semi-árida do Nordeste do Brasil. Concluíram que para a regionalização dos parâmetros de um modelo chuva-vazão é fundamental haver relações entre estes e as características mais relevantes das bacias hidrográficas e que os parâmetros relacionados com o processo de formação do escoamento em superfície, foram mais sensíveis do que os outros que se associam ao escoamento subterrâneo, o que é bastante razoável para a hidrologia da região onde se localizam as bacias hidrográficas do estudo. Outros trabalhos podem ser encontrados na literatura: Vieira Filho (1987), Porto e Lopes (1993), Torres Filho et al. (1997).

No âmbito do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, pode-se identificar duas famílias de modelos.

Os modelos IPH foram desenvolvidos no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para simulação de parte do processo do ciclo hidrológico e vem sofrendo diversos refinamentos e adaptações para funcionamento em diversas situações. Podemos citar:

- Versão IPH II: utilizado por vários profissionais em recursos hídricos para estimativa de hidrogramas de cheias em bacias urbanas (Germano et al. 1998). O modelo utiliza poucos parâmetros e é utilizado para bacias que não necessita de propagação no leito do rio, já que a propagação referida no modelo, se refere somente ao escoamento na superfície da bacia.
- Versão IPH III: permite a simulação de um sistema fluvial onde, no canal, não existam efeitos de remanso.

- Versão IPH IV: utilizado para simular o escoamento nos trechos de rios e reservatórios, confluências e áreas de inundação.
- Versão IPHSL: apropriado para geração de vazões médias diárias a partir de séries longas de precipitações médias diárias (Veiga e Krüger, 1999).

Destes modelos, o modelo IPH II é o que tem sido mais largamente estudado e aplicado, como pode-se constatar na literatura: Uria (1993), Brun (2001)

É interessante citar algumas aplicações devido às modificações que foram introduzidas na sua utilização.

Cruz (1987) desenvolveu um modelo de previsão de cheias em tempo real para a bacia do rio Itajaí, SC, tendo como base o modelo IPH II. Cruz acoplou um algoritmo auto-regressivo para correção dos erros do modelo, conseguindo com isso, melhorar a qualidade da previsão em tempo real a médio prazo. A longo prazo, o modelo IPH II sem a alteração foi considerado melhor previsor.

Já, Germano et al. (1998) avaliaram a variabilidade dos parâmetros do modelo IPH II com base em dados de bacias brasileiras, buscando melhorar seu uso para diferentes tipos de aplicação em bacias urbanas. Os resultados permitiram verificar que os parâmetros determinados, e seus intervalos, são indicadores comparativos que permitem melhor definir a grandeza dos mesmos, numa eventual extrapolação de seus resultados a outras áreas.

Com a finalidade de considerar as incertezas no modelo IPH II, Santos et al. (2001) utilizaram o este modelo para determinar a vazão de projeto, onde as incertezas tratadas estatisticamente consideraram a distribuição temporal da precipitação e a variabilidade amostral dos parâmetros dos modelos. Dentre os resultados destacaram que o uso da incerteza permite filtrar os erros inerentes nos dados hidrológicos, na insegurança quanto a definição dos parâmetros hidrológicos e na distribuição da precipitação.

Os modelos MOPH, cujas versões são de um mesmo modelo chuva-vazão. MOPH-1 corresponde à dissertação de mestrado de Silveira (1974), MOPH-2, encontrado em Silveira et al. (1981) e MOPH-3 encontrado em CORSAN (1992).

A seguir citam-se algumas aplicações do modelo MOPH.

Acosta (2004) avaliou, a partir de dados existentes, a aplicabilidade do modelo MOPH como estimador do volume médio de água consumido pela lavoura de arroz na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, RS, no período com irrigação (novembro a fevereiro). Ajustou os parâmetros do modelo, utilizando dados do período sem irrigação (março a outubro) e simulou o comportamento da bacia no período com irrigação (novembro a fevereiro). Os resultados obtidos foram satisfatórios. Salienta que a qualidade dos ajustes é dependente da representatividade da distribuição espacial dos dados de chuva e que as obras de represamento presentes na bacia interferem nas perdas iniciais do modelo.

Já, Angnes (2004) estudou a aplicabilidade de métodos simplificados para a estimativa dos escoamentos e a avaliação de impactos, provenientes de esgotos domésticos, nos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS. Dentre os métodos, utilizou o modelo chuva-vazão MOPH para extensão de séries de vazões para projeção de cenários alternativos de carga e seus possíveis graus de poluição. Devido a disponibilidade dos dados de precipitação e evaporação, o período utilizado para extensão foi de 5 anos. A série de vazões calculadas pelo modelo, determinou a curva de permanência de vazões. Esse modelo comparou os dados encontrados para o período de 5 anos e para o período de monitoramento e constatou que quanto maior o período de dados, maior é a representatividade da amostra. Após a extensão da série de vazões, determinou as concentrações de $DBO_{5,20}$ a partir da nova variabilidade das vazões determinadas com o modelo MOPH, considerando as cargas médias obtidas no monitoramento qualitativo. Os resultados alcançados mostraram que para um período mais extenso, as classes de enquadramento da qualidade da água que adentra ao campus são diferentes das apresentadas para o período de monitoramento, em função das vazões de diluição serem diferentes.

O Relatório Parcial nº 2/CORSAN (1992) visou a identificação de alternativas para a concepção da ampliação dos sistemas de abastecimento de água das cidades de Tupanciretã e Júlio de Castilhos, RS. O método adotado para geração das séries de vazões nos locais de barramento foi a aplicação do modelo chuva-vazão MOPH-3, desenvolvido e publicado por Silveira (1981). Os resultados obtidos permitiram concluir que os locais cogitados para localização das obras de captação para o abastecimento d'água das cidades acima citadas, apresentam uma disponibilidade hídrica compatível com as demandas exigidas, obtendo-se garantia de 100% com obras de pequeno vulto e pequena área de alagamento.

Neste trabalho, utiliza-se como ferramenta o modelo MOPH, desenvolvido por Silveira (1974), com o objetivo de avaliar a possibilidade de regionalização de parâmetros para simular o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas com poucos dados e gerar séries sintéticas de vazões. A descrição do modelo MOPH encontra-se no capítulo 3.

2.5 Regionalização Hidrológica

2.5.1 Introdução

O desenvolvimento das civilizações sempre ocorreu tendo como suporte os recursos naturais solo e água. Ultimamente, a importância da água e do solo está se tornando cada vez mais evidente, tanto pela sua escassez como pela grande demanda devido ao acelerado crescimento populacional.

A estimativa da oferta de água em uma bacia hidrográfica é uma das informações mais importantes para planejamento do uso e aproveitamento dos recursos hídricos, no que se refere ao dimensionamento de obras hidráulicas e a uma melhor alocação desses recursos.

Muitas vezes, os recursos hídricos não são utilizados adequadamente nas bacias hidrográficas, devido a falta de informações hidrológicas existentes, tendo como conseqüência deficiências de planejamento e incertezas.

O Brasil, por ser um país de grande superfície, possui um alto custo de uma rede densa de postos hidrológicos, com isso, é comum encontrar um reduzido número de postos numa região e com séries de curta duração. Esta precariedade é ainda maior com relação as pequenas bacias hidrográficas (Genovez e Pio, 1999).

Conforme Silveira (1997), se considerarmos como pequenas bacias aquelas com drenagens inferiores a 50 km², podemos constatar a carência de dados através do inventário da Agência Nacional das Águas, anteriormente DNAEE, onde encontram-se disponíveis na página http://www.ana.gov.br. O inventário mostra que a atual rede hidrometeorológica do Brasil contempla praticamente as grandes bacias hidrográficas (áreas maiores que 500 km²).

Tucci (2001b) afirma que devido aos altos custos de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, torna-se importante a otimização das informações disponíveis.

Uma rede hidrométrica, composta de postos pluviométricos e fluviométricos, dificilmente cobre todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região. Sempre existirão lacunas espaciais e temporais que precisarão ser preenchidas com base em metodologias apropriadas (Tucci, 2002).

Para suprir a deficiência da rede hidrométrica no Brasil, uma técnica que tem sido utilizada com resultados satisfatórios é a regionalização hidrológica utilizada para transferir dados de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante (Tucci, 2002). O princípio da regionalização se baseia na similaridade espacial destas informações que permitem esta transferência. Ou, conforme Tucci (2001b), pode ser definida como um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes em uma determinada região geográfica visando a estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com dados insuficientes.

De acordo com Fill (1987), em sentido amplo, entende-se por regionalização hidrológica qualquer processo de transferência de informações das estações pluviométricas e fluviométricas para outros locais, em geral sem observações. Esta

transferência pode abranger diretamente as séries de vazões e/ou precipitações, ou até mesmo determinados parâmetros estatísticos relevantes, tais como: média, variância, máximos e mínimos ou, ainda, equações e parâmetros relacionados com estas estatísticas (curva de permanência, curva de duração).

A regionalização é estabelecida com o objetivo de se obter a informação hidrológica em locais sem dados ou com poucos dados, seja ele: a estimativa de variáveis e/ou parâmetros, a identificação de regiões com carência de postos de observação, a verificação da consistência das séries hidrológicas e ao fornecimento de dados necessários ao processo de outorga do uso da água (IPH, 1983).

Conforme Chapman (1989) apud Silva Junior et al. (2003) e Andrade et al. (2001) o ideal é que o estudo da regionalização hidrológica tenha como base à condição ecológica da região e suas características geomorfológicas; uma vez que as condições naturais de uma área são as que agem efetivamente nos diferentes comportamentos do regime hidrológico de uma determinada região.

A variabilidade das condições hidrológicas é decorrente da interação de vários fatores, como: condições climáticas de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, entre outros; relevo, geologia, geomorfologia e solos; cobertura vegetal e uso do solo; e ações antrópicas na bacia hidrográfica. Este conjunto grande de elementos que influenciam as variáveis hidrológicas transforma a estimativa de seus valores num problema muito complexo (Tucci, 2002).

A observação de variáveis como precipitação e vazão em diferentes locais de uma região são a base da estimativa do comportamento dessas variáveis no local medido e nos locais sem medição. A rede de observação deve ser representativa do comportamento do grande conjunto de fatores que influenciam as variáveis hidrológicas.

Tucci (2002) ressalta que é essencial para a regionalização a qualidade dos dados hidrológicos, sendo importante realizar uma análise da qualidade destes dados. A qualidade das informações vai permitir ao usuário melhor definir a análise regional, baseando-se nas tendências das séries mais confiáveis.

Tucci (2002) destaca que nenhum estudo ou técnica de regionalização hidrológica substitui uma rede de monitoramento hidrológico que retrata espacialmente as informações e que, se estas não forem apropriadas, comprometerão os resultados.

Silva Junior et al. (2003) comenta que apesar da regionalização se caracterizar por uma ferramenta útil para o conhecimento hidrológico espacial, não é um método seguro para extrapolação hidrológica para bacias de menor porte, devido à variabilidade das escalas dos processos hidrológicos, gerando incertezas na tomada de decisão. A regionalização não substitui as informações, apenas busca uma melhor estimativa em face das incertezas existentes.

Conforme Diniz e Clarke (2001), a principal motivação para a regionalização hidrológica, até alguns anos atrás, eram os projetos de novas obras hidráulicas, mas, com os enfoques mais recentes de valorização do gerenciamento da água assumiu, relevante importância no cenário da hidrologia no Brasil.

Na literatura podem ser encontrados vários estudos de regionalização hidrológica em diferentes locais do país.

Uma grande parte dos estudos de regionalização objetivam a obtenção de variáveis (vazões mínimas, média e máximas) ou funções (freqüência ou curva de permanência). Dentre os muitos estudos dedicados a esse enfoque podemos citar os que seguem.

Lanna et al. (1983) relataram a metodologia aplicada para regionalização de vazões mínimas na Bacia do Rio Jacuí. A base hidrológica de informação são as vazões mínimas anuais, com duração de 1, 3 e 7 dias, nos postos fluviométricos da bacia. O objetivo é a estimativa das contribuições hídricas mínimas em seções fluviais ao longo do trecho navegável crítico do Rio Jacuí. Os resultados obtidos foram animadores no que concerne a estimativa de vazões mínimas com duração até a ordem de 15 dias e tempos de retorno até cerca de 50 anos, em qualquer seção dos cursos de água da bacia, incluindo aquelas sem medições hidrométricas.

Damázio e Costa (1989) desenvolveram uma metodologia para regionalização da curva de freqüência de precipitações máximas anuais na Bacia do Rio Madeira, tendo como base registros diários de pluviômetros. As séries obtidas se mostraram de boa qualidade e o conjunto de séries pode ser considerado como homogêneo.

Kaviski et al. (1993) desenvolveram uma metodologia de regionalização de vazões médias em pequenas bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina, baseada em técnicas de análise estatística multivariada, incluindo análise de agrupamentos e análise discriminante. Destacaram que os resultados obtidos são limitados pelas informações de entrada e que estudos locais mais cuidadosos devem sempre ser considerados.

Silveira (1997) aborda a regionalização hidrológica vinculada à realidade local, apoiando-se em uma simulação chuva-vazão para estimativa de vazão em pequenas bacias com carência de dados. Enfoca a curva de permanência e as formas de sintetizá-la com menos incerteza para a seção fluvial de interesse. Monitorou 12 pequenas bacias (1 a 11 km²) de uma rede experimental estabelecida na região serrana do Rio Grande do Sul num período de 2 a 3 anos. O trabalho de Silveira (1997) é inovador, pois vincula ao processo de síntese de vazões, 3 vazões medidas no local. Este procedimento amarra os parâmetros regionais à realidade física da pequena bacia, reduzindo significativamente as incertezas inerentes do processo de síntese de vazões em locais carentes de dados.

O artigo de Veiga e Krüger (1999) apresenta uma experiência de aplicação de um modelo chuva-vazão (IPH2SL) e métodos de regionalização hidrológica para caracterizar o comportamento das vazões em um local para aproveitamento de uma pequena central hidrelétrica na Bacia do Rio São Jerônimo no Estado do Paraná. Os resultados apresentaram valores relativamente próximos, apesar da série de aproximações envolvidas em todas as estimativas. A curva de permanência apresentou uma convergência de valores, a menos das vazões estimadas pelo modelo IPH2, que foram ligeiramente superiores, para vazões com permanência maior que 10%. Verificaram uma aproximação dos resultados para a obtenção da curva de permanência quanto às estimativas das vazões por regionalização direta entre os

postos, enquanto que produziu oscilações significativas para o cálculo das vazões máximas.

Córdova et al. (2000), aplicaram as técnicas de curva de permanência e regionalização de vazões, para identificar a existência de homogeneidade na Bacia do Rio Itajaí, que permita a determinação de vazões mínimas nos cursos d'água, independentemente de sua magnitude. Dentre os resultados obtidos destaca-se que os estudos devem encaminhar a identificação de conjuntos de sub-áreas ou sub-bacias para a identificação de condições locais de melhor homogeneidade, bem como identificar a significância dos desvios em bacias de área inferior a 500 km², principalmente no trecho inferior da curva de regionalização hidrológica.

Góes e Campana (2001) formularam modelos de regionalização que pudessem incorporar variáveis representativas das modificações no uso e ocupação do solo, possibilitando a estimativa de valores anuais de vazões mínimas, médias e máximas para bacias hidrográficas do Distrito Federal, utilizando as técnicas de geoprocessamento para a aquisição das informações características das bacias hidrográficas. Ressaltaram a necessidade de se avaliar previamente a evolução das bacias hidrográficas que se pretende estudar, para verificar se as mudanças ocorridas nessas bacias hidrográficas são realmente relevantes e precisam ser consideradas, para que se tenha uma melhor resposta dos modelos de regionalização e comentaram a dificuldade em obter as imagens de satélite referentes a outros anos para a região do Distrito Federal.

Silva Junior (2001) analisou 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 dessas variáveis com base em dados de grandes bacias. O estudo utilizou os dados da Bacia do Potiribu, região noroeste do Estado do RS. Os resultados mostraram que o erro é limitado na extrapolação para bacias maiores que as usadas na regionalização, enquanto que, para bacias menores, os resultados se mostraram aceitáveis até 20 km². Nas vazões mínimas, a extrapolação tende a superestimar a vazão desejada.

Os trabalhos de Euclydes et al. (2001a, 2001b, 2003) mostram que através da técnica da regionalização hidrológica é possível estimar as variáveis hidrológicas: vazão média de longo período, vazão máxima, vazão mínima, curvas de permanência e curvas de regularização visando a estimativa das potencialidades e disponibilidades dos recursos hídricos em qualquer curso d'água da Bacia do Rio das Velhas em Minas Gerais, da Bacia do Alto São Francisco a montante da Barragem de Três Marias em Minas Gerais e da Bacia do Rio Paranaíba em Minas Gerais.

A regionalização de parâmetros é o objeto desta pesquisa. No Brasil, alguns trabalhos já foram realizados, dentre os quais encontram-se os de Cirilo et al. (1989) e Diniz e Clarke (2001). A seguir comentamos cada um deles.

Cirilo et al. (1989) estudaram a regionalização de parâmetros de modelos de simulação hidrológica para avaliação do escoamento superficial nas principais bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, baseada na aplicação dos modelos chuva-vazão SMAP e IPH II. Consideraram as relações entre as características físicas e os valores assumidos pelos parâmetros para, posterior, proceder a extrapolação para bacias sem dados. Os autores constataram que entre os modelos usados, a regionalização dos parâmetros do modelo IPH II apresentou maior nível de dificuldade, devido ao número de parâmetros a calibrar e de se estabelecer correlação entre os valores assumidos por estes parâmetros e as características físicas das bacias.

Diniz e Clarke (2001) focalizaram a regionalização dos parâmetros de um modelo chuva-vazão, SMAP, com base nas características físicas e climáticas mais relevantes de 14 bacias hidrográficas localizadas na região semi-árida do Nordeste Brasileiro. O conjunto de parâmetros obtidos na calibração é associado às características das bacias através do uso de uma rede artificial neural. Cada bacia, por sua vez, foi omitida do processo de calibração e a rede neural foi usada para estimar os parâmetros do modelo para a bacia omitida. Comparações entre os parâmetros estimados para cada bacia omitida e os parâmetros obtidos calibrando o modelo aos dados daquela bacia, apresentaram resultados bons para algumas bacias e piores para outras, provavelmente porque as bacias estão em regiões com diferenças hidrológicas. Ressaltaram a necessidade de se avaliar previamente a evolução das bacias

hidrográficas que se pretende estudar, para verificar se as mudanças ocorridas nessas bacias hidrográficas são realmente relevantes e precisam ser consideradas e, recomendam o uso de mais de três anos de dados, para que se tenha uma melhor resposta dos modelos de regionalização.

3 METODOLOGIA

3.1 Fluxo Metodológico

O objetivo desta dissertação é avaliar a possibilidade de regionalização dos parâmetros do modelo chuva-vazão MOPH em função das características fisiográficas das bacias. Esta estratégia permite que, na falta de dados fluviométricos, seja possível estimar vazões com base em informações facilmente adquiríveis.

Portanto, o fluxo metodológico da pesquisa está sintetizado no esquema da Figura 3.1.

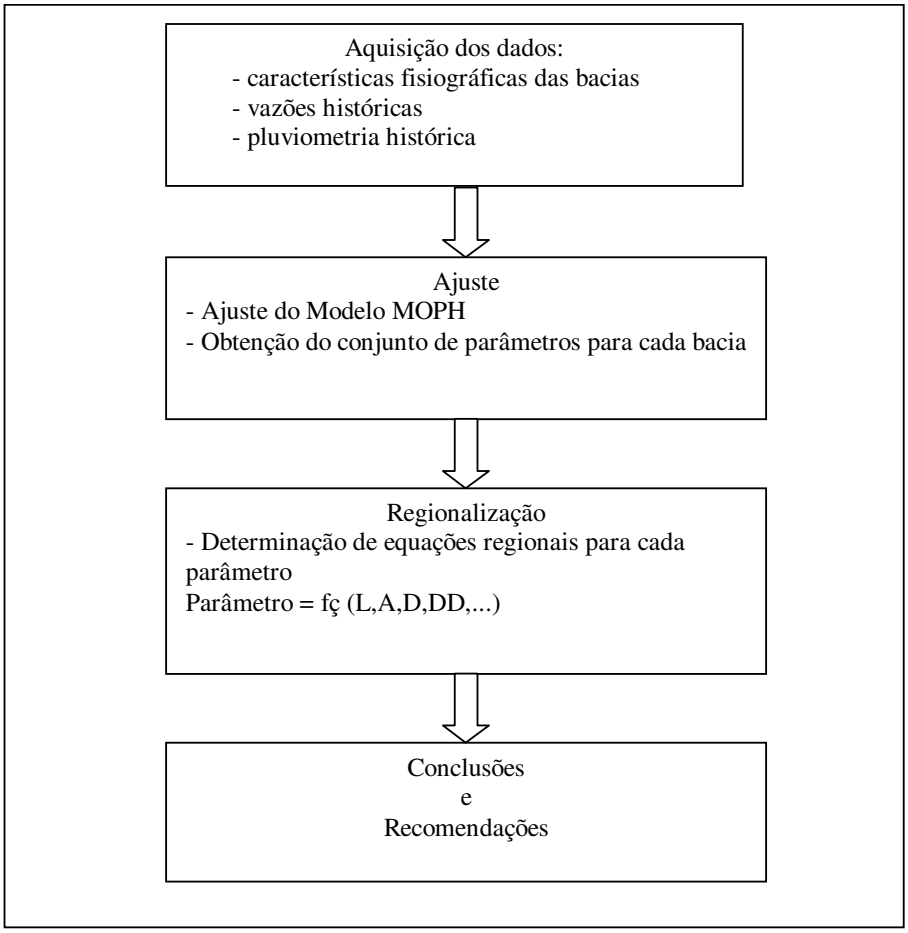

Figura 3-1– Fluxo Metodológico

Nos itens a seguir são descritos os métodos utilizados na pesquisa.

3.2 Características fisiográficas das Bacias Hidrográficas Estudadas

As bacias hidrográficas estudadas são caracterizadas pelas estações fluviométricas existentes.

As características fisiográficas de uma bacia são elementos fundamentais para seu comportamento hidrológico. Nas bacias hidrográficas estudadas foram utilizadas as seguintes características fisiográficas: área, perímetro, comprimento do rio principal, comprimento da rede de drenagem, declividade do rio principal, densidade de drenagem, coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius e coeficiente de forma ou fator de forma.

As avaliações foram obtidas com o auxílio do AutoCAD Map 2000i, tendo como base o mapa digitalizado da hidrografia da região por UFSM (2002), construído a partir de cartografia na escala 1:250.000. A manipulação dos dados, formulações e gráficos foram feitas com planilha eletrônica.

As principais características fisiográficas das bacias hidrográficas estudadas, os procedimentos adotados para obtenção destas características, suas importâncias para o estudo e outras considerações são descritas a seguir.

Área de drenagem (A)

A área de drenagem de uma bacia é a área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos (Villela e Mattos, 1975). Os resultados foram expressos em km².

Perímetro da bacia (P)

O perímetro de uma bacia hidrográfica é o comprimento da linha de contorno da bacia em planta. Os resultados foram expressos em km.

Comprimento do Rio Principal (L)

Rio principal de uma bacia hidrográfica é aquele que drena a maior área no interior da bacia. Os resultados foram expressos em km.

Forma da bacia

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante devido a sua influência no tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo ou, o tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma.

Existem diversos índices utilizados para determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas; assim o coeficiente de compacidade a relaciona com um círculo e o fator de forma com um retângulo.

Coeficiente de Compacidade (CC)

O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (Villela e Mattos, 1975). É expresso pela relação

$$CC = 0{,}28\ \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad \text{Equação 3-1}$$

onde:

P = perímetro da bacia em km e

A = área da bacia, em km²

Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade.

Coeficiente de Forma (K_f)

Coeficiente de forma ou fator de forma é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. É expresso pela relação

$$K_f = \frac{A}{L^2} \qquad \text{Equação 3-2}$$

onde:

A = área da bacia, em km² e

L = comprimento da bacia, em km.

Densidade de Drenagem (DD)

A densidade de drenagem vem a ser a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a sua área total. É expressa pela relação

$$DD = \frac{L}{A} \qquad \text{Equação 3-3}$$

onde:

L = comprimento total dos cursos d'água na bacia, em km e

A = área de drenagem, em km².

A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão média do escoamento superficial e, portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. A densidade de drenagem de bacias hidrográficas varia de 0,5 km/km², para bacias pobres ou mal drenadas, a 3,5 ou mais, para bacias bem drenadas (Villela e Mattos, 1975).

Declividade do Rio Principal (D)

A declividade de um curso d'água entre dois pontos, neste estudo, foi obtida dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre estes dois pontos.

Comprimento da Rede de Drenagem (RD)

A rede de drenagem é constituída pelo rio principal e seus tributários.

3.3 Vazões Históricas e Pluviometria Histórica

As vazões históricas e a pluviometria histórica utilizadas na pesquisa são dados existentes e disponibilizados pela rede nacional como Agência Nacional de Águas (ANA), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), CEEE, ELETROSUL, INMET e outras.

3.4 Modelo MOPH

3.4.1 Introdução

O modelo MOPH foi desenvolvido por Silveira (1974) e visa o cálculo dos escoamentos ao longo do tempo numa bacia hidrográfica em função das precipitações ocorridas nessa bacia, interessando apenas a fase terrestre do ciclo hidrológico e englobando processos de armazenamento temporário da água, suas circulações e transformações de estado.

Segundo Silveira (1974), a fase terrestre do ciclo hidrológico é regulada por fatores que podem ser considerados em três grupos:

- A ocorrência das precipitações (as entradas de água no sistema hidrológico);
- As perdas naturais – evaporação e transpiração – regidas principalmente pelas condições meteorológicas, tipos de vegetação e de solos e quantidade de água disponível para evaporar;
- O meio natural, isto é, o conjunto de características físicas: morfologia, geologia, solos, vegetação da bacia, que agem diretamente nos processos de armazenamento e transporte da água.

Silveira (1974) cita que o modelo proposto pode ter por objetivos:

- Simular o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas com poucos dados servindo para o preenchimento e/ou extensão da série de dados de vazões;
- Gerar séries sintéticas longas de vazão partindo de processos estocásticos de geração de chuva;
- Simular vazões de enchente a partir da “máxima precipitação provável” calculada para a região;
- Projeções de modificações na bacia.

3.4.2 Descrição do Modelo MOPH

O modelo MOPH, na sua versão original, possui uma estrutura bastante simples e opera com dados de precipitação e taxa de evapotranspiração potencial. O modelo realiza o balanço de umidade do solo baseado em dois operadores pluvio-hidrométricos: um hidrograma unitário superficial (HUSUP) e um reservatório linear simples (RLS).

A cada evento de precipitação P é feito um balanço de massa. Uma fração da precipitação é transformada em escoamento superficial (ES) em função da chuva, da taxa de evaporação, da taxa de umidade do solo, e com o auxílio dos parâmetros SMAX, UMIDL, UMIDS e de parâmetros de distribuição: DISTR, CODIS e EXPO.

A lâmina restante P – ES é adicionada a um reservatório que representa a camada superior do solo tendo um escoamento determinado pelo operador HUSUP. A outra saída desse reservatório vai alimentar a zona de saturação, por meio da percolação, acarretando a recarga do reservatório subterrâneo (aqüífero), através de uma distribuição no tempo dirigida pelo RLS e parâmetro EXPO.

No reservatório subterrâneo, o escoamento subterrâneo é calculado através da suposição de que este aqüífero funcione como RLS, onde é levado em conta o efeito do armazenamento, ou seja, o nível de água existente é diminuído à taxa constante K resultando o escoamento básico. A soma dos escoamentos superficial e básico fornece a vazão nos intervalos de tempo sucessivos, no ponto de controle da bacia.

Na versão aqui utilizada, o modelo foi adaptado para utilização em planilha eletrônica. Para tanto, o algoritmo foi adaptado, substituindo o operador HUSUP por um RLS superficial.

Esta versão foi utilizada nos trabalhos de Angnes (2004) e Acosta (2004).

3.4.3 Descrição dos Parâmetros do Modelo MOPH

O modelo possui 9 parâmetros, os quais são descritos a seguir:

- SMAX (mm): representa a lâmina d'água do reservatório de intercepção, ou seja, existe um reservatório de intercepção, sobre toda a área da bacia, capaz de reter uma lâmina máxima que será o parâmetro SMAX do modelo. Varia para diferentes tipos de cobertura vegetal.

O que o algoritmo faz é o balanço hídrico no intervalo entre o conteúdo do reservatório de interceptação, a demanda de evaporação e a precipitação ocorrida (se houver).

O modelo procura satisfazer a evaporação a partir do conteúdo interceptado, mas busca o complemento na chuva, se este não for suficiente e se esta, neste caso, não ocorrer ou for reduzida, fica um déficit de evaporação a ser satisfeito pelo solo.

A seqüência lógica do algoritmo avalia no início de cada intervalo de tempo se existe ainda uma capacidade de interceptação SMAX – S, onde S representa o conteúdo já armazenado.

No início de cada intervalo de tempo a lâmina interceptada na bacia varia entre zero e SMAX.

- KSUB (dias): é um parâmetro que sintetiza a propagação do escoamento subsuperficial e subterrâneo.

Se o solo está saturado toda a chuva útil (PRUTI) vai escoar superficialmente ou subsuperficialmente.

A parcela da chuva destinada ao escoamento subsuperficial (PRSUB) é dada por uma função da PRUTI:

$$PRSUB = KSUB * PRUTI$$

Deste modo, a parcela efetiva (PEFET) ou destinada ao escoamento superficial é o complemento:

$$PEFET = (1 - KSUB) * PRUTI$$

- KSUP (dias): é um parâmetro que sintetiza a propagação superficial pelo método do RLS.

- Ktanque: coeficiente corretor cujo valor numérico há recomendações na literatura especializada.
- UMIDS (mm): é um parâmetro de saturação do solo, representa a quantidade máxima de água (mm) no solo saturado.

Este parâmetro é um índice de um estado de saturação do solo. Portanto, seu valor será sempre superior àquele do UMIDL, e a diferença entre esses dois valores vai depender da natureza e contextura do solo.

- UMIDL (mm): é um parâmetro do solo umedecido, representa a quantidade máxima de água (mm) do solo totalmente umedecido.

UMIDL é um valor representativo do teor de umidade do solo quando este estiver totalmente umedecido, ou seja, com a recarga total ou a quantidade total de sua água capilar absorvível. Podemos dizer que UMIDL é a água útil do solo

- CODIS: é um parâmetro que dimensiona o quanto o solo pode reter de umidade no intervalo de tempo. Seu valor é igual ou inferior a unidade, ou seja $0 \leq CODIS \leq 1$ e deve variar dependendo do solo (natureza, contextura, etc.).

Por exemplo, um CODIS = 0,80 significa que 80% da diferença entre UMIDS e teor de umidade do solo, com a diferença (DIF) positiva, destina-se a realimentação do aqüífero suprindo o solo de umidade no intervalo de tempo diário.

- DISTR: é um parâmetro que modula a parcela da chuva útil retida em solo não saturado. Este parâmetro está ligado aos fatores que condicionam a maior ou menor permeabilidade da camada superficial do terreno. Ele visa a dar sensibilidade ao modelo ao caso de ocorrência de precipitações pequenas no incremento de tempo Δt.

DISTR assume valores entre 0 e 1, ou seja $0 \leq DISTR \leq 1$).

- EXPO: é um parâmetro que modula a parcela de chuva útil que infiltra e percola até o aqüífero.

Por exemplo, EXPO = 1, significa que toda a chuva útil infiltra para o aqüífero.

EXPO assume valores entre 0 e 1, ou seja 0 ≤ EXPO ≤1).

O fluxograma do Modelo MOPH – Parte I e Parte II é apresentado na figura 3.2 e figura 3.3, respectivamente.

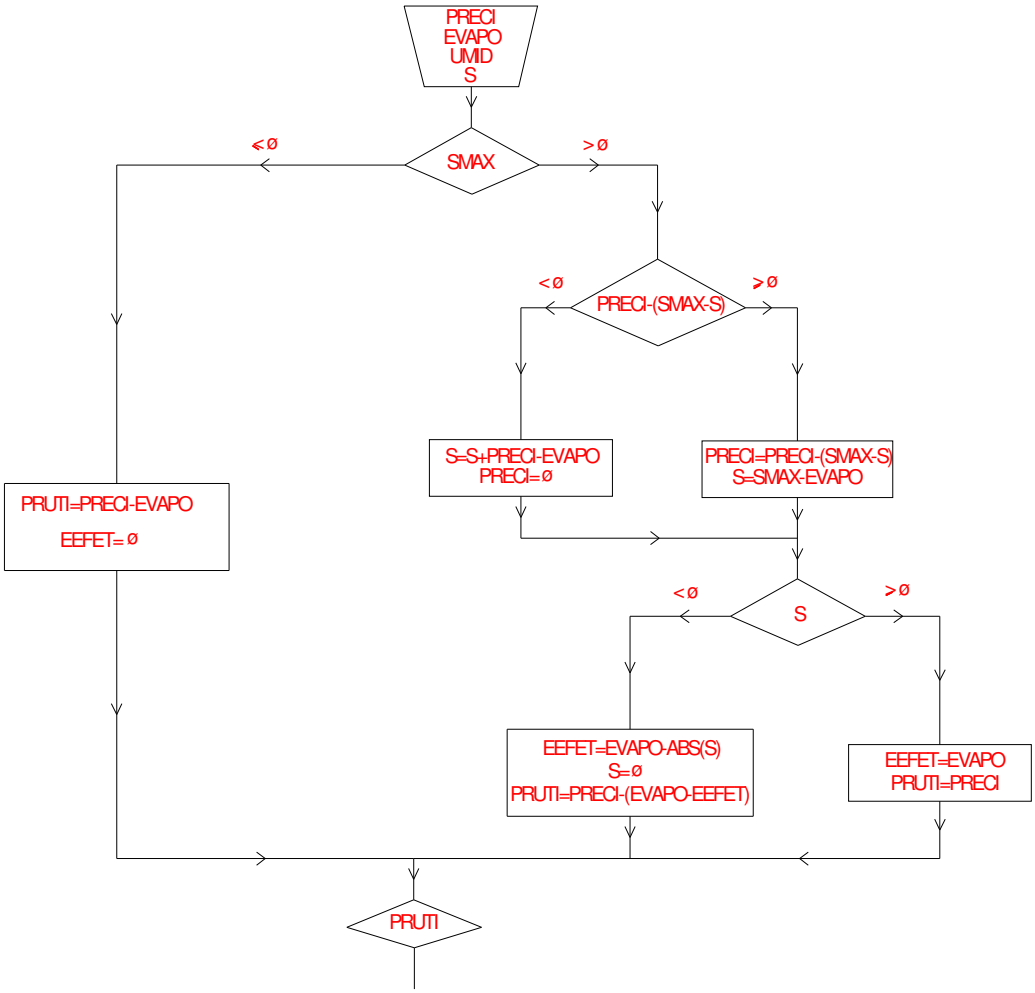

Figura 3.2 – Fluxograma do Modelo MOPH – Parte I

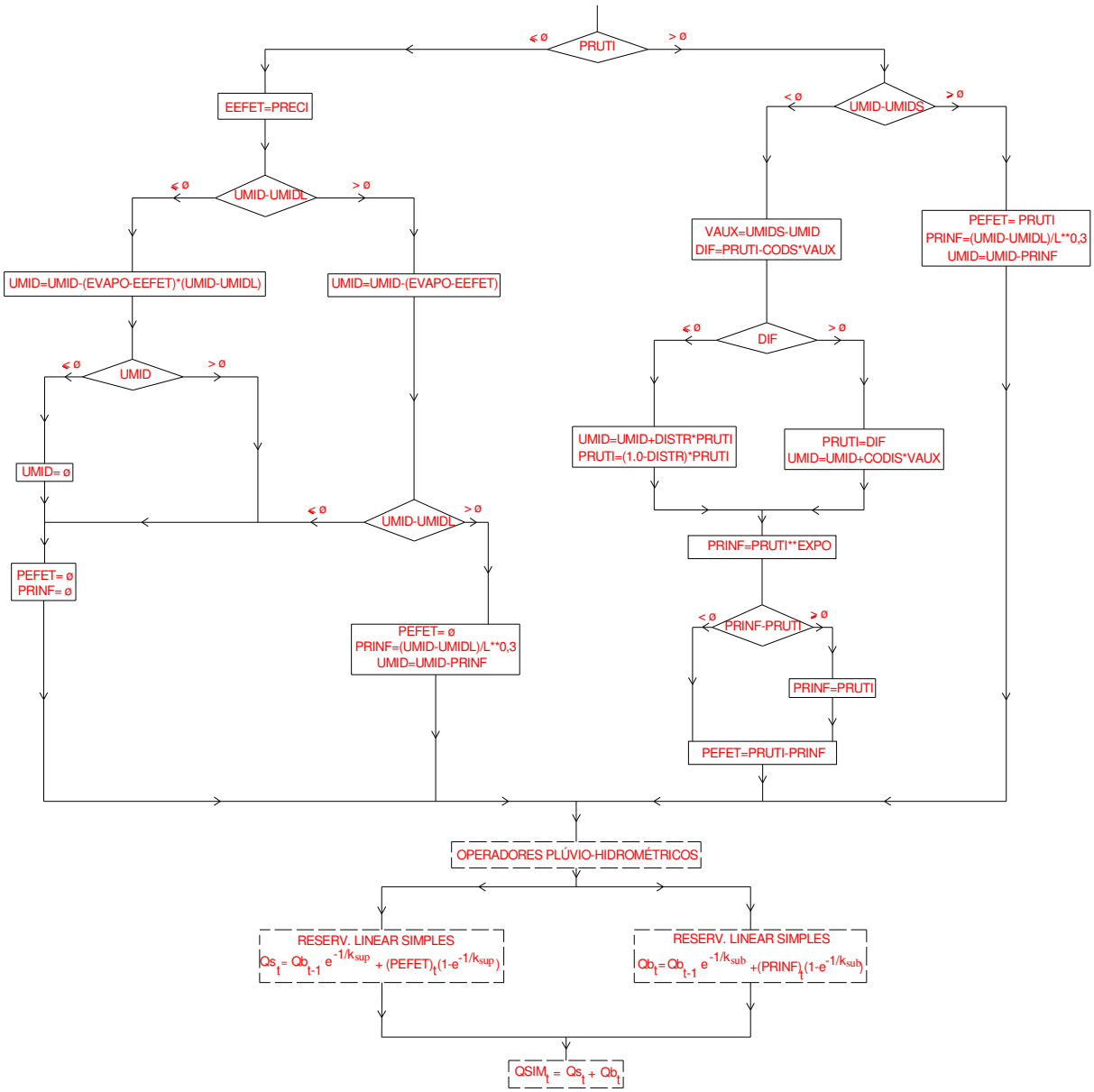

Figura 3.3 – Fluxograma do Modelo MOPH – Parte II

3.4.4 Ajuste dos Parâmetros do Modelo MOPH

O ajuste do modelo é a fase onde os parâmetros devem ser determinados, a partir da comparação entre os valores obtidos com a simulação do modelo e os valores observados, obtendo-se assim a validade ou não dos ajustes realizados, dependendo muito da disponibilidade dos dados existentes, de medições nem sempre corretas e principalmente, das características fisiográficas da bacia em estudo (Tucci, 1998).

A calibração do modelo consiste em obter a melhor combinação de valores dos parâmetros de ajuste, através de vários testes, para se conseguir uma boa simulação das descargas, dentro do objetivo principal pré-fixado: simulação global, deflúvios anuais, grandes ondas de cheia (picos), períodos de estiagem (curvas de depleção).

A calibração dos 9 parâmetros do Modelo MOPH é feita para cada bacia hidrográfica, utilizando-se dados diários de precipitação e de vazão e médias mensais de evapotranspiração potencial. Optou-se por calibrar períodos de 1 ano, obtendo-se um conjunto de parâmetros para cada ano simulado e posteriormente a seleção de um conjunto de "compromisso" como representativo da bacia.

Neste estudo, os parâmetros utilizados para o ajuste manual do modelo foram determinados por meio de um processo de tentativa e erro, de modo a obter uma melhor aproximação possível do hidrograma calculado ao observado para o período de anos de cada bacia e permitindo que os parâmetros variassem de acordo com os limites estabelecidos na literatura para cada parâmetro (Silveira, 1974), com a busca das melhores estatísticas e do melhor resultado gráfico visual.

Após definido o hidrograma calculado que representa uma aproximação da produção hídrica da bacia, esta foi tabulada na forma de uma curva de permanência para cada evento.

Verifica-se a necessidade de seguir critérios que fixem um objetivo desejado, que é, no caso geral, a concordância dos hidrogramas observado e calculado e, neste estudo em particular, a concordância das curvas de permanência observada e calculada. Adotou-se, então, como indicador de qualidade de ajuste, o coeficiente de

Nash (Tucci et al., 2000) das vazões, calculadas e observadas (R^2) dado pela expressão a seguir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Qobs_t - Qcalc_t)^2}{\sum (Qobs_t - Qobsmed_t)^2} \qquad \text{Equação 3-4}$$

onde:

$Qobs_t$ = vazão observada no intervalo de tempo t

$Qcalc_t$ = vazão calculada no intervalo de tempo t

$Oobs_{med}$ = vazão média observada

Observa-se que quanto maior o coeficiente de Nash R^2, melhor será o ajuste conseguido. O R^2 possui um valor máximo igual a 1, que corresponde a um ajuste perfeito entre vazões, calculadas e observadas.

Curva de Permanência de Vazões

Segundo Vogel e Fennessey (1995) curva de permanência indica a percentagem de tempo em que uma dada vazão é igualada ou superada durante um período de observações. Ela permite visualizar, de imediato, a potencialidade natural de um curso d'água, destacando-se a vazão mínima e o grau de permanência para qualquer valor da vazão (Euclydes, 2001b) e pode ser estabelecida baseando-se em valores diários, semanais ou mensais de vazões.

O primeiro uso da curva de permanência é atribuído a Clemens Herschel por volta de 1880 (Foster, 1934 apud Vogel e Fennessey, 1994). Historicamente, as curvas de permanência são amplamente utilizadas em estudos hidrológicos incluindo gerenciamento da qualidade da água, abastecimento de água, estudos hidrelétricos, controle de vazão, sedimentometria em rios e outros (Vogel e Fennessey, 1995).

As curvas de permanência para as bacias estudadas foram calculadas com base nos valores diários de vazão no período de dados.

A metodologia adotada para a determinação das curvas foi a fornecida por Lanna (2001) e descrita abaixo:

- ordenou-se a variável temporal em ordem decrescente, atribuindo ordem 1 ao maior valor e ordem n ao menor, em uma amostra com tamanho n;
- computou-se a frequência com que cada valor ordenado é excedido ou igualado (permanência), como 100. (m/n), sendo m sua ordem e n o tamanho da amostra;
- plotou-se a série ordenada em escala decimal, tendo como abscissa as permanências e as ordenadas, as vazões.

A Figura 3.2, apresenta de forma esquemática a relação entre fluviograma e curva de permanência. Considerando cada vazão, tem-se que a área sob a reta horizontal, correspondente a esta vazão, representa volumes iguais em cada gráfico. A curva de permanência sintetiza a variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos (Cruz, 2001).

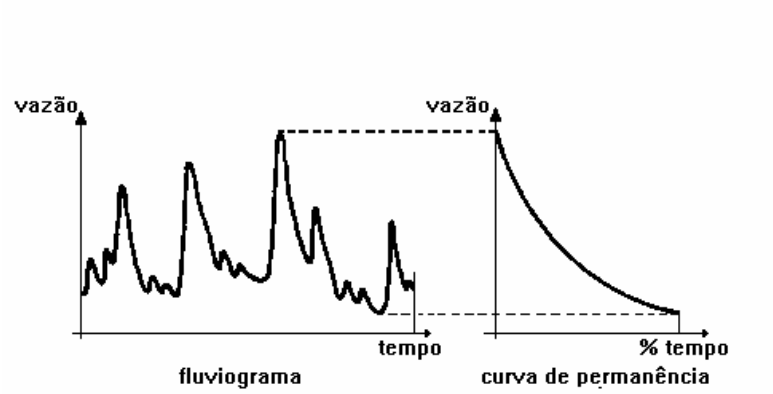

Figura 3-4 - Representação esquemática do fluviograma e respectiva curva de permanência Cruz (2001).

3.5 Regressão

Modelos de regressão são modelos matemáticos que relacionam o comportamento de uma variável dependente y com uma ou mais variáveis independentes x_1, x_2, ...,x_n.. Quando a função matemática "f" que relaciona duas variáveis é do tipo y = f(x) = a + bx temos o modelo de regressão simples. O modelo de regressão é multivariado quando o comportamento de y é explicado por mais de uma variável independente x_1, x_2, ...,x_n. Os modelos acima (simples ou multivariados)

simulam relacionamentos entre as variáveis do tipo linear (equação da reta ou do plano) ou não-linear (equação exponencial, geométrica ou de potência, logarítmica, etc...).

Para que serve determinar a relação entre duas variáveis?

Para realizar previsões futuras sobre algum fenômeno da realidade. Neste caso extrapola-se para o futuro as relações de causa-efeito já observadas no passado entre as variáveis.

A adequação do ajuste da função matemática aos dados pode ser verificada por uma série de avaliações objetivas. Entre essas avaliações, as mais adotadas são o coeficiente linear de correlação e o desvio padrão dos erros de ajustamento, também chamado de erro padrão de estimativa (Tucci, 2002).

O coeficiente linear de correlação ao quadrado ou coeficiente de determinação representa a proporção com que o modelo consegue explicar a variabilidade da função y. Quanto mais próximo de 1 estiver o coeficiente de correlação ao quadrado maior é a parcela explicada pelo modelo.

O erro padrão de estimativa quantifica a dispersão dos valores observados da variável independente em torno da função ajustada. Um valor baixo do erro padrão significa um bom ajuste (Tucci, 2002).

Yevjevich apud Tucci (2002) apresenta os passos gerais na análise por regressão, a seguir relacionados:

- selecionar a função matemática, simples ou múltipla, linear ou não-linear;
- estimar os parâmetros que medem o grau de correlação;
- testar a significância das estatísticas que medem a correlação;
- estimar os parâmetros da equação de regressão;
- testar a significância dos parâmetros de regressão e limites de confiança.

Segundo Tucci (2002), quando a função matemática é não linear procura-se, por um artifício, transformar essa equação numa expressão linear. Uma das funções usadas normalmente em hidrologia tem a seguinte forma.

$$y = C.\, X_1^{a_1} \,.\, X_2^{a_2} \;\ldots\; X_n^{a_n} \qquad \text{Equação 3-5}$$

em que C, $a_1, a_2, \ldots, a_n$ são parâmetros.

Transformando a equação acima por equação logarítmica fica

$$\ln y = \ln C + a_1 \ln X_1 + a_2 \ln X_2 + \ldots + a_n \ln X_n \qquad \text{Equação 3-6}$$

Esta equação é semelhante a

$$Z = b + a_1 W_1 + a_2 W_2 + \ldots + a_n W_n \qquad \text{Equação 3-7}$$

onde:

$Z = \ln y$; $W_i = \ln X_i$

Essa linearização foi realizada para as bacias em estudo. Para o cálculo dos coeficientes da equação 3.7 usou-se uma sub-rotina do EXCEL denominado de Proj.Lin cuja equação é $y = m_1 x_1 + m_2 x_2 + \ldots m_n x_n + b$ onde o valor de y dependente é uma função dos valores x independentes. Os valores de m são coeficientes que correspondem a cada valor de x , e b é um valor constante.

Para o cálculo do coeficiente de determinação (R^2), que indica a precisão com que a equação resultante da análise de regressão descreve a relação entre as variáveis, o Proj.Lin utiliza a equação

$$R^2 = \frac{ssreg}{sstotal} \qquad \text{Equação 3-8}$$

onde: *ssreg* = soma da regressão dos quadrados

s*stotal* = soma total dos quadrados.

Inicialmente não são conhecidas as variáveis independentes que melhor explicam a variável dependente. Portanto, é necessário procurar a melhor combinação das variáveis independentes que represente a distribuição dos valores da variável dependente (Tucci, 2002). Para auxiliar na busca das variáveis independentes, utiliza-se da análise do coeficiente de correlação entre cada variável.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Descrição Geral

A área de estudo abrange a hidrografia dos afluentes da margem esquerda do Rio Uruguai, dos rios Apuê ao Piratinim e parte da bacia do Alto Jacuí, compreendendo as coordenadas geográficas: 27° e 29°30' de latitude sul e 51°15' e 55°30' de longitude oeste e drenando uma área de aproximadamente 56.000 km².

Justifica-se a escolha da área de estudo ao fato de os dados pluvio e fluviométricos estarem disponibilizados no Departamento de Hidráulica e Saneamento/UFSM através de outros projetos já desenvolvidos e em convênio com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas tais como: Regionalização de Vazões (UFRGS/IPH, 2001).

A Figura 4.1 mostra a área de estudo.

A definição da área total do estudo, onde se inserem as bacias, obedeceu aos seguintes condicionantes para estabelecer os seus limites:

- ao norte, noroeste e oeste, o limite está definido pelo curso do Rio Uruguai, que estabelece a fronteira do Rio Grande do Sul com Santa Catarina e Argentina;
- ao sudoeste, encontram-se as bacias hidrográficas da Fronteira Oeste, já pertencentes à chamada Metade Sul;
- ao sul e sudeste, o limite foi estabelecido pela transição entre o Planalto e a Depressão Central;
- ao leste e nordeste, a demarcação ficou condicionada pela presença dos chamados Campos de Cima da Serra, onde se pratica predominantemente a pecuária, não sendo de interesse realizar estudos nas bacias.

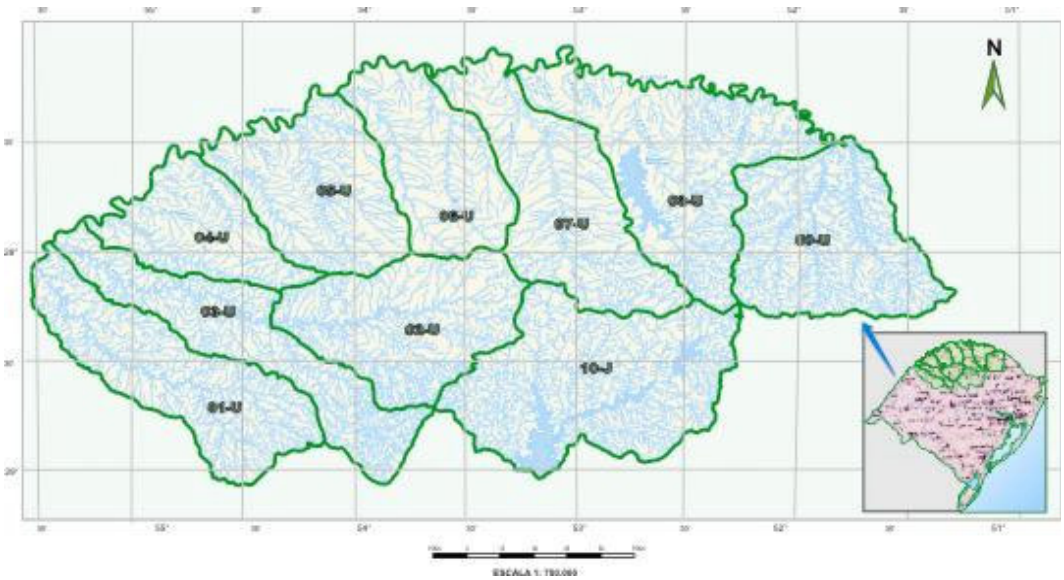

Figura 4-1 – Localização da área de estudo e identificação das bacias (UFSM/2002)

O relevo da área apresenta uma inclinação no sentido de leste para oeste de acordo com as cotas altimétricas regionais. As nascentes de diversos rios e arroios associam-se aos dois tipos de aqüíferos, sendo predominante na área de estudo o aqüífero fraturado associado aos derrames vulcânicos. A constituição litológica predominante constitui-se de rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral. Os solos identificados na região foram: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho, Podzólico Vermelho Amarelo, Litossolos, entre outros.

Pela classificação de Köppen, a área de estudo apresenta basicamente o clima do tipo Cfa, temperado, com chuvas em todas as estações e a temperatura média do mês mais frio oscila entre –3º e 18ºC. Em geral, as chuvas são bem distribuídas por todos os meses do ano, não sendo marcadamente periódicas ou estacionais, com valores totais mensais médios superiores a 70 mm. Em termos anuais a maior parte da região tem chuvas na faixa dos 1700 a 2000 mm, sendo mais intensas na região central da área de estudo (UFSM, 2002).

Quanto ao uso do solo, as principais culturas da região são soja, maçã, laranja, mandioca, milho e trigo, sendo a maçã a principal cultura permanente e a soja, a principal cultura temporária com relação as quantidades produzidas.

Conforme Censo Agropecuário – IBGE (1986), a região apresenta área de pastagem natural e área de pastagem plantada, mata e florestas naturais e matas e florestas artificiais (reflorestamento).

Diferentes tipos de vegetação são encontrados na região. No Alto Uruguai encontra-se a última mancha típica de floresta subtropical continental de nosso Estado, destacando-se as leguminosas grápia, canafístula, cedro, angico, guajuvira, louro e o soroco. Na região de Passo Fundo há o predomínio de campo, destacando-se a barba-de-bode, além de matas de galeria, ao longo dos rios. Ao norte e noroeste, existem lavouras de soja e trigo, especialmente.

A população indígena na região de estudo são os Kaigáng aldeados sob os cuidados da Fundação Nacional do Índio (FUNAI), praticando a agricultura mecanizada do trigo, milho e soja numa reserva do Alto Uruguai (entre Lagoa Vermelha e Santo Augusto) (IBGE, 1986).

4.2 Dados Fluviométricos , Pluviométricos e de Evaporação

Os dados de evaporação utilizados foram obtidos com a média dos dados disponíveis na estação de Ijuí e disponibilizados pela antiga IPAGRO (1974), atualmente FEPAGRO.

Os dados fluviométricos e pluviométricos são indispensáveis para os estudos de aproveitamentos hidroenergéticos, planejamento de uso dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, meio ambiente e muitos outros estudos de grande importância científica e sócio-econômica (Ibiapina et al. 1999).

Em nível federal está, cada vez mais, sedimentando-se a importância de se manter uma rede hidrométrica bem planejada e operada, para que se possa fazer um gerenciamento adequado dos potenciais hídricos disponíveis no país, assim como atender às demandas de vários setores do governo ou da iniciativa privada, que

necessitam de informações para desenvolvimento de projetos de infra-estrutura, como os de transporte, saúde, agricultura e energia (Ibiapina et al. 1999).

Em nível estadual está se desenvolvendo uma nova mentalidade sobre a importância do monitoramento hidrológico, para que cada Estado possa conhecer e gerenciar o seu potencial hídrico.

Pelo Inventário das Estações Fluviométricas e Pluviométricas, editado pelo Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE – 1996) e fornecido pela ANEEL, foram identificadas 49 estações fluviométricas e 36 estações pluviométricas.

Utilizando os diagramas de barra de estações fluvio-pluviométricas, as estações passaram por um processo de pré-seleção, observando-se principalmente a sua localização geográfica em relação à rede fluvial, período de operação e qualidade das observações. Esta análise permitiu selecionar nas séries históricas um período comum de observações, abrangendo os anos de 1940 a 1999, ou seja, 59 anos. Foram selecionadas 32 estações fluviométricas e 31 estações pluviométricas constantes nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

As localizações das estações pluvio e fluviométricas são apresentadas na Figura 4.2.

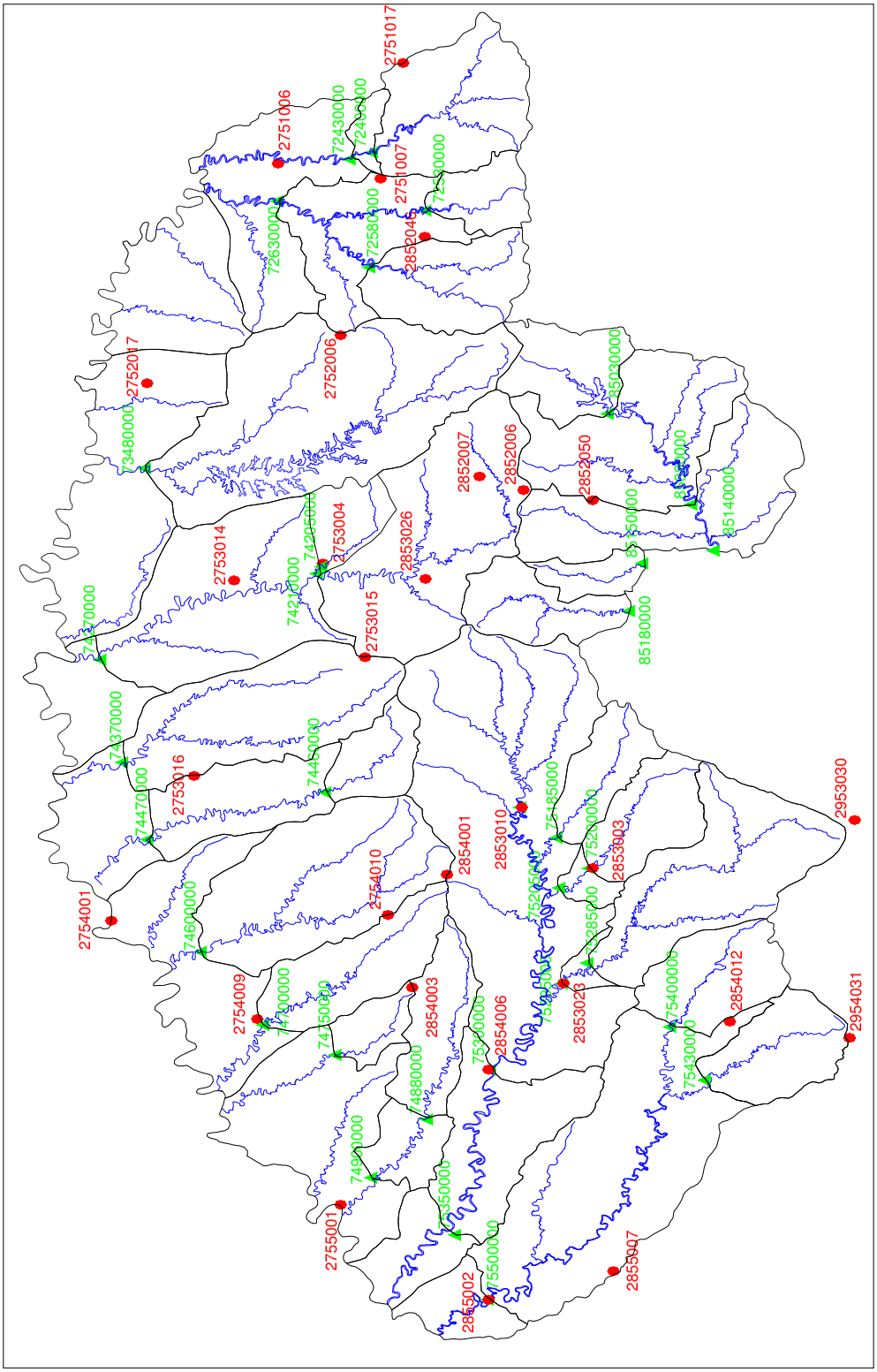

Figura 4-2 – Localização das estações pluvio-fluviométricas da área estudada (UFSM/2002).

Tabela 4-1 - Estações Fluviométricas Utilizadas

Código	Estação	Rio	Área (km²)	Período com registro de dados
72400000	Passo São Geraldo	Rio Forquilha	1470,00	1960 - 1979
72430000	Passo do Granzotto	Rio Forquilha	1627,00	1977 - 1997
72530000	Passo do Ligeiro	Rio Apuê ou Ligeiro	469,10	1977 - 1995
72580000	Ponte do Rio Tapejara	Rio Tapejara	1063,00	1977 - 1989
72630000	Passo Santa Tereza	Rio Apuê ou Ligeiro	2785,00	1977 – 1997
73480000	Ponte do Rio Passo Fundo	Rio Passo Fundo	3682,00	1977 - 1988
74205000	Linha Cescon	Arroio Caturetê	442,00	1960 - 1984
74210000	Potreiro Bonito	Rio da Várzea	2581,00	1973 - 1984
74270000	Passo Rio da Várzea	Rio da Várzea	5412,00	1978 - 1989
74370000	Palmitinho	Rio Guarita	2002,00	1978 - 1993
74460000	Ponte do Rio Turvo	Rio Turvo	521,60	1978 - 1990
74470000	Três Passos	Rio Turvo	1553,00	1978 - 1990
74600000	Cascata Burica	Rio Burica	2296,31	1978 - 1993
74700000	Tucunduva	Rio Santa Rosa	1119,00	1977 - 1994
74750000	Linha Cascata	Rio Santo Cristo	334,60	1977 - 1994
74880000	Passo São João	Rio Comamdaí	826,30	1980 - 1988
74900000	Linha União	Rio Comamdaí	1263,00	1980 - 1989
75185000	Ponte Nova do Potiribu	Rio Potiribu	618,20	1964 - 1995
75200000	Conceição	Rio Conceição	802,60	1960 - 1995
75205000	Ponte Nova do Conceição	Rio Conceição	959,60	1975 - 1995
75285000	Usina Velha	Rio Ijuizinho	2019,00	1945 - 1950
75295000	Colônia Mousquer	Rio Ijuizinho	2135,00	1978 - 1993
75300000	Passo Viola	Rio Ijuí	8855,00	1972 – 1978
75350000	Passo Florida	Rio Ijuí	10266,00	1971 - 1975
75400000	Passo do Dias	Rio Piratinim	940,20	1977 - 1993
75430000	Passo Major Zeferino	Arroio Inhacapetum	880,80	1970 - 1975
75500000	Passo do Sarmento	Rio Piratinim	5239,00	1984 - 1993
85030000	Usina Passo Fundo	Rio Jacuí	784,00	1946 - 1950
85080000	Espumoso	Rio Jacuí	2681,00	1988 - 1994
85140000	Passo Bela Vista	Rio Jacuí	4444,00	1988 - 1995
85150000	Ponte Ibirubá	Arroio Grande	312,10	1956 - 1959
85180000	Ponte Santo Antonio	Rio Jacuí-Mirim	736,40	1958 - 1969

Tabela 4-2 - Estações Pluviométricas Utilizadas

Código	Estação	Período com registro	Código	Estação	Período com registro
2751006	Paim Filho	1957 – 1998	2852046	Tapejara	1976 – 1998
2751007	Sanunduva	1957 – 1998	2852050	Não Me Toque	1985 – 1998
2751017	Clemente Argolo	1976 - 1998	2853003	Conceição	1959 – 1995
2752006	Erebango	1943 – 1998	2853010	PAS Faxinal	1957 – 1995
2752017	Itatiba do Sul	1976 - 1998	2853014	Sta Clara do Ingai	1944 – 1998
2753004	Linha Cescon	1959 – 1995	2853023	Condor	1976 – 1995
2753006	Palmitos	1959 - 1995	2853026	Chapada	1977 – 1995
2753014	Liberato Salzano	1976 – 1995	2854001	Boa Vista	1969 – 1995
2753015	Palmeira das Missões	1976 – 1995	2854003	Giruá	1943 - 1995
2753016	Miraguai	1976 – 1995	2854006	PAS Viola	1969 – 1995
2754001	Alto Uruguai	1949 - 1995	2854012	Coimbra	1976 – 1995
2754009	Tucunduva	1976 – 1995	2855002	PAS do Sarmento	1957 – 1995
2754010	Esquina Araújo	1976 – 1995	2855007	Sto Ant das Missões	1983 - 1995
2755001	Porto Lucena	1949 – 1995	2953030	Tupanciretã	1977 - 1998
2852006	Carazinho	1941 – 1995	2954031	Esquina dos Lima	1983 - 1998
2852007	Colônia Xadrez	1944– 1995			

4.3 Bacias de Estudo

4.3.1 Características fisiográficas das bacias estudadas

A Tabela 4.3 apresenta as características fisiográficas das bacias estudadas e definidas conforme descrito na metodologia.

4.3.2 Precipitação Média

Para o cálculo da precipitação média mensal das bacias hidrográficas estudadas, foi adotado o Método de Thiessen e utilizado software AutoCAD Map 2000i para traçado dos polígonos de Thiessen. As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam exemplos dos polígonos.

Tabela 4-3 - Características fisiograficas das bacias estudadas

Bacias	L	Área	Perímetro	Comprimento da rede de drenagem	Declividade do rio Principal	Densidade de Drenagem	Fator de Forma	Coeficiente de compacidade
	(km)	(km²)	(km)	(km)	(m/km)	(km/km²)		
72400000	84,84	1470,00	168,91	966,91	0,48485	0,6578	0,2042	1,2335
72430000	94,69	1627,00	175,06	1032,68	0,43766	0,6347	0,1815	1,2152
72530000	41,42	469,10	142,06	303,96	1,41390	0,6480	0,2734	1,8365
72580000	71,92	1063,00	138,30	631,61	0,84341	0,5942	0,2055	1,1877
72630000	138,70	2785,00	245,92	1741,20	0,66964	0,6252	0,1448	1,3048
73480000	177,10	3682,00	291,50	1655,84	1,21711	0,4497	0,1174	1,3451
74205000	41,95	442,00	88,81	163,65	0,77804	0,3702	0,2512	1,1828
74210000	206,20	2581,00	247,11	1227,47	0,35130	0,4756	0,0607	1,3619
74270000	347,40	5412,00	367,03	2178,90	0,26407	0,4026	0,0448	1,3970
74370000	160,10	2002,00	206,03	706,03	1,39995	0,3527	0,0781	1,2893
74460000	52,93	521,60	100,19	154,97	0,02860	0,2971	0,1862	1,2283
74470000	161,90	1553,00	216,51	531,25	0,32717	0,3421	0,0592	1,5384
74600000	154,18	2296,31	203,40	1317,85	0,3978	0,5739	0,0966	1,1885
74700000	124,70	1119,00	159,35	521,52	0,34828	0,4661	0,0720	1,3338
74750000	39,94	334,60	86,52	128,05	0,91231	0,3827	0,2098	1,3289
74880000	107,40	826,30	154,01	414,84	0,61324	0,5020	0,0716	1,5001
74900000	159,10	1263,00	218,57	657,72	0,58538	0,5208	0,0499	1,7220
75185000	64,33	618,20	124,73	351,43	0,46742	0,5685	0,1494	1,4046
75200000	69,37	802,60	128,58	583,28	0,28807	0,7267	0,1668	1,2708
75205000	88,75	959,60	159,71	668,75	0,22776	0,6969	0,1218	1,4436
75285000	167,40	2019,00	228,71	726,53	0,93297	0,3598	0,0720	1,4252
75295000	129,90	2135,00	243,15	795,00	0,82603	0,3724	0,1265	1,4734
75300000	93,28	8855,00	453,87	4991,52	0,79458	0,5637	1,0177	1,3505
75350000	116,50	10266,00	557,59	5756,70	0,78019	0,5608	0,7564	1,5409
75400000	62,86	940,20	129,83	553,88	0,20027	0,5891	0,2379	1,1856
75430000	78,73	880,80	125,27	519,33	0,40118	0,5896	0,1421	1,1819
75500000	293,70	5239,00	375,59	2814,08	0,28780	0,5371	0,0607	1,4529
85030000	63,00	784,00	136,90	492,95	0,29410	0,6288	0,1975	1,3690
85080000	126,40	2681,00	245,14	1577,13	0,27962	0,5883	0,1678	1,3256
85140000	153,80	4444,00	309,78	2651,10	0,22791	0,5966	0,1879	1,3011
85150000	42,49	312,10	91,33	155,30	0,37290	0,4976	0,1729	1,4475
85180000	80,54	736,40	132,49	164,35	0,27995	0,2232	0,1135	1,3670

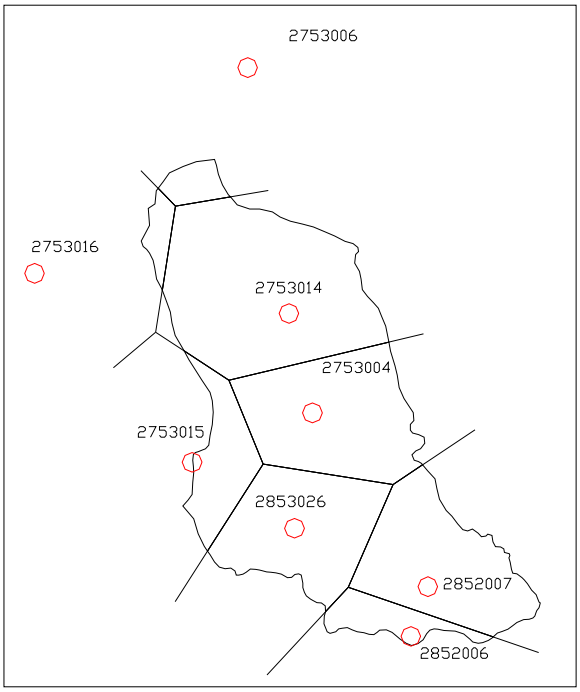

Figura 4-3 – Polígono de Thiessen para a Bacia 74270000

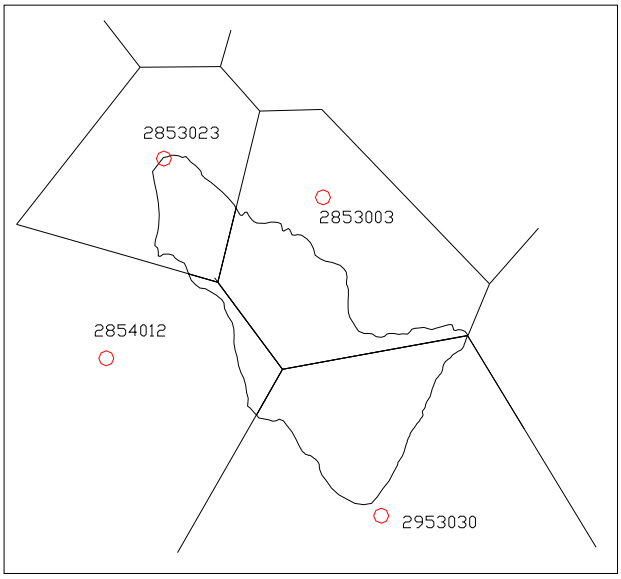

Figura 4-4– Polígono de Thiessen para a Bacia 75295000

A Tabela 4.4 apresenta os coeficientes de Thiessen encontrados para cada bacia.

Tabela 4-4 – Coeficientes de Thiessen

Bacias	Estações Fluviométricas	Coeficiente de Thiessen (%)
72400000	2751007	100
72430000	2751007	34,92
	2751017	65,08
72530000	2852046	100
72580000	2852046	85,62
	2752006	14,38
72630000	2751006	6,40
	2751007	15,38
	2852046	61,99
	2752006	16,24
73480000	2752017	16,25
	2751006	46,64
	2852046	2,97
	2852007	19,78
	2753004	5,94
	2753014	8,42
74205000	2753004	100
74210000	2753004	42,75
	2852007	45,55
	2852006	11,70
74270000	2753006	2,24
	2753014	30,42
	2753004	19,57
	2852007	17,64
	2852006	4,28
	2853026	16,48
	2753015	7,56
	2753016	1,81
74370000	2753015	45,17
	2753016	53,03
	2753014	1,80
74460000	2753015	69,34
	2854001	26,03
	2753016	4,62

CONTINUA

Continuação

Bacias	Estações Fluviométricas	Coeficiente de Thiessen (%)
74470000	2753015	25,62
	2854001	8,98
	2753016	65,40
74600000	2754010	69,70
	2754009	15,00
	2754001	7,28
	2753016	7,98
74700000	2854003	29,54
	2754009	33,70
	2754010	31,27
	2854001	5,49
74750000	2854003	89,22
	2754009	10,78
74880000	2854006	42,97
	2854003	53,29
	2754010	1,60
	2854001	2,14
74900000	2755001	22,90
	2854006	39,81
	2854003	34,85
	2754010	1,04
	2854001	1,40
75185000	2853010	74,77
	285,014	7,65
	2853003	17,58
75200000	2853003	100
75205000	2853003	100
75285000	2854003	39,17
	2853014	60,83
75295000	2853023	16,21
	2853003	35,82
	2953030	40,84
	2854012	7,13

Continua

Continuação

Bacias	Estações Fluviométricas	Coeficiente de Thiessen (%)
75300000	2854003	11,24
	2854001	7,83
	2853010	33,30
	2853014	2,33
	2853003	45,30
75350000	2755001	1,06
	2854006	21,95
	2853010	33,02
	2853014	2,01
	2853003	39,84
	2855002	2,12
75400000	2853003	4,19
	2854012	95,81
75430000	2854006	40,17
	2853003	59,83
75500000	2954031	7,33
	2854012	47,75
	2854006	7,01
	2855007	27,93
	2855002	9,98
85030000	2852006	100
85080000	2852050	70,86
	2852006	25,84
	2852046	3,31
85140000	2853014	10,40
	2852006	19,90
	2852046	2,00
	2852050	67,70
85150000	2853014	100
85180000	2853014	33,23
	2852006	66,77

5 AJUSTE DO MODELO MOPH

Para a seleção dos períodos de dados disponíveis para os ajustes observou-se os períodos com dados das estações pluviométricas com influência sobre cada bacia definida pela estação fluviométrica (ver diagramas de barras na Tabela 5.2).

Para a realização do ajuste do modelo hidrológico para cada bacia em estudo considerou-se os anos com dados concomitantes de chuva e vazão e, podem ser conferidos na Tabela 5.1.

O processo de ajuste conforme descrito na metodologia foi por tentativa e erro. Para conferir a qualidade de cada ajuste, foi calculado o coeficiente de determinação de Nash (R^2) de duas maneiras, um para o hidrograma e outro para a curva de permanência. Um exemplo dos resultados obtidos para as bacias estudadas é mostrado na Tabela 5.3, a qual mostra os parâmetros de melhor ajuste para cada ano e, na última coluna, o conjunto considerado como sendo “de compromisso”.

Parâmetro de compromisso é aquele considerado como representativo da bacia e se mantém ao longo de muitos anos de simulação.

Tabela 5-1 – Anos (Eventos) utilizados no processo de ajuste do modelo para cada bacia.

Código da Bacia	Anos com dados
72400000	1960, 1961,1962, 1963, 1964, 1965,1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978 , 1979
72430000	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1996, 1997
72530000	1977, 1978, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1995
72580000	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989
72630000	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1995, 1997
73480000	1977, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988,
74205000	1960, 1961,1962, 1963, 1964, 1965,1966, 1967, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978 , 1979, 1980, 1982, 1983, 1984
74210000	1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978 , 1980, 1982, 1983, 1984
74270000	1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1988, 1989
74370000	1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993
74460000	1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1987, 1988, 1989, 1990
74470000	1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1987, 1988, 1989, 1990
74600000	1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1987, 1988, 1989, 1990
74700000	1977, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1994
74750000	1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994
74880000	1980, 1982, 1983, 1986, 1987, 1988
74900000	1980, 1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1988, 1989
75185000	1964, 1965, 1967, 1968, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978 , 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1986, 1987, 1988, 1989, 1993, 1995
75200000	1960, 1961,1962, 1963, 1964, 1965, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978 , 1979, 1983, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1995
75205000	1975, 1976, 1977, 1978 , 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995
75285000	1945, 1946, 1947, 1950
75295000	1978 , 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1988, 1989, 1990, 1991, 1993
75300000	1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978
75350000	1971, 1972, 1973, 1974, 1975
75400000	1977, 1978 , 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1988, 1989, 1991, 1992, 1993
75430000	1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975
75500000	1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1993
85030000	1946, 1947, 1948, 1949, 1950
85080000	1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994,
85140000	1988, 1989, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995
85150000	1956, 1957, 1959
85180000	1958, 1961, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969

Tabela 5-2 – Diagrama de barras dos dados fluviométricos e pluviométricos (x: dado consistidos, i: dados incompletos

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
72400000																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			i	i																
2751007																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
72430000																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2751007																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i
2751017																																							i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
72530000																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	i	x	x	x	x	x	i	i	i
2852046																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
72580000																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										
2852046																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i
2752006				i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
72630000																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x
2751006																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	i
2751007																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i
2852046																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i
2752006				i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
73480000																														i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	i	i	x	x	i				
2752017																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i		
2752006				i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i
2852046																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i
2852007					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i	i		i	x	i	i	i	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2753004																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	i	i	x	x			
2753014																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74205000																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x
2753004																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	i	i	x	x			

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74210000																																x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	i														
2753004																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	i	i	x	x			
2852007					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i	i		i	x	i	i	i	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x				
2852006		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x							i	x	i	x	x		i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7427000	i	x	x	i		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x
2753006																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2753014																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2753004																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	i	i	x	x			
2852007					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i	i		i	x	i	i	i	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x				
2852006		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x							i	x	i	x	x		i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x				
2853026																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	i	x				
2753015																																					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	x				
2753016																																					i	i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74370000																								i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2753015																																					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	x				
2753016																																					i	i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	i				
2753014																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74460000																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2753015																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	i	x					
2854001																														i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	i	i	x	i				
2753016																																					i	i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	i	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74470000																								i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x
2753015																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	i	x					
2854001																														i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	i	i	x	i				
2753016																																					i	i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	i	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74600000			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i		
2754010																																					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x					
2754009																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x				
2754001										i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	x	i	x	x				
2753016																																					i	i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	i	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74700000			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2854003				i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2754009																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2754010																																					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x					
2854001																														i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	i	i	x	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74750000																								i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i	x	i	x
2854003				i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2754009																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74880000		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i	i	i	i	i	x	x	i	i	x
2854006																														i	x	x	x	x	x	i			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				
2854003				i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2754010																																					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x					
2854001																														i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	i	i	x	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
74900000																														i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	i
2755001										i	x	x	x	x	i	i	i	x	x	x	x	x	x	i	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i	x	x				
2854006																														i	x	x	x	x	x	i			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				
2854003				i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2754010																																					i	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x					
2854001																														i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	i	i	x	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75185000																								i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	i	x	i	x				
2853010																	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i		i	x	x				
2853014					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i	x	i			
2853003																				i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75200000			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			i	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2853003																				i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75205000																																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x	x				
2853003																				i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75285000	i	i	x	x	x	x	x	i	i	x																																																	
2854003				i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2853014					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i	x	i		

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75295000																																			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2853023																																					i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x				
2853003																				i	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2953030																																							i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i		
2854012																																							i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75300000		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						i					x	x	x	x	x	x	x																					
2854003				i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2854001																													i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	i	i	x	i				
2853010																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i		i	x	x	x				
2853014					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	i	
2853003																				i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75350000																																	x	x	x	x	x																							
2755001										i	x	x	x	x	i	i	i	x	x	x	x	x	x	i	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i	x	x				
2854006																													i	x	x	x	x	x	x	i			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				
2853010																		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i		i	x	x	x				
2853014					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	i	
2853003																				i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
2855002																		i	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75430000			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																				
2854006																													i	x	x	x	x	x	x	i			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				
2853003																				i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75400000		i	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i				
2854012																																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				
2853023																																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
75500000		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	i	x				
2954031																																											i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i				
2854012																																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				
2854006																													i	x	x	x	x	x	x	i			i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i				
2855007																																											i	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x				
2855002																		i	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
85030000			i	i		i	x	x	x	x	x	i	i	x	i																																												
2852006		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x							i	x	i	x	x		i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x				

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
85080000			x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x	i	i	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	i	x	x	x	x	x	x	x	x				
2852050																																													i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2852006		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x							i	x	i	x	x		i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x				
2852046																																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
85140000	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2853014					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	i	
2852006		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x							i	x	i	x	x		i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x				
2852046																																				i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i			
2852050																																													i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	i			

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
85150000		i	i	i	x	i	x	x	x	i	i	x	x	x	x	x	x	i	x																																								
2853014					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	i	

	1940										1950										1960										1970										1980										1990									
Código	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
85180000		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	i																														
2853014					i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	i	x	i	
2852006		i	x	x	x	x	x	x	x	x	x							i	x	i	x	x		i	i	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	i	x	x	x	x	x	x				

Tabela 5-3 – Bacia 74880000 – Passo do Dias – Área: 826,29 Km² - L: 107,37 Km

MOPH	1980	1982	1983	1986	1987	1988	Parâmetros de compromisso
SMAX (mm)	15	15	15	15	15	15	15
UMIDS (mm)	300	300	300	300	300	300	300
UMIDL (mm)	140	140	140	140	140	140	140
CODIS	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
DISTR	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
EXPO	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
ktanque	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
L (km)	107,37	107,37	107,37	107,37	107,37	107,37	107,37
Área (km2)	826,29	826,3	826,3	826,3	826,3	826,3	826,3
ksub (dias)	35	35	35	35	35	35	35
ksup (dias)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
R^2 hidrog	0,4896	0,7520	0,7777	0,8653	0,8054	0,8230	
R^2 cperm	0,9293	0,9871	0,9916	0,9849	0,9905	0,9855	

No processo de ajuste do modelo foram testados diferentes conjuntos de parâmetros e prosseguiu-se nesta operação até alcançar um conjunto de valores que representasse o melhor ajuste para cada ano de modo a ser um ajuste harmônico entre os anos. O exemplo apresentado na tabela 5.3 mostra que para cada ano ajustado o conjunto de valores se manteve constante.

Alguns exemplos de hidrogramas observados e calculados para os ajustes para as bacias estudadas podem ser visualizados nas Figuras 5.1 a 5.5

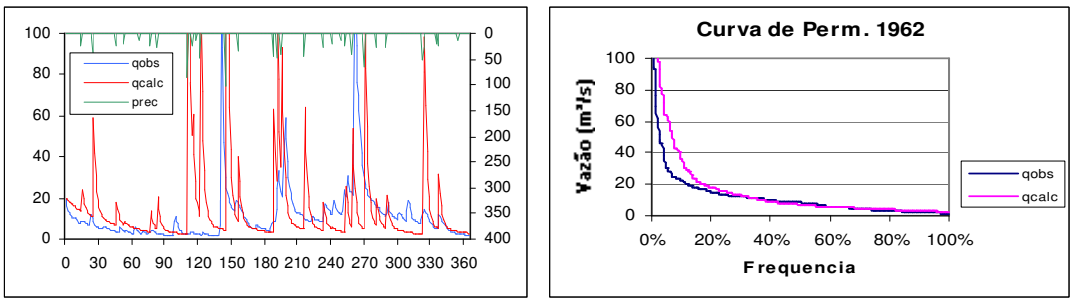

Figura 5-1 – Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 72400000 - Passo São Geraldo

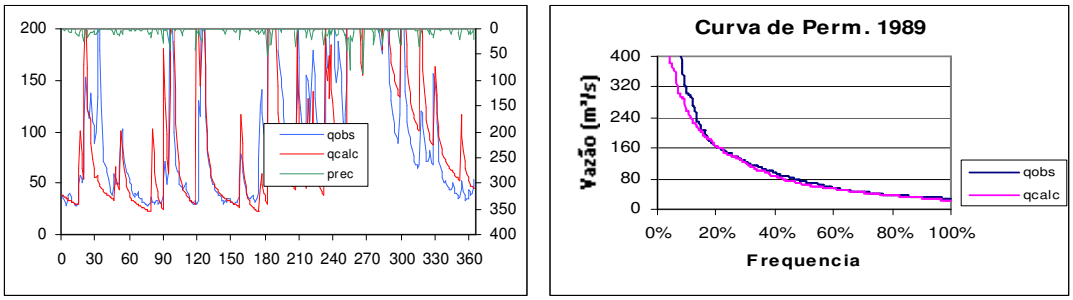

Figura 5-2 – Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 74270000 – Passo Rio da Várzea

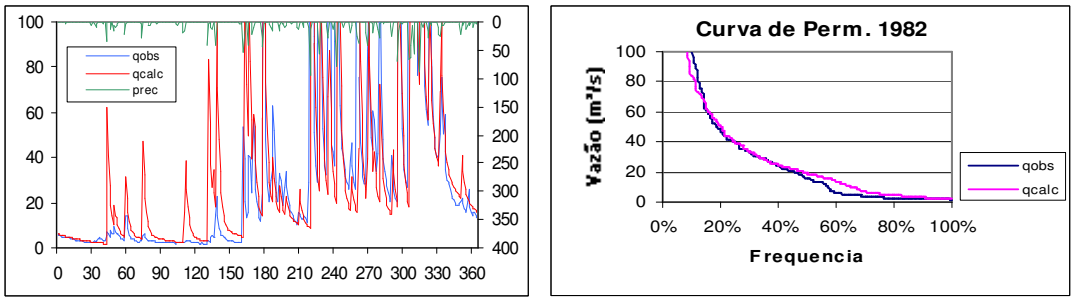

Figura 5-3 - Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 74900000 – Linha União

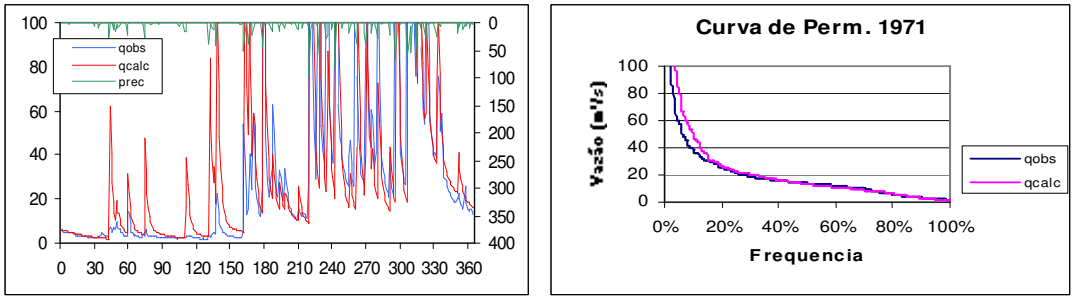

Figura 5-4 - Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 75430000 – Passo Major Zeferino

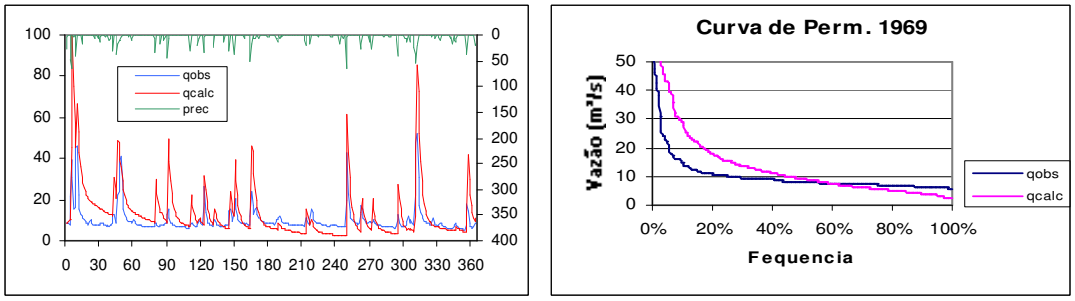

Figura 5-5 – Vazões Observadas e Calculadas – Bacia 85180000 – Ponte Santo Antonio

Os resultados dos ajustes para todas as bacias estão apresentados na Tabela 5.4.

Observou-se, durante os procedimentos de ajuste, que alguns parâmetros eram pouco sensíveis. Em outras palavras, quando eram alterados para mais ou para menos,

inclusive com grande variação, a resposta do modelo em termo de variação no hidrograma resultante, foi muito pequena, desprezível.

Para exemplificar o que está sendo dito, apresenta-se nas Figuras 5.6 e 5.7, duas simulações com diferentes valores do parâmetro UMIDL. Em função disso, adotou-se para todas as bacias o mesmo valor.

Tabela 5-4 – Parâmetros de Ajuste para as Bacias

Bacias	PARÂMETROS DE AJUSTE									
	SMAX	UMIDS	UMIDL	CODIS	DISTR	EXPO	Ktanque	KSUB	KSUP	R²médio
	(mm)	(mm)	(mm)					(dias)	(dias)	
72400000	15	300	140	0,8	0,48	0,55	0,7	35	2,2	0,9893
72430000	12	200	140	0,8	0,48	0,54	0,7	35	2,2	0,9867
72530000	8	300	140	0,8	0,45	0,62	0,7	45	2,6	0,9934
72580000	10	300	140	0,8	0,34	0,82	0,7	45	2,6	0,9601
72630000	12	300	140	0,8	0,34	0,64	0,7	45	2,2	0,9402
73480000	10	300	140	0,8	0,44	0,46	0,7	35	1,6	0,8096
74205000	10	300	140	0,8	0,32	0,54	0,7	25	1,8	0,9984
74210000	12	300	140	0,8	0,42	0,58	0,7	35	2,8	0,7950
74270000	10	300	140	0,8	0,38	0,62	0,7	45	2,6	0,6852
74370000	10	300	140	0,8	0,44	0,74	0,7	45	2,2	0,8621
74460000	10	200	140	0,8	0,48	0,82	0,7	45	1,8	0,9990
74470000	10	300	140	0,8	0,42	0,64	0,7	45	2,6	0,9536
74600000	12	300	140	0,8	0,38	0,64	0,7	60	2,4	0,9476
74700000	10	300	140	0,8	0,34	0,64	0,7	45	2,0	0,9739
74750000	6	300	140	0,8	0,48	0,54	0,7	45	2,6	0,9973
74880000	15	300	140	0,8	0,28	0,56	0,7	35	1,6	0,9929
74900000	8	300	140	0,8	0,28	0,64	0,7	35	2,2	0,9810
75185000	8	300	140	0,8	0,54	0,64	0,7	45	2,2	0,9979
75200000	12	300	140	0,8	0,36	0,74	0,7	45	2,6	0,9964
75205000	12	300	140	0,8	0,54	0,72	0,7	45	2,6	0,9841
75285000	5	300	140	0,8	0,38	0,74	0,7	45	2,2	0,9436
75295000	6	300	140	0,8	0,42	0,74	0,7	30	2,2	0,8912
75300000	15	300	140	0,8	0,45	0,64	0,7	45	2,6	0,6204
75350000	4	300	140	0,8	0,28	0,54	0,7	45	2,2	0,7826
75400000	10	300	140	0,8	0,32	0,45	0,7	35	2,2	0,9552
75430000	10	300	140	0,8	0,38	0,52	0,7	35	2,0	0,9834
75500000	10	300	140	0,8	0,28	0,48	0,7	30	4,2	0,9309
85030000	2	300	140	0,8	0,32	0,88	0,7	60	1,8	0,9592
85080000	8	300	140	0,8	0,32	0,84	0,7	45	2,2	0,8027
85140000	4	300	140	0,8	0,44	0,74	0,7	60	2,6	0,8577
85150000	6	200	140	0,8	0,34	0,82	0,7	60	2,2	0,9994
85180000	12	200	140	0,8	0,34	0,74	0,7	45	2,6	0,9981

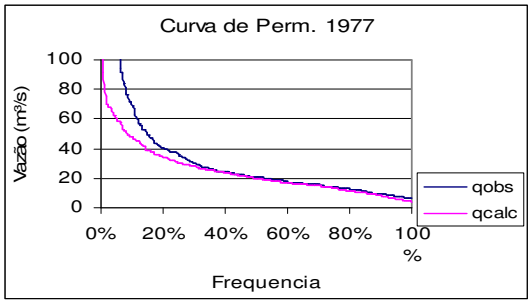

Figura 5-6 – Parâmetro UMIDL com valor 140 para Bacia 72580000

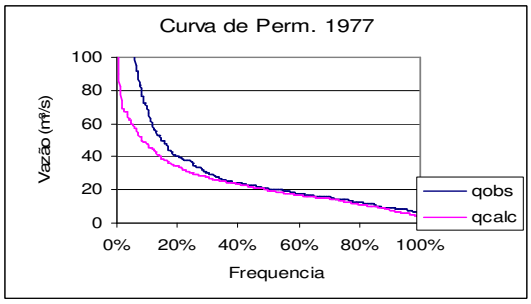

Figura 5-7 – Parâmetro UMIDL com valor 100 para a Bacia 72580000

6 REGIONALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO MOPH

Segundo Tucci (2002), a regionalização consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando a estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com dados insuficientes.

Os modelos de regionalização são modelos de base matemática que utilizam equações de regressão para relacionar a variável dependente, por exemplo, a vazão, com variáveis independentes que podem ser as características fisiográficas, climáticas ou de uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica.

No presente estudo, optou-se por regionalizar os parâmetros do modelo MOPH em função das características fisiográficas das bacias.

6.1 Escolha das Variáveis independentes

As variáveis independentes disponíveis para a regionalização foram Área de Drenagem (A), Perímetro da Bacia (P), Comprimento do rio principal (L), Comprimento da rede de drenagem (RD) , Declividade do rio principal (D), Densidade de Drenagem (DD), Fator de Forma (Kf) e Coeficiente de Compacidade (CC).

Ao analisar a matriz, Tabela 6.1, observou-se a existência de correlações elevadas entre algumas variáveis. Segundo Mandim (1996), correlação é uma forma de verificação da existência e do grau de relação entre as variáveis. Assim, após cuidadosa avaliação, optou-se por utilizar, como variáveis independentes para os estudos de regionalização as seguintes:

- Área de drenagem (A);
- Comprimento do rio principal (L);
- Declividade do rio principal (D);

- Densidade de Drenagem (DD);
- Coeficiente de Compacidade (CC)

Tabela 6-1 – Correlação entre as variáveis independentes

		L	Área	Perí-metro	Compr RD	Decliv do rio	Densid de Drenagem	Fator de Forma	Coef de Compac.
		(km)	*(km²)*	*(km)*	*(km)*	*(m/km)*	*(km/km²)*		
L	(km)	1,0							
Área	(km²)	0,5	1,0						
Perímetro	(km)	0,6	1,0	1,0					
Comprimento RD	(km)	0,4	1,0	0,9	1,0				
Decliv do rio	(m/km)	-0,1	0,1	0,1	0,1	1,0			
Densid de Drenagem	(km/km²)	-0,2	0,1	0,1	0,2	-0,1	1,0		
Fator de Forma		-0,3	0,7	0,5	0,7	0,2	0,2	1,0	
Coef. de Compac.		0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	-0,01	0,006	1,0

Escala das variáveis: 1:250.000

6.2 Resultados das regressões

Para estabelecer as equações de regressão, para a área de estudo, foram analisadas todas as combinações possíveis entre as variáveis independentes (L-A-D-DD-CC) e as variáveis dependentes (SMAX, UMIDS, UMIDL, CODIS, DISTR, EXPO, Ktanque, KSUB e KSUP).

O melhor modelo selecionado para cada variável dependente, ou seja, para cada parâmetro para identificar as regiões hidrologicamente homogêneas teve como base as estatísticas dos resultados da aplicação da regressão múltipla de cada parâmetro com as características fisiográficas das bacias estudadas.

Definido o modelo de regionalização para cada parâmetro, observou-se que não foi possível, em geral, considerar a região de estudo como uma única região hidrologicamente homogênea, utilizando-se da avaliação do coeficiente de determinação (R^2), que é a proporção com que o modelo explica a variância do parâmetro observado, do erro padrão (EP) e da média do erro relativo (ER), que mede a dispersão das estimativas em torno das observações.

A seguir, analisa-se o modelo de regionalização definido para cada parâmetro.

UMIDS, UMIDL, CODIS e Ktanque

Para esses quatro parâmetros, observou-se que os valores (ver Tabela 5.4) não apresentaram variações entre as bacias.

Isso indica, que para a região de estudo, os valores dos parâmetros UMIDS UMIDL, CODIS e Ktanque a serem adotados para um processo de simulação, devem ser:

UMIDS = 300

UMIDL = 140

CODIS = 0,8

Ktanque = 0,7

Este fato justifica-se pela pequena sensibilidade desses parâmetros no modelo, observado durante a fase de ajuste.

BACIA 73480000 – Ponte do Rio Passo Fundo

O reservatório da barragem de Passo Fundo regulariza as vazões de jusante. A estação 73480000 por estar a jusante do reservatório apresenta vazões não representativas do processo hidrológico natural da bacia. Por esta razão não foi considerada na maioria das equações de regressão.

DISTR

O modelo de regionalização selecionado para a região de estudo foi

$$DISTR = L^{-0,1246} . A^{-0,0369} .CC^{-0,3533} \qquad \text{Equação 6-1}$$

A análise do comportamento das bacias estudadas em relação ao modelo acima permitiu a definição de 5 regiões hidrologicamente homogêneas. A Figura 6.1 mostra as regiões com as respectivas bacias.

O modelo selecionado para cada região com as respectivas bacias e coeficiente de determinação (R^2) são apresentados na Tabela 6.2. Observa-se que os ajustamentos

do modelo do DISTR, podem ser considerados satisfatórios sob o ponto de vista dos coeficientes de determinação (R^2) calculado pela equação 3-8.

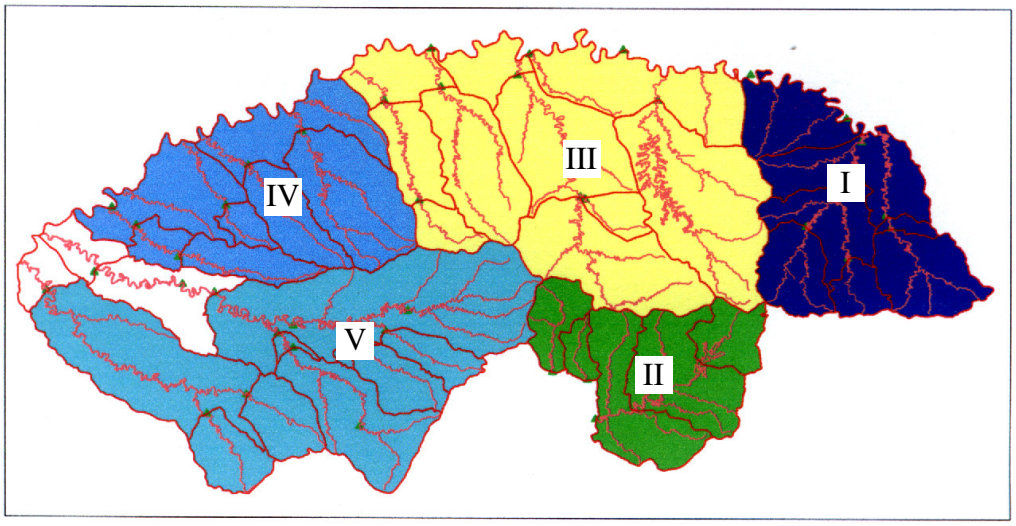

Figura 6-1 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o DISTR

Para decidir em que região incluir a Bacia 73480000 – Ponte do Rio Passo Fundo efetuou-se cálculos de regressão incluindo a bacia tanto na região I como na região III para perceber em qual das 2 regiões existia uma maior afinidade de regressão. Desta forma, decidiu-se a inclusão desta área na região III.

Observando-se a geomorfologia e a orientação dos rios em cada região, decidiu-se incluir os rios a leste do rio Passo Fundo e tributários do Uruguai, sobre os quais não existem informações fluviométricas, na região I.

A visualização gráfica do ajuste das regressões para cada região é apresentada na Figura 6.2.

Tabela 6-2 – Modelos selecionados para o parâmetro DISTR

Bacias	Região	Modelo Selecionado	R^2
72400000 72430000 72530000 72580000 72630000	Região I	$DISTR = L^{-2,4533}.A^{1,4127}.CC^{-0,5843}$	0,9961
85030000 85080000 85140000 85150000 85180000	Região II	$DISTR = L^{-0,1566}.A^{0,02768}.CC^{-1,8680}$	0,9971
73480000 74210000 74270000 74370000 74460000 74470000	Região III	$DISTR = L^{-0,1177}.A^{-0,0251}.CC^{-0,1754}$	0,9981
74600000 74700000 74750000 74880000 74900000	Região IV	$DISTR = L^{-0,6542}.A^{0,3089}.CC^{-0,4215}$	0,9967
75185000 75200000 75205000 75285000 75295000 75300000 75400000 75430000 75500000	Região V	$DISTR = L^{-0,2703}.A^{-0,0252}.CC^{1,8806}$	0,9914

Embora o parâmetro DISTR module a parcela de chuva útil que ficará armazenada em solo não saturado, e portanto muito dependente das características de permeabilidade, foi possível identificar para o parâmetro DISTR 5 regiões hidrologicamente homogêneas, em função das variáveis L, A, CC, respectivamente, comprimento do rio principal, área de drenagem e coeficiente de compacidade

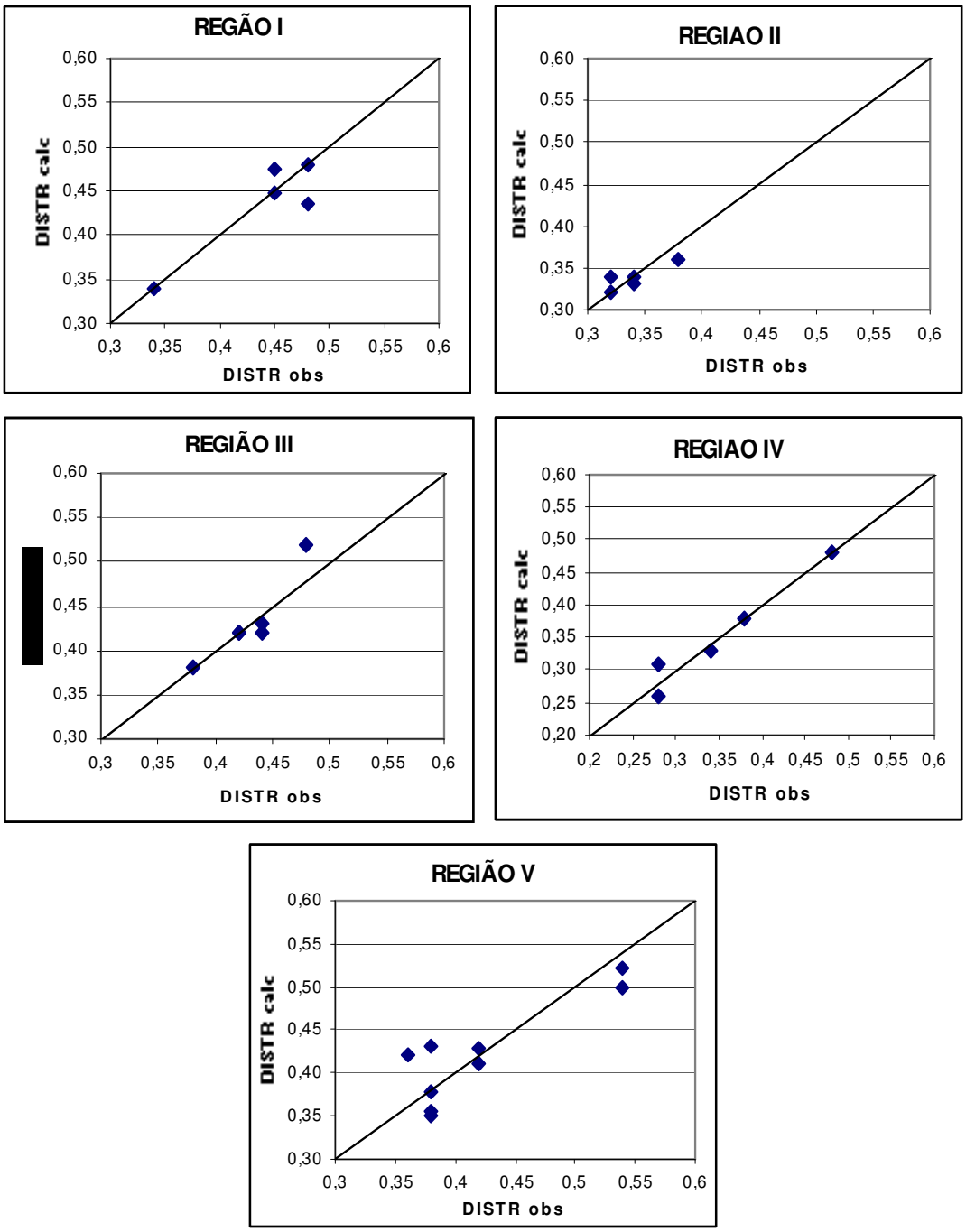

Figura 6-2 - Relação entre DISTRobs e DISTRcalc ajustado

Na definição da região V, a qual inclui o rio Ijuí, a equação de regressão foi obtida sem a inclusão da bacia 75350000, correspondente a parte de cor branca na figura 6.1. Isto deveu-se ao fato de que, ao incluir esta bacia na regressão, a qualidade

da equação diminuía bastante. Como essa região pertence a bacia do rio Ijuí, optou-se por indicar para aplicações regionais a bacia na região V.

EXPO:

O modelo de regionalização selecionado para a região de estudo foi

$$EXPO = L^{-0,0461}.A^{-0,0393}.D^{-0,0458}.DD^{-0,0282} \qquad \text{Equação 6-2}$$

A análise do comportamento das bacias estudadas em relação ao modelo acima permitiu a definição de 5 regiões hidrologicamente homogêneas. A Figura 6.3 mostra as regiões com as respectivas bacias.

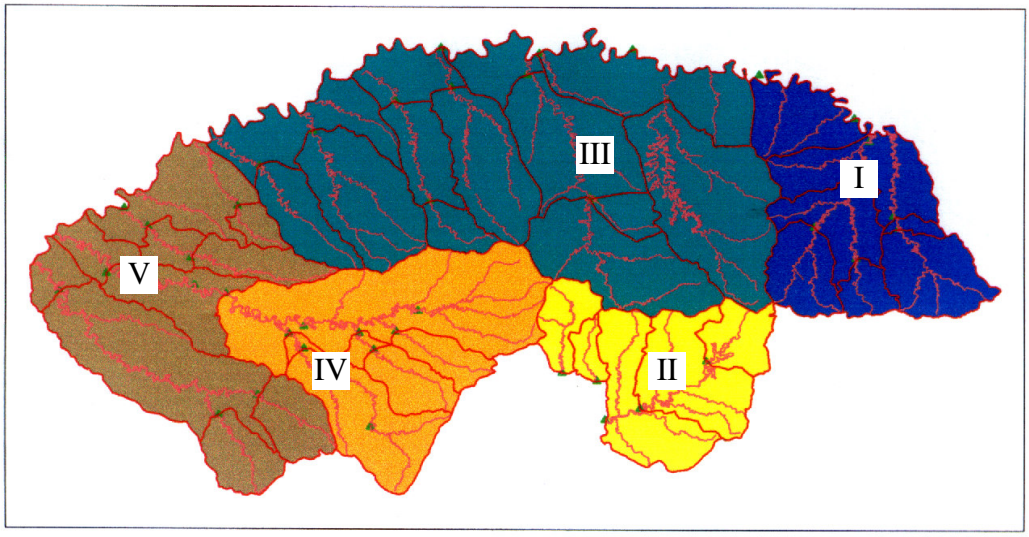

Figura 6-3 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o EXPO

O modelo selecionado para cada região com as respectivas bacias e coeficiente de determinação (R^2) são apresentados na Tabela 6.3. Observa-se que os ajustamentos do modelo do EXPO, podem ser considerados satisfatórios sob o ponto de vista dos coeficientes de determinação (R^2), calculados pela equação 3-8.

A visualização gráfica do ajuste das regressões para cada região é apresentada na Figura 6.4

Tabela 6-3 – Modelos selecionados para o parâmetro EXPO

Bacias	Região	Modelo Selecionado	R^2
72400000 72430000 72530000 72580000 72630000	Região I	$EXPO = L^{1,7461}.A^{-1,1223}.D^{0,1347}DD^{0,2369}$	0,9972
85030000 85080000 85140000 85150000 85180000	Região II	$EXPO = L^{-0,0542}.A^{-0,0053}.D^{-0,1585}DD^{0,1556}$	0,9978
74210000 74270000 74370000 74460000 74470000 74600000 74700000	Região III	$EXPO = L^{-0,2975}.A^{0,1198}.D^{0,0244}.DD^{-0,254}$	0,9910
75185000 75200000 75205000 75285000 75295000 75300000	Região IV	$EXPO = L^{0,0248}.A^{-0,0656}.D^{0,0064}.DD^{-0,722}$	0,9988
74880000 74900000 75350000 75400000 75430000 75500000	Região V	$EXPO = L^{0,1540}.A^{-0,0938}.D^{0,2730}.DD^{0,7284}$	0,9961

Analisando a Equação 6.2, observa-se que o parâmetro EXPO apresentou correlação satisfatória com as variáveis independentes L, A, D e DD permitindo identificar 5 regiões bem distintas. Como o EXPO é o parâmetro que indica a parcela que vai recarregar o aqüífero, ele tem influência de variáveis que aceleram ou reduzem o escoamento superficial, reduzindo ou aumentando a oportunidade de contato da água com o solo, o que é explicado em parte pelas equações de regressão obtidas.

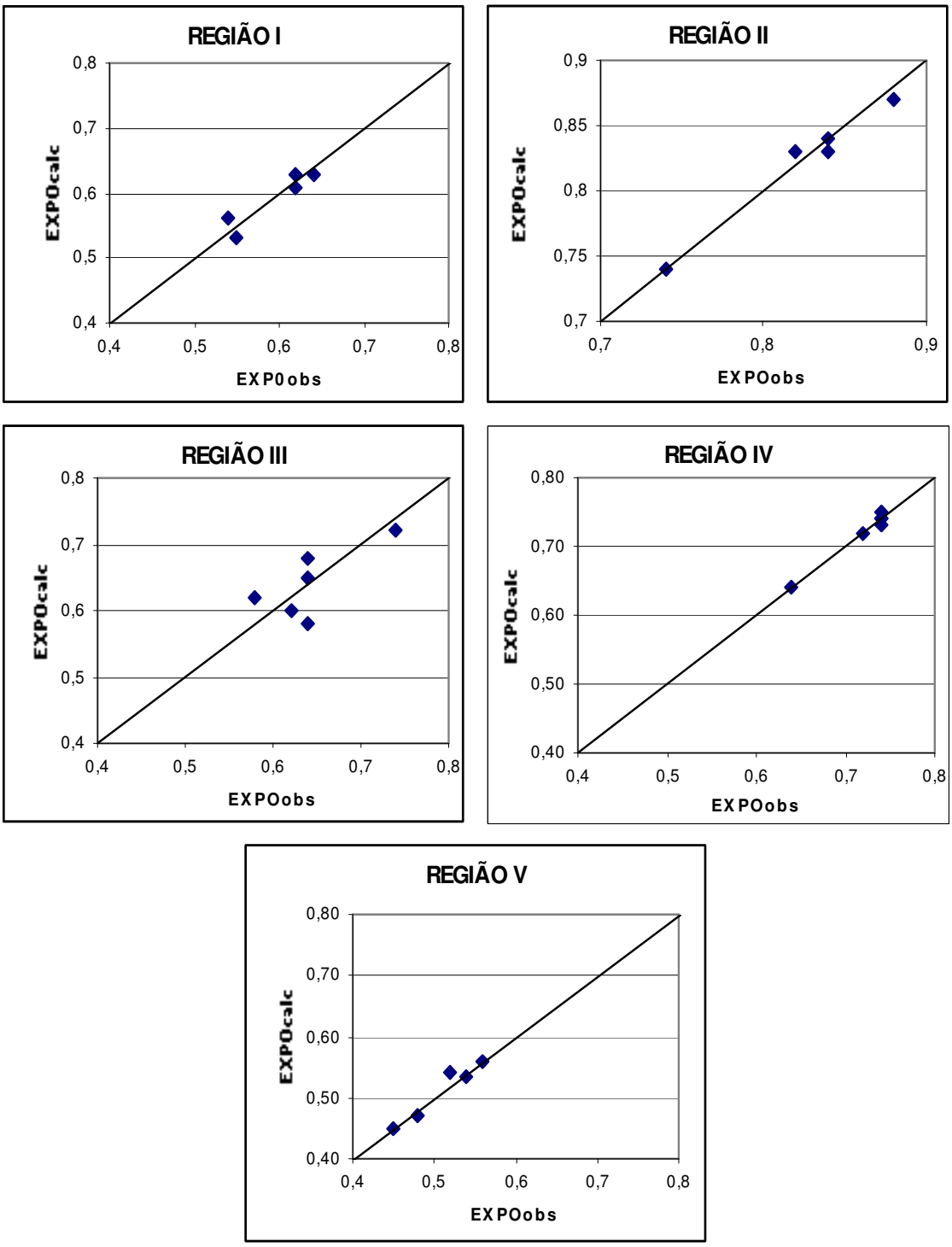

Figura 6-4 - Relação entre EXPOobs e EXPOcalc ajustado

Além da bacia 73480000 (devido a barragem), não foram consideradas as bacias 742050000 e 74750000 para a regressão.

A bacia 742050000 precisa ser reestudada, pode ser resultado de uma tendenciosidade no processo de ajuste do modelo. Neste processo, seria interessante investigar fraturas, problemas geológicos, interligações com outras bacias. Somente com estudo detalhado da região para se conseguir resposta, pois a referida bacia possui 23 anos de dados.

A bacia 74750000 por problema de consistência de dados diminuía muito a qualidade da regressão na região III, optou-se por indicar a referida bacia na região V.

SMAX:

O modelo de regionalização selecionado para a região de estudo foi

$$SMAX = A^{0,2867} . D^{-0,1117} .CC^{-0,1091} \qquad \text{Equação 6-3}$$

A análise do comportamento das bacias estudadas em relação ao modelo acima permitiu a definição de 4 regiões hidrologicamente homogêneas. A Figura 6.5 mostra as regiões com as respectivas bacias.

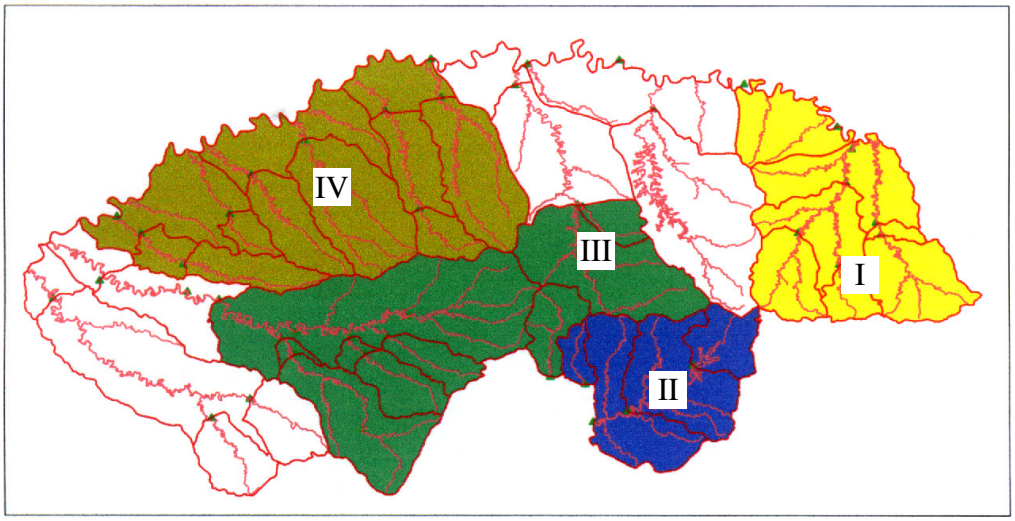

Figura 6-5 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o SMAX

O modelo selecionado para cada região com as respectivas bacias e coeficiente de determinação (R^2) são apresentados na Tabela 6.4. Observa-se que os ajustamentos do modelo do SMAX, podem ser considerados satisfatórios sob o ponto de vista dos coeficientes de determinação (R^2), calculados pela equação 3-8.

A visualização gráfica do ajuste das regressões para cada região é apresentada na Figura 6.6.

Tabela 6-4 – Modelos selecionados para o parâmetro SMAX

Bacias	Região	Modelo Selecionado	R^2
72400000 72430000 72530000 72580000 72630000	Região I	$SMAX = A^{0,3090}.D^{-0,1483}.CC^{0,3535}$	0,9984
85030000 85080000 85140000 85150000	Região II	$SMAX = A^{0,8822}.D^{4,7170}.CC^{3,8509}$	0,9989
74205000 74210000 75185000 75200000 75205000 75285000 75295000 75300000 85180000	Região III	$SMAX = A^{0,3965}.D^{-0,6799}.CC^{-3,5455}$	0,9939
74370000 74460000 74470000 74600000 74700000 74750000 74900000	Região IV	$SMAX = A^{0,3241}.D^{-0,1058}.CC^{-0,4738}$	0,9998

Além da bacia 73480000 (devido a barragem) não foram consideradas as bacias 74270000, 75350000, 75400000, 75430000 e 75500000 para a regressão.

Observa-se, pelo R^2 que o parâmetro SMAX apresentou correlação satisfatória com as variáveis independentes A, D e CC permitindo identificar 4 regiões bem distintas. Sendo SMAX um parâmetro que representa o reservatório de intercepção, muito dependente de índices tais como o de área foliar, não era de se esperar que pudesse ser explicado a partir da declividade do rio principal (D) ou do coeficiente de compacidade (CC). O fato de não ter sido possível envolver toda a região nas regressões, é um indicativo de que as regressões obtidas tenham sido ao acaso. Estes resultados não são considerados satisfatórios e, para a regionalização do SMAX deve-se buscar outros índices além dos que foram utilizados neste estudo.

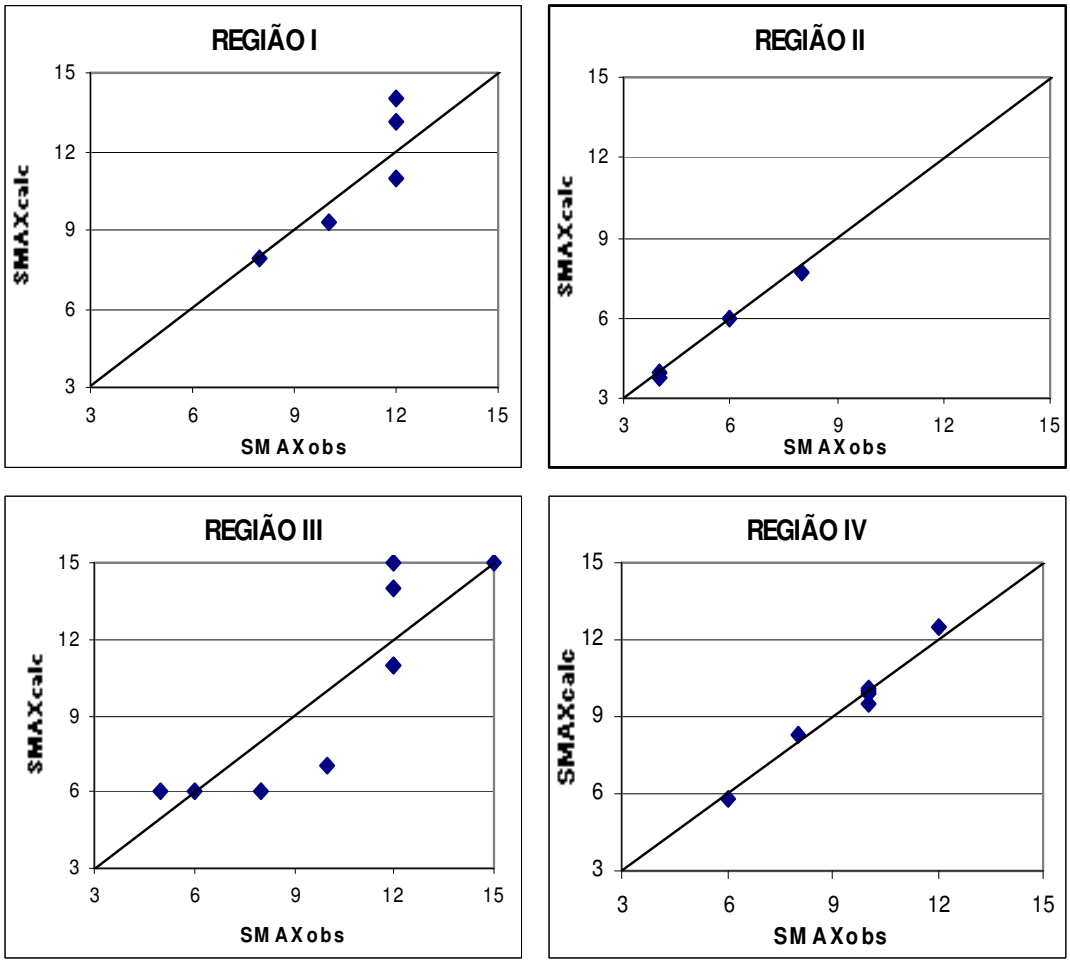

Figura 6-6 - Relação entre SMAXobs e SMAXcal ajustado

A regionalização não foi possível para o grupo 75350000, 75400000, 75430000 e 75500000, necessitando de estudo subseqüente investigativo da razão do insucesso. A referida região fica de fora da regionalização.

Também, para a bacia 74270000, a qual esperava-se uma regressão razoável na região IV, os resultados da regressão são de baixa qualidade. Em função disso, não foi possível investigar a melhor afinidade para a bacia 73480000 – Barragem de Passo Fundo.

A região em branco da Figura 6.5 fica de fora da regionalização.

KSUB:

O modelo de regionalização selecionado para a região de estudo foi

$$KSUB = L^{0,1919}.A^{0,3002}.D^{-0,2252}.CC^{1,4241} \qquad \text{Equação 6-4}$$

A análise do comportamento das bacias estudadas em relação ao modelo acima permitiu a definição de 3 regiões hidrologicamente homogêneas. A Figura 6.7 mostra as regiões com as respectivas bacias.

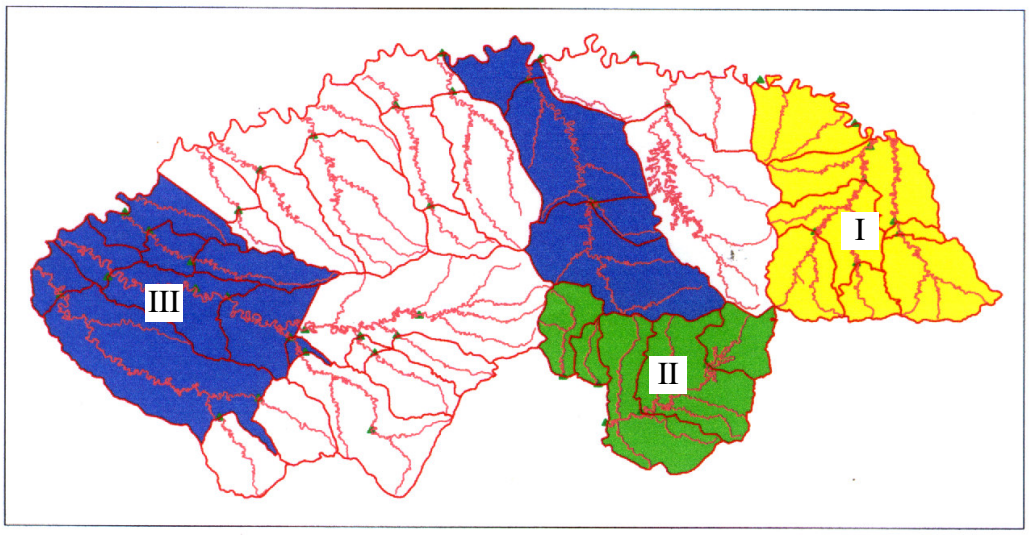

Figura 6-7 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o KSUB

O modelo selecionado para cada região com as respectivas bacias e coeficiente de determinação (R^2) são apresentados na Tabela 6.5. Observa-se que os ajustamentos do modelo do KSUB podem ser considerados satisfatórios sob o ponto de vista dos coeficientes de determinação (R^2), calculados pela equação 3.8.

A visualização gráfica do ajuste das regressões para cada região é apresentada na Figura 6.8.

Considera-se para a regionalização apenas as regiões I e II com confiabilidade na regressão.

A região III, grifada em azul, embora se consiga uma equação de regressão devido sua descontinuidade, deve-se considerar a possibilidade de não aceitação da

equação até que estudos de revisão de ajustes e busca de outras variáveis explicativas possam ser realizados.

Tabela 6-5 – Modelos selecionados para o parâmetro KSUB

Bacias	Região	Modelo Selecionado	R^2
72400000 72430000 72530000 72580000 72630000	Região I	$KSUB = L^{-3,7671}.A^{2,8754}.D^{0,7615}.CC^{-0,2106}$	0,9996
85030000 85080000 85140000 85150000 85180000	Região II	$KSUB = L^{-1,3337}.A^{0,6862}.D^{-1,7702}.CC^{9,1986}$	0,9999
74210000 74270000 74880000 74900000 74300000 75350000 75500000	Região III	$KSUB= L^{1,2629}.A^{-0,0824}.D^{1,6240}.CC^{-2,5231}$	0,9996

As regressões obtidas para o parâmetro KSUB apresentaram correlação satisfatória com as variáveis explicativas L, A, D e CC permitindo identificar 3 regiões distintas. Como o KSUB é o parâmetro que governa a propagação do escoamento subterrâneo, a correlação com variáveis que influenciam as velocidades de escoamento dentro do solo são as que provavelmente caracterizariam melhor o parâmetro. As variáveis que foram utilizadas são mais apropriadas para caracterização do escoamento superficial, porém, apresentaram, para duas regiões, regressões satisfatórias. É possível que a declividade da bacia (não utilizada nesta fase dos estudos) pudesse apresentar melhores correlações. Outro índice que também não foi utilizado e que será investigado, é o coeficiente de depleção dos escoamentos observados. Nesta alternativa, é possível que o interessado nas vazões efetue poucas medidas “in loco” e obtenha essa variável. Este parâmetro necessita de novas investigações.

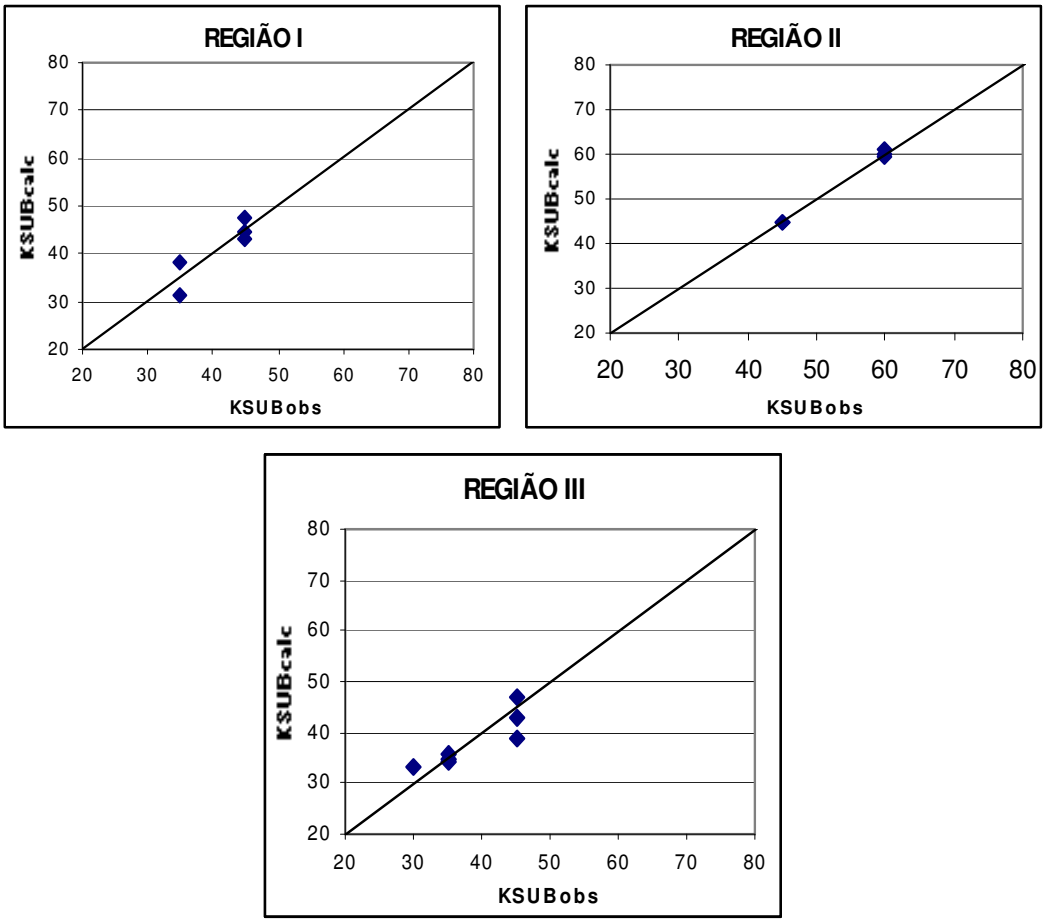

Figura 6-8 - Relação entre KSUBobs e KSUBcal ajustado

KSUP:

O modelo de regionalização selecionado para a região de estudo foi

$$KSUP = L^{0,1814} . D^{-0,0266} .DD^{0,0554} \qquad \text{Equação 6-5}$$

A análise do comportamento das bacias estudadas em relação ao modelo acima permitiu a definição de 4 regiões hidrologicamente homogêneas. A Figura 6.9 mostra as regiões com as respectivas bacias.

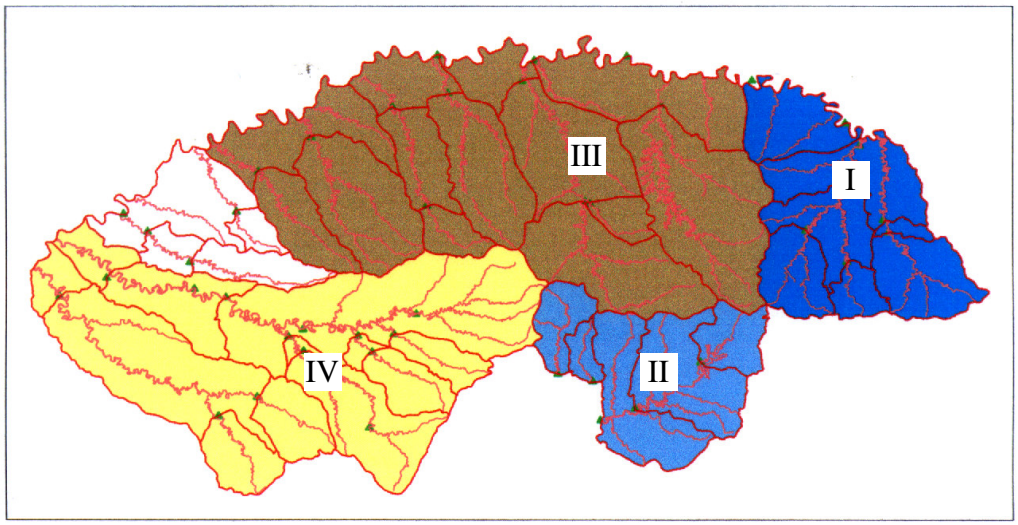

Figura 6-9 – Regiões Hidrologicamente Homogêneas para o KSUP

O modelo selecionado para cada região com as respectivas bacias e coeficiente de determinação (R^2) são apresentados na Tabela 6.6. Observa-se que os ajustamentos do modelo do KSUP podem ser considerados satisfatórios sob o ponto de vista dos coeficientes de determinação (R^2), calculados pela equação 3.8.

A visualização gráfica do ajuste das regressões para cada região é apresentada na Figura 6.10.

Tabela 6-6 – Modelos selecionados para o parâmetro KSUP

Bacias	Região	Modelo Selecionado	R^2
72400000 72430000 72530000 72580000 72630000	Região I	$KSUP = L^{-0,0202}.D^{0,0617}.DD^{-2,0621}$	0,9977
85030000 85080000 85140000 85150000 85180000	Região II	$KSUP = L^{0,1999}.D^{0,1864}.DD^{-0,2202}$	0,9901
74205000 74210000 74270000 74370000 74460000 74470000 74600000 74700000	Região III	$KSUP = L^{0,1879}.D^{-0,0001}.DD^{0,1135}$	0,9912
75185000 75200000 75205000 75285000 75295000 75300000 75350000 75400000 75430000 75500000	Região IV	$KSUP = L^{0,2433}.D^{-0,0187}.DD^{0,4406}$	0,9924

Observa-se que o parâmetro KSUP apresentou correlação satisfatória com as variáveis independentes L, D e DD, permitindo identificar 4 regiões bem distintas. Considerando-se que o KSUP governa a propagação do escoamento superficial e que o comprimento do rio principal (L), a declividade do rio principal (D) e a densidade de drenagem (DD) são indicadores dos processos superficiais, pode-se considerar que os resultados da regressão são coerentes com a dinâmica hidrológica.

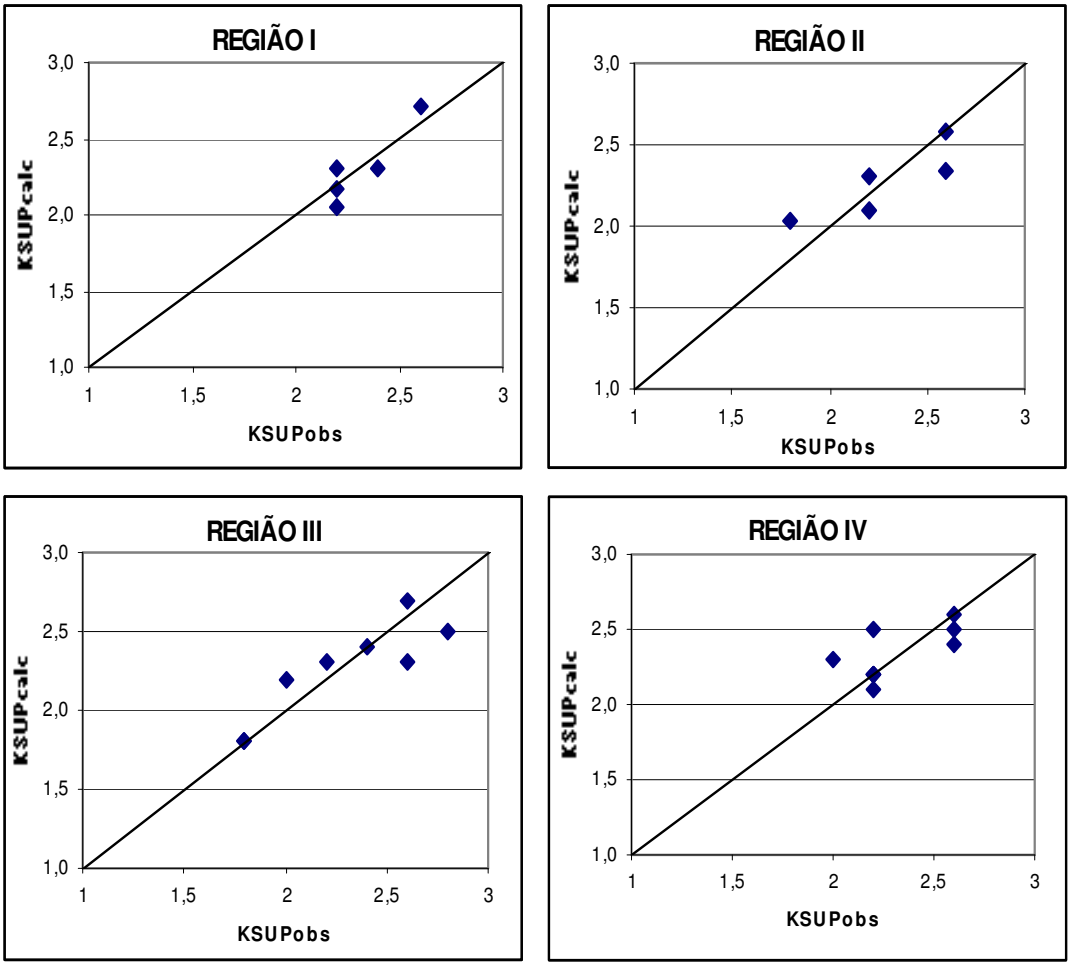

Figura 6-10 - Relação entre KSUPobs e KSUPcal ajustado

Além das bacia 73480000 (devido a barragem), não foram consideradas as bacias 74750000, 74880000 e 74900000 para a regressão.

A bacia 73480000 apresentou maior afinidade com a região III, otpou-se por indicar , para aplicações regionais, a bacia nesta região.

As bacias 74750000, 74880000 e 74900000 não apresentaram afinidade com a região III e nem com a região IV. Os resultados da investigação destas bacias na regressão são mostrados na figura 6.11. Por isso, esta região mostrada em branco na figura 6.9 fica de fora da regionalização.

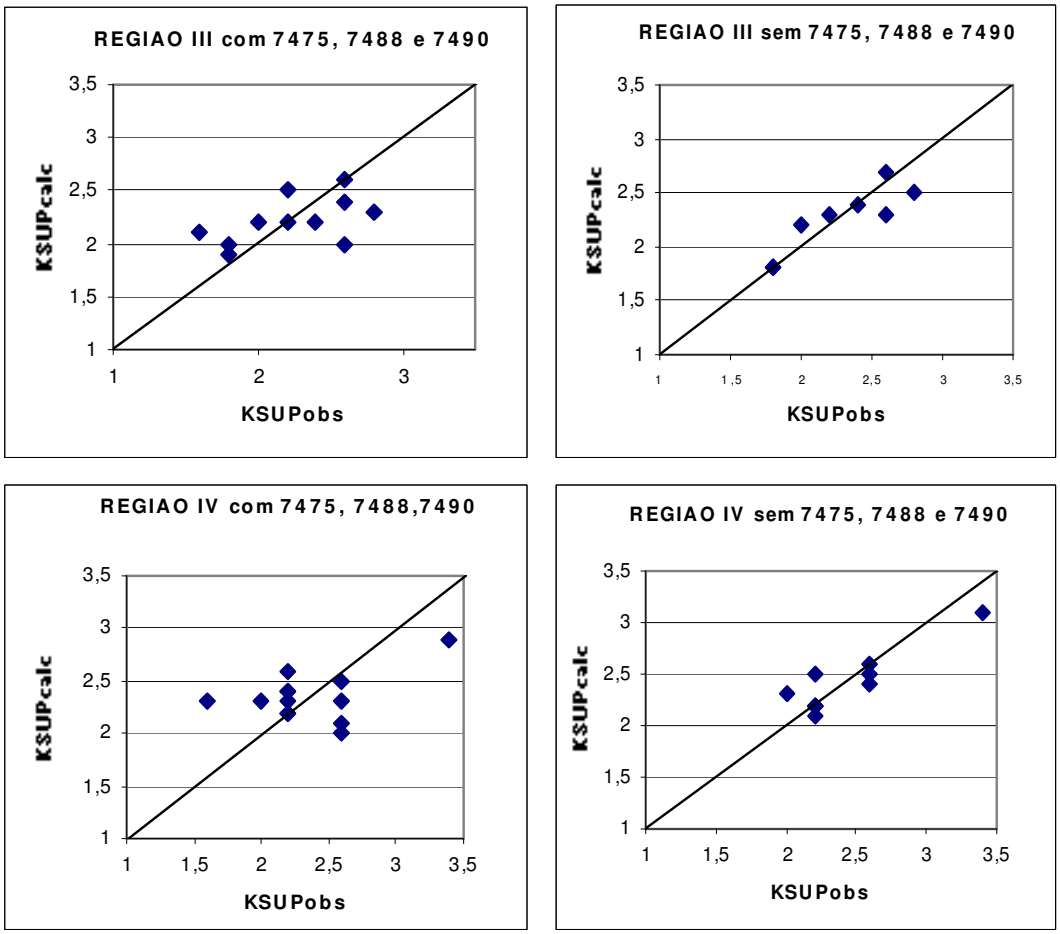

Figura 6-11- Resultado da regressão com e sem as bacias 7475, 7488 e 7490 na região III e IV

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa teve como objetivo principal verificar a aplicabilidade do uso de regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão para sintetizar vazões em locais carentes de dados hidrometeorológicos.

Esta possibilidade permite sintetizar não apenas vazões estatísticas ou funções hidrológicas especificas, mas uma série longa de vazões, a partir da qual é possível obter quaisquer funções ou estatísticas, de acordo com as necessidades dos diferentes projetos.

Modelos hidrológicos podem ser considerados como ferramentas auxiliares desenvolvidas para representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições futuras.

O modelo foi ajustado para bacias com períodos de anos variando de 1940 a 1999, com áreas entre 300 km² a 10.400 km² e com as características fisiográficas determinadas a partir do mapa com escala 1:250.000. Conforme pode-se observar nas Figuras 5.1 a 5.5 de ajuste, o modelo apresentou um bom comportamento e boa aplicabilidade para a região estudada. Cabe salientar algumas ressalvas necessárias:

- A qualidade dos ajustes é dependente da distribuição espacial da precipitação. Alguns eventos foram descartados da amostra devido a representatividade dos dados de chuva não permitirem um bom ajuste.
- Os ajustes para as bacias foram realizados de forma harmônica. Sendo o modelo do tipo concentrado, demonstrou ser um modelo consistente para a região de estudo.

A regionalização tem como principal propósito a transferência e troca de informações entre bacias que pertençam a uma mesma região hidrológica.

Para a regionalização dos parâmetros do modelo chuva-vazão MOPH, observou-se que os parâmetros UMIDL, CODIS e Ktanque não apresentaram

sensibilidade quando do ajuste em relação as características fisiográficas adotadas. Portanto, foram considerados constantes para toda a região de estudo.

O parâmetro UMIDS apresentou sensibilidade em apenas 4 bacias com localizações distintas. Na maioria dos ajustes o parâmetro teve valor 300. Até que novos estudos sejam realizados, optou-se por adotar esse valor generalizado para toda a região de estudo.

Uma grande preocupação em estudos de regionalização se refere ao uso de séries hidrológicas homogêneas. Por esta razão, em geral, não se considerou a Bacia 73480000 nas equações finais. Os maus resultados obtidos quando da inclusão dessa bacia comprovam a não homogeneidade da série, a qual é explicada pela presença do reservatório de Passo Fundo.

Para o parâmetro KSUB, as variáveis explicativas utilizadas neste estudo não se mostraram satisfatórias para explicá-lo. Da mesma forma para o parâmetro SMAX e KSUP. Já para os parâmetros DISTR e EXPO os resultados são promissores, pois foi possível identificar regiões com comportamento hidrológico nitidamente distintos.

Após o estudo e análise dos resultados faz-se as seguintes recomendações:

- revisão dos ajustes do modelo para as bacias que se mostraram inconsistentes;
- busca de novas variáveis explicativas para as regressões que considerem características geológicas, climáticas e solos;
- a versão do modelo adotado usou um reservatório linear simples (RLS) para o algoritmo de propagação do escoamento superficial. Recomenda-se refazer o estudo, utilizando-se a versão original a qual utilizava um Hidrograma Unitário Superficial (HUSUP).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, S.P., 2004. **Dissertação. Estimativa do consumo de água em lavoura orízicula com uso de modelos chuva-vazão.** UFSM. Santa Maria

ANA. **Agência Nacional de Águas. http://www.ana.gov.br**

ANGNES, F.B., 2004. **Dissertação. Prospecção de instrumentos hidrológicos para apoio a gestão em ambientes urbanos.** UFSM. Santa Maria

ANDRADE, E.M. et al., 2001. **Regionalização de Bacias Hidrográficas na região litorânea do Estado do Ceará.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. RBRH. Aracaju- SE.

BARP, A.R.B e Barbosa, P.S.F., 1999. **Comparação entre Modelo Hidrológico Conceitual Chuva-Vazão (SMAP) e Modelo de Redes Neurais Artificiais (RNA).** In: IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Coimbra. Portugal

BRUN, G. E TUCCI, C.E.M., 2001. **Previsão em tempo real do volume afluente ao reservatório de Ernestina.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol.6, no 2, p.73-79, Abr/Jun.

CIRILO, J.A.; AZEVEDO, J.R.G. de; MONTENEGRO, S.M.G.L., 1989. **Regionalização de Parâmetros de Modelos hidrológicos para bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco.** In: Anais do V Simpósio Luso Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos e IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, vol 3 – p.173-181.

CÓRDOBA, R.N. et al., 2000. **Regionalização da curva de permanência como base para o gerenciamento da Bacia do Itajaí.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. POA. p.1-7.

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, 1992. **Estudo de concepção de ampliação dos sistemas de abastecimento de água para as cidades de Júlio de Castilhos e Tupanciretã/RS**. Relatório Parcial nº 2. Estudos Hidrológicos – Inventário de Alternativas. p.52.

CRUZ, J.C., 1987. **Dissertação. Estudo de previsão de cheias em tempo real com modelos empíricos e semi-conceitual**. UFRJ. Rio de Janeiro.

CRUZ, J.C., 2001. **Tese. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. UFRGS. Porto Alegre.

DAMÁZIO, J.M. e COSTA, F.S., 1989. **Regionalização da Curva de freqüência de Precipitações máximas anuais na Bacia do Rio Madeira**. In: Anais do V Simpósio Luso Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos e IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, vol 3 – p. 153-161.

DINIZ, L.S. e CLARKE, R.T., 2001. **Regionalização de Parâmetros de Modelo Chuva-Vazão usando redes neurais**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. RBRH. Aracaju- SE.

DNAEE, 1996. **Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica**. Inventário das Estações Pluviométricas e Fluviométricas. Brasília, Brasil.

EUCLYDES, H.P. et al., 2001a. **Regionalização Hidrológica na Bacia do Rio das Velhas, Minas Gerais.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. RBRH. Aracaju-SE.

EUCLYDES, H.P. et al., 2001b. **Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco a montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol.6, no 2, p.81-105, Abr/Jun.

EUCLYDES, H.P. et al., 2003. **Regionalização Hidrológica na Bacia do Rio Paranaíba, Minas Gerais.** In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Curitiba – PR.

GENOVEZ, A.M.; PIO, E.D., 1999. **Avaliação da Regionalização do Hidrograma Unitário e dos Coeficientes de Snyder para bacias rurais**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Belo Horizonte, MG.

GERMANO, A.; TUCCI, C.E.M. e SILVEIRA, A.L.L da, 1998. **Estimativa dos parâmetros do Modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos V.3 N.4 p. 103-120.

GOÉS, V.C.; CAMPANA, N.A., 2001. **Regionalização de vazões no Distrito Federal**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. RBRH. Aracaju- SE.

IBGE. 1986. **Levantamento de recursos naturais: folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim.** Rio de Janeiro.V.33.

IBIAPINA, A.V.; FERNANDES, D. et al., 1999. **Evolução da Hidrometria no Brasil.** In: O estado das águas no Brasil: Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. MME-MMA/SRH. ANEEL : Brasília. 334 p.

IPAGRO. 1974. **Observações Meteorológicas**. Porto Alegre. RS.

IPH. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 1983. **Metodologia para Regionalização de Vazões**. Eletrobrás, Brasil. 203 p.

KAVISKI, E.; KRÜGER, C.M.; ILLICH, I., 1993. **Regionalização de vazões médias em pequenas bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina**. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Vol.3 – p.463-472.

LANNA, A.E.; SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M., 1983. **Regionalização de Vazões Mínimas na bacia do Rio Jacuí, RS.** In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. vol.3. Blumenau, SC - p.109-131.

LANNA, A.E., 2001. **Elementos de Estatística e Probabilidades**. In: Tucci, C.E.M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. Cap.4, pág.79-176.

MANDIM, D., 1996. **Estatística Descomplicada**. VEST-CON Editora Ltda., 4ª Edição. p.198.

PORTO, R.I.I.; LOPES, J.E.G., 1993. **Calibração de modelos chuva-vazão para eventos de cheia.** In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado, RS.

SANCHEZ, J.E., 1987. **Fundamentos de Hidrologia**. Porto Alegre. IPH/UFRGS. 360 p.

SANTOS, R. et al., 2001. **Estimativa do Hidrograma de Projeto com base na incerteza dos parâmetros do modelo**. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol..6, no.1, p.29-41

SILVA JUNIOR, O.B., 2001. **Dissertação. Análise da escala das variáveis hidrológicas na Bacia do Potiribu, RS**. IPH. UFRGS. POA-RS..

SILVA JUNIOR, O.B. et al., 2003. **Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. vol 8, no.1, p.21-37.

SILVEIRA, R.L. da, 1974. **Tese. Proposição de um modelo determinista de simulação hidrológica para bacias hidrográficas com dados pluvio-hidrométricos escassos**. Porto Alegre. IPH/UFRGS.

SILVEIRA, R.L.; D'AMICO, J.; SILVEIRA, G.L., 1981. **O modelo Hidrológico MOPH2.** In: IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. São Paulo, SP: ABRH, 1981. p.149-169.

SILVEIRA, G.L., 1997. **Tese. Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos**. Porto Alegre. UFRGS.

TORRES FILHO et al., 1997. **Uma metodologia aplicada para cálculo de potencialidades hídricas em bacias hidrográficas**. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, ES.

TUCCI, C.E.M., 1998. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS : ABRH.

TUCCI, C.E.M. et al., 2000. **Previsão de vazões com base na previsão climática.** Projeto BRA 00/029-Capacitação do setor elétrico brasileiro em relação à mudança global do clima.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W., 2001 – **Artigo "Revisão sobre Modelos Hidrológicos".** IPH/UFRGS.

TUCCI, C.E.M., 2001a. **Escoamento Superficial**. . In: Tucci, C.E.M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. Cap.11, pág.391-437.

TUCCI, C.E.M., 2001b. **Regionalização de Vazões**. . In: Tucci, C.E.M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. Cap.15, pág.573-619.

TUCCI, C.E.M., 2002. **Regionalização de Vazões**. Ed. Universidade/UFRGS. POA. 256 p.

UFRGS/IPH, 2001. **Relatório Técnico. Regionalização de Vazões**. Sub-bacias 70 a 79. Integrantes da bacia 7-Rio Uruguai.

UFSM, 2002. **Inventário de Recursos Hídricos e de possíveis locais de barramentos para fins de irrigação na parte norte do Rio Grande do Sul, 1ª Etapa: Inventário de Bacias Hidrográficas**. Santa Maria, v.2.

URIA, A.R.V., 1993. **Desenvolvimento de um modelo precipitação-vazão de saída concentrada especialmente útil para bacias pequenas**. In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul, Gramado, RS.

VEIGA, B.V.; KRÜGER, C.M., 1999. **Estudo comparativo das estimativas de vazões com um modelo chuva-vazão e métodos de regionalização**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, MG.

VIEIRA FILHO, V.D., 1987. **Resultados obtidos da aplicação de um modelo SMAP a algumas bacias argelinas.** In: VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos/III Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, Salvador, BA.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A., 1975. **Hidrologia Aplicada**. Ed. McGraW-Hill : São Paulo. 275 p.

VOGEL, R.M.; FENNESSEY, N.M., 1994. **Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals.** In: Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 120, no.4, pages 485-504. Jul/Aug.

VOGEL, R.M.; FENNESSEY, N.M., 1995. **Flow duration curves. II: A review of applications in water resources planning.** In: Water Resources Bulletin. vol. 31, no.6, pages 1029-1039. Dec.