

Avaliação do Efeito de Escala em Características de Chuva e Vazão em Sub-Bacias Embutidas da Bacia do Potiribu - RS

Róger Vigley Girardi, Nilza de Castro, Joel Avruch Goldenfun, André Luiz Lopes da Silveira

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

vigleygirardi@gmail.com, nilza@iph.ufrgs.br, ⁴joel@iph.ufrgs.br, andre@iph.ufrgs.br

Adilson Pinheiro

Fundação Universidade Regional de Blumenau

pinheiro@furb.br

Recebido: 13/07/09 - revisado: 20/12/09 - aceito: 20/04/11

RESUMO

Este artigo apresenta uma avaliação do efeito de escala através da análise de dados de chuva e vazão nas sub-bacias embutidas do Donato (1,13km²), Turcato (19,4km²) e Taboão (105,4km²), na bacia do rio Potiribu, município de Pejuçara, RS, para o período compreendido entre 1990 e 2003. Foram analisados totais diários, mensais e anuais de chuva e vazão e seus valores médios, máximos e mínimos, além de frequências de dias com e sem chuva, de altura de chuva, dias consecutivos sem chuva, frequência de intervalos de vazão e curvas de permanência de vazão. Por fim, procedeu-se uma tentativa de relacionar os dados de chuva e vazão analisados, de forma a produzir um melhor entendimento dessa relação entre as bacias estudadas. Os resultados indicaram que a chuva apresenta comportamento similar em todas as bacias estudadas. Porém, diferentes escalas de bacia sob mesma condição de chuvas proporcionaram diferentes respostas para a vazão específica, no que se refere a variações entre valores extremos e a amortecimento das vazões máximas. No presente caso, o amortecimento das vazões máximas é gradativamente aumentado na medida do aumento das áreas de drenagem das bacias (do Donato para o Taboão). As variações de vazão máxima aumentam com a diminuição da área de drenagem das bacias. Também observou-se que não houve uma forte correlação entre chuva média total e vazão média na periodicidade mensal e anual. Esta correlação é melhorada com o aumento da área de drenagem da bacia.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, chuva, vazão, mudança de escala, bacias embutidas.

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos dados hidrológicos, chuva e vazão são aqueles que fornecem análises mais seguras e mais significativas para o entendimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, e são também, normalmente, os de custos mais acessíveis. Desta forma, aliando importância, acessibilidade técnica e custo, cresce no Brasil a instalação de equipamentos de coleta de dados de chuva e vazão, seja em âmbito científico, seja para estruturação da rede nacional de dados hidrometeorológicos.

Apesar disso, ainda há enormes lacunas, no território brasileiro, de cobertura de dados hidrológicos. No Brasil, as grandes bacias hidrográficas possuem redes de monitoramento de chuva e vazão compatível, mas não se pode dizer o mesmo das pequenas e médias bacias.

Apesar da importância das relações entre os processos hidrológicos em diferentes escalas, estes são complexos e carecem de pesquisa e cuidado nos levantamentos e análises de dados (Mediondo & Tucci, 1997). Mas é fato que ainda há muito espaço para estudos de comportamento hidrológico em pequenas e médias bacias, especialmente em bacias embutidas, devido a potencialidade de aplicação para regiões fisiograficamente semelhantes.

Em função disso, o objetivo principal deste artigo é efetuar uma avaliação do efeito de escala a partir da análise de dados de chuva e vazão das sub-bacias do Donato, Turcato e Taboão, embutidas da bacia do Potiribu, ao longo do período de dados de 1990 a 2003.

As sub-bacias analisadas fazem parte dos estudos da “Rede de Pesquisa em Bacias Representativas e Experimentais no Bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil”, anteriormente denominado MATASUL e agora CLIMASUL, financiado pelo

MCT-FINEP/CT-Hidro desde 1989 (Goldenfum et al., 2008), ao qual está integrado o Projeto Potiribu. A produção de dados hidrológicos para bacias embutidas de micro à média escala é uma das principais demandas do Projeto Potiribu, coordenado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) desde 1989. Essa bacia foi considerada representativa da parte central do derrame basáltico no Sul do Brasil por apresentar características físico-climáticas homogêneas (Bordas e Borges, 1990).

As informações usadas neste trabalho fazem parte do banco de dados do projeto Potiribu. Apesar de muitos dados ainda estarem em fase de análises, muitas informações podem ser encontrados em Castro et al. (2000), Silva (2001), Silva et al. (2001), Vieiro (2004), IPH (2008) e em Goldenfum et al. (2008).

Excepcionalidades relacionadas ao fenômeno El Niño não foram analisadas em separado, mas mantidas no conjunto dos dados, visto que atualmente o fenômeno é considerado um elemento natural e sazonal, embora de periodicidade irregular (Santos, 2008). Justifica-se que o objetivo é analisar relações entre escalas hidrológicas, sendo que as características dos eventos excepcionais não se apresentam aqui como elementos fundamentais a serem conhecidos, mas sim as respostas hidrológicas observadas nas diferentes bacias.

De qualquer forma, outros estudos procuraram identificar a influência do fenômeno, como os de Fontana & Berlato (1997), que, estudando as chuvas médias mensais no Rio Grande do Sul, observaram que o El Niño influencia de forma distinta de acordo com a fase do fenômeno. Segundo eles, ela é mais intensa na porção Oeste do Estado nos meses de outubro e novembro. Influência também foi constatada na evaporação e na umidade relativa do ar (Streck et al., 2008). Castro et al. (2000) também registram a influência do El Niño na região. Tratando de chuvas extremas relacionadas ao fenômeno, Chevallier & Dhein (1993) afirmaram nunca antes ter sido registrado na região da bacia do Potiribu evento de chuva como no mês de maio de 1992, cujo total chegou a 549 mm, sendo que somente nos dias 26 e 27 daquele mês choveu 186 mm e 237 mm, respectivamente.

BACIAS DE ESTUDO

As bacias do Donato (1,13 km²), Turcato (19,4 km²) e Taboão (105,4 km²) estão localizadas na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul,

com coordenada central de referência para as três bacias com longitude 53°40' W e latitude 28°25' S, sendo embutidas da primeira para a última (Figura 1). Essas bacias estão localizadas no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, dentro da bacia do rio Potiribu, sendo contribuintes da margem esquerda do Rio Ijuí, este último sendo afluente de margem esquerda do Rio Uruguai.

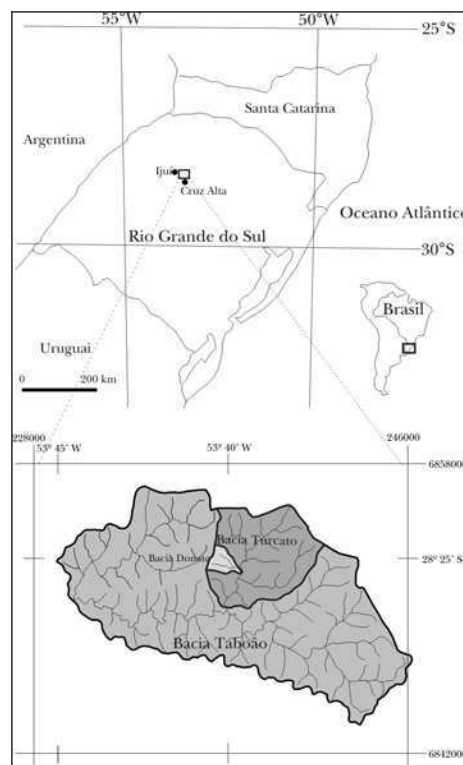


Figura 1 - Localização das bacias de estudo no contexto regional e suas inter-relações espaciais.

As bacias do Donato e Turcato possuem cerca de 90% de suas áreas ocupadas por agricultura extensiva de soja. A bacia do Taboão possui entre 80 e 85% desta ocupação. Vegetação nativa ou estágio avançado de regeneração ocorre na forma de fragmentos de mata ciliar e manchas isoladas de diferentes extensões, raramente chegando a 1 km².

Nestas bacias existem séries contínuas de chuva registradas desde 1989, a partir de vários pluviógrafos e pluviômetros instalados. No início, eram 16 estações pluviométricas, embora por motivos diversos nem todas efetivamente funcionaram ao mesmo tempo. Atualmente, são 8 estações pluviométricas em funcionamento.

Os dados de nível são coletados nas bacias dos arroios Donato e Turcato desde 1989. Na bacia

do arroio Taboão foi instalado um linígrafo em 1989, mas este foi arrancado por uma cheia em junho de 1991. A curva-chave não foi feita devido a problemas hidráulicos. Em 2002, outro linígrafo foi instalado mais a montante e, desde então, o registro de nível é efetuado nesse curso d'água. É necessário referir que a área drenada na posição do último linígrafo não corresponde a área total da bacia do Taboão, mas somente a 78,17 km², visto que um importante afluente deságua somente a jusante do ponto de registro de vazão (Figura 2).

MATERIAS E MÉTODOS

Aquisição dos dados de chuva

Para a análise de chuva foram selecionadas aquelas estações pluviométricas que apresentaram o maior número possível de dados contínuos (sem falhas) durante cada mês e que tinham distribuição espacial mais equilibrada em relação a cada bacia (posicionamentos representativos de toda a área). As mesmas são apresentadas na Figura 2.

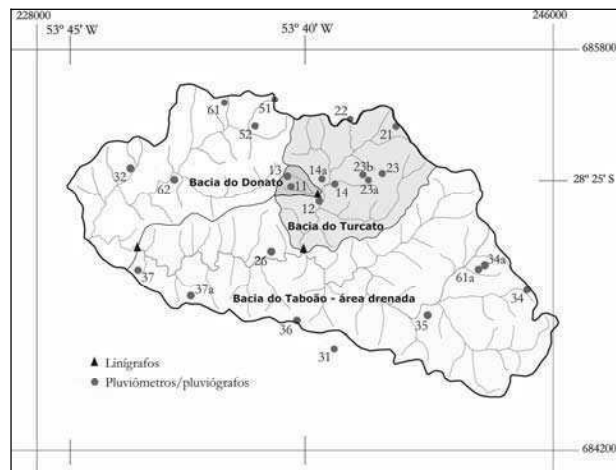


Figura 2 - Localização dos pluviógrafos e pluviômetros utilizados para o cálculo da chuva média, e dos linígrafos de registro de vazão. Observa-se que o linígrafo do Taboão não faz o registro da área total da bacia.

No total foram utilizadas 18 estações entre 1990 e 2003. Algumas estações mudaram de posição durante o período. A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas das estações pluviométricas. As estações que mudaram de posição são identificadas com o complemento a e b.

Mesmo as estações selecionadas não possuem continuidade perfeita ao longo do tempo, devido a falhas nos registros e períodos de funcionamento do aparelho registrador. A alternativa foi alternar o uso entre estações vizinhas, utilizando sempre aquelas que tinham registro mensal completo, de forma a manter a continuidade dos registros, em detrimento de técnicas de preenchimento de falhas.

Tabela 1 - Período de funcionamento e coordenadas das estações pluviométricas utilizadas.

Código	Data início	Data fim	Latitude (S)	Longitude (W)
11	29/11/89	17/01/96	28°25'15"	53°41'13"
12	07/11/89	14/12/90	28°25'35"	53°40'35"
13	27/06/90		28°25'06"	53°41'14"
14	14/12/90	23/07/98	28°25'18"	53°40'12"
14a	23/07/98		28°25'09"	53°40'31"
21	06/09/89	31/04/96	28°24'11"	53°38'57"
22	10/11/89	30/09/95	28°24'02"	53°39'53"
23	21/08/89	09/05/98	28°25'05"	53°39'14"
23a	09/05/98	20/05/99	28°25'10"	53°39'34"
23b	20/05/99		28°25'08"	53°39'36"
26	08/11/89	31/12/95	28°26'29"	53°41'39"
31	28/08/89	12/05/94	28°28'24"	53°40'18"
32	12/12/90		28°24'52"	53°44'34"
34	17/12/90	15/04/97	28°27'21"	53°36'12"
34a	15/04/97		28°26'53"	53°27'10"
35	17/12/90		28°27'46"	53°38'19"
36	01/01/91		28°27'49"	53°41'06"
37	09/01/91	09/04/94	28°26'14'	53°45'17"
37a	30/05/01		28°27'23'	53°43'18"
51	28/08/89		28°23'36"	53°41'28"
52	07/11/89		28°24'08"	53°41'55"
61	11/11/89	02/09/98	28°23'39"	53°42' 35"
61a	02/09/98		28°26'55"	53°37' 13"
62	23/10/90	08/06/92	28°25'04"	53°43'37"

Data fim em branco indica funcionamento pelo menos até o fim do período analisado.

O método adotado para a determinação da chuva média foi proposto por Girardi et al. (2009), e denominado de Método das Distâncias Invertidas. Pelo método, tendo o centro da bacia como referência, a distância ponderada da estação mais distante é multiplicada pela chuva registrada na estação mais próxima e assim sucessivamente. Para as bacias do Donato e Turcato, foram utilizados sempre dados de duas estações com registros contínuos duran-

te um mês inteiro, e três estações para a bacia do Taboão. Ou seja, apesar de algumas estações de chuva terem sido utilizadas em duas bacias ao mesmo tempo, para análise de chuva do mesmo período (mês), os arranjos de estações utilizadas nunca foram os mesmos, visto que sempre houve alternância de, no mínimo, uma estação para as bacias do Donato e Turcato e duas para a bacia do Taboão. O Quadro 1 apresenta as estações cujos registros de dados de chuva foram utilizados nas bacias.

Em função de sete estações pluviométricas estarem dentro da bacia do Turcato, sendo duas delas na bacia do Donato, houve uma interação maior entre as estações utilizadas nessas bacias. No caso da bacia do Taboão, procurou-se determinar a média através de estações pluviométricas localizada em lados opostos da área. Isso é coerente com o tamanho, a posição das bacias e a localização das estações pluviométricas.

Para a determinação de valores extremos, máximos e mínimos para diferentes tempos de retorno (TR`s) foram testadas as distribuições de extremos do tipo Log-Normal, Gumbel e Weibull (Clarke, 2001; Lanna, 2001; e Naghettini & Pinto, 2007). A distribuição de Gumbel, ou de Extremos do Tipo I, é a mais utilizada e uma das mais indicadas para análise de frequência de eventos máximos hidrológicos (Naghettini & Pinto, 2007, pg. 158), enquanto que a distribuição de Weibull, ou de Extremos do Tipo III, é para eventos mínimos hidrológicos (Clarke, 2001, pg. 683, e Naghettini & Pinto, 2007, pgs.158 e 168).

Quadro 1 - Estações pluviométricas utilizadas em cada bacia.

Bacias			
		Taboão	
		Turcato	
Donato			
11	13	31	36
12	14	32	37
	14a	34	37a
	21	34a	51
	22		52
	23		61
	23a		62
	23b		
	26		
	35		
	61a		

As chuvas médias, máximas e mínimas diárias e mensais também foram relacionadas entre as bacias embutidas, determinando-se coeficientes de correlação em pares: Donato e Turcato, Turcato e Taboão, Donato e Taboão.

Aquisição dos dados de vazão

As curvas-chave de vazão foram estabelecidas com as séries de medições realizadas nas seções fluviométricas dos arroios Donato, Turcato e Taboão desde o início do Projeto Potiribu. Foram empregados vários modelos de ajuste (linear, potência, logarítmica, exponencial e polinomial de 2º grau) de forma a encontrar as melhores equações de curvas-chave. Os registros de cota, transformados em vazão pelas curvas-chave, correspondem aos períodos entre 1990 e 2003, para as bacias do Donato e Turcato, e 2002-2003, para a bacia do Taboão. Preenchimentos de falhas de vazão foram realizados através de análise estatística de regressão, relacionando pares de bacias.

Com as séries de cotas instantâneas foram obtidas vazão média diária e vazão média móvel de sete dias ($Q_{7\text{dias}}$). As vazões $Q_{7\text{dias}}$ foram utilizadas para a construção de gráficos de frequência de intervalos de vazão e curvas de permanência.

Em seguida, foram selecionadas as médias, máximas e mínimas de vazão $Q_{7\text{dias}}$ em cada bacia e procedeu-se a determinação de vazões máximas e mínimas para diversos períodos de retorno (TR`s) utilizando-se distribuições de extremos do tipo Log-Normal, Gumbel e Weibull, da mesma forma referida para os valores de chuva. A aplicação da distribuição de Weibull, tanto para chuvas quanto vazões, contou com o apoio de Dorner (1999), George (2004) e ReliaSoft (2006).

As relações entre vazões nas bacias também foram analisadas sob a perspectiva das máximas e mínimas vazões estimadas de diferentes dias (média móvel de 1 a 7 dias) para diferentes tempos de retorno (TR`s). Essas estimativas foram elaborados a partir dos dados máximos e mínimos anuais de vazão, conforme Tucci (2001, p. 545-548).

Para as análises de comportamento de vazão e relação chuva-vazão, foram levadas em conta as áreas drenadas a montante dos linígrafos, sendo 1,1 km² na bacia do Donato, 19,4 km² na bacia do Turcato e 78,1 km² na bacia do Taboão.

Relações chuva-vazão

Foram analisadas relações chuva-vazão baseadas em dois procedimentos: identificação dos coe-

ficientes de determinação (R^2) através do método gráfico, considerando valores mensais e anuais para as bacias do Donato e Turcato e, valores anuais no caso da bacia do Taboão; e estabelecimento do módulo médio de escoamento da bacia, dividindo-se a vazão pela chuva dos períodos analisados em cada bacia, a exemplo de Silva (2003).

A análise chuva-vazão foi realizada a partir dos valores diários de chuva e vazão, sendo vazão de 1 dia, transformada em equivalente de altura de lâmina de água (mm). Os dados de chuva, pela intercalação entre estações, conforme já descrito, apresentaram uma série diária completa no período analisado. Falhas de dados diários de vazão foram preenchidas por regressão linear simples através de pares de bacias (Donato por Turcato, Turcato por Donato e Taboão por Turcato). Com as séries diárias preenchidas foram elaboradas as séries de vazões médias mensais e determinados os coeficientes de determinação R^2 . Os módulos de escoamento foram verificados pela soma dos totais diários de chuva e vazão (módulo a) e pela soma dos totais mensais de chuva e vazão (módulo b). Esse módulo equivale a proporção da quantidade de chuva que se transforma em escoamento fluvial durante um determinado período.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Chuvas médias, máximas e mínimas

As Tabelas 2 e 3 apresentam os coeficientes de correlação entre chuvas diárias e mensais médias e máximas nas bacias estudadas. A correlação entre as chuvas apresentou valores bastante altos, tanto para as médias diárias quanto mensais. Esse resultado provavelmente é influenciado pelo fato de serem pequenas bacias embutidas e devido a proximidade espacial entre as estações. O fato de terem sido utilizadas estações em comum na análise de chuva em alguns períodos provavelmente tem influência sobre a forte correlação obtida. Entretanto, ressalva-se que as estações adotadas foram aquelas que melhor se distribuem sobre cada área e seu entorno, sendo, portanto, representativas das condições de precipitação em cada bacia, sendo a forte correlação uma consequência também dessa boa cobertura.

Na Figura 3 são apresentadas as chuvas mensais características na bacia do Turcato. Devido a similaridade com as demais bacias, os demais gráficos não são apresentados. Apesar disso, observa-se na Tabela 4 que as chuvas médias mensais na bacia

do Donato são cerca de 5% superiores às outras duas bacias.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre chuvas diárias nas bacias estudadas.

Correlação entre chuvas diárias			
	Donato e Turcato	Donato e Taboão	Turcato e Taboão
Médias	0,95	0,89	0,94
Máximas	0,89	0,81	0,91

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre chuvas mensais nas bacias estudadas.

Correlação entre chuvas mensais			
	Donato e Turcato	Donato e Taboão	Turcato e Taboão
Médias	0,99	0,98	0,99
Mínimas	0,97	0,95	0,99
Máximas	0,98	0,96	0,98

Quando se comparam os resultados das médias de chuva para o período entre 1990 e 2003 com levantamentos históricos realizados por outros autores observa-se coerência geral entre os valores. Na Figura 4 são mostrados dados de chuva média para a região de Cruz Alta elaborados para os períodos de 1978 a 2005 (Santos, 2008) e 1945 a 1985 (Castro et al., 2000) e uma série de chuva média elaborada a partir de dados das estações da bacia do Taboão para o período de 1990 a 1998 (Castro et al., 2000).

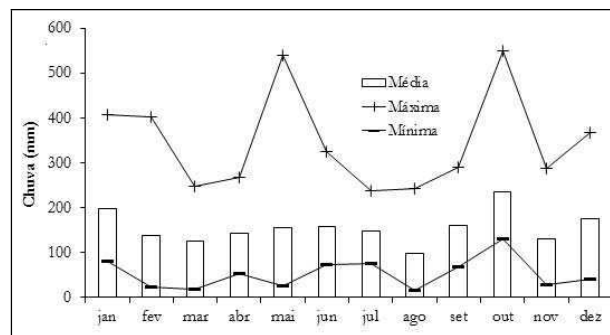


Figura 3 - Média, máxima e mínima das chuvas tendo como referência a bacia do Turcato (1990-2003).

Tabela 4. Chuvas médias (1990-2003) nas bacias estudadas.

Média mensal (mm)				
Mês	Donato	Turcato	Taboão	Média Geral
Jan	205,01	197,11	196,78	199,63
Fev	142,27	138,26	136,86	139,13
Mar	136,95	124,79	125,18	128,97
Abr	152,81	144,10	149,85	148,92
Mai	161,74	154,37	151,30	155,80
Jun	165,71	158,24	162,10	162,02
Jul	164,32	149,13	140,41	151,28
Ago	108,57	98,87	96,88	101,44
Set	160,76	160,28	160,83	160,62
Out	236,08	234,47	240,76	237,10
Nov	137,31	130,93	130,96	133,06
Dez	185,31	175,64	173,82	178,25
Média	163,1	155,5	155,5	158,02

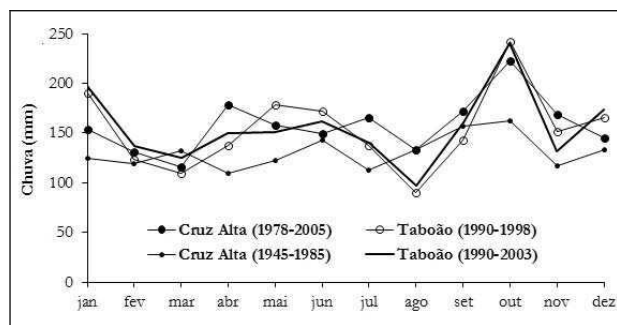


Figura 4 - Chuvas médias mensais da região de Cruz Alta e da bacia do Taboão.

Nota-se que existem algumas diferenças entre as séries históricas das chuvas médias mensais. Os dois primeiros autores utilizaram a estação de Cruz Alta, porém em períodos distintos (1978 a 2005 e 1945 a 1985 respectivamente). O segundo autor, também elaborou a média do período de 1990 a 1998 para a bacia do Taboão, porém utilizando média aritmética, diferentemente do presente trabalho que utiliza o método das Distâncias Invertidas (Girardi et al., 2009) para o período de 1990 a 2003.

inda assim, a tendência geral das médias é semelhante, com exceção marcante nos meses de maio e junho da série Cruz Alta (1978-2005) e o primeiro semestre da série Cruz Alta (1945-1985). Por outro lado, uma boa aproximação fica evidente

entre as médias mensais da bacia do Taboão (1990-1998 e 1990-2003), especialmente quando se observa o comportamento entre janeiro e março e a partir de junho, mesmo sendo usadas metodologias de cálculo distintas. O pico de outubro é bem marcado nas médias mensais, sendo os valores similares (242 mm para a primeira e 241 mm para a segunda). Tendência semelhante é encontrada também na proposição de Medeiros (2004) e Silva (2001).

Estimativa de chuvas mínimas e máximas para diferentes TR's

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados comparativos de chuvas máximas e mínimas mensais associadas a diferentes períodos de retorno (TR's), determinados com as distribuições de Gumbel e Weibull, para as bacias do Donato, Turcato e Taboão. Observa-se nesses resultados que os valores de chuva são semelhantes, havendo uma tendência de pequeno decréscimo de valores na medida de aumento da área da bacia, seja com relação às chuvas máximas ou mínimas.

Tabela 5 - Estimativa de chuvas máximas mensais para diferentes TR's pela distribuição de Gumbel.

Chuvas máximas mensais (mm)			
TR	Donato	Turcato	Taboão
2	339,36	330,09	336,43
5	427,57	418,76	417,42
10	485,97	477,47	471,04
15	518,92	510,59	501,29
20	541,99	533,79	522,48
30	574,21	566,18	552,06
40	596,93	589,02	572,93
50	614,50	606,68	589,05

Tabela 6 - Estimativa de chuvas mínimas mensais para diferentes TR's pela distribuição de Weibull.

Chuvas mínimas mensais (mm)			
TR	Donato	Turcato	Taboão
2	40,24	39,87	38,80
5	23,52	23,17	22,13
10	16,48	16,18	15,26
15	13,48	13,21	12,37
20	11,72	11,47	10,68
30	9,63	9,40	8,70
40	8,38	8,18	7,53
50	7,53	7,34	6,73

Também foi possível estimar as excepcionalidades diárias de chuva para diferentes períodos de retorno (Tabela 7). Nesse caso, os valores de chuva decrescem com o aumento da área da bacia somente para TR2 e TR5. Entre TR10 e TR50 observa-se o contrário, com estimativa de aumento da chuva máxima diária de acordo com o aumento da área da bacia. A lógica dessa tendência pode ser explicada pela distribuição das estações em relação à área da bacia e ao distanciamento entre essas estações, visto que quanto maior a área, mais distantes entre si estavam as estações selecionadas. Isso infere a possibilidade maior de registro de chuva excepcional numa área de abrangência maior, resultando numa estimativa de maior excepcionalidade de chuva quanto maior o período de retorno na bacia de maior área em relação a bacia de menor área. Assim, a presença de alguma excepcionalidade na série de dados de chuva de uma bacia e a ausência em outra, poderia implicar em mudança no comportamento das vazões estimadas a partir do TR10.

Tabela 7 - Estimativa de chuvas máximas diárias para diferentes TR's pela distribuição de Gumbel.

Chuvas máximas diárias (mm)			
TR	Donato	Turcato	Taboão
2	110,39	99,74	98,43
5	138,91	133,15	134,76
10	157,79	155,28	158,81
15	168,45	167,76	172,38
20	175,90	176,50	181,88
30	186,32	188,71	195,15
40	193,67	197,31	204,51
50	199,35	203,97	211,74

A explicação exposta acima pode ser ilustrada pelas diferenças observadas entre as estimativas de chuvas máximas diárias nos TR's de 2 e 50 anos, em cada bacia. Quanto maior a área da bacia, maior a diferença entre TR50 e TR2. Na bacia do Donato essa diferença é de 80,5%, de 104,5% na bacia do Turcato e de 115,1% na bacia do Taboão. Esse comportamento não foi observado nas chuvas máximas mensais, para diferentes tempos de retorno, quando as diferenças apresentaram-se similares.

Intensidade e frequência das chuvas

A identificação da intensidade média de chuvas sobre as bacias está associada ao conhecimento sobre a média de dias com e sem chuva nas áreas. Esse conhecimento é importante também

para planejar ações sobre as bacias, uma vez que dias e meses chuvosos são limitantes ou propícios a determinadas ações. Os valores de média e máxima mostrados na Figura 5 representam também o comportamento individual das bacias. Os meses com mais dias chuvosos são outubro (13 dias em média), janeiro (12 dias), fevereiro, setembro e dezembro (11 dias em média). Os meses com menos dias chuvosos são maio (8 dias em média), agosto e novembro (9 dias em média). Silva et al. (2007) observaram que, em Santa Maria, os meses de junho a agosto são os mais chuvosos.

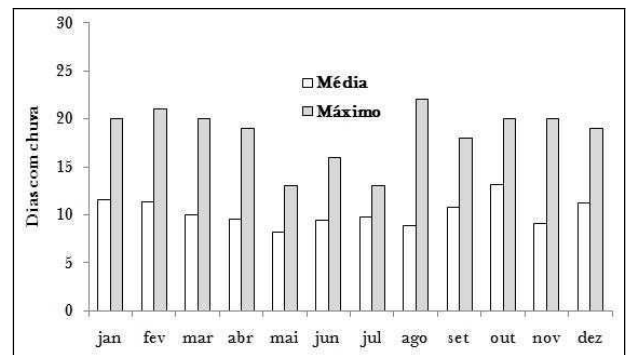


Figura 5 - Médias e máximas mensais de dias com chuva nas bacias estudadas (1990-2003).

Outubro aparece como o mês mais chuvoso, mas pode-se observar que não há um comportamento hidrológico bem marcado com relação a esse tema nas bacias estudadas. Trata-se de uma característica regional do comportamento dos períodos com e sem chuva, que são bem distribuídos na região. Não existe período seco nem úmido na bacia, chove em média 10 dias por mês ao longo de todo do ano. Nos anos analisados (1990 a 2003), somente em três dias não houve chuva em nenhum dos anos, evidenciando a irregularidade da distribuição da chuva diária.

A intensidade mensal de chuva do período pode ser analisada sob duas perspectivas (Figura 6). A primeira é dividindo a média mensal de chuva pelo número de dias médios com chuva no mês (intensidade média). A segunda é dividindo a média mensal de chuva pelo total de dias do mês (média diária).

Analisando-se dados da bacia do Turcato, durante o período analisado, nota-se que os meses mais críticos nas bacias foram maio e outubro, em torno de 19 e 18 mm/d, respectivamente. Resultados similares foram obtidos nas outras bacias e, portanto não são apresentados aqui. No entanto, uma observação feita com relação à bacia do Donato – a

menor em termo de área, é que apesar da semelhança com os valores mostrados na Figura 6, essa bacia apresenta o maior número de meses com intensidade diária maior que as outras bacias – Turcato e Taboão, em um total de oito meses.

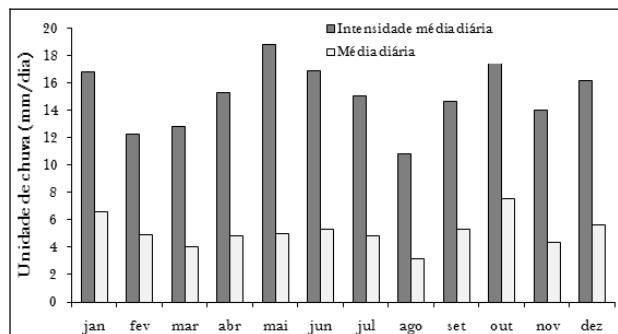


Figura 6 - Chuva média diária e intensidade média diária, tendo como referência a bacia do Turcato.

A Figura 7 mostra a frequência dos intervalos sem e com chuva, sendo esses divididos em alturas de chuva diária. Assim, tendo como referência a bacia do Turcato, pela similaridade com as demais bacias, nota-se que a maior parte das chuvas ocorre em baixa intensidade. Em média, 17,4% do tempo ocorrem chuvas até 10 mm/d. Chuvas maiores que 10 mm/d ocorrem 16,3% do tempo e chuvas de grande intensidade, maiores que 50 mm/d, em apenas 1,75% do tempo. Chuvas muito intensas, superiores a 80 mm/d, representam menos de 0,33% do tempo. Conseqüentemente os momentos de maior intensidade são extremamente localizados, crescendo em importância a análise dos dias com chuva, que redundam na intensidade média de chuva.

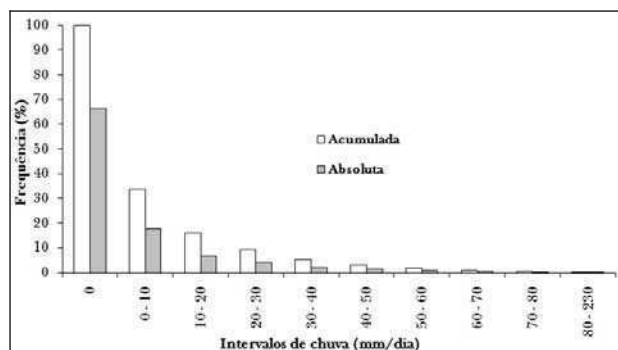


Figura 7 - Frequências acumulada e absoluta de intervalos de chuva (1990-2003) tendo como referência a bacia do Turcato.

Dias sem chuva

A análise da frequência mensal de dias sem chuva evidencia que é comum o predomínio de dias secos (Figura 8). Os números máximos de dias mensais sem chuva, entre 28 e 29 dias, ocorreram exatamente 3,57% do tempo nas três bacias. Os números de dias sem chuva em um mês que mais ocorreram foram entre 20 e 21 dias, com 20% do tempo nas bacias do Donato e Turcato, e cerca de 15% na bacia do Taboão. Em geral, 60% do tempo ocorrem mais de 20 dias sem chuva durante os meses.

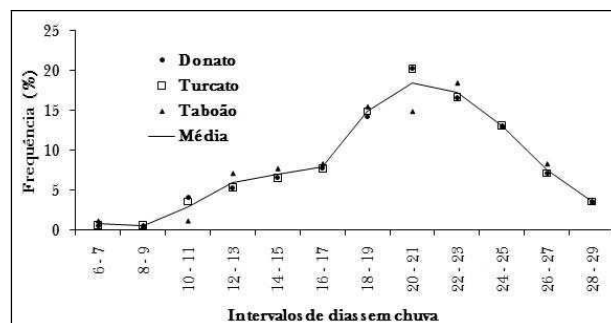


Figura 8 - Frequências mensais absolutas de ocorrência de dias sem chuva (1990-2003).

No caso dos menores intervalos de dias mensais sem chuva, entre 6 e 7 dias, os percentuais de tempo de ocorrência foram 0,6% para as bacias do Donato e Turcato, e 1,2% para a bacia do Taboão. Nesse caso, é mais prudente usar a média, que foi 0,79% de tempo de ocorrência do intervalo citado em um mês qualquer nas três bacias, visto que o menor registro na bacia menor é, automaticamente, o menor registro na bacia maior. Do total de 5.099 dias do período analisado, choveu em 1731 dias, resultando em 34% de dias com chuva.

Analisando-se os dias sem chuva mês a mês (Figura 9), constata-se o exposto acima, de predomínio de dias sem chuva sobre os chuvosos. O mês de maio é o menos chuvoso (média de 23 dias sem chuva) e outubro é o mais chuvoso (média de 18 dias sem chuva).

A análise de ocorrência de dias sem chuva nas bacias estudadas é um elemento importante na caracterização da disponibilidade hídrica na região, visto que no campo prático, devido à vocação agrícola, a comunidade constantemente se queixa dos “longos períodos sem chuva”. Desta forma, a estimativa dos máximos períodos sem chuva é uma informação importante no planejamento das atividades locais e regionais, sejam práticas agrícolas ou sistemas de armazenamento de água.

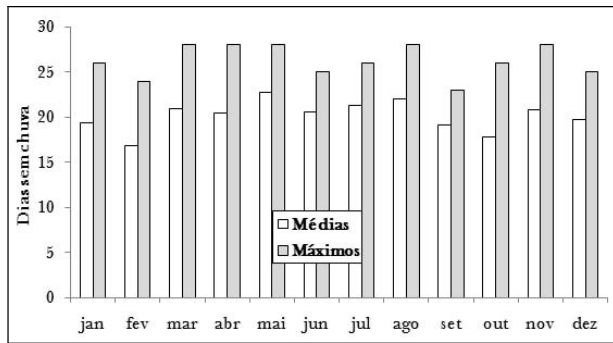


Figura 9 - Médias e máximos mensais de dias sem chuva nas bacias estudadas (1990-2003).

As estimativas dos totais anuais de dias sem chuva são apresentadas na Tabela 8 e mostram similaridade nas três bacias.

Tabela 8 - Estimativa do total anual de dias sem chuva para diferentes TR, pela distribuição Log-Normal.

TR	Totais de dias sem chuva no ano		
	Taboão	Turcato	Donato
2	239	239	238
5	270	269	269
10	287	287	287
15	296	296	296
20	302	302	302
30	311	310	311
40	316	316	316
50	321	320	321

Para o período de retorno de 50 anos, o número de dias sem chuva ficou na casa de 321 para todas as bacias. No TR igual a 2 anos, o número de dias sem chuva ficou em torno de 239 dias. Nota-se que para períodos de retorno baixos o número de dias sem chuva é relativamente elevado em todas as bacias, quando comparado com TR's maiores. Para TR's baixos há similaridade com os dados observados no período entre 1990 e 2003, que apresentou média anual de 241 dias sem chuva, mínima de 183, máxima de 297 dias. Ressalta-se que a diferença de aumento de dias sem chuva entre TR de 2 anos e TR de 5 anos é de cerca de 31 dias (de 239 para 270 dias sem chuva). Após isso, para um aumento de 45 anos no TR, o aumento do número de dias sem chuva é de 51 dias (270 para 321 dias sem chuva), caracterizando o predomínio absoluto no curto espaço de tempo dos dias sem chuva sobre os dias chuvosos.

Dados de Vazão

Silva (2001) analisou detalhadamente dados hidrológicos em bacias embutidas do Potiribu, destacando-se as bacias do Donato e Turcato. Foi analisada a relação chuva-vazão a partir da perspectiva do antes e depois da mudança do plantio convencional para plantio direto na região (mudança ocorrida em 1994). Desta forma os dados de vazão e as relações chuva-vazão naquele trabalho demonstram as consequências dessa alteração no uso do solo. No presente texto, o efeito do uso do solo sobre os eventos de cheia e estiagem não é considerado, tendo sido analisadas apenas as séries contínuas de vazão.

As análises que envolvem unicamente vazão foram feitas a partir da média móvel de 7 dias ($Q_{7\text{dias}}$), de forma a absorver possíveis incorreções na transformação de cotas em vazão. Entretanto, nas análises da relação chuva-vazão, foram utilizados os valores de vazões diárias de um dia, visto manter a associação direta entre chuva e vazão e, por se tratar de pequenas bacias, onde o tempo de pico do hidrograma é curto nas três bacias (Silva, 2001).

Frequência e permanência de vazões

Os dados de frequência das vazões e curvas de permanência são importantes para o conhecimento da disponibilidade hídrica das bacias e mesmo como comparações entre bacias embutidas.

A Figura 10 apresenta as curvas de frequência de vazões específicas. A Figura 10(a) mostra todos os intervalos, enquanto a Figura 10(b) mostra detalhe acima do intervalo 0,1 a 0,2 m³/s/km². Observa-se que na bacia do Donato as vazões de maior ocorrência (40,1%) situam-se entre 0,01 e 0,02 m³/s/km², seguidas pelas vazões abaixo de 0,01 m³/s/km² (18,6%). As vazões abaixo de 0,03 m³/s/km² correspondem a 71% da frequência de vazões. A frequência é baixa para vazões acima de 0,07 m³/s/km², salvo em condições excepcionais, cujas vazões chegam até 1,4 m³/s/km² (0,2%). Na bacia do Turcato, as vazões predominantes situam-se um pouco mais à direita no eixo das abscissas. O intervalo de 0,02 até 0,03 m³/s/km² é o que tem a maior frequência de ocorrência (27%), seguido pelo intervalo de 0,01 até 0,02 m³/s/km² (23%). As vazões abaixo de 0,03 m³/s/km² correspondem a 54,5% da frequência de vazões. A máxima vazão está entre 0,1 e 0,2 m³/s/km², com 2,8% de ocorrência. Na bacia do Taboão, continua a maior ocorrência de faixas de menores vazões, com 50% da frequência de vazões situando-se abaixo de 0,03 m³/s/km, mas observa-se também uma distribuição maior nos

demais intervalos de vazão específica. O intervalo de maior frequência é acima de 0,01 até 0,02 m³/s/km² (29%), seguida do intervalo abaixo de 0,01 m³/s/km² (18%). Não foram observadas vazões abaixo de 0,007 m³/s/km² e acima de 0,12 m³/s/km².

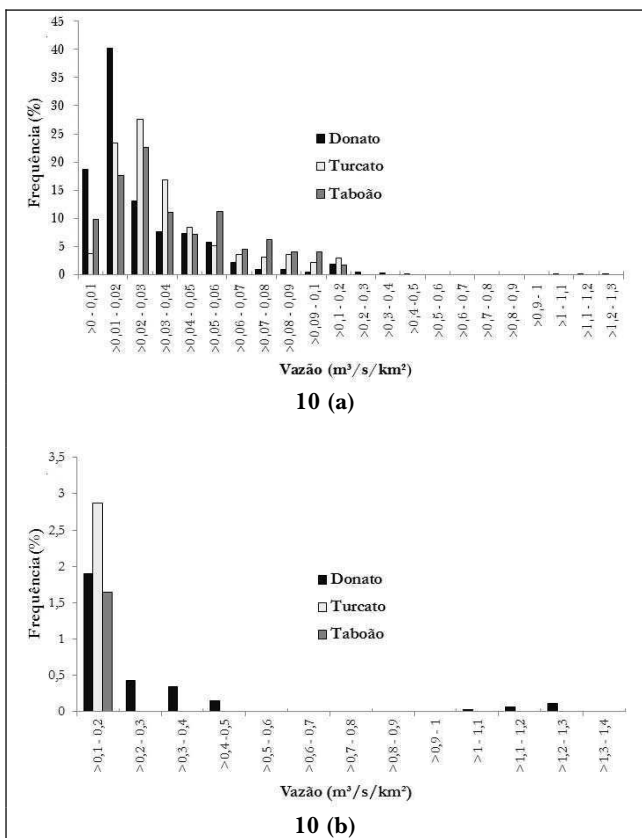


Figura 10 - Frequências de intervalos de vazões específicas Q_{7dias} nas bacias de estudo. Em (a) todo o intervalo. Em (b), detalhe das vazões de menor frequência.

A Figura 11 apresenta as curvas de permanência de vazões específicas Q_{7dias}. A bacia do Donato tem uma curva de permanência com inclinação muito baixa em quase todo o tempo de permanência, em mais de 95% com vazões menores que 0,1 m³/s/km². Em menos de 5% do tempo ocorrem vazões elevadas, até 1,3 m³/s/km². Desta forma, a inflexão do tempo de ocorrência das vazões altas é bastante abrupta. A bacia do Turcato possui uma curva com baixa inclinação e praticamente constante em toda sua trajetória, entretanto no trecho correspondente às maiores vazões (5% do tempo), essas não ultrapassam 0,2 m³/s/km². A bacia do Taboão é a de menor amplitude de vazões máximas e míni-

mas, ilustrada pela baixa declividade da curva de permanência.

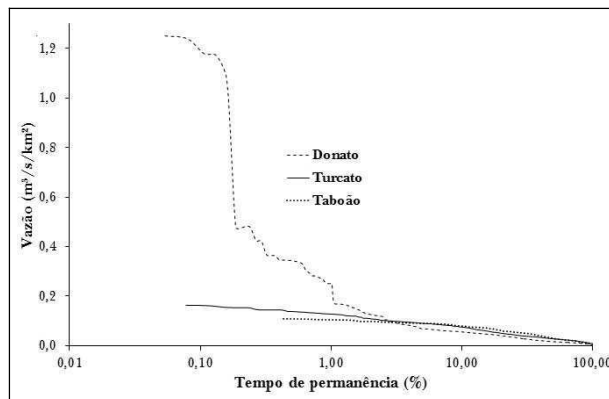


Figura 11 - Curva de permanência de vazões específicas Q_{7dias} das bacias de estudo.

A partir dos valores representados nas Figuras 10 e 11 é possível calcular a diferença entre as mínimas e máximas vazões específicas em cada bacia, que passa a ser um dado característico de escala. Na bacia do Donato, com 1,13 km², e considerando vazões mínimas acima de 1 litro/segundo nessa bacia, devido incerteza no registro de vazões menores, essa diferença é de aproximadamente 137.000% (0,0009 a 1,2409 m³/s/km²), evidenciando resposta rápida a ocorrência de chuvas intensas. No Turcato, com 19,4 km², essa diferença é de aproximadamente 9.600% (0,0017 a 0,1659 m³/s/km²). Na bacia do Taboão, considerando a área drenada de 78,1 km², a diferença entre a menor e a maior vazão específica é de aproximadamente 1.500% (0,0074 a 0,1182 m³/s/km²).

Essas características são reflexos diretos das escalas das bacias, visto que quanto menor a bacia, menor a capacidade de amortecimento e armazenamento da chuva. Vazões elevadas na bacia do Donato definem claramente os períodos de precipitações intensas. Respectivamente, as bacias do Turcato e do Taboão vão responder de forma menos intensa à relação descrita acima, devido ao efeito do armazenamento e amortecimento da chuva.

Estimativa de ocorrência de vazões máximas e mínimas

Para os resultados das análises de vazões máximas e mínimas mensais associadas a diferentes TR_s nas bacias do Donato e Turcato, foram adotadas as distribuições de probabilidade Gumbel e Weibull, para máximos e mínimos, respectivamente.

Para a bacia do Taboão não foi possível fazer a estimativa mensal, visto essa bacia possuir somente dois anos de dados de vazão (2002 e 2003). Na Tabela 9 são apresentadas as vazões mínimas e máximas estimadas para diferentes TR`s.

De forma geral, o que se observa é que as vazões específicas mínimas para diferentes TR`s na bacia do Donato são praticamente a metade daquelas estimadas para a bacia do Turcato. Isso reforça observações anteriores, de maior concentração da frequência e permanência de baixas vazões na bacia do Donato. Isso também sugere que, pelos tamanhos e posição das bacias, a menor delas tem, em períodos de estiagem, uma contribuição mais significativa de fluxos de nascentes, enquanto que a maior é regulada tanto pelo somatório de fluxos de nascentes quanto de escoamento subterrâneo. Ressalta-se que o percentual médio do tempo sem chuva, já mencionado, nas bacias é em torno de 66%. Com relação às vazões máximas estimadas, percebe-se que são maiores na bacia do Donato. Novamente isso é reflexo da maior capacidade de amortecimento da bacia maior, visto que a menor bacia responde mais rapidamente as chuvas intensas.

Tabela 9 - Estimativa de vazões máximas e mínimas ($Q_{7\text{dias}}$) específicas ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) para as bacias do Donato e Turcato.

TR	Donato		Turcato	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
	$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}$	$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$	$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$
2	0,0068	0,198	0,0134	0,112
5	0,0035	0,468	0,0069	0,144
10	0,0022	0,646	0,0044	0,164
15	0,0017	0,747	0,0035	0,176
20	0,0014	0,818	0,0029	0,184
30	0,0011	0,916	0,0023	0,196
40	0,0009	0,986	0,0019	0,204
50	0,0008	1,039	0,0017	0,210

Dividindo a vazão mínima estimada do menor TR pela vazão mínima estimada do maior TR, obtém-se a um quociente de valor em torno de 7,8 para a bacia do Turcato e 8,5 para a bacia do Donato. Ou seja, a amplitude das vazões no período estimado é quase a mesma para ambas as bacias, indicando respostas quase proporcionais nesse caso. Quando se faz o mesmo para as vazões máximas estimadas, observa-se que o quociente da bacia menor, Donato, é 5,2, enquanto que da bacia do Turcato é 1,9.

As Figuras 12 e 13 apresentam estimativas de vazões máximas e mínimas das bacias do Donato e Turcato para os TR`s 2 e 50 anos. Observa-se que para as vazões específicas máximas de 1 a 7 dias há uma grande diferença entre as bacias, sendo as vazões na bacia menor sempre superiores àquelas da bacia maior. Isso reflete a característica da bacia menor transformar chuva em vazão mais rapidamente que a bacia maior, efeito que acaba sendo registrado na estimativa de vazões máximas.

Referente as vazões específicas mínimas de 1 a 7 dias, a bacia do Donato apresenta valores menores em relação a bacia do Turcato, para os TR`s 2 e 50 anos. Uma explicação para as vazões específicas estimadas serem menor na bacia menor é o fato de as estimativas de vazões mínimas pressuporem períodos extremos de falta de chuva. A bacia menor (Donato) ficaria dependente, pelo seu tamanho, de fluxos de nascentes na própria bacia, sendo que a pequena extensão do talvegue favoreceria pouco a ocorrência de escoamento de base.

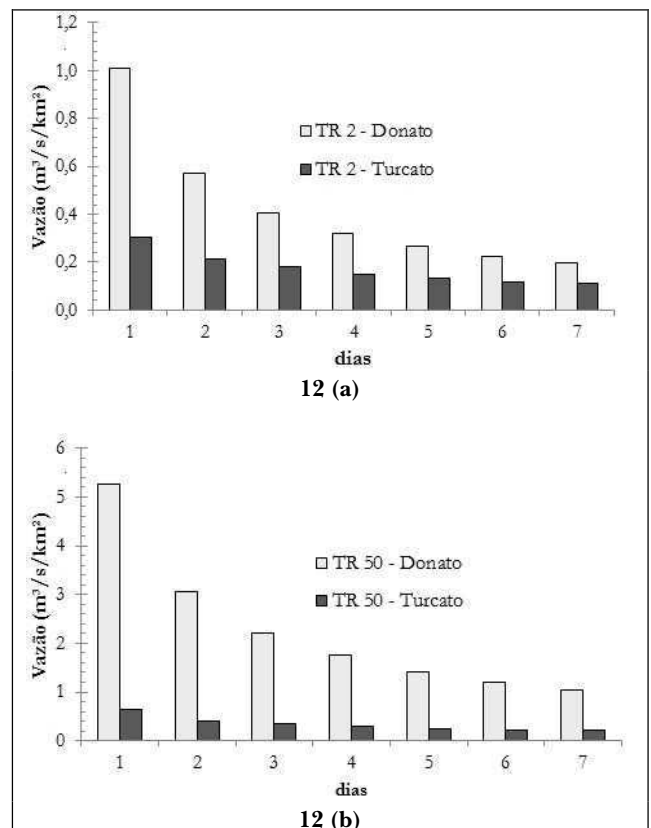


Figura 12 - Vazões máximas estimadas das bacias do Donato e Turcato. Em (a) para TR 2 anos. Em (b), para TR 50 anos.

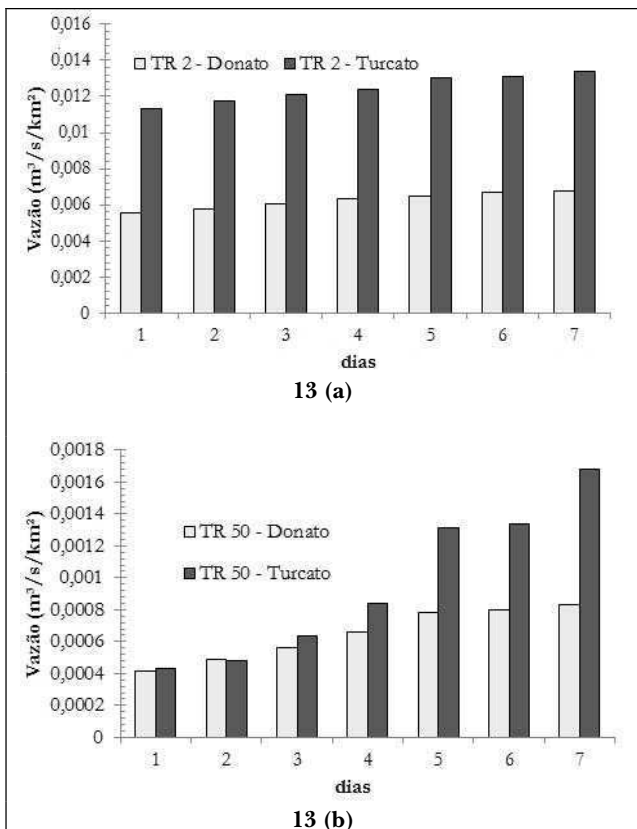


Figura 13 - Vazões mínimas estimadas das bacias do Donato e Turcato. Em (a) para TR 2 anos. Em (b) para TR 50 anos.

Relações chuva-vazão

As séries de chuva e vazão nas bacias permitiu estabelecer relações características entre estas duas variáveis nas bacias. As Figuras 14, 15 e 16 apresentam as relações entre as chuvas médias mensais e as vazões específicas em cada uma das bacias, enquanto as Figuras 17 e 18 consideram as chuvas médias e vazões específicas anuais. Nesta última situação não foi possível analisar a bacia do Taboão, pela limitação do número de anos de dados vazão (2002 e 2003).

Conforme se nota pelos coeficientes de determinação (R^2), a relação entre chuva e vazão específica mensal é mais fraca na bacia do Donato e Turcato (menor que 0,30), mas torna-se mais forte em direção à bacia do Taboão (igual a 0,60). Na análise chuva-vazão anual, nota-se que a relação entre as variáveis é mais forte, mas R^2 é inferior a 0,50 nas bacias do Donato e Turcato.

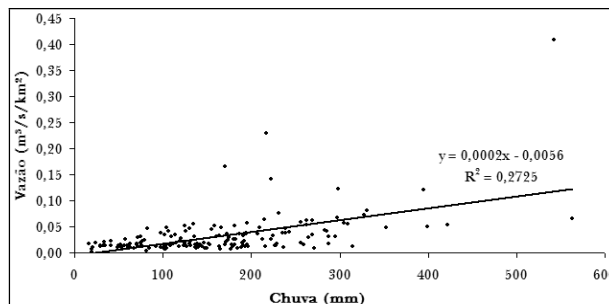


Figura 14 - Relação dos totais de chuva e vazões específicas mensais para a bacia do Donato.

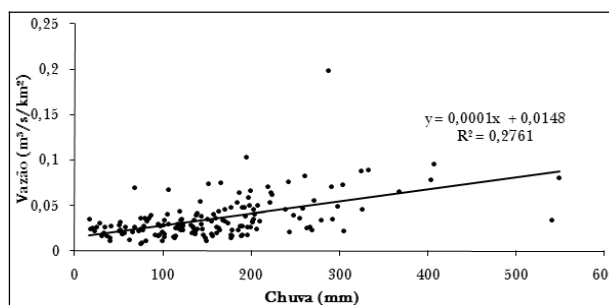


Figura 15 - Relação dos totais de chuva e vazões específicas mensais para a bacia do Turcato.

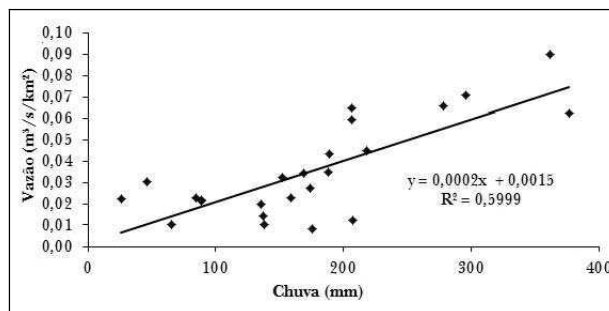


Figura 16 - Relação dos totais de chuva e vazões específicas mensais para a bacia do Taboão.

Os módulos de escoamento das bacias são apresentados nas Figuras 19 e 20. A Figura 19 apresenta os resultados dos módulos das três bacias, levando em conta os totais diários e mensais de chuva e vazão de todo o período (módulos a e b, respectivamente). A Figura 20 apresenta um comparativo dos módulos mensais derivados das médias mensais de chuva e vazão das bacias no período analisado.

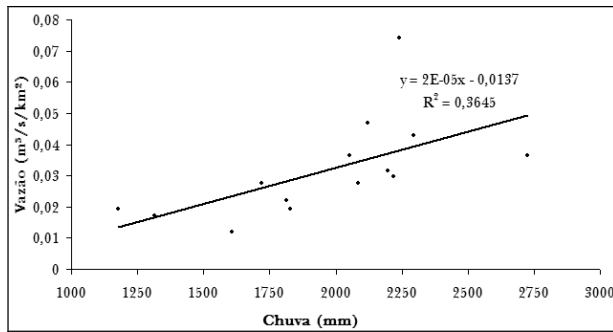


Figura 17 - Relação dos totais de chuva e vazões específicas anuais para a bacia do Donato.

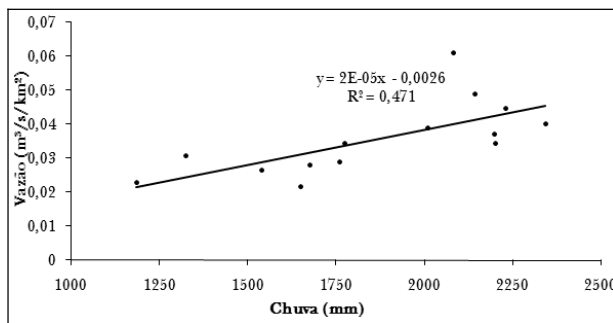


Figura 18 - Relação dos totais de chuva e vazões específicas anuais para a bacia do Turcato.

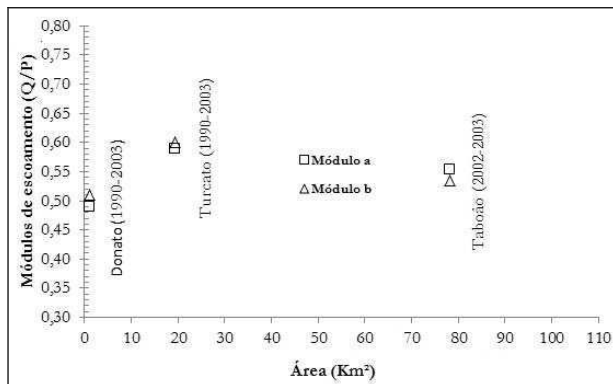


Figura 19 - Módulos de escoamento das bacias do Donato, Turcato e Taboão. Módulo: (a) através da soma dos totais diários de chuva e vazão; (b) através da soma dos totais mensais de chuva e vazão.

As tendências mostradas na Figura 19 indicam que o módulo de escoamento aumenta com a área da bacia, levando-se em conta as bacias do Donato e Turcato. A bacia do Donato apresenta um

módulo médio de 0,5 enquanto que na do Turcato é 0,6. Os valores são abaixo de 1 em qualquer caso, o que seria de esperar, visto que a longo prazo, pelo efeito de armazenamento e escoamento de base, é que se evidencia a influencia da chuva sobre a vazão média da bacia hidrográfica. Em função do curto período de registro (2002 a 2003), os módulos da bacia do Taboão não são considerados nesta comparação.

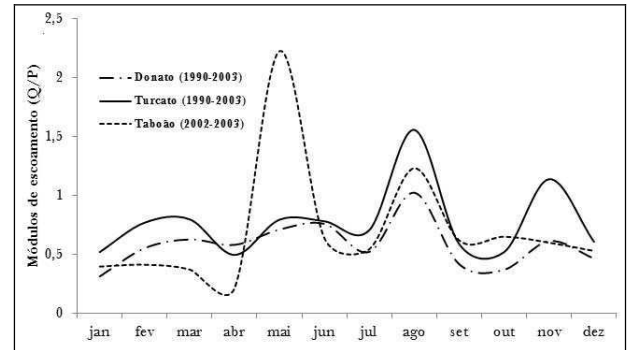


Figura 20 - Módulos de escoamento das bacias do Donato, Turcato e Taboão, pela média dos módulos mensais em cada período.

Na Figura 20 evidencia-se o sincronismo entre as bacias do Donato e Turcato. Nota-se que os valores dos módulos de escoamento mensais são muito elevados. Na presente relação isso ocorreu porque as médias mensais apresentam comportamento bem marcado de mais ou menos chuva. Redunda que em um mês em que historicamente chove pouco, o módulo de escoamento é alto porque a manutenção da vazão naquele mês não dependeu diretamente da chuva, enquanto que em um mês que historicamente chove muito, o módulo de escoamento é baixo, pelo efeito contrário.

Isso se confirma quando se comparam os módulos apresentados na Figura 20 com os gráficos das chuvas da Figura 3, tendo como meses mais marcantes agosto e novembro, que são os menos chuvosos e que apresentam módulos de escoamento superior a 1 na bacia do Turcato, permitindo deduzir que nesses meses, historicamente, a vazão é controlada pelo fluxo de base em detrimento da precipitação. O módulo do Taboão mostra um sincronismo com os demais módulos, mas o curto período de dados de chuva não permite uma avaliação segura desse resultado. Considera-se ainda que os valores altos dos módulos podem indicar que as bacias sofreram efeito de impermeabilização do solo devido à prática extensiva de cultivo de soja.

CONCLUSÕES

As conclusões são apresentadas de acordo com a seguinte ordem: análise de chuvas (segundo parágrafo), análise de vazões (terceiro ao quinto parágrafo), relação chuva-vazão (sexto parágrafo).

As curvas de médias, mínimas e máximas de chuvas mensais evidenciam similaridade da distribuição de chuva nas escalas analisadas. Também a análise dos períodos de retorno (TR's) na estimativa de ocorrência de chuvas mínimas e máximas mensais e máximas diárias não mostrou diferenças significativas nas diferentes escalas. Essa similaridade provavelmente tem a ver com o pequeno porte das bacias embutidas, a boa cobertura e a proximidade entre as estações pluviométricas, que podem estabelecer uma forte correlação espacial entre as chuvas diárias e mensais. Em todas as escalas, os períodos de dias sem chuva são superiores aos períodos de dias com chuva nas bacias estudadas. O mês de maio é aquele que historicamente apresenta a menor média de dias com chuva (8), enquanto que outubro é o mês com mais dias chuvosos (13). Dias sem chuva ocorrem em 66% do tempo. Excluindo do tempo total os dias sem chuva, em 51,6% do tempo chuvoso as chuvas têm alturas inferiores a 10 mm/d. A similaridade observada nessas análises, confirmada nas Tabelas 2 e 3, se deve, provavelmente, devido ao pequeno porte das bacias embutidas e as estações de chuva utilizadas estarem situadas muito próximas, por vezes utilizadas em concomitância na elaboração das séries de chuva em cada bacia.

Com relação às vazões específicas máximas, mínimas e médias o efeito das escalas no comportamento das bacias é evidenciado. Os dados das Figuras 10 e 11 mostram que há maior frequência e permanência de intervalos de baixas vazões específicas. No entanto, quanto maior a área da bacia, maior é a distribuição das vazões entre os intervalos de vazões específicas. Consequentemente e em oposição, na bacia do Donato, as vazões são concentradas nos intervalos de menor vazão específica.

As amplitudes entre as vazões máximas e mínimas também são bem marcantes em cada escala. Enquanto que na bacia menor a amplitude entre vazões específicas é bastante alta, esta tendência decresce com o aumento da área de contribuição, evidenciando grande diferença de velocidades na resposta de vazão aos eventos de chuvas intensas nas bacias analisadas.

As escalas também influenciam na previsão de vazão para diferentes TR's. Para os mesmos TR's, as vazões específicas mínimas são maiores na bacia

de maior área de drenagem, usando Turcato e Donato, respectivamente, como referência. No caso das vazões específicas máximas, essas são consideravelmente maiores na bacia de menor área de drenagem (Donato) para cada TR analisado, indicando uma grande susceptibilidade a extravasamentos e processos erosivos. A bacia menor demonstra também uma maior permanência das baixas vazões, podendo significar uma maior influência dos fluxos de nascentes nos períodos de estiagem nessa bacia.

Os coeficientes de determinação (R^2) da relação chuva-vazão são fracos, tanto na série mensal das três bacias quanto na série anual das bacias do Donato e Turcato. Mas o efeito de escala espacial e temporal é visível, tornando-se a correlação mais forte com o aumento da área e da periodicidade da comparação (mensal e anual). Sobre os módulos de escoamento, os mesmos aumentam na medida do aumento da área, da bacia do Donato para a bacia do Turcato, a primeira embutida na segunda e ambas de cabeceira. A tendência observada pelos módulos de escoamento indica que quanto maior a área da bacia, maior é a dependência que as vazões têm das chuvas incidentes. Portanto, a vazão tem maior independência da chuva na bacia do Donato que na do Turcato, o que permite deduzir que as nascentes têm influência importante nas vazões nas pequenas bacias de cabeceiras, especialmente em períodos de estiagem, e que essa influência é amortecida nas bacias maiores.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Bolsa de Doutorado do primeiro autor e bolsa de Produtividade em Pesquisa dos três últimos autores, e à FINEP pelo financiamento da pesquisa do Projeto Potiribu.

REFERÊNCIAS

BORDAS, M. P., BORGES, A. L.. *Escolha de bacias representativas e experimentais para estudo da erosão no planalto basáltico sulamericano*. Porto Alegre: I-PH/UFRGS/7f. Trabalho apresentado no 8. Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do solo, Londrina, 1990.

- CASTRO, N. M., CHEVALIER, P. & GOLDENFUM, J.. *Projeto Potiribu, atualização 1989-1998 – dados básicos de fluviometria e pluviometria* (com anexos). IPH: UFRGS, Revista Recursos Hídricos, Vol. 35, Janeiro de 2000.
- CHEVALIER, P. & DHEIN, R. A.. *Les précipitations exceptionnelles des 26 et 27 mai 1992 dans la région d'Iju (Rio Grande do Sul, Brasil)*. Sécheresse 4, p. 159-164, 1993.
- CLARKE, R. T.. *Hidrologia estatística*. In: TUCCI, C. E. M. (ORG.). Hidrologia, ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2a. ed., p. 659-702, 2001.
- DORNER, W. W.. *Using MS Excel for Weibull analysis*. <http://www.qualitydigest.com/jan99/html/body_weibull.html>, acessado em dezembro de 2009. Quality Digest, 1999.
- FONTANA, D. C. & BERLATO, M. A.. *Influência do El Niño sobre a precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p.127-132, 1997.
- GEORGE, L.. *Right and wrong reliability estimation with Weibull spreadsheets*. <<http://home.comcast.net/~pstlarry/BaikoMan.htm>>, acessado em dezembro de 2009. Problem Solving Tools, 2004.
- GIRARDI, R. V., GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. & DORNELLES, F.. *Novo método para determinação da precipitação média sobre uma área utilizando distâncias invertidas*. Protocolo nº 385. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Primeira submissão em março de 2010.
- GOLDENFUM, J. A., CASTRO N. M. R., MERTEN G., PINHEIRO A., PAIVA E. M. C. DIAS, FERNANDES C. V. S., GASTALDINI M. C. C., PAIVA J. B. DIAS, DORNELES F., MINELLA J. P. G., OPPA L. F., KAUFMAN V. & CARON C. F.. *Projeto Matasul: Rede de Pesquisa em Bacias Representativas e Experimentais no Bioma Mata Atlântica, na região Sul do Brasil*. In: Relatório parcial 01.2008.81p. disponibilidade irrestrita.. Chamada pública edital MCT/FINEP/CTHIDRO bacias representativas 04/2005 Convênio FAURGS-UFRGS-MATASUL.
- IPH. Índice de publicações do Projeto Potiribu <www.iph.ufrgs.br/potiribu/publicacoes/MostraProduto.asp?ID=2>, acessado em julho de 2008.
- LANNA, A. E.. *Elementos de estatística e probabilidades*. In: TUCCI, C. E. M. (ORG.). Hidrologia, ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2a. ed., p. 53-78., 2001
- MEDEIROS, J. D. F.. *Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo na Bacia do Arroio Donato, RS*. 2004. 186p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS, 2004.
- MEDIONDO, E. M. & TUCCI, C. E. M.. *Escalas hidrológicas. I: conceitos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, v. 2, n. 1, p. 59-122, 1997.
- NAGHETTINI, M. & PINTO, E. J. A.. *Hidrologia Estatística*. Brasília: CPRM, 2007, 561 p.
- RELIASOFT. *Estimation of the Weibull parameters*. <http://www.weibull.com/LifeDataWeb/estimation_of_the_weibull_parameter.htm>, acessado em dezembro de 2009. ReliaSoft Corporation, 1996-2006.
- SANTOS, C. N.. *El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul*. 2008. 138f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2008.
- SILVA J. C.; HELDWEIN A. B.; MARTINS F. B.; TRENTIN G. & GRIMM E. L.. *Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS*. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. vol.11, n.1, p. 67-72, 2007.
- SILVA, C. L.. *Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p. 311-317, 2003.
- SILVA, O. B., CASTRO, M. N. DOS R. & TUCCI, C. E. M.. *Análise espacial e temporal das chuvas na bacia do Potiribu*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, SE, p. 25-29, 2001, Anais...
- SILVA, O. B.. *Análise da escala das variáveis hidrológicas e do uso do solo na bacia do Potiribu – RS*. 2001, 200f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. Porto Alegre, 2001.
- STRECK N. A.; ROSA H. T.; WALTER L. C.; BOSCO L. C.; LAGO I. & HELDWEIN A. B.. *O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade interanual da evaporação do tanque Classe A e da umidade relativa do ar em Santa Maria, RS*. Cienc. Rural. v.38, n.5, p. 1452-1455, 2008.
- TUCCI, C. E. M.. *Vazão máxima e hidrograma de projeto*. In: Tucci, C. E. M. (Org.). Hidrologia, Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS : ABRH, 2001, p. 527-572.
- VIEIRO, A. C.. *Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas: bacia do Taboão, RS*. 2004. 129f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. Porto Alegre, 2004.

Scale Effect Evaluation of Rainfall and Flow Characteristics in Nested Catchments, Potiribu River Basin- RS

ABSTRACT

This paper presents a scale effect evaluation by analyzing the rain and flow data in the nested catchments of Donato (1,1km²), Turcato (19,4km²) and Taboão (105,4km²), in the Potiribu river basin, Brazil, from 1990 to 2003. Total daily, monthly and annual rainfall and flow values, and their mean, maximum and minimum values were analyzed. Frequency analysis was performed for the following variables: number of days with and without rain, daily rainfall, number of consecutive days without precipitation, and mean daily flow. Finally an attempt to establish a correlation between rainfall and flow was performed, in order to get a better understanding of this relation in the catchments studied. The results indicated that rainfall presents a similar behaviour in all catchments studied, regardless of size. However, different catchment scales, submitted to the same precipitation, provided different flow responses. For the cases studied, the maximum flow reduction increases with catchment size, while the maximum flow variations decrease with catchment size. No strong correlation between rainfall and flow was identified for monthly and annual intervals, although an increase with catchment size could be observed for the annual values correlation.

Keywords: *river basin, rainfall, flow, changes of scale, nested basins.*