

## Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão

Omar B. da Silva Júnior, Eduardo de O. Bueno, Carlos E. M. Tucci, Nilza M. R. Castro

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS - Caixa Postal 15029  
91501-970 Porto Alegre, RS - omar@ppgiph.ufrgs.br, bueno@ppgiph.ufrgs.br, carlos.tucci@ufrgs.br, nilza@iph.ufrgs.br

Recebido: 18/03/02 - revisão: 20/06/02 - aceito: 23/12/02

### RESUMO

*A rede hidrológica brasileira foi instalada, principalmente, em grandes bacias hidrográficas. Os estudos de regionalização de vazão se baseiam nestes dados e, portanto podem apresentar incertezas para bacias com área de drenagem menor e mesmo maior que as utilizadas na regionalização.*

*Neste estudo foram utilizados dados de duas regiões distintas: bacia do rio Ijuí, RS, e a bacia do rio Paraopeba, MG. Foram adotadas bacias de porte médio (600 e 10.000 km<sup>2</sup>) para o estabelecimento da regionalização na bacia do rio Ijuí, afluente do rio Uruguai. Para verificar a sua extrapolção para bacias menores foram utilizadas três bacias com área de 0,125; 1,0 e 19,5 km<sup>2</sup>. Para extrapolção superior foram utilizados dois postos com área superior a 100.000 km<sup>2</sup>. No estudo de regionalização para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, em Minas Gerais, foram utilizados dados de bacias de médio porte (entre 400 e 11.000 km<sup>2</sup>) para a determinação da regionalização e, verificada a validade das equações regionais para áreas de drenagem menores (6, 10 e 22 km<sup>2</sup>). As variáveis regionalizadas foram a vazão média de longo período, vazão média de cheia, curva de permanência e vazão mínima com duração de sete dias e 10 anos de tempo de retorno.*

*Os resultados mostraram que o erro é limitado na extrapolção para bacias maiores que as usadas na regionalização, enquanto que, para bacias menores, os resultados se mostraram aceitáveis até 20 km<sup>2</sup>. Nas vazões mínimas, a extrapolção tende a superestimar a vazão desejada.*

**Palavras-chave:** regionalização; escala hidrológica; bacias embutidas.

### INTRODUÇÃO

A rede hidrológica em muitos países, como o Brasil, foi instalada em grandes bacias hidrográficas (acima de 2.000 km<sup>2</sup>) devido aos seguintes motivos: a) a rede tinha como objetivo o atendimento dos aproveitamentos energéticos e, portanto o monitoramento de grandes bacias; b) os custos do monitoramento de pequenas bacias são altos; c) a dificuldade de cobrir o território brasileiro (8,5 milhões de km<sup>2</sup>).

A definição sobre a disponibilidade hídrica para diferentes usos da água, tais como abastecimento de água, irrigação, pequenas centrais hidrelétricas, conservação ambiental ou controle da qualidade da água, entre outros, depende do adequado conhecimento das vazões de pequenas bacias hidrográficas. Historicamente, esses aproveitamentos têm sido realizados com pouco conhecimento do comportamento hidrológico, já que a rede brasileira é reduzida para bacias com área inferior a 300 km<sup>2</sup>. Por exemplo, em toda a bacia do Alto Paraguai que tem cerca de 400.000 km<sup>2</sup> existem apenas quatro postos fluviométricos com área inferior a 500 km<sup>2</sup> (Tucci e Genz, 1997), ainda assim com equipamentos inadequados.

Desde 1997, quando foi aprovada a nova legislação de Recursos Hídricos no Brasil, o conseqüente disciplinamento da outorga do uso da água aumentou de forma significativa a necessidade da determinação das variáveis hidrológicas utilizadas no gerenciamento dos recursos hídricos.

As entidades estaduais e federais de regulação utilizam a regionalização hidrológica para espacializar as informa-

ções necessárias à tomada de decisão, na concessão de aproveitamentos dos recursos hídricos e no controle ambiental. Vários estudos de regionalização foram realizados no país e preparado um manual de regionalização para Agência Nacional de Energia Elétrica (Tucci, 2002).

Apesar da regionalização se caracterizar por uma ferramenta útil para o conhecimento hidrológico espacial, existem sérias limitações à extrapolção dos seus resultados para bacias de menor porte, gerando incertezas na tomada de decisão. A regionalização não substitui as informações, apenas busca uma melhor estimativa em face das incertezas existentes.

Este artigo examina a extrapolção da regionalização para algumas variáveis hidrológicas através da avaliação dos resultados com base em dados existentes em duas regiões distintas: a bacia do Rio Ijuí, afluente do rio Uruguai, no Rio Grande do Sul e a bacia do rio Paraopeba, afluente do rio São Francisco, em Minas Gerais.

### REGIONALIZAÇÃO E A ESCALA DOS PROCESSOS

A identificação das variáveis hidrológicas nas diferentes escalas pode ser realizada através de: a) modelos hidrológicos que reproduzem os processos de forma dinâmica no tempo e no espaço (Becker, 1992); b) pelo estabelecimento de relações empíricas entre estatísticas das vazões e parâmetros ou variáveis (de fácil determinação) que possam explicar estas estatísticas (Reimers, 1990).

Este último tipo de metodologia tem sido utilizado para identificar as variáveis básicas utilizadas no planejamento dos recursos hídricos.

Os processos que caracterizam a variabilidade da vazão ou suas estatísticas no espaço dependem de vários fatores como: condições climáticas que caracterizam o balanço do escoamento médio; as condições de relevo, solo e cobertura que definem o escoamento superficial e os volumes infiltrados; a geologia que define as condições do escoamento subterrâneo e as vazões de estiagem.

Na regionalização, são escolhidas variáveis utilizadas no planejamento dos recursos hídricos como a vazão média, a vazão máxima de inundação, a curva de duração e a vazão mínima com uma determinada duração e tempo de retorno. Estas são variáveis ou estatísticas da vazão. A vazão média identifica o balanço de longo período, a máxima caracteriza os condicionantes de inundação onde o escoamento superficial é o componente principal e a mínima caracteriza o comportamento do aquífero. Cada uma destas variáveis ou funções dependerá de um conjunto dos condicionantes citados anteriormente, que existem numa bacia hidrográfica.

O estabelecimento da regionalização geralmente depende da busca da correlação entre a variável (vazão) em estudo e indicadores climáticos, relevo e geologia que expliquem esta variável. Estas relações apresentam melhores resultados na medida que as variáveis independentes escolhidas tenham variabilidade na região e tenham significância ao explicar o comportamento da variável dependente.

Vorst e Bell (1981) verificaram várias relações na regionalização do escoamento médio e do volume superficial. Os autores identificaram apenas três variáveis físicas significativas para explicar as vazões. Essas variáveis são: a área da bacia para a previsão do volume superficial escoado; o comprimento do curso d'água principal e a declividade para obtenção de hidrogramas. Observa-se que a correlação entre comprimento do curso d'água e área é geralmente alta e, da mesma forma, a declividade também possui alta correlação com o comprimento e com a área de drenagem. Dessa forma, a área é efetivamente a única característica da bacia que tem sido considerado para relacionar as variáveis hidrológicas (Pilgrim, 1983).

No entanto, isto somente é verdade quando as outras variáveis que caracterizam a vazão não apresentam grande variabilidade espacial dentro da região em estudo. Tucci e Genz (1997) mostraram que a precipitação anual é fundamental para representar as vazões no rio Alto Paraguai devido ao alto gradiente de precipitação. Essa condição também pode ser observada nas bacias costeiras do Nordeste do Brasil devido ao fortíssimo gradiente de precipitação entre o semi-árido (interior) e a costa (CPRM, 2001).

As metodologias tradicionais de regionalização buscam identificar tendências das variáveis envolvidas de forma simples e empírica. Vários exemplos de estudos dessa natureza

são encontrados na literatura (Nathan e McMahon, 1992; Zrinji e Burn, 1994; Clausen e Pearson, 1995; Post et al., 1998). Estes métodos, geralmente, retratam uma estatística da vazão ou uma função ou valores desta função. Os resultados também mostram valores adequados dentro da faixa dos valores disponíveis para o ajuste, já que os procedimentos utilizam funções e ajustes estatísticos empíricos.

Devido à grande variabilidade dos elementos envolvidos é de se esperar que a extrapolção dos resultados deve ser cuidadosa, principalmente para bacias de menor porte onde o efeito da resposta das variáveis climáticas e físicas da bacia apresenta maior desvio padrão.

Existem dois níveis de transferência de informações hidrológicas na regionalização:

- a. a interpolação espacial de variáveis e funções baseadas na similaridade hidrológica: envolvem a determinação das mesmas em locais com dados escassos com características semelhantes às utilizadas na regionalização e que, portanto, possuem medidas.

A definição de "similaridade" é de fundamental importância para a regionalização (Post et al., 1998). Estudos anteriores definem similaridade como base a proximidade geográfica (Mosley, 1981; Hughes, 1987). Entretanto, outros estudos têm mostrado que apenas a proximidade geográfica não possui atributos suficientes. Outros indicadores da bacia hidrográfica também devem ser utilizados (Acreman e Sinclair, 1986; Nathan e McMahon, 1990; Zrinji e Burn, 1994).

- b. a extrapolção de variáveis e funções baseadas no comportamento da escala dos processos hidrológicos.

Por extrapolção superior entende-se como a determinação das citadas variáveis e funções para bacias maiores que as utilizadas na regionalização (com dados medidos) e inferior no caso contrário.

Becker (1992) identificou a escala de transição ( $\gamma$ ) entre micro ( $< 10^{-4} \text{ km}^2$ ) e meso ( $10 - 10^3 \text{ km}^2$ ) como sendo entre  $10^{-4}$  e  $10 \text{ km}^2$ . De mesma forma, entre meso e macro ( $> 10^4 \text{ km}^2$ ) existe outro intervalo de transição ( $\alpha$ ) de  $10^3$  a  $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ .

Este artigo analisa a extrapolção da regionalização de vazões através de variáveis e funções hidrológicas dentro das transições de escala citadas.

## ÁREAS DE ESTUDO

Neste estudo, foram analisados dados de duas regiões distintas: a bacia do rio Ijuí, no Rio Grande do Sul e a bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais. As bacias são descritas a seguir.

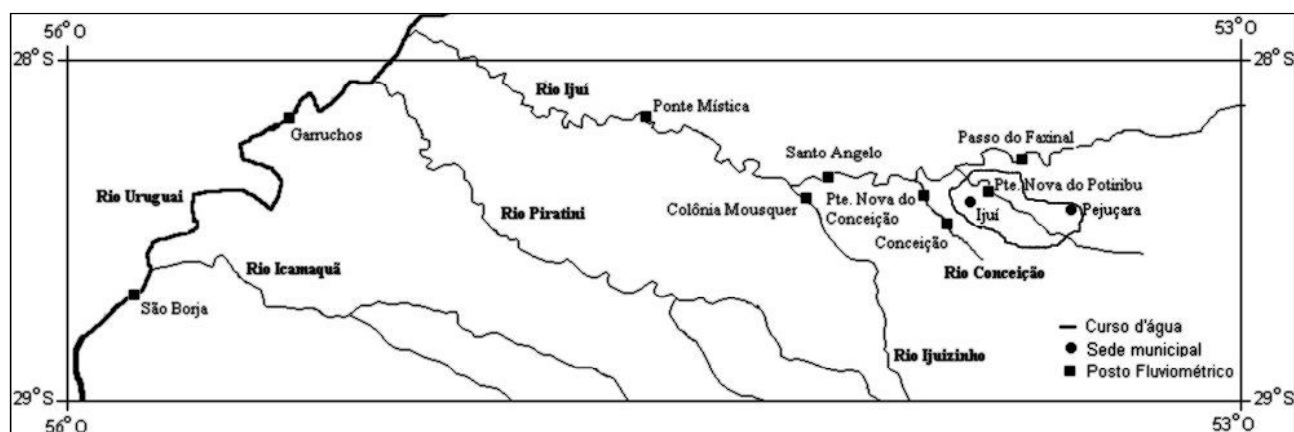


Figura 1. Localização dos postos fluviométricos da região do Ijuí (Modificado de BRASIL, 2000).

### Bacia do rio Ijuí

A bacia do rio Ijuí está localizada à noroeste do estado do Rio Grande do Sul numa posição central do derrame basáltico sul-americano, sobre o planalto médio gaúcho com altitudes entre 420 e 700 m. O rio Ijuí (área de cerca de 10.000 km<sup>2</sup>) é um afluente da margem esquerda do Rio Uruguai, fazendo parte da bacia hidrográfica do Rio da Prata. Nessa bacia existem sete postos da rede básica nacional com sub-bacias variando entre 628 e 9.420 km<sup>2</sup>. Essas bacias foram utilizadas para o estabelecimento da regionalização.

O relevo é composto de coxilhas com declividades suaves entre 3 e 15%. Esse planalto é situado sobre a rocha basáltica, formada por sucessivas camadas vulcânicas datadas de 120 milhões de anos, que foram se acumulando. Entre essas camadas, foram sendo depositadas camadas de arenito botucatu que variam de alguns metros de profundidade até uma centena de metros (Leinz, 1949; IBGE, 1986). Entre essas camadas, a água pode se acumular e escoar horizontalmente. Essa formação constitui a Serra Geral (Geologia do Brasil, 1984).

Sobre este planalto, os solos são bastante úmidos, graças ao regime abundante de precipitações e devido aos solos bem desenvolvidos e profundos, podendo atingir até mais de 15 m. A maioria do solo da região é classificada como latossolos roxos, latossolos vermelho-escuros e terras roxas estruturadas. Apesar de ser um solo argiloso (mais de 60% de argila), ele apresenta uma forte drenagem devido aos microagregados formados em todo o perfil resultando em maior macro-porosidade (Castro, 1996).

A floresta primitiva é a Mata Atlântica e a Mata Araucária. Esta região é caracterizada por uma agricultura intensiva com dois ciclos de cultura por ano: soja e milho no verão e aveia e trigo no inverno.

O clima da região da bacia do rio Ijuí, segundo Beltrame (2000), está dentro da classificação mesotérmica brando superúmido sem seca (Cfa), assim descrita por Köppen: Cfa – temperatura média das máximas superior a 22 °C e a média das mínimas entre -3 e 18°C e verão quente. O regime

Tabela 1. Rede fluviométrica da região de Ijuí.

Uso	Rio	Estação	Área (km <sup>2</sup> )
Postos usados na verificação inferior	Anfiteatro	Vertente	0,125
	Donato	Vertente	1,1
	Turcato	Potiribu	19,5
Postos usados na ajuste da regionalização	Potiribu	Pte. do Potiribu	628
	Conceição	Conceição	805
	Conceição	Pte. Conceição	966
	Ijuí	Passo Faxinal	2.003
	Ijuizinho	Mousquer	2.131
Postos usados na verificação superior	Uruguai	Sto. Ângelo	5.414
	Uruguai	Pte. Mística	9.420
Postos usados na verificação superior	Uruguai	Garruchos	104.162
	Uruguai	Passo São Borja	110.898

de precipitações é homogêneo durante todo o ano, apresentando chuvas mensais entre 120 e 150 mm com um total anual médio de 1750 mm (Chevallier e Castro, 1991).

Em estudos anteriores (IPH, 1991) foram observadas similaridades espaciais nas bacias de meso escala na bacia do rio Uruguai, com pequena variabilidade espacial das variáveis e funções obtidas. Portanto, os resultados, aqui analisados, caracterizam a extrapolação de escala numa bacia com similaridade espacial.

Para avaliar a extrapolação superior da regionalização de vazões foram utilizadas as sub-bacias do rio Ijuí (meso escala) e duas sub-bacias do rio Uruguai (macro escala) à jusante da confluência com o rio Ijuí, como mostra a Figura 1.

A Tabela 1 apresenta os postos fluviométricos utilizados nesse estudo. O período de dados utilizados no estudo foi 1989 a 1998 para todos os postos.

Para avaliar a extrapolação inferior da regionalização de vazões foram utilizadas as sub-bacias do rio Potiribu (micro escala): Anfiteatro (0,125 km<sup>2</sup>), Donato (1,1 km<sup>2</sup>) e

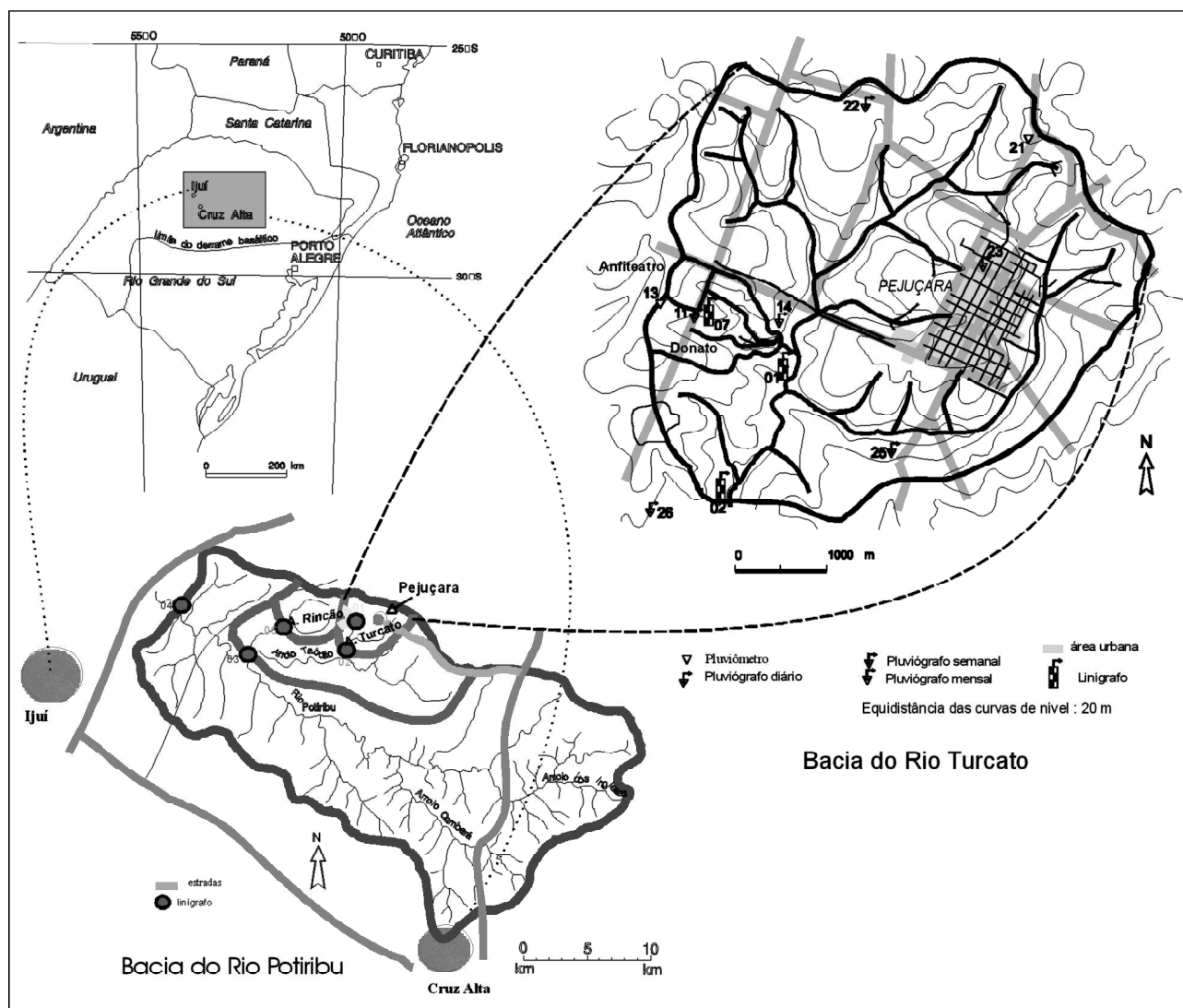


Figura 2. Bacia do rio Potiribu, englobando as bacias do Turcato, Donato e Anfiteatro (Castro et al., 2000).

Turcato (19,5 km<sup>2</sup>), apresentadas na Figura 2. Esta bacia foi escolhida para o estudo por ser considerada como representativa da região do planalto basáltico, uma região que se estende por 230.000 km<sup>2</sup>, que inclui quase toda a bacia do rio Uruguai (Borges e Bordas, 1988, 1990). A seguir é feita uma breve descrição destas bacias (Castro et al., 1999).

A bacia do Turcato (Figura 2), que engloba as bacias do Donato e Anfiteatro, é agrícola, com pequena área de pasto e a cidade de Pejuçara. Na bacia, existe pouca vegetação, alguns bosques e mata de galeria, sendo a maior ocupação da área com cultivo.

A bacia do Donato, que se localiza dentro da bacia do Turcato, possui dois canais principais (Figura 2) e apresenta declividade média de 5%. É totalmente agrícola e apresenta somente mata de galeria. A bacia do Anfiteatro, que se localiza dentro da bacia do Donato, é a menor das bacias monitoradas pelo Projeto Potiribu e possui um canal não permanente e um talvegue muito curto. Esta bacia pertence a um único proprie-

tário e é totalmente agrícola. A pouca vegetação que possuía próxima a estrada foi retirada no início dos anos 90.

Essas bacias possuem postos fluvio e pluviométricos com série contínua desde 1989.

### Bacia do rio Paraopeba

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba está localizada na região central de Minas Gerais (Figura 3). A bacia possui uma área de aproximadamente 13.300 km<sup>2</sup>, abrangendo cerca de 48 municípios mineiros.

A bacia faz parte da sub-bacia 40, correspondente à área de drenagem do Alto São Francisco, à montante da barragem de Três Marias da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG.

O rio Paraopeba, afluente da margem direita do rio São Francisco, é o principal curso d'água da bacia, nascendo

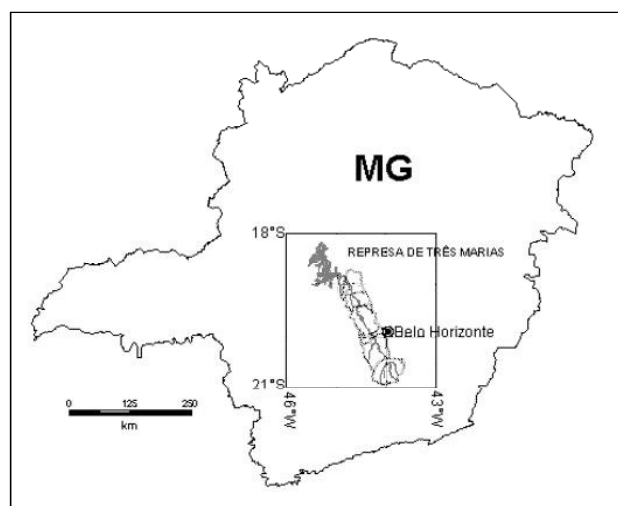


Figura 3. Localização da bacia do rio Paraopeba em Minas Gerais (Schvartzman, 2000).

ao sul do município de Cristiano Ottoni e desaguando no lago da represa de Três Marias, após percorrer aproximadamente 510 km.

Quanto à hidrografia, os principais afluentes do rio Paraopeba são os rios Camapuã, Brumado, Manso e Serra Azul, pela margem esquerda, e os rios Pequeri, Maranhão, Betim, além dos Ribeirões Sarzedo e dos Macacos, pela margem direita.

A vegetação nativa da região é constituída predominantemente pelo cerrado, característico de regiões de clima semi-úmido, formado por gramíneas, arbustos e árvores de médio porte.

O relevo do vale do rio Paraopeba se caracteriza por dois conjuntos de formas distintas: no alto curso, a topografia é predominantemente acidentada e elevada; a partir do seu trecho médio até a foz, observa-se uma extensa área plana ou levemente ondulada, com trechos de colinas suaves e baixas altitudes.

Como atividades econômicas mais importantes na bacia estão as lavras de minério de manganês e ferro, com grandes depósitos no alto e médio curso do rio Paraopeba.

A agricultura e pecuária se distribuem ao longo da bacia, tendo como principais produtos agrícolas: o milho, o feijão, o arroz, a cana-de-açúcar, o café e a batata. A bovinocultura, principal atividade de pecuária, é predominante no norte da bacia (Schvartzman, 2000).

As variações topográficas, na área da bacia, influenciam significativamente o comportamento climático da região, resultando em valores pluviométricos e térmicos muito distintos. A região apresenta temperatura média anual variando entre 19° e 23°C, sendo as menores temperaturas encontradas ao sul da bacia, devido à influência orográfica.

O regime pluviométrico é típico das regiões de clima tropical, com ocorrência dos valores mensais máximos no verão, e dos mínimos no inverno. Os núcleos de maiores

Tabela 2. Rede fluviométrica na bacia do rio Paraopeba.

Uso	Rio	Estação	Área (km <sup>2</sup> )
Extrapolação Inferior	Córrego Curralinho	Fazenda Curralinho	6,3
	Córrego Mato Frio	Fazenda Laranjeiras	10,2
	Córrego Cachoeira	Azurita	21,7
	Ajuste da regionalização	Rio Brumado	Entre Rio de Minas
	Rio Maranhão	Congonhas	613
	Rio Paraopeba	Belo Vale	2.690
	Rio Paraopeba	Alberto Flores	3.945
	Rio Paraopeba	Pte.N.do Paraopeba	5.680
	Rio Paraopeba	Ponte da Taquara	8.720
	Rio Paraopeba	Porto Mesquita	10.695

precipitações estão no Sudoeste da bacia, e em toda a extensão das serras do Quadrilátero Ferrífero (Médio Paraopeba), com índices pluviométricos anuais superiores a 1.500 mm. A precipitação diminui em direção ao Baixo Paraopeba, atingindo valores próximos a 1.200 mm anuais, na região do município de Curvelo (CETEC/IGA, 1996).

No trecho médio da bacia do rio Paraopeba, na sua margem esquerda, está localizada a bacia representativa do Juatuba, com uma área de drenagem de aproximadamente 270 km<sup>2</sup> e tendo como curso d'água principal o ribeirão Juatuba.

Os dados utilizados para regionalização pertencem, em média, ao período de 1975 a 1985. Algumas estações possuem falhas de dados dentro desse período (menores do que 20%), enquanto outras apresentam toda a série completa. Os postos selecionados foram divididos para o estabelecimento da regionalização e para verificação da extrapolação das equações regionais.

A extrapolação foi possível apenas para áreas menores devido à existência do reservatório de Três Marias no trecho final da sub-bacia 40, a qual a região em estudo pertence. A Tabela 2 apresenta as estações fluviométricas selecionadas e na Figura 4 é possível visualizar espacialmente a distribuição desses postos.

## RESULTADOS

### Vazão média de cheia

**Rio Ijuí** - A vazão média de cheia é a média das vazões máximas anuais. Para cada bacia da região do rio Ijuí foi calculado a vazão média de cheia para o período definido de 1989-1998. Apesar dos postos de meso e macro escala possuírem série mais longa, o período foi definido pela disponibilidade de registros nos postos com área pequena, procurando evitar incertezas de períodos não homogêneos.



Figura 4. Localização dos postos fluviométricos nas bacias dos rios Paraopeba e Juatuba.

A metodologia de regionalização consistiu de determinação da equação de regressão para a vazão média de cheia, sendo obtido para a região do rio Ijuí a seguinte equação:

$$Q_{mc} = 0,482.A^{0,972} \quad (1)$$

onde A é área de drenagem em km<sup>2</sup>. O ajuste foi obtido para R<sup>2</sup> = 0,98.

Na Figura 5 pode-se observar o ajuste dos pontos e a extrapolação para os valores superiores e inferiores as bacias utilizadas no ajuste. Os valores das bacias menores (< 20 km<sup>2</sup>) foram calculados tomando como base a vazão máxima instantânea, e para as demais bacias, a vazão máxima diária.

A extrapolação superior apresenta valores próximos dos observados, enquanto que, no extremo inferior, o erro da extrapolação é maior (veja valores na Tabela 3). A regionalização tende a subestimar os resultados das pequenas bacias (área < 20 km<sup>2</sup>) como era de se esperar, já que à medida que a bacia diminui a vazão específica máxima aumenta. À medida que a bacia aumenta também aumenta o amor-

tecimento das vazões máximas, além da variabilidade espacial das precipitações máximas.

A regionalização estimou, com boa precisão, as vazões médias de cheias das grandes bacias (área > 100.000 km<sup>2</sup>). Observa-se, assim, que a transição de meso escala para macro escala nesta bacia é confiável para esta variável.

**Rio Paraopeba** - A equação regional obtida para a bacia do rio Paraopeba foi a seguinte:

$$Q_{mc} = 0,437.A^{0,8268} \quad (2)$$

com R<sup>2</sup> = 0,999.

A Figura 6 apresenta o ajuste obtido e na Tabela 4 as diferenças entre os valores observados e calculados. A regionalização apresentou bons resultados para as bacias médias e, superestimou os valores de cheias das bacias de área menor que 22 km<sup>2</sup>, ao contrário do que ocorreu com os resultados da região do rio Ijuí, pois foram adotados os valores diários de vazão máxima e não os instantâneos.

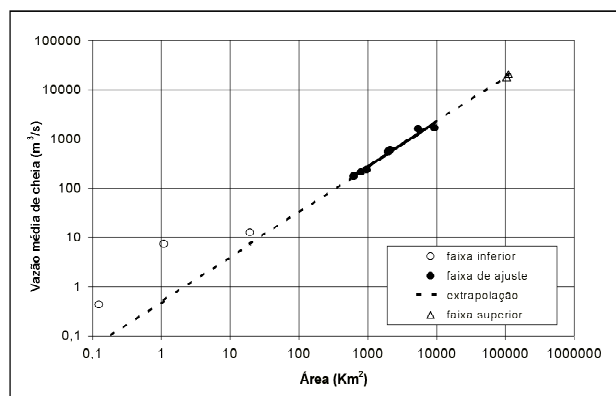


Figura 5. Regionalização da vazão média de cheia (Ijuí).

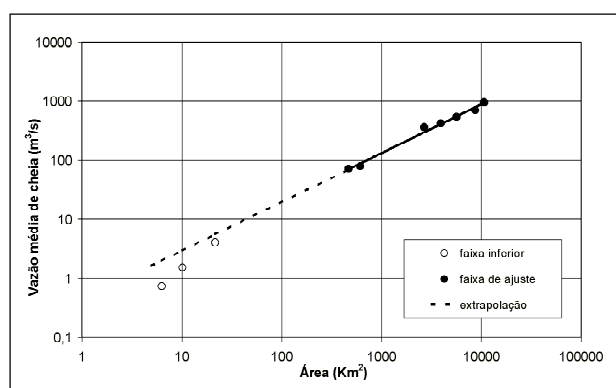


Figura 6. Regionalização da vazão média de cheia (Paraopeba).

### Vazão média e balanço médio

**Rio Ijuí** - A vazão média de cada bacia da região do rio Ijuí foi calculada através da média aritmética das vazões diárias no período em estudo (1989-1998).

A equação resultante é a seguinte:

$$Q_m = 0,0204.A^{1,065} \quad (3)$$

onde  $R^2 = 0,997$ . O expoente maior que um pode indicar aumento de precipitação para jusante na bacia.

A Figura 7 apresenta o ajuste onde se observa que a extrapolação apresenta bons resultados. Na Tabela 5 pode-se observar as diferenças absolutas e percentuais dos resultados. A regionalização superestimou os valores das bacias vertentes Anfiteatro e Donato, sendo que, na bacia menor, os resultados mostram uma diferença percentual grande.

Devido ao tamanho da bacia, parte do escoamento sub-superficial e subterrâneo pode escoar a jusante da seção de medição, o que resulta num valor inferior aos demais da bacia. Portanto, para esse tamanho de bacia o escoamento disponível da rede de drenagem tende a ser menor que as bacias com tamanho maior. Esta suposição não foi verificada

Tabela 3. Vazão média de cheia observada e calculada para a bacia do rio Ijuí.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Anfiteatro	0,125	0,4300	0,0716	-83,4
Donato	1,1	7,34	0,53	-92,8
Turcato	19,5	12,43	7,35	-40,9
Pte. do Potiribu	628	174,59	177,78	1,8
Conceição	805	214,85	222,92	3,8
Pte. Conceição	966	237,06	263,50	11,2
Passo Faxinal	2.003	551,30	514,35	-6,7
Mousquer	2.131	600,14	544,42	-9,3
Sto. Ângelo	5.414	1617,67	1280,38	-20,9
Pte. Mística	9.420	1.676,50	2129,17	27,0
Garruchos	104.162	18.086,9	19.284,1	6,6
Passo São Borja	110.898	20.922,3	20.425,0	-2,4

Tabela 4. Vazão média de cheia observada e calculada para a bacia do rio Paraopeba.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Faz. Currealinho	6,3	0,73	2,00	174,6
Faz. Laranjeiras	10,2	1,53	2,98	95,2
Azurita	21,7	4,03	5,57	38,1
Entre Rio de Minas	469	71,95	70,63	-1,8
Congonhas	613	79,03	88,14	11,5
Belo Vale	2.690	363,69	299,36	-17,7
Alberto Flores	3.945	423,00	410,86	-2,9
Pte. N. do Paraopeba	5.680	542,54	555,36	2,4
Pte. da Taquara	8.720	703,15	791,59	12,6
Porto Mesquita	10.695	949,00	937,15	-1,2

com medições, mas pela observação local. Esse efeito é menor para bacias da ordem de 20 km<sup>2</sup>.

Na Figura 9 e na Tabela 5, pode-se observar a variabilidade dos valores de escoamento superficial (em mm) da região do rio Ijuí, onde se observa que os valores são aproximadamente constantes, apenas a bacia menor (0,125 km<sup>2</sup>), pelo que já foi justificado, apresenta valor inferior.

**Rio Paraopeba** - A vazão média de cada posto da bacia do rio Paraopeba foi calculada pela média aritmética das vazões diárias de todo o período selecionado (1975 a 1985).

A equação regional obtida foi a seguinte:

$$Q_m = 0,0281.A^{0,9453} \quad (4)$$

A equação acima foi definida com  $R^2 = 0,996$ . A Figura 8 apresenta o ajuste obtido e na Tabela 6 pode-se observar as diferenças entre os valores observados e calculados. Observa-se que a regionalização apresenta um bom ajuste

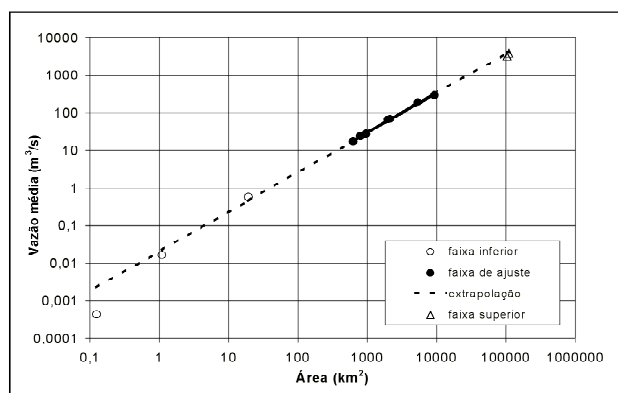


Figura 7. Regionalização da vazão média de longo período (Ijuí).

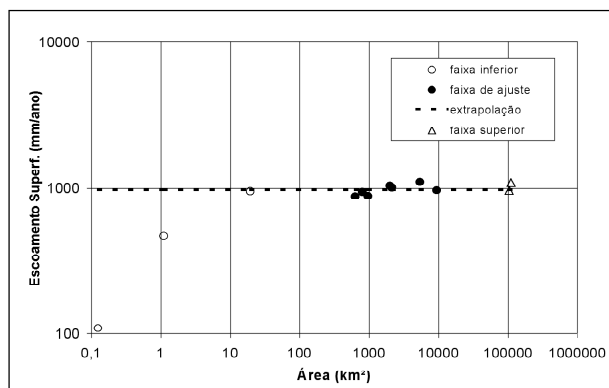


Figura 9. Análise da tendência do escoamento superficial (Ijuí).

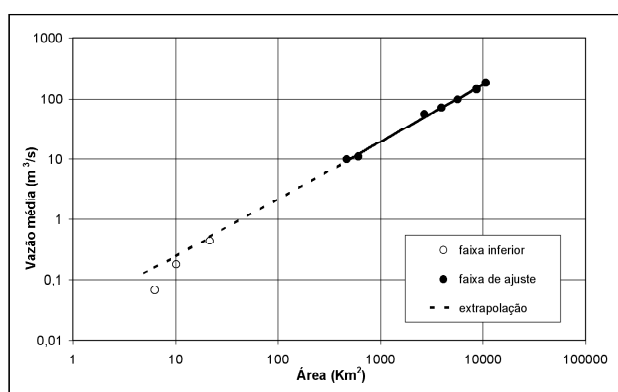


Figura 8. Regionalização da vazão média de longo período (Paraopeba).

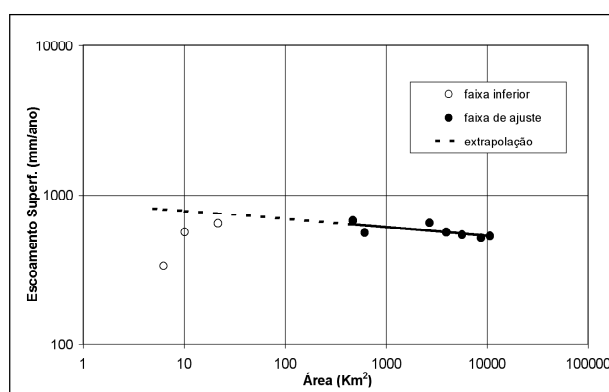


Figura 10. Análise da tendência do escoamento superficial (Paraopeba).

para as bacias de médio porte, superestimando os valores para bacias menores ( $< 10 \text{ km}^2$ ). Assim, ao se utilizar a equação regional para bacias de áreas pequenas, obterá resultados tendenciosos da capacidade de regularização da bacia.

Na Figura 10 e na Tabela 6, pode-se observar a variabilidade dos valores de escoamento superficial (em  $\text{mm ano}^{-1}$ ) das bacias do rio Paraopeba, onde se observa uma tendência de valor uniforme, com uma leve redução com o tamanho da bacia.

Esta variabilidade pode ser devido à distribuição espacial da precipitação na bacia. Observa-se que para os valores de ajuste, com o aumento do tamanho da bacia há uma redução do escoamento superficial, acompanhando a tendência da redução das precipitações para a parte baixa da bacia. No caso dos pontos de extrapolação, observa-se que o escoamento superficial dessas bacias apresenta valores compatíveis com os obtidos para as estações de Alberto Flores e Ponte Nova do Paraopeba, todas localizadas na mesma porção da bacia (Médio Paraopeba), sendo essas últimas utilizadas no ajuste da equação regional. Pode-se observar também, que o maior valor obtido para o escoamento superficial foi o correspondente a bacia de Entre Rio de Minas (área

de drenagem de  $469 \text{ km}^2$ ), localizada no sudoeste da bacia, região descrita anteriormente como a de maior índices pluviométricos anuais.

### Curva de permanência

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 empírica fornecida por Tucci (1993).

As vazões características da curva de permanência escolhidas para análise foram o  $Q_{50}$  e o  $Q_{95}$ . A seguir serão apresentadas as regionalizações dessas vazões.

**Regionalização do  $Q_{50}$**  - A vazão  $Q_{50}$  é a vazão extraída da curva de permanência cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de 50%.

**Rio Ijuí** - A Figura 11 apresenta o ajuste dos valores de  $Q_{50}$  em função da área das bacias estudadas na bacia do rio Ijuí. A equação resultante é:



Tabela 5. Vazões médias e escoamentos superficiais calculados e observados (Ijuí).

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão			Escoamento superficial		
		Observada (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Calculada (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Diferença (%)	Observado (mm ano <sup>-1</sup> )	Calculado (mm ano <sup>-1</sup> )	Diferença (%)
Anfiteatro	0,125	0,0004	0,0023	426,4	109	574,63	426,4
Donato	1,1	0,02	0,02	38,8	466	646,66	38,8
Turcato	19,5	0,59	0,47	-20,6	952	755,92	-20,6
Pte. Nova do Potiribu	628	17,52	18,21	3,9	878	912,84	3,9
Conceição	805	24,04	23,62	-1,7	942	925,15	-1,8
Pte. Nova Conceição	966	27,10	28,62	5,6	885	934,35	5,6
Passo Faxinal	2.003	65,79	61,74	-6,2	1036	972,09	-6,2
Colônia Mousquer	2.131	68,04	65,91	-3,1	1007	975,37	-3,1
Sto. Ângelo	5.414	188,33	176,15	-6,5	1097	1026,02	-6,5
Pte. Mística	9.420	289,35	316,06	9,2	968	1057,38	9,2
Garruchos	104.162	3.187,79	3.979,25	24,8	965	1204,73	24,8
Passo São Borja	110.898	3.816,19	4.251,02	11,4	1085	1208,83	11,4

Tabela 6. Vazões médias e escoamentos superficiais calculados e observados (Paraopeba).

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão			Escoamento superficial		
		Observada (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Calculada (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Diferença (%)	Observado (mm ano <sup>-1</sup> )	Calculado (mm ano <sup>-1</sup> )	Diferença (%)
Fazenda Curralinho	6,3	0,07	0,16	138,9	335,38	802,37	139,2
Fazenda Laranjeiras	10,2	0,18	0,25	37,9	565,79	781,50	38,1
Azurita	21,7	0,44	0,52	16,3	643,80	749,89	16,5
Entre Rio de Minas	469	9,95	9,41	-5,4	669,18	633,85	-5,3
Congonhas	613	10,90	12,13	11,2	560,86	624,63	11,4
Belo Vale	2690	55,26	49,07	-11,2	647,84	576,09	-11,1
Alberto Flores	3945	70,50	70,48	0,0	563,57	564,15	0,1
Pte. N. do Paraopeba	5680	97,72	99,47	1,8	542,56	553,02	1,9
Ponte da Taquara	8720	143,63	149,17	3,9	519,43	540,20	4,0
Porto Mesquita	10695	180,74	180,92	0,1	532,95	534,20	0,2

$$Q_{50} = 0,016.A^{1,0311} \quad (5)$$

onde  $R^2 = 0,991$ .

Na Figura 11 e na Tabela 7, observa-se que o ajuste é adequado para a maioria das bacias, mas para as bacias vertentes (Donato e Anfiteatro) a curva tende a superestimar a vazão.

Para o Anfiteatro a vazão de 50% é nula, já que este tipo de bacia apresenta uma duração próxima da ocorrência da precipitação (da ordem de 30%), devido à falta de capacidade de regularização natural.

**Rio Paraopeba** - A Figura 12 apresenta o ajuste dos valores de  $Q_{50}$  para a bacia do rio Paraopeba cuja equação obtida foi a seguinte:

$$Q_{50} = 0,0214.A^{0,9329} \quad (6)$$

com  $R^2 = 0,995$ .

Na Figura 12 e na Tabela 8, observa-se que o ajuste é aceitável para a maioria das bacias, mas para as estações Fazenda Curralinho (6,3 km<sup>2</sup>, erro 222%) e Fazenda Laranjeiras (10,2 km<sup>2</sup>, erro 40%) o ajuste tende a superestimar as vazões.

**Regionalização do  $Q_{95}$**  - A vazão  $Q_{95}$  é a vazão extraída da curva de permanência cuja probabilidade de ser igualada ou superada é de 95%.

**Rio Ijuí** - A Figura 13 apresenta os valores de  $Q_{95}$  em função das bacias estudadas na região do rio Ijuí. A equação resultante é:

$$Q_{95} = 0,0118.A^{0,927} \quad (7)$$

onde  $R^2 = 0,9714$ .

Os resultados da extrapolação da  $Q_{95}$  são satisfatórios até a bacia do Turcato (19,5 km<sup>2</sup>), como mostra a Tabela 9. Para as

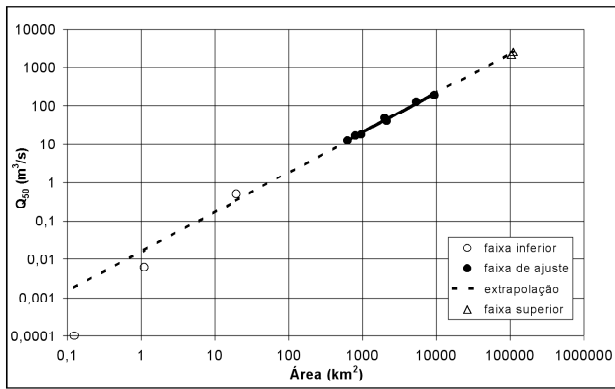


Figura 11. Regionalização do Q<sub>50</sub> (Ijuí).

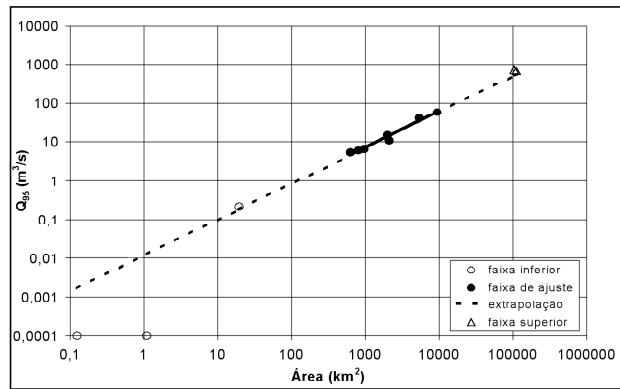


Figura 13. Regionalização do Q<sub>95</sub> (Ijuí).

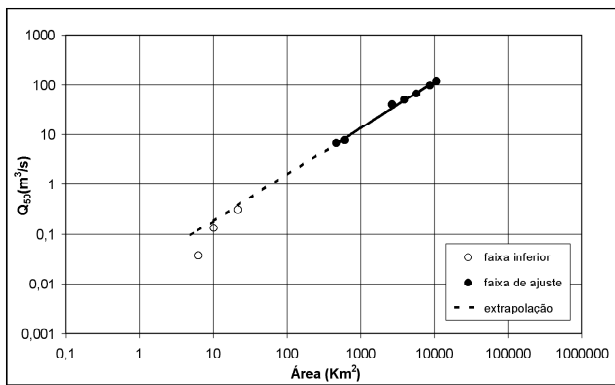


Figura 12. Regionalização do Q<sub>50</sub> (Paraopeba).

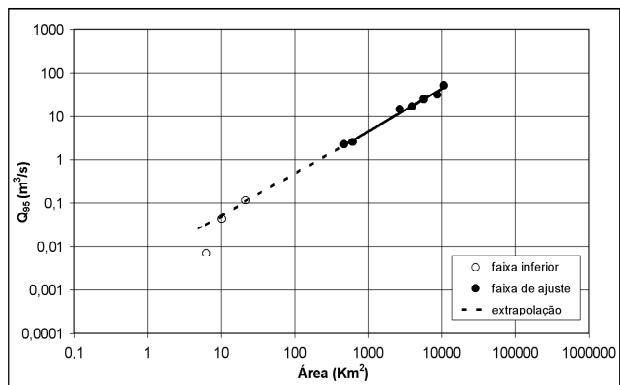


Figura 14. Regionalização do Q<sub>95</sub> (Paraopeba).

bacias de vertente, Donato e Anfiteatro o valor de Q<sub>95</sub> é nulo, mostrando que as mesmas não são perenes e não possuem capacidade regularização natural para este período.

**Rio Paraopeba** - A equação de regionalização da vazão Q<sub>95</sub>, obtida pelo ajuste dos valores de Q<sub>95</sub> de cada estação da bacia do rio Paraopeba pela sua respectiva área de drenagem foi a seguinte:

$$Q_{95} = 0,0053.A^{0,9778} \tag{8}$$

com R<sup>2</sup> = 0,988.

Na Figura 14 e na Tabela 10, observa-se que a equação apresenta um bom ajuste para a maioria dos postos, excetuando apenas a estação Fazenda Curralinho, cuja área de drenagem é de 6,3 km<sup>2</sup>.

Estes resultados mostram que a curva de permanência tenderá a superestimar a vazão de Q<sub>50</sub> e Q<sub>95</sub> à medida que diminui o tamanho da bacia, principalmente abaixo de 19 km<sup>2</sup>. Isto pode ser justificado pela redução maior da capacidade de regularização natural das bacias abaixo desse tamanho, tomando como base as amostras utilizadas.

**Regionalização das curvas de permanência** - A curva de permanência pode ser ajustada a uma função matemá-

tica que represente bem o trecho de interesse da curva. O trecho da curva de permanência normalmente utilizado é a faixa entre 50% e 95%.

Esse trecho pode ser ajustado através dos valores de Q<sub>50</sub> e Q<sub>95</sub> estimados pela regionalização a uma equação do tipo exponencial, utilizada na Log-Normal.

Segundo Tucci (1993), a curva de permanência obtida com base na distribuição Log-Normal, através das vazões Q<sub>50</sub> e Q<sub>95</sub>, segue a equação:

$$Q = e^{p.k_1+k_2} \tag{9}$$

onde:

$$k_1 = -\frac{\ln\left(\frac{Q_{50}}{Q_{95}}\right)}{0,45}; \tag{10}$$

$$k_2 = \ln Q_{50} - 0,50k_1 \tag{11}$$

p é a probabilidade no intervalo de 0 a 1; Q é a vazão, em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, para a probabilidade p; Q<sub>50</sub> e Q<sub>95</sub> são as vazões, em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, para as probabilidades de 50% e 95%.

**Rio Ijuí e Uruguai** - Substituindo os valores de Q<sub>50</sub> e Q<sub>95</sub> pelas Equações (5) e (7) ajustadas para a bacia do rio Ijuí nas Equações (10) e (11), resultam em:

Tabela 7. Valores de  $Q_{50}$  para a bacia do rio Ijuí.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{50}$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Anfiteatro	0,125	0,000	0,002	-
Donato	1,1	0,006	0,018	190,4
Turcato	19,5	0,50	0,34	-31,6
Pte. do Potiribu	628	12,29	12,30	0,1
Conceição	805	16,35	15,86	-3,0
Pte. Conceição	966	17,35	19,14	10,3
Passo Faxinal	2.003	46,59	40,60	-12,9
Mouçquer	2.131	39,01	43,27	10,9
Sto. Ângelo	5.414	125,34	113,18	-9,7
Pte. Mística	9.420	183,24	200,47	9,4
Garruchos	104.162	2080,96	2387,15	14,7
Passo São Borja	110.898	2482,15	2546,48	2,6

Tabela 8. Valores de  $Q_{50}$  para a bacia do rio Paraopeba.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{50}$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Faz. Curralinho	6,3	0,04	0,12	222,0
Faz. Laranjeiras	10,2	0,13	0,19	40,4
Azurita	21,7	0,31	0,38	22,2
Entre Rio de Minas	469	6,73	6,64	-1,3
Congonhas	613	7,75	8,53	10,1
Belo Vale	2.690	39,82	33,89	-14,9
Alberto Flores	3.945	50,29	48,44	-3,7
Pte. N. do Paraopeba	5.680	66,17	68,05	2,8
Pte. da Taquara	8.720	97,67	101,51	3,9
Porto Mesquita	10.695	117,00	122,81	5,0

$$k_1 = -0,677 - 0,231 \ln A \quad (12)$$

$$k_2 = -3,80 + 1,147 \ln A \quad (13)$$

A Figura 15 mostra que a curva de permanência regionalizada se ajusta bem a bacia do Turcato (19,5 km<sup>2</sup>), não utilizada no ajuste, representado bem o comportamento das vazões de permanência entre 15% e 95%.

A Figura 16 apresenta o ajuste da curva de permanência da bacia de Garruchos (104.162 km<sup>2</sup>), que também não foi utilizada no ajuste. A figura mostra que a regionalização representa bem o comportamento das vazões de permanência próximas a  $Q_{50}$  e a  $Q_{95}$ , porém, o ajuste subestima as vazões dentro dessa faixa.

**Rio Paraopeba** - As equações para  $k_1$  e  $k_2$  ficam:

$$k_1 = -3,10 + 0,10 \ln(A) \quad (14)$$

$$k_2 = -2,29 + 0,8829 \ln(A) \quad (15)$$

Nas Figuras 17 e 18, são apresentadas as curvas de permanência observadas e calculadas para as bacias da Fazenda Curralinho e Azurita, ambas não usadas para o ajuste da

Tabela 9. Valores de  $Q_{95}$  para a bacia do rio Ijuí.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{95}$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Anfiteatro	0,125	0,000	0,002	-
Donato	1,1	0,000	0,013	-
Turcato	19,5	0,21	0,19	-12,9
Pte. do Potiribu	628	5,36	4,64	-13,4
Conceição	805	5,97	5,83	-2,3
Pte. Conceição	966	6,41	6,90	7,7
Passo Faxinal	2.003	14,65	13,57	-7,4
Mouçquer	2.131	10,53	14,37	36,5
Sto. Ângelo	5.414	39,94	34,11	-14,6
Pte. Mística	9.420	56,90	57,03	0,2
Garruchos	104.162	727,83	528,81	-27,3
Passo São Borja	110.898	679,92	560,44	-17,6

Tabela 10. Valores de  $Q_{95}$  para a bacia do rio Paraopeba.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{95}$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Faz. Curralinho	6,3	0,007	0,032	357,9
Faz. Laranjeiras	10,2	0,044	0,051	16,7
Azurita	21,7	0,114	0,107	-5,8
Entre Rio de Minas	469	2,22	2,17	-2,4
Congonhas	613	2,54	2,82	11,1
Belo Vale	2.690	14,73	11,96	-18,7
Alberto Flores	3.945	16,56	17,40	5,1
Pte. N. do Paraopeba	5.680	24,57	24,85	1,1
Pte. da Taquara	8.720	31,01	37,78	21,8
Porto Mesquita	10.695	51,20	46,13	-9,9

regionalização. Para o posto de Azurita (21,7 km<sup>2</sup>) observa-se um bom ajuste da curva de permanência para os valores entre 60 e 100% de permanência. Entretanto para a Fazenda Curralinho (6,3 km<sup>2</sup>), como já era esperada, a regionalização superestimou os valores da curva de permanência ao longo de todo o intervalo de tempo.

Na Figura 19, é apresentada à mesma comparação para a bacia de Ponte Nova do Paraopeba (5.680 km<sup>2</sup>), pertencente a faixa de ajuste das equações regionais. Observa-se, que neste caso, a curva de permanência calculada ajusta-se muito bem aos valores observados entre 50 e 95% de permanência, confirmando os baixos valores de diferenças percentuais para as vazões  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  observadas e calculadas para este posto, a saber, 2,8% e 1,1%, respectivamente.

### Vazão mínima $Q_{7,10}$

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

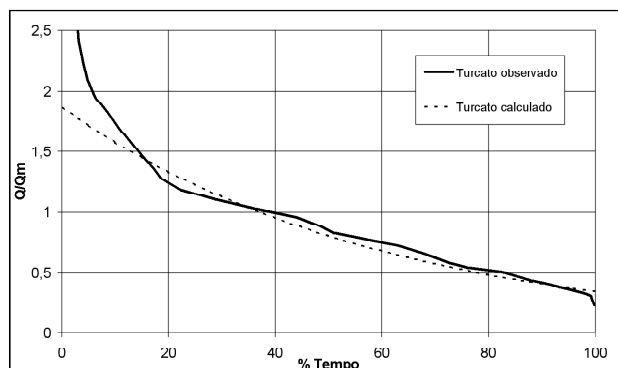


Figura 15. Curva de permanência regionalizada para a bacia do Turcato – 19,5 km<sup>2</sup> (Ijuí).

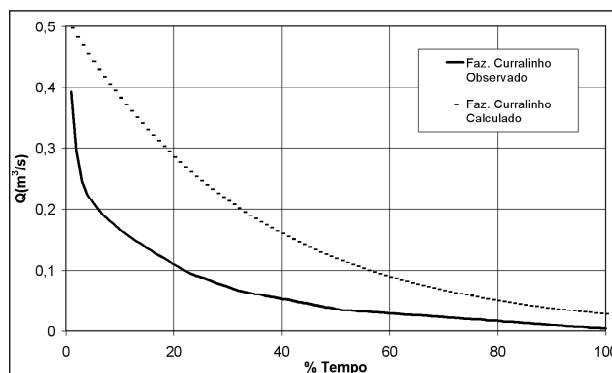


Figura 17. Curva de permanência regionalizada para a bacia Fazenda Curralinho – 6,3 km<sup>2</sup> (Paraopeba).

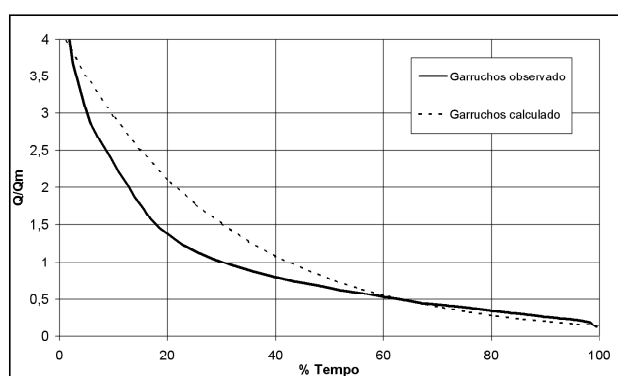


Figura 16. Curva de permanência regionalizada para Garruchos (104.162 km<sup>2</sup>), no rio Uruguai.

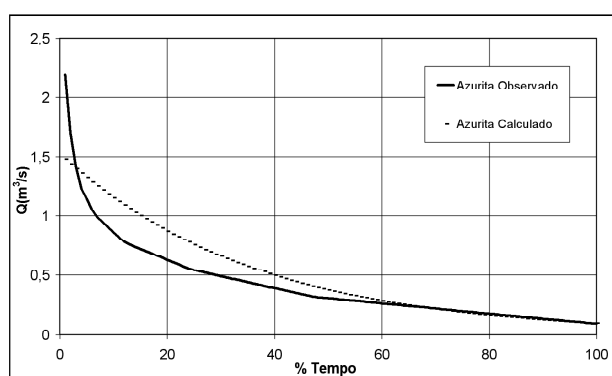


Figura 18. Curva de permanência regionalizada para a bacia Azurita – 21,7 km<sup>2</sup> (Paraopeba).

Os valores de  $Q_{7,10}$  foram calculados determinando, para cada bacia, a menor média móvel de sete vazões diárias consecutivas no ano hidrológico. Os valores mínimos anuais de sete dias de duração foram ajustados a uma distribuição estatística de Weibull.

**Rio Ijuí e Uruguai** - A equação ajustada obtida para as bacias na região de Ijuí é a seguinte:

$$Q_{7,10} = 0,0153.A^{0,8334} \quad (16)$$

onde  $R^2 = 0,889$ .

A Tabela 11 apresenta os valores obtidos para as bacias da região de Ijuí e as bacias embutidas do Potiribu, graficados na Figura 20. Os valores de  $Q_{7,10}$  das bacias do Anfiteatro e do Donato são nulos. Na figura, também é apresentada a tendência dos valores de  $Q_{7,10}$  em função das áreas das bacias de meso e macro escala. Verificamos que o valor da bacia do Turcato está dentro da tendência das bacias maiores.

**Rio Paraopeba** - Os valores de  $Q_{7,10}$  da bacia do rio Paraopeba também foram ajustados a uma equação tipo potência, sendo obtida a seguinte equação regional:

$$Q_{7,10} = 0,005.A^{0,9673} \quad (17)$$

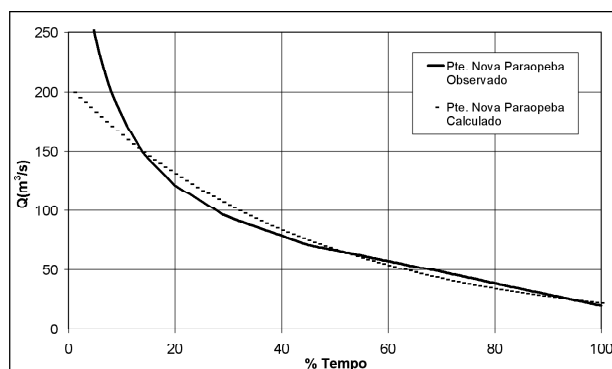


Figura 19. Curva de permanência regionalizada para a bacia Ponte Nova do Paraopeba – 5.680 km<sup>2</sup>.

com  $R^2 = 0,986$ .

A Figura 21 apresenta o ajuste da equação obtida e na Tabela 12 estão indicados os valores observados e calculados das vazões mínimas  $Q_{7,10}$  dos postos selecionados.

Os resultados obtidos mostraram um bom ajuste da equação regional para as bacias de meso escala e, assim como ocorreu para as vazões médias de longo período e para as vazões médias de cheia, a regionalização superestimou os valores das vazões mínimas das bacias menores (< 10 km<sup>2</sup>).

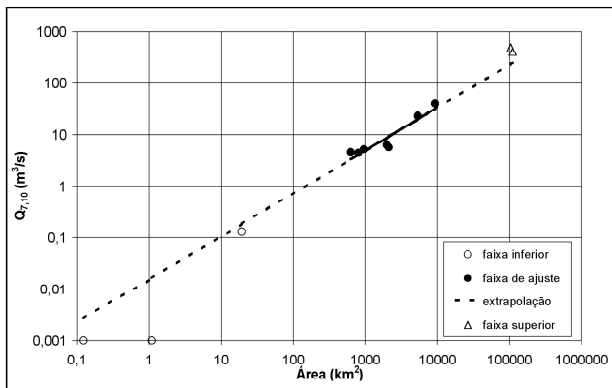


Figura 20. Regionalização da  $Q_{7,10}$  (região do rio Ijuí).

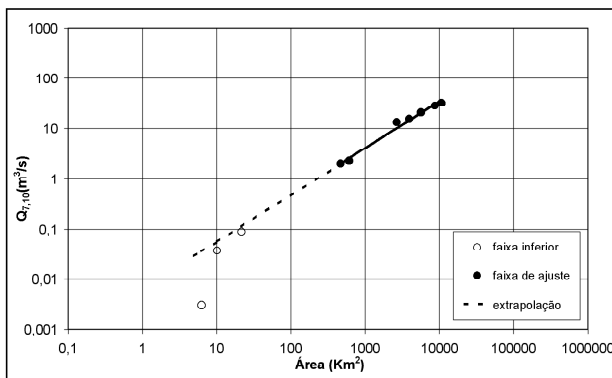


Figura 21. Regionalização da  $Q_{7,10}$  (bacia do rio Paraopeba).

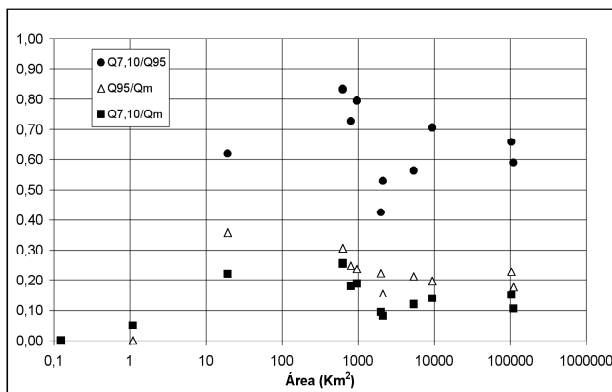


Figura 22. Índices regionais para a região do rio Ijuí.

A Tabela 13 apresenta a relação entre as vazões  $Q_m$ ,  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  para a região do rio Ijuí. Na tabela e na Figura 22, verificamos que os valores para as bacias do Anfiteatro e do Donato se afastam das tendências das demais bacias. Os valores são pouco uniformes, apresentando os seguintes valores médios: 0,64 para  $Q_{7,10}/Q_{95}$ ; 0,19 para  $Q_{95}/Q_m$  e 0,13 para  $Q_{7,10}/Q_m$ , com coeficiente de variação de 0,19; 0,54 e 0,55 respectivamente.

O efeito principal de escala observado neste caso, onde a hidrogeologia é uniforme na bacia, é o aumento da capacidade de regularização da bacia com o aumento da área.

Tabela 11. Valores de  $Q_{7,10}$  para a região de Ijuí.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Anfiteatro	0,125	0,000	0,003	-
Donato	1,1	0,001	0,017	1556,5
Turcato	19,5	0,13	0,18	43,2
Pte. do Potiribu	628	4,46	3,29	-26,2
Conceição	805	4,33	4,04	-6,7
Pte. Conceição	966	5,09	4,70	-7,5
Passo Faxinal	2.003	6,22	8,64	38,8
Mousquer	2.131	5,57	9,09	63,3
Sto. Ângelo	5.414	22,44	19,78	-11,8
Pte. Mística	9.420	40,07	31,40	-21,6
Garruchos	104.162	478,47	232,51	-51,4
Passo São Borja	110.898	400,29	244,98	-38,8

Tabela 12. Valores de  $Q_{7,10}$  para o rio Paraopeba.

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	$Q_{7,10}$ (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Dif. (%)
		Obs.	Calc.	
Faz. Curralinho	6,3	0,003	0,036	1101,5
Faz. Laranjeiras	10,2	0,037	0,056	52,6
Azurita	21,7	0,089	0,114	28,0
Entre Rio de Minas	469	1,97	1,99	1,0
Congonhas	613	2,24	2,55	14,0
Belo Vale	2.690	13,44	10,12	-24,7
Alberto Flores	3.945	15,51	14,45	-6,9
Pte. N. do Paraopeba	5.680	20,64	20,28	-1,7
Pte. da Taquara	8.720	28,24	30,22	7,0
Porto Mesquita	10.695	32,32	36,55	13,1

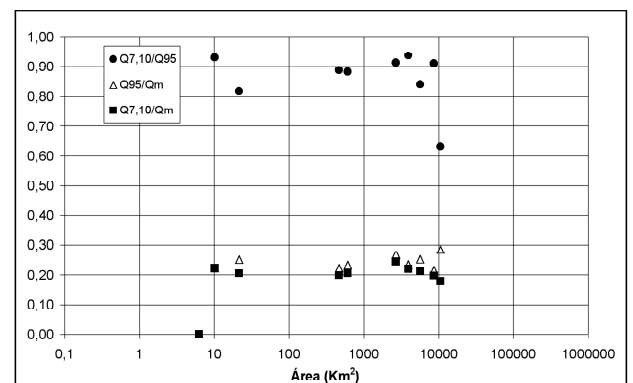


Figura 23. Índices regionais para a bacia do rio Paraopeba.

Os dados de meso escala não conseguem captar esta tendência e superestimam para a escala menor e subestimam para escala maior o  $Q_{7,10}$ . Esta tendência também foi observada para  $Q_{95}$  e para a vazão mínima  $Q_{7,10}$ .

A Tabela 14 apresenta a mesma relação entre as vazões  $Q_m$ ,  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  para a bacia do rio Paraopeba. Na tabela e na Figura 23, verificamos que os valores para a bacia

**Tabela 13. Análise da relação entre Qm, Q<sub>7,10</sub> e Q<sub>95</sub> (Ijuí - Uruguai).**

	Anfiteatro	Donato	Turcato	Potiribu	Conceição	Nova Conceição	Passo Faxinal	Mousquer	Sto. Angelo	Pte. Mística	Garruchos	Passo São Borja
Qm (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,0004	0,02	0,59	17,52	24,04	27,10	65,79	68,04	188,33	289,35	3187,8	3816,2
Q <sub>7,10</sub> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,00	0,001	0,13	4,46	4,33	5,09	6,22	5,57	22,44	40,07	478,47	400,29
Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,00	0,00	0,21	5,36	5,97	6,41	14,65	10,53	39,94	56,90	727,83	679,92
Q <sub>7,10</sub> /Qm	0,00	0,05	0,22	0,25	0,18	0,19	0,09	0,08	0,12	0,14	0,15	0,10
Q <sub>95</sub> /Qm	0,00	0,00	0,36	0,31	0,25	0,24	0,22	0,15	0,21	0,20	0,23	0,18
Q <sub>7,10</sub> /Q <sub>95</sub>	-	-	0,62	0,83	0,73	0,79	0,42	0,53	0,56	0,70	0,66	0,59

**Tabela 14. Análise da relação entre Qm, Q<sub>7,10</sub> e Q<sub>95</sub> (Paraopeba).**

	Faz. Curralinho	Faz. Laranjeiras	Azurita	Entre Rio de Minas	Congonhas	Belo Vale	Alberto Flores	Pte. N. do Paraopeba	Ponte da Taquara	Porto Mesquita
Qm (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,07	0,18	0,44	9,95	10,90	55,26	70,50	97,72	143,63	180,74
Q <sub>7,10</sub> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,00	0,04	0,09	1,97	2,24	13,44	15,51	20,64	28,24	32,32
Q <sub>95</sub> (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	0,00	0,04	0,11	2,22	2,54	14,73	16,56	24,57	31,01	51,20
Q <sub>7,10</sub> /Qm	0,00	0,20	0,20	0,20	0,21	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18
Q <sub>95</sub> /Qm	0,00	0,22	0,25	0,22	0,23	0,27	0,23	0,25	0,22	0,28
Q <sub>7,10</sub> /Q <sub>95</sub>	-	0,93	0,81	0,89	0,88	0,91	0,94	0,84	0,91	0,63

**Tabela 15. Resumo da regionalização das variáveis hidrológicas estudadas (Ijuí - Uruguai).**

Variável hidrológica	Q = a.A <sup>b</sup>		R <sup>2</sup>	Intervalo de validade
	Parâmetro	Valor		
Qmc	a	0,4819	0,974	meso e macro escala (600-110.000 km <sup>2</sup> ). Subestima o valor para o Turcato (19,5 km <sup>2</sup> ).
	b	0,9172		
Qm	a	0,0204	0,997	micro, meso e macro escalas (1-110.000 km <sup>2</sup> ). Superestima o valor para o Anfiteatro (0,12 km <sup>2</sup> ).
	b	1,0648		
Q <sub>50</sub>	a	0,0160	0,991	Turcato, meso e macro escala (19,5-110.000 km <sup>2</sup> ). Superestima o valor para o Donato (1,1 km <sup>2</sup> ).
	b	1,0811		
Q <sub>95</sub>	a	0,0118	0,971	Turcato, meso e macro escala (19,5-110.000 km <sup>2</sup> ).
	b	0,9270		
Q <sub>7,10</sub>	a	0,0153	0,889	Turcato e meso escala (19,5-10.000 km <sup>2</sup> ). Subestima para a macro escala (>100.000 km <sup>2</sup> ).
	b	0,8334		

Fazenda Curralinho se afastam das tendências das demais bacias. Os valores são uniformes, bem mais que os da região do rio Ijuí, apresentando os seguintes valores médios: 0,86 para Q<sub>7,10</sub>/Q<sub>95</sub>; 0,22 para Q<sub>95</sub>/Qm e 0,19 para Q<sub>7,10</sub>/Qm, com coeficiente de variação de 0,11; 0,36 e 0,36 respectivamente.

A Tabela 15 apresenta um resumo da regionalização das variáveis hidrológicas obtidas para a região do rio Ijuí. A tabela mostra os valores dos coeficientes ajustados, a estatística R<sup>2</sup> dos ajustes e o limite de validade dos ajustes.

A Tabela 16 apresenta um resumo dos parâmetros das equações regionais definidas para as variáveis hidrológicas analisadas na bacia do rio Paraopeba, o valor do coeficiente de determinação obtido para cada uma das regressões e o limite de validade dos ajustes.

## CONCLUSÕES

A regionalização tem sido utilizada como uma solução para a falta de dados, o que não deveria ocorrer. Este método é essencial para interpolar resultados no espaço. O seu uso na extrapolação deve ser realizado com muito cuidado e poderá introduzir muita incerteza.

Neste estudo, foram utilizadas duas bacias em diferentes partes do Brasil com características aproximadamente homogêneas quanto a precipitação, tipo e uso do solo e geologia. Nestas duas amostras, foi estudado o erro de extrapolação dos métodos hidrológicos usuais.

Os resultados, em síntese, mostraram para estas bacias o seguinte:

Tabela 16. Resumo da regionalização das variáveis hidrológicas estudadas (Paraopeba).

Variável hidrológica	Q = a.A <sup>b</sup>		R <sup>2</sup>	Intervalo de validade
	Parâmetro	Valor		
Q <sub>mc</sub>	a	0,4370	0,999	Bacias médias até Azurita (21,7 – 10.000 km <sup>2</sup> ).
	b	0,8268		
Q <sub>m</sub>	a	0,0281	0,996	Bacias médias até Fazenda Laranjeira (10,2 – 10.000 km <sup>2</sup> ).
	b	0,9453		
Q <sub>50</sub>	a	0,0214	0,995	Bacias médias até Azurita (21,7 – 10.000 km <sup>2</sup> ).
	b	0,9329		
Q <sub>95</sub>	a	0,0053	0,988	Bacias médias até Fazenda Laranjeira (10,2 – 10.000 km <sup>2</sup> ).
	b	0,9778		
Q <sub>7,10</sub>	a	0,0050	0,986	Bacias médias até Fazenda Laranjeira (10,2 – 10.000 km <sup>2</sup> ).
	b	0,9673		

- Para as vazões médias de cheias, a extrapolação superior não apresenta grandes incertezas e na inferior o erro foi pequeno até 20 km<sup>2</sup>.
- Para a vazão média de longo período, existem incertezas na extrapolação para bacias com área inferior a 10 km<sup>2</sup>.
- Para a curva de permanência, observa-se uma boa extrapolação inferior até 10 km<sup>2</sup> e nas demais bacias (< 10 km<sup>2</sup>) a regionalização superestima as vazões.
- Para a vazão Q<sub>7,10</sub>, verifica-se uma boa extrapolação superior e inferior até 10 km<sup>2</sup>, ocorrendo a superestimativa na extrapolação inferior.

Observa-se, destes resultados, a predominância de alguns processos de acordo com a escala da bacia, o que muitas vezes limita a extrapolação dos resultados, principalmente através de relações empíricas como as utilizadas neste estudo. De outro lado, também se pode verificar que a extensão da tendência do comportamento de algumas funções pode apresentar resultados aceitáveis para as escalas de transição superior e inferior.

Os resultados mostram nesta bacia que a extrapolação inferior da regionalização é aceitável até bacias da ordem de 10 km<sup>2</sup>. Para bacias menores existem incertezas maiores devido a grande variabilidade que o espaço físico influencia o escoamento na rede de canais naturais. A escala de transição superior mostrou reduzidas incertezas apesar das diferenças de magnitude, no entanto deve-se observar que o erro é ou não aceitável, de acordo com o uso que se fará dos valores da regionalização.

Estes resultados foram obtidos com base numa amostra pequena de bacias nas diferentes escalas e sofrem da dúvida da representatividade, principalmente para as bacias de menor área. Portanto, estes resultados devem ser vistos como preliminares, no entanto, contribuem para o entendimento da extrapolação regional numa região onde os condicionamentos hidrológicos não mostram grande variabilidade.

Vale ressaltar também que nesse estudo de regionalização foi utilizada, por simplificação, apenas a área de dre-

nagem como variável independente, o que não descarta a necessidade da análise do ganho estatístico da correlação entre a variável dependente e outras variáveis explicativas, tais como: a precipitação, a densidade de drenagem e a declividade.

Portanto, o importante é ter a consciência de que nenhum tipo de dado pode ser inventado, o que se deve é buscar da melhor maneira possível extrair o máximo de informações dos dados existentes e, utilizá-las com suas devidas ressalvas. Esta análise foi realizada numa bacia onde as variáveis e funções regionais apresentam similaridade de comportamento na meso escala (IPH, 1991).

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi desenvolvida com recursos do CNPq e do Fundo de Recursos Hídricos através da FINEP Financiadora de Estudos e Pesquisa do MCT.

Os dois primeiros autores agradecem o apoio do CNPq pela concessão de bolsa de estudo de mestrado e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas pela infra-estrutura disponibilizada.

## REFERÊNCIAS

- ACREMAN, M. C. & SINCLAIR, C. D. (1986). Classification of drainage basins according to their physical characteristics: an application for flood frequency analysis in Scotland. *Journal of Hydrology*, 84: 365-380.
- BECKER, A. (1992). *Criteria for hydrologically sound structuring of large scale land surface process models*. In: Advances in Theoretical Hydrology, Kuane, J. P. (editor). Elsevier p.97-111.
- BELTRAME, L. F. de S. (coord.) (2000). *Consistência de dados hidrológicos da bacia hidrográfica do Alto Uruguai, sub-bacia 75*. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.
- BORGES, A. L. O. & BORDAS, M. P. (1988). Choix de bassins representatifs et expérimentaux pour l'étude de l'érosion sur

- le plateau basaltique sudaméricain. In: Porto Alegre Symposium. *Sediment budgets*. Wallingford: IAHS p.161-169.
- BORGES, A. L. O. & BORDAS, M. P. (1990). Escolha de bacias representativas e experimentais para o estudo da erosão no planalto basáltico sul-americano. In: Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 8, Londrina. *Anais*.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2000). *Sistemas de informações georreferenciadas de energia e hidrologia – Hidrogeo. Bacia 7: Bacia do Uruguai*. Brasília. Cd-rom. Versão 1.1.
- CASTRO, N. M. R. (1996). *Ruissellement et érosion sur des bassins versants de grande culture du plateau basaltique du sud du Brésil (Rio Grande do Sul)*. 224p. Tese (doutorado) – Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- CASTRO, N. M. R.; AUZET, A. V.; CHEVALLIER, P. & LEPRUN, J. C. (1999). Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. *Hydrological Processes*, Chichester, vol.13, n°11, p.1621-1628, Aug.
- CASTRO, N. M. R.; CHEVALLIER, P. e GOLDENFUM, J. A. (2000). *Projeto Potiribu, atualização 1989-1998*: dados básicos de fluviometria e pluviometria. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. (Recursos Hídricos. Publicação n°35).
- CETEC/IGA - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS (1996). *Diagnóstico ambiental do Vale do Paraopeba*. Belo Horizonte: CETEC/IGA, 245p.
- CHEVALLIER, P. e CASTRO, N. M. R. (1991). As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS-Brasil). In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, Rio de Janeiro, *Anais 3*, p.183-192, Rio de Janeiro: ABRH/APRH.
- CLAUSEN, B. & PEARSON, C. P. (1995). Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *Journal of Hydrology*, 173: 111-130.
- CPRM (2001). *Regionalização de vazões médias da bacia costeira do nordeste*. CPRM/ANEEL.
- GEOLOGIA DO BRASIL (1984). *Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais*. Escala 1:2.500.000. Coord. Carlos Schobbenhaus; Diógenes de Almeida Campos; Gilberto Ruy Derze, Haroldo Erwin Asmus. Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral, 500p.
- HUGHES, J. M. R. (1987). *Hydrological characteristics and classification of Tasmanian rivers*. Aust. Geog. Studies 25 (1), 61-82.
- IBGE (1986). *Levantamento de recursos naturais, 33*. Folhas SH 22, Porto Alegre e parte das folhas: SH 21 Uruguaiana e SI 22 Lagoa Mirim. Projeto Radam Brasil, 792p.
- IPH (1991). *Regionalização de vazões do Rio Grande do Sul*. CEEE/IPH, 3 volumes.
- LEINZ, V. (1949). *Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil*. Fac. Fil. Ciências e Letras da USP, Bol. CIII, Geologia 5, p.1-61.
- MOSLEY, M. P. (1981). Delimitation of New Zealand hydrologic regions. *Journal of Hydrology*, 49: 173-192.
- NATHAN, R. J. & MCMAHON, T. A. (1990). Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalisation. *Journal of Hydrology*, 121: 217-238.
- NATHAN, R. J. & MCMAHON, T. A. (1992). Estimating low flow characteristic in ungauged catchments. *Water Resources Manage.*, 6: 85-100.
- PILGRIM, D. H. (1983). Some problems in transferring hydrological relationships between small and large drainage basins and between regions. *Journal of Hydrology*, Amsterdam: Elsevier Science Publishes B. V., n°65, p.49-72.
- POST, D. A.; JONES, J. A. & GRANT, G. E. (1998). *An improved methodology for predicting the daily hydrologic response of ungauged catchments*. Environmental Modelling & Software, 13: 395-403.
- REIMERS, W. (1990). *Estimating hydrological parameters from basin characteristic for large semiarid catchments*. In: *Regionalization in Hydrology*. IAHS Publication, 191: 187-194.
- SCHVARTZMAN, A. S. (2000). *Outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba em Minas Gerais*. Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 144p.
- TUCCI, C. E. M. (1993). Regionalização de vazões. In: Tucci, C. E. M. (org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. cap.15, p.573-619.
- TUCCI, C. E. M. (2002). *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS.
- TUCCI, C. E. M. e GENZ, F. (1997). *Caracterização hidrológica da bacia do Alto Paraguai (BAP)*. In: IPH-UFRGS, Hidrossedimentologia do Alto Paraguai.
- VORST, P. C. & BELL, F. C. (1981). Geomorphic parameters of representative basins and their hydrologic significance. *Australian Water Resources Council Technical Paper* 58:1-131.
- ZRINJI, Z. & BURN, D. H. (1994). Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach. *Journal of Hydrology*, 153: 1-21.



## ***Spatial Extrapolation in Discharge Regionalisation***

### **ABSTRACT**

*Discharge data usually exist only for medium and large catchments. Discharge regionalisation studies are based on these data, and therefore may present uncertainties for basins with a smaller or even larger drainage area than those used in regionalisation.*

*In this study data from two distinct Brazilian regions were used: Ijuí River which is a tributary of the Uruguay River, in the southernmost region of Brazil, and Paraopeba River which is a tributary of the São Francisco River, in Central Brazil. Several medium-sized basins were used (600 and 10,000 km<sup>2</sup>) to establish regionalisation in the Ijuí Basin. Three basins with an area of 0.125, 1.0 and 19.5 km<sup>2</sup> were used to look at their extrapolation to smaller basins. For higher extrapolation, two stations were used with an area larger than 100,000 km<sup>2</sup>. For Paraopeba Basin, several medium-sized basins were used (600 and 10,000 km<sup>2</sup>) to establish regionalisation and the verification used three basins with an area of 6, 10 and 22 km<sup>2</sup> to look at their extrapolation to smaller basins. The regionalised variables were mean discharge over a long period, mean annual flow flood, flow duration curve and minimum discharge with a 7-day duration and a 10-year return period.*

*The results show that there is a limited error in extrapolation to larger basins than those used in regionalisation, while for smaller basins the results proved acceptable up to 20 km<sup>2</sup>. For minimums flows, the extrapolation biases tend to overestimate the desired flow.*

*Key-words: regionalisation; hydrologic scale; nested basins.*