

## Monitoramento fluviométrico de duas bacias hidrográficas vizinhas: comparação de vazões em períodos concomitantes.

*Fluviometric monitoring two neighboring river basins: comparison of flow in concurrent periods.*

João Francisco Carlexo Horn<sup>1</sup> e Geraldo Lopes da Silveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, RS – Brasil

jfchorn@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA., Santa Maria, RS – Brasil

geraldo.ufsm@gmail.com

Recebido: 07/01/15 - Revisado: 18/03/15 - Aceito: 02/06/15

### RESUMO

A estimativa de vazões medianas e mínimas em pequenas bacias hidrográficas é um processo complexo, devido à heterogeneidade do substrato geológico, mesmo em regiões consideradas homogêneas. Para evidenciar esta hipótese, foram definidas duas bacias de mesma área e vizinhas em seus divisores de água. Foi implantado monitoramento hidrológico em ambas por meio de estruturas hidráulicas medidoras de vazão e sensores de níveis. Essas duas bacias, por apresentarem características fisiográficas similares e serem vizinhas, são submetidas a semelhantes condições de precipitação. O uso do solo, em uma, é 100% rural e, na outra, 50% urbano e 50% rural. Os resultados encontrado sem relação as vazões medianas e mínimas, quando comparadas as bacias, foram diferentes dos resultados esperados, isto devido ao comportamento do escoamento das águas subterrâneas da área de estudo. Em comparação com a bacia rural, esperavam-se vazões medianas e mínimas menores na bacia urbana, devido à impermeabilização, pois naquela, naturalmente, existe maior infiltração, o que aumenta a reserva hídrica subterrânea, ficando disponível para os períodos de estiagem. Contudo, neste estudo, foram encontrados resultados opostos. Na bacia rural, o valor encontrado para  $Q_{95}$  foi nulo e para  $Q_{50}$ : 1,29 L/s. Já para a bacia com urbanização, contrário senso, os valores encontrados foram de 6,72 e 19,78 L/s para  $Q_{95}$  e  $Q_{50}$ , considerando idêntico o período de monitoramento concomitante. Constatou-se que este fato é decorrente da peculiaridade do complexo hidrogeológico local, pois existe fortes tendências que o lençol freático da bacia rural conduz sua contribuição subterrânea, não para seu exutório, mas para a bacia hidrográfica ao lado com isto não recebendo contribuição subterrânea nos períodos de estiagem.

**Palavras Chave:** Monitoramento hidrológico. Pequenas bacias. Gestão dos recursos hídricos.

### ABSTRACT

Estimation of median and minimum flows in small watersheds is a complex process due to the heterogeneity of physical characteristics for each location. The proposed work intends to demonstrate this hypothesis, defining two surrounding watersheds with equivalent areas. A hydrological monitoring was obtained at both watersheds by using level sensors and hydraulic structures for metering flow. The two small watersheds present same conditions of precipitation because they contain similar physiographic characteristics. The land use in one watershed is 100 % rural and in another watershed is 50 % urban and 50 % rural. The results found for water flow were different from conventional predictions mainly due to hydrogeology. Medians and lower minimum flows in the watershed with urbanization were expected according to the characteristics of groundwater flow - naturally is a higher infiltration rate for rural watershed that increases the groundwater reserves, which could be used for periods of drought. However, this study presented opposite results. In rural small watershed the value found for  $Q_{95}$  was null and for  $Q_{50}$  was 1.29 L/s. For small watershed with urbanization the values found were 6.72 and 19.78 L/s for  $Q_{95}$  and  $Q_{50}$ , considering an identical monitoring period. This fact is due to the peculiarity of complex hydrogeological place. In this case the groundwater from rural small watershed does not supply the watershed's mouth, but it supplies the surrounding watershed.

**Keywords:** Hydrological monitoring, Small watersheds. Water resources management.

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é representada, principalmente, pelas suas vazões medianas (Q50%) e mínimas (Q95%); conhecer essa característica é fundamental para o planejamento, controle da poluição e gestão dos recursos hídricos (GOLDENFUM, 2001).

Diante disso, com o monitoramento de duas bacias idênticas em área, características fisiográficas semelhantes e contíguas, este estudo busca demonstrar a influência das características hidrogeológicas na disponibilidade hídrica durante um mesmo período monitorado para duas bacias. Para tanto, foi utilizado o monitoramento fluviométrico concomitante.

Ainda, para efeito de comparação, foram realizadas as estimativas de vazões medianas e mínimas, que representam a disponibilidade hídrica do curso d'água nos períodos mais críticos, os de estiagem. Estes valores foram determinados com a intenção de compará-los com os valores encontrados conforme os estudos tradicionais de regionalização hidrológica desenvolvidos por (TUCCI et al., 1991), para os valores de Q95 e Q50, os quais, em suas formulações, não englobam variáveis relacionadas às características hidrogeológicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para demonstrar a hipótese do trabalho, que a estimativa de vazões medianas e mínimas em pequenas bacias hidrográficas configura um processo complexo, foram delimitadas e instrumentadas duas bacias contíguas de mesma área (2,31 km<sup>2</sup>), que apresentam parte de seus divisores de águas em comum.

Em decorrência dessa estratégia, as duas bacias são submetidas a semelhantes estímulos de precipitação, incidência de radiação solar, evaporação, tipo de solo, feições geomorfológicas e demais características fisiográficas.

### Bacias hidrográficas Estudadas

Foram utilizadas duas bacias de cabeceira, localizadas no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A primeira, pertencente a bacia hidrográfica do rio Vacacaí, localiza-se totalmente em área interna do campus da UFSM e possui uso 100% rural (agrícola e pastoril). A outra, pertence a bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim, apresenta características de ocupação 50% urbana e 50% rural. Ambas possuem a mesma área de drenagem de 2,31 Km<sup>2</sup>, o que permite a comparação direta dos dados coletados. Para esse estudo, a obtenção de dados horários de vazão foi realizada no período de janeiro a outubro de 2011, juntamente com os valores de precipitação.

A figura 1 apresenta a localização e a delimitação das duas bacias utilizadas e no quadro 1, estão descritas, resumidamente, algumas características fisiográficas da região do Campus da Universidade Federal de Santa Maria, onde estão localizadas as áreas das bacias estudadas.

### Monitoramento Hidrológico Concomitante

Para o monitoramento, foram utilizadas duas estruturas hidráulicas, instaladas no exutório de cada uma das bacias implantadas. Na bacia rural, utilizou-se um vertedor triangular de 120° construído para esta pesquisa com a intenção de quantificar as pequenas e médias vazões. Esta estrutura possui capacidade

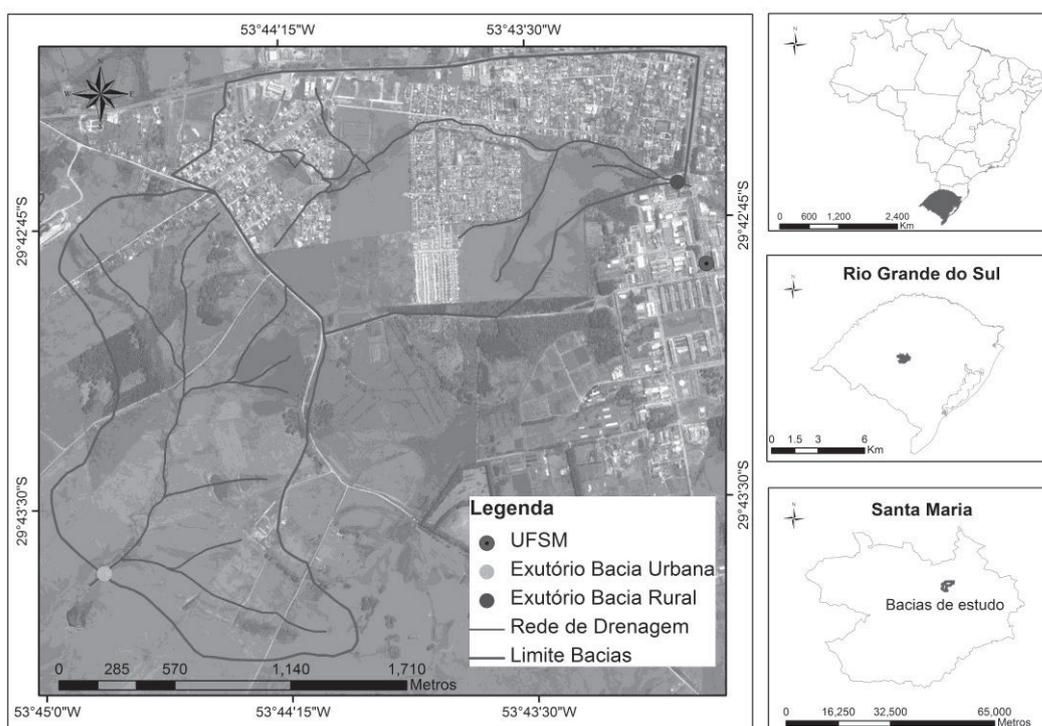


Figura 1 – Localização e delimitação das bacias experimentais

de quantificação de vazões de até 277 L/s.

Já na bacia urbana, utilizou-se uma calha Parshall de fundo plano, já existente no local, construída anteriormente para outras pesquisas. Esta estrutura possui capacidade de quantificação de vazões de até 806 L/s.

Para a coleta simultânea dos dados de vazão nas duas bacias, em ambas as estruturas, foram utilizados sensores de cota do tipo transdutores de pressão, onde eram realizados registros horários e, depois, determinados os valores de vazão por meio das curvas chave de cada estrutura.

**Quadro 1- Características fisiográficas das bacias estudadas**

Item	Descrição
Rocha	Formação Santa Maria, Membro Alemoa (silto argiloso) aflorante e Membro Passo das Tropas (arenitos) em subsuperfície, camadas sedimentáveis do Cenozóico aflorante nos cursos de água acima da cota 110 m.
Solo	Predominante Unidade Santa Maria – Argissolo bruno acinzentado (planossolo), Unidade São Pedro - Argissolo vermelho-amarelo (porção mais plana, abaixo da cota de 110m).
Relevo	Coxilhas suaves, levemente onduladas.
Vegetação	Predominante campos (gramíneas), com presença de plantações de eucaliptos isoladas e algum cultivo (experimentos do Centro de Ciências Rurais/UFSM)
Clima	Segundo a classificação de Nimmer. Clima mesotérmico brando, e de acordo com Köppen: cfa.

Fonte: Adaptado de Silveira et al. (2003)

Juntamente com o monitoramento das vazões foi realizado o registro das precipitações, coletadas pelo pluviógrafo da Estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, pertencente ao INMET. Os valores de precipitação eram registrados em intervalos de uma hora simultaneamente com os valores de vazão e disponibilizados em meio eletrônico no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. O pluviômetro utilizado encontra-se instalado a 1,5 km da bacia urbana e a 2,0 km da bacia rural.

A figura 2 mostra as estruturas hidráulicas utilizadas no monitoramento.



a) Bacia Urbana

b) Bacia Rural

**Figura 2 - Estruturas medidas de vazões**

**Avaliação Quantitativa do Escoamento fluvial**

Foi monitorado o hidrograma em período concomitante nas duas bacias e elaboradas as curvas de permanência por meio da técnica empírica. Esta técnica consiste em ordenar todos os valores de vazão, de forma decrescente e associar, a cada um deles, uma frequência de excedência, utilizando uma posição de plotagem empírica  $m/n+1$ , sendo m a ordem do valor ordenado e n o número de valores da série (JACOBS; VOGUEL, 1998 apud CRUZ; TUCCI; SILVEIRA, 1998).

Além disso, foi realizado um balanço entre o volume de entrada (precipitação) com os volumes de saída (deflúvio) registrados no exutório de cada bacia monitorada, possibilitando, assim, comparar os deflúvios gerados em cada bacia nos diferentes meses do ano durante o período monitorado.

**Estimativa de vazão por meio da regionalização**

Os estudos de regionalização hidrológica são ferramentas que podem ser utilizadas como forma de avaliação e comparação de vazões encontradas por meio do monitoramento experimental (IPH, 1985). Devido a isto, utilizou-se neste trabalho esta metodologia como referência para contextualizar os resultados do monitoramento.

Aplica-se, aqui, a equação do estudo de regionalização de vazões do Rio Grande do Sul do IPH-UFRGS para estimativa das vazões em cada uma das bacias monitoradas.

A estimativa da vazão pelo referido estudo é dada pela equação 1.

$$Q = c \cdot A^d \tag{1}$$

Onde: Q é a vazão correspondente a  $Q_{50}$  ou  $Q_{95}$ ; A é a área de drenagem da bacia; e os coeficientes “c” e “d” são os parâmetros da equação estimados pelo estudo de regionalização.

Para a região das bacias em estudo tem-se as equações 2 e 3 referentes as vazões  $Q_{50}$  e  $Q_{95}$  para região de cabeceira dos rios Vacacaí e Vacacaí- Mirim.

$$Q_{50} = 2,10 \times A^{1,145} \tag{2}$$

$$Q_{95} = 0,38 \times A^{1,106} \tag{3}$$

Como no estudo de regionalização a variável independente é a área da bacia hidrográfica (A), e as duas bacias estudadas apresentam a mesma área (2,31 km<sup>2</sup>), por consequência, a estimativa do  $Q_{50}$  e do  $Q_{95}$  será a mesma e os valores encontrados foram:

$$Q_{50} = 5,48 \text{ L/s} \quad Q_{95} = 0,95 \text{ L/s}$$

A título de ilustração é feita a comparação desses resultados com os resultados do monitoramento desta pesquisa, pois o estudo de regionalização recomenda que as equações não devam ser aplicadas em pequenas bacias. Isso se deve ao fato de não existirem dados de pequenas bacias no RS - para produzir as equações - na época dos estudos, (SILVEIRA; TUCCI, 1998;

OBREGON; TUCCI; GOLDEFUN, 1999). Essa situação permanece até os dias de hoje, de ausência de séries fluviométricas contínuas em pequenas bacias no RS e no Brasil, tornando-se um gargalo técnico para a gestão dos recursos hídricos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as duas estruturas hidráulicas colocadas em funcionamento, tornou-se possível a realização do monitoramento concomitante de ambas as bacias durante um período de dez meses. Este período limitou-se devido a problemas no sensor de monitoramento da bacia urbana. Contudo levanto em conta o objetivo de realizar uma comparação do comportamento concomitante de duas bacias este intervalo de tempo torna-se representativo para este trabalho.

Nas figuras 3 e 4, o resultado do monitoramento é representado pelos hidrogramas das duas bacias.

Para efeito de comparação dos resultados encontrados, referentes ao escoamento fluvial, apresenta-se, na tabela 1, o balanço hídrico das duas bacias, detalhando os volumes referentes à precipitação (P), ao deflúvio (D) e à diferença deles - o volume (P-D) - referente aos fatores não monitorados em cada bacia, aqui considerados como perdas.

Na tabela 1, os valores apresentados nas três últimas colunas, mostram a diferença entre as perdas da bacia com ocupação urbana (BU) e da rural (BR) associadas à transpiração

da vegetação, evaporação do solo, evaporação do curso d'água, infiltração profunda, entre outros.

Observa-se que, em nenhum dos meses deste estudo, o deflúvio da BR foi superior ao ocorrido na BU. Essas relações mostram os diferentes comportamentos das bacias, gerados, em princípio, pelos diversos usos, ocupações do solo e características físicas. Esses dez meses de monitoramento compreenderam o período de janeiro a outubro de 2011.

De forma global, pela última linha da tabela 1, para a bacia rural, observou-se um coeficiente de escoamento de 0,088 (118 – 1331 mm), bastante diminuto, quando comparado a valores encontrados na bibliografia. Baumhardt (2010) encontrou para uma bacia semelhante à deste estudo o valor de 0,44, podendo ser considerado bastante elevado quando comparado ao encontrado neste trabalho. Isto faz com que o baixo valor apresente um prenúncio de influência geológico do local.

Já para a bacia com ocupação urbana, o coeficiente encontrado foi de 0,54 (723 – 1331 mm) semelhante ao valor de 0,58 encontrado por Tucci (2000) em uma bacia urbana de 2,6 km<sup>2</sup> com área impermeável de 50,4 % na cidade de Porto Alegre, podendo ser considerado dentro de padrões mais aceitáveis.

Portanto, a grande dúvida, no momento, foi exatamente essa baixa produção de deflúvio na bacia rural, quando, na realidade, a lógica prevê que esta bacia deveria produzir escoamento, em razão de possuir maior infiltração e, conseqüentemente, produzir maior armazenamento de umidade, comparando-a com a bacia urbana.

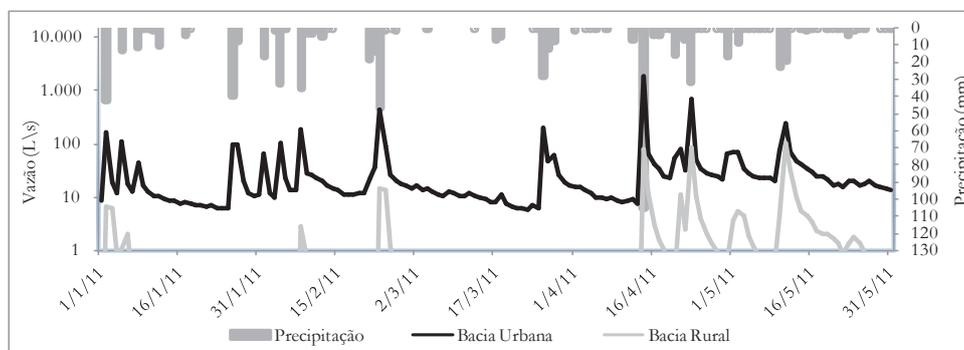


Figura 3. Hidrograma diário do período de 01/01/2011 a 31/05/2011 das duas bacias

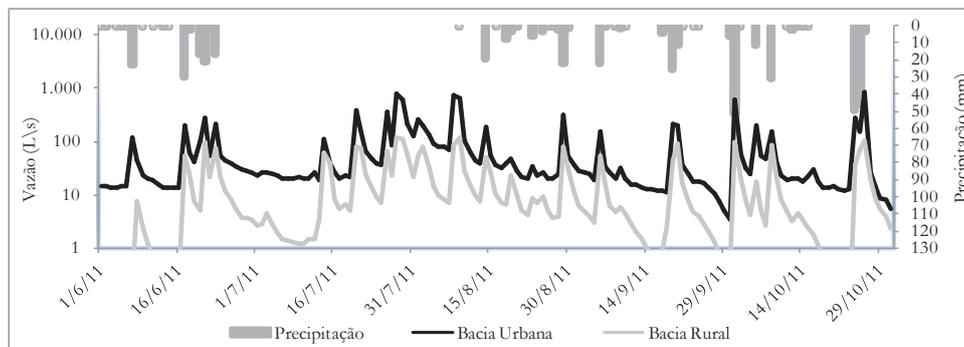


Figura 4. Hidrograma diário do período de 01/06/2011 a 31/10/2011 das duas bacias

Tabela 1. Balanço Hídrico dos dez meses de monitorado das duas bacias estudadas

Mês	P	D			P-D		
		BU	BR	Razão	BU	BR	Razão
	(mm)	(mm)	(mm)	BU/BR	(mm)	(mm)	BU/BR
Janeiro	130,6	29,2	0,6	45,3	101,4	130	0,8
Fevereiro	183,8	47,1	1,2	37,8	136,7	182,6	0,7
Março	61,2	23,4	0	-	37,8	61,2	0,6
Abril	199	122,9	8	15,3	76,1	191	0,4
Mai	63,2	41,8	7,4	5,7	21,4	55,8	0,4
Junho	113,8	59,1	13,7	4,3	54,7	100,1	0,5
Julho	162,9	124,9	27,7	4,5	38	135,2	0,3
Agosto	146,8	131,4	28,3	4,6	15,4	118,5	0,1
Setembro	74,6	39,6	11,1	3,6	35	63,5	0,6
Outubro	195,8	104,3	20,1	5,2	91,5	175,7	0,5
<b>TOTAL</b>	<b>1331,7</b>	<b>723,8</b>	<b>118,2</b>	<b>6,1</b>	<b>607,9</b>	<b>1213,5</b>	<b>0,5</b>

P - precipitação; D - Deflúvio; BU – Bacia Urbana; BR – Bacia Rural

Esse efeito foi ainda maior nos períodos mais secos de verão. Em janeiro e fevereiro, o deflúvio na bacia urbana foi mais de 37 vezes superior ao registrado na bacia rural. Nesses dois meses, ocorreram as maiores perdas na geração do escoamento, chegando a mais de 80%. Em fevereiro, ocorreu uma precipitação 50 mm maior do que a ocorrida em janeiro, gerando, na bacia urbana, um aumento de deflúvio de 18 mm e, na rural, um acréscimo de 0,6 mm no deflúvio em relação ao mês de janeiro. Março foi o mês em que a bacia rural não apresentou deflúvio.

Já no mês de abril, ocorreu a maior precipitação no período do estudo. A bacia rural apresentou um deflúvio de oito mm, enquanto a urbana apresentou 122,9 mm. Constatou-se, entre as duas bacias, uma diferença percentual menor do que a registrada nos meses de janeiro e fevereiro. Em maio, constatou-se a diminuição do volume precipitado em mais de 70 % em relação ao mês anterior. Isso resultou em uma diminuição do deflúvio da bacia urbana também em mais de 70%, enquanto a bacia rural teve diminuição de somente 7%, possivelmente ocasionada pelo abastecimento do córrego pela água retida na camada vadosa do solo durante o mês de abril.

No mês de junho ocorreu uma precipitação em torno de 20 mm abaixo do esperado. Em que pese esse resultado, mesmo assim, ocorreu um aumento de 50% nos volumes escoados nas duas bacias.

Em julho e agosto, ocorreram as maiores diferenças nas perdas (P-D) entre as bacias. Nesses dois meses, respectivamente, a bacia urbana teve somente 30 % e 20% dos volumes perdidos na bacia rural nesse mesmo período. Analisando esses valores, pode-se levar em conta que, nos meses em questão, ocorre menor evapotranspiração, devido às baixas temperaturas e à menor incidência de radiação solar. Portanto, pode-se relevar a hipótese de associar essas diferenças à ocorrência de maior infiltração de água no solo na bacia rural do que na urbana.

Setembro foi o mês que obteve a menor diferença entre os deflúvios gerados. Nele, a precipitação registrada foi 50% menor do que em agosto, diminuindo, conseqüentemente, o deflúvio, na bacia urbana, em mais de 75% e, na rural, em 60%. Essa diferença de deflúvio entre os dois meses foi menor na bacia rural, mostrando uma possível contribuição da água armazenada no solo nesta bacia.

Por fim, em outubro, as bacias receberam uma precipitação 40% acima do esperado, significando aumento no deflúvio das duas bacias, contudo, como nos meses anteriores, enquanto a bacia rural teve um aumento de 1,8 vezes, a urbana aumentou 2,6 vezes o volume escoado.

Com isso, analisando os valores globais de deflúvio e as perdas nas duas bacias, nota-se que, do total precipitado nelas, 1331,7 mm, a bacia urbana teve um deflúvio de 723,8 mm, enquanto a rural, somente 118,2 mm. Tem-se, assim, que o deflúvio, na bacia urbana, foi 6,1 vezes maior que na bacia rural.

Analisando o volume perdido pelos fatores não monitorados de um modo global (P-D), observa-se que a bacia rural teve uma perda de 1213,5 mm, representando 91,12% do total precipitado, enquanto a bacia urbana obteve somente 607,9 mm, o que configura uma perda 50,1% menor. Essa diferença de 605,6 mm demonstra, principalmente, as diferenças nas variáveis infiltração de água no solo e evapotranspiração das duas bacias. Com isso, fica evidente a existência de uma interferência da urbanização instalada na bacia urbana, o que se manifesta no seu balanço hídrico, acarretando maior deflúvio quando comparada à bacia rural. Contudo, pode-se, também, afirmar que a bacia rural apresenta maior perda pelos fatores não monitorados do que a bacia urbana, existindo uma tendência de a variável “infiltração de água no solo” ser a que apresenta maiores diferenças.

## Avaliação das curvas de permanência das duas bacias

A partir do hidrograma de cheia monitorado e consistido foi possível construir a curva de permanência para as duas bacias (Figura 5). A tabela 2 apresenta os valores das vazões de 50 a 95 % da permanência para as duas bacias monitoradas.

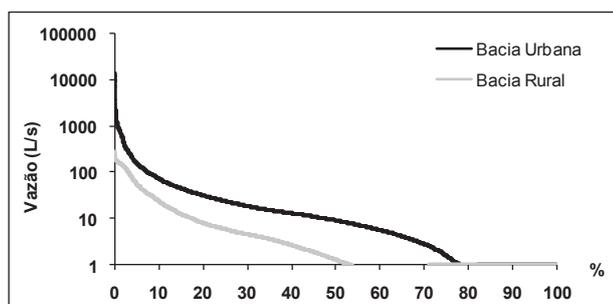


Figura 5. Curvas de permanências das duas bacias monitoradas

Com o intuito de realizar melhor apreciação da disponibilidade hídrica e das pequenas vazões foram calculados os volumes escoados em cada período, considerando a faixa de 50% a 95% da permanência. Por serem pequenas bacias, essa janela da curva de permanência analisada permite que se tenha segurança de que os valores resultantes sejam do escoamento de base, sem influência das vazões de cheia. Ainda a título de contextualização informam-se os valores de vazão obtidos pelo processo de regionalização.

Tabela 2. Vazões do intervalo de 50% a 95% de permanência no tempo para as duas bacias de mesma área

Permanência de Vazões	Bacia URBANA (L/s)	Bacia RURAL (L/s)	Estimativa Regionalização (L/s)
Q <sub>50</sub>	19,78	1,29	5,48
Q <sub>55</sub>	17,8	0,84	4,98
Q <sub>60</sub>	16,25	0,54	4,47
Q <sub>65</sub>	14,72	0,27	3,97
Q <sub>70</sub>	13,42	0,04	3,47
Q <sub>75</sub>	12,16	0,00	2,96
Q <sub>80</sub>	11,11	0,00	2,46
Q <sub>85</sub>	9,65	0,00	1,96
Q <sub>90</sub>	8,21	0,00	1,45
Q <sub>95</sub>	6,72	0,00	0,95

Esses resultados estampam uma possível diferença da contribuição subterrânea das duas bacias, sendo que a bacia rural apresenta grande defasagem da contribuição de água subterrânea em seu deflúvio, por uma provável interferência de seu aquífero.

Observando o deflúvio em todos os meses, conclui-se

que a bacia urbana o teve superior ao da bacia rural, ocorrendo menor diferença entre as bacias no mês de setembro, após terem recebido uma grande precipitação. Analisando a bacia rural, tem-se que, nos meses de verão, mesmo tendo recebido grandes volumes de precipitação, ela não obteve deflúvio nos últimos 50% da permanência; no entanto, na proximidade dos meses de inverno, começou a apresentar.

Essas características mostram a tendência da bacia rural não possuir contribuição das águas subterrâneas para manutenção da vazão de base, sendo abastecida somente pela água armazenada na camada vadosa do solo. Característica de uma bacia hidrográfica com curso d'água influente, onde o rio abastece o aquífero (HEATH, 1983).

Segundo Monteiro e Bacellar (2014) esta variabilidade de vazões de base em pequenas bacias ocorre devido as características geomorfológicas de cada bacia. Em seu estudo foram monitoradas 3 pares de bacias com áreas de 0,2 a 1 km<sup>2</sup> e encontrado vazões de base consideradas pelo autor como baixas e altas, mostrando a variabilidade destas vazões em pequenas bacias hidrográficas. Analisando os volumes totais escoados nos últimos 50% da permanência de todo o período deste estudo, observa-se que a bacia urbana apresentou um deflúvio quase onze vezes maior que a bacia rural, fato este não esperado quando analisado somente o uso e a ocupação do solo de cada bacia.

A curva de permanência evidencia, de forma direta, a situação das vazões nulas para as altas permanências a partir do Q<sub>70</sub> na bacia rural. Observa-se que a precipitação infiltrada, no período de verão e inverno, não está contribuindo com o exutório da bacia, indicando que os volumes infiltrados estão tomando outros caminhos.

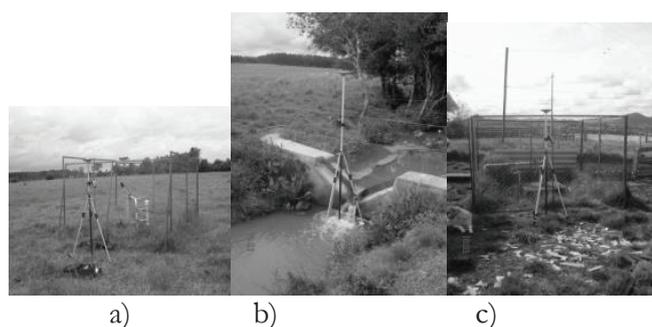
Para elucidar tal mecanismo físico de fluxo para os volumes infiltrados na bacia rural, 100% coberta por campo nativo, busca-se explicação mediante a avaliação da situação do escoamento das águas subterrâneas na bacia rural, de forma a explicar as poucas expectativas das vazões nulas encontradas.

### Situação do aquífero na bacia rural

Neste estudo, foi realizada uma medição do nível das águas subterrâneas em dois poços pertencentes à UFSM, localizados nos divisores de águas da bacia rural, para análise do possível comportamento do nível da água subterrânea dentro da bacia. Para isso, com o uso de um GPS topográfico, efetuou-se uma medição de altitude do nível do solo onde estão localizados os dois poços e da cota do fundo do leito do córrego da bacia rural.

Para a determinação da profundidade do nível das águas subterrâneas em relação ao nível do solo de cada poço foram tomados por base os valores dos níveis estáticos dos poços, obtidos no Relatório interno da UFSM, (UFSM, 2008) estabelecido para obtenção de outorga do direito de uso de água subterrânea, ocasião em que foram realizados testes e medições em todos os poços localizados dentro do campus da UFSM.

Um dos poços situa-se a leste no divisor de águas direito da bacia rural e o outro se encontra a oeste no divisor de águas do lado esquerdo da bacia.



**Figura 6 - Levantamento altimétrico dos pontos de controle. a) Poço do divisor esquerdo; b) Fundo do leito do córrego; c) Poço do divisor direito**

O poço localizado no divisor de águas esquerdo da bacia rural, com profundidade de 90 m e nível estático em 40m de profundidade, no teste de bombeamento realizado no dia 22/10/2008, apresentou um rebaixamento de apenas um metro após 24h de bombeamento. Assim, constatou-se a presença de um subsolo, em torno do poço, com uma boa capacidade específica: 1,6 m<sup>3</sup>/h/m (Vazão/rebaixamento) de recuperação, provavelmente penetrando alguns níveis de materiais arenosos com boa relação Porosidade/Permeabilidade.

Já no teste de bombeamento executado no Poço tubular, localizado no divisor de águas direito da bacia rural, o qual apresentou uma profundidade de 80m e um nível estático a 21m de profundidade, realizado no dia 2/10/2008, verificou-se um rebaixamento de 8m, e uma capacidade específica de 0,0625 m<sup>3</sup>/h/m. Esses resultados indicam que o terreno penetrado pela perfuração e seu entorno, possivelmente, seja constituído por rochas sedimentares com menor capacidade de recuperação, de constituição mais argilosa, apresentando uma relação Porosidade/Permeabilidade menor do que o poço localizado no outro divisor.

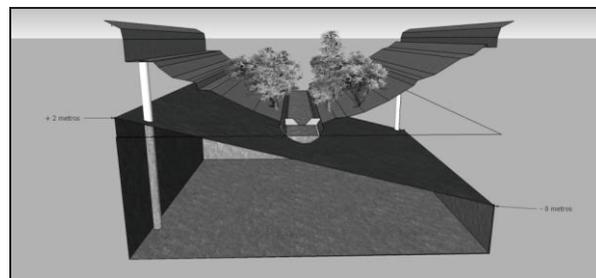
Além desses procedimentos foi realizado um levantamento da diferença de profundidade do lençol freático dos dois poços em relação ao nível do fundo do curso d'água monitorado.

Primeiramente, para calcular a diferença de profundidades do aquífero livre entre os dois poços e o vertedor, foi realizado um levantamento topográfico em cada um dos três pontos. Com isso, determinou-se que o nível do solo do poço do divisor de águas à esquerda do curso d'água apresentou uma altitude de 115m, enquanto o nível do solo do poço do divisor de águas do lado direito do curso d'água apresentou 124m de altitude. O fundo do leito do canal do curso d'água possui uma altitude de 92m no ponto do vertedor. A figura 6 mostra o levantamento topográfico sendo realizado com um GPS topográfico Promak200.

Após esse procedimento e com a utilização dos dados do nível freático de cada poço, determinou-se que a distância entre os dois poços era de 1647m e que existe uma diferença de cotas de 28m entre os níveis estáticos dos dois poços. Devido a estas diferenças, estima-se que o lençol freático esteja a 2,3metros abaixo do leito do curso d'água da bacia rural.

Com isso, pode-se dizer que existe a probabilidade de esse curso d'água não ter abastecimento pelo aquífero livre

(condição de rio efluente) e, sim, ter abastecimento somente da zona vadosa do solo. Salienta-se que, quando toda a água armazenada nessa camada é drenada, este curso d'água tende a secar, ficando com o aquífero livre abaixo do fundo do seu



leito. A figura 7 apresenta uma ilustração dessa diferença de nível entre os dois poços tubulares utilizados.

**Figura 7 - Croqui da possível variação do lençol freático na bacia rural**

Portanto, com essas análises e devido às características hidrogeológicas da bacia, a hipótese de que o curso d'água principal da bacia rural não recebe contribuição significativa do lençol freático se fortalece, apresentando fortes indícios que a sua contribuição subterrânea ocorre somente da camada vadosa do solo, apresentando uma contribuição lateral de fluxo subterrâneo do divisor de águas do lado direito para o divisor de águas do lado esquerdo da bacia rural no sentido oeste – leste.

## CONCLUSÕES

Neste estudo, avaliaram-se as diferenças no escoamento entre duas bacias contíguas e com a mesma área, com a intenção de analisar a possível diferença do deflúvio entre elas. Além disso, foram comparados os resultados com as estimativas por meio de estudos de regionalização de vazões.

Observou-se que os escoamentos da bacia com ocupação urbana foram superiores ao da bacia rural, tanto em nível global quanto nos períodos de vazões medianas e mínimas. Nos períodos de estiagem, a bacia rural apresentou vazões nulas.

Esses resultados alcançados contrariam a lógica hidrológica quando se trata de bacias com características rurais, tendo em vista que, a priori, espera-se que essas apresentem maior disponibilidade hídrica, devido à maior infiltração e ao maior armazenamento de água no solo em comparação com as bacias de ocupação urbana.

Tendo em vista esses resultados, é comprovada a situação de que o córrego da bacia rural apresenta características influentes (rio abastece o aquífero), sem apresentar contribuição do lençol freático em seu abastecimento, principalmente nos períodos de estiagem.

Esses resultados comprovam a necessidade de medições de vazão no local de interesse em apoio ao balanço hídrico em uma pequena bacia, de modo a obter informações de apoio à análise relativa à caracterização de do curso d'água como influente ou não.

Isso se deve à heterogeneidade das pequenas bacias, atribuída às características hidrogeológicas locais e a heterogenei-

dade relativa de suas características físicas que são responsáveis pelo aporte de águas pluviais nos períodos de deplecionamento fluvial.

A comparação dos resultados encontrados no monitoramento fluviométrico concomitante, levando em conta que os escoamentos são bastante distintos, trazem dificuldades às estimativas de vazões por meio de estudos de regionalização hidrológica.

Por fim, verificou-se que, na comparação de duas bacias contíguas, os resultados das estimativas da regionalização tornam-se aleatórios, pois, na prática, dariam resultados idênticos nas duas bacias, uma vez que possuem a mesma área. Isso deixa um alerta relativo ao uso de métodos de regionalização de vazões em projetos de engenharia e para a gestão de recursos hídricos, no caso de pequenas bacias como as deste estudo.

## REFERÊNCIAS

BAUMHARDT, E. Balanço Hídrico de Microbacias com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS. 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 3, n. 4, p. 19-31, out./dez. 1998.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas Bacias Hidrológicas: conceitos básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

HEATH, R. C. Hidrologia básica de água subterrânea. Washington, D.C.: U.S. Government, 1983. (United State geological survey water-supply paper; 2220).

IPH - ELETROBRAS. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro: [s.n.], 1985.

JACOBS, J. M.; VOGUEL, R. M. Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. J. Water Resour. Plann. Manage., v. 124, n. 6, p. 357-363, Nov./Dec. 1998.

MONTEIRO, J. C.; BACELLAR, L. A. P. Influência dos fatores geológicos, geomorfológicos e antrópicos da produção de fluxo de base em pequenas bacias hidrográficas na APA Cachoeira das Andorinhas, Ouro Preto (MG). Rev. Bras. Geomorfol., v. 15 n. 2, p. 173-189, 2014.

OBREGON, E.; TUCCI, C. E. M.; GOLDEFUN, J. A. Regionalização de vazões com base em séries estendidas: Bacias afluentes à Lagoa Mirim, RS. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 4, n. 1, p. 57-75, jan./mar. 1999.

SILVEIRA, G. L. da; SILVA, C. E. da; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C.; RETZ, E. F. Balanço de Cargas Poluidoras pelo

Monitoramento Quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 8, n. 1, p. 5-11, jan./mar. 2003.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade Hídrica. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 3, n. 3, p. 97-110, jul./set.1998.

TUCCI, C. E. Coeficiente de escoamento e vazão máxima em bacias urbanas. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2000.

TUCCI, C. E.; GOLDENFUM, J. A.; BERTONI, J. C.; LOVATEL, R.; TROVISCAL, A. P.; ALVES, C. A.; KREBS, C. M.; SOUZA, P. C.; FROES, F. (Coord.). Regionalização de vazões do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1991. v. 1.

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria. Relatório técnico para obtenção de outorga do direito de uso de água subterrânea. Relatório interno. Santa Maria: UFMS/HIDROBRASIL, 2008.