

HIDROLOGIA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS: DESCRIÇÃO E AVALIAÇÃO DE DUAS TÉCNICAS PARA A AFERIÇÃO DA VAZÃO.

LOURENÇO, J. M. R. M. F.¹

BRAGA, F. M. de S.²

¹ Universidade Estadual Paulista campus de Rio Claro UNESP RC (Brasil), já atuou na área de climatologia, mas hoje desenvolve pesquisa na área de SIG, Geomorfologia Fluvial e Biogeografia. E-mail jef_lourenco@yahoo.com.br

² Professor Doutor do Departamento de Zoologia da UNESP- RC

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido na microbacia do ribeirão dos Buenos que está localizada nos municípios de Pindamonhangaba, Guaratinguetá e Potin na serra da Mantiqueira oriental e Vale do Paraíba paulista entre 22° 43' e 22° 51' de latitude sul e 45° 27' e 45° 17' de longitude oeste, com altitudes que variam de 530 a 1940 metros. A microbacia do ribeirão dos Buenos compreende uma área de 83,74 km² atingindo a ordem 5 na classificação Strahler e 127 na de Shreve. Trata-se de uma microbacia tributária do rio Paraíba do Sul e que nasce no setor de cimeira da Mantiqueira descendo a escarpa de forma abrupta para posteriormente meandrar sobre a planície do Vale do Paraíba até atingir este rio na cota de 530 metros. De sua nascente no alto da Mantiqueira até sua foz o ribeirão percorre uma distância de 33,03 km e apresenta um desnível de 1410 metros. O ribeirão dos Buenos tem como seus principais afluentes o ribeirão dos Guarulhos e o córrego Guamirim. O ribeirão dos Guarulhos drena uma área de 13,62 km², que representa 16,26% da área total da microbacia do ribeirão dos Buenos, cujo canal principal possui uma extensão de 8,78 km. O córrego Guamirim drena uma área de 8,55 km², referentes a 10,21 % da área total da microbacia e seu canal principal tem 7,43 km. A microbacia do ribeirão dos Buenos tem 67,82% da sua área situada entre as cotas de 500 a 800m de altitude e apresenta elevada declividade do terreno na encosta da Mantiqueira, enquanto que no Vale do Paraíba e no setor de cimeira da Mantiqueira a declividade é bem menor. O clima da microbacia é do tipo "Cf" na classificação de Köppen, ou seja, verifica-se precipitação máxima de verão inferior a 10 vezes a do mês mais seco; a precipitação do mês mais úmido do inverno é inferior a 3 vezes a do mês mais seco e as chuvas de verão são superiores a 40 mm. No setor de cimeira da microbacia do ribeirão dos Buenos, o clima é do tipo "Cfb" na classificação de Köppen, em função da altitude que confere ao clima tropical esta configuração mais amena e a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C. Na área de planície no Vale do Paraíba o clima é do tipo "Cfa" na classificação de Köppen, apresentando maiores temperaturas e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Para aferir a velocidade da corrente e vazão, 11 pontos da microbacia foram utilizados com o emprego da técnica flutuadora e também a partir da aplicação do aparelho Flowmeters 2030CF que constitui uma outra técnica conhecida no Brasil como técnica do molinete. Foram feitas medidas de profundidade em todos os pontos para estimar a área do perfil transversal possibilitando a produção de dados da vazão mais precisos. Todas as medições foram realizadas no mês de julho (estiagem) e tiveram o objetivo de avaliar a precisão, e as vantagens e desvantagens do emprego das duas técnicas para a aferição da velocidade da corrente e vazão em pequenas bacias hidrográficas que não tem sua vazão medida diariamente por postos fixos do Estado ou qualquer outra entidade pública ou privada. A aferição da velocidade da corrente e vazão nestes locais onde não existe uma infra-estrutura montada com coleta diária de dados continua sendo um problema de difícil solução, pois devido à falta de recursos

financeiros, tempo, problemas de logística e erros cometidos na coleta e análise dos dados, muitos trabalhos que procuram estimar a vazão nestes locais apenas conseguem produzir dados que não passam de aproximações grosseiras da realidade. Sendo assim, neste trabalho estes problemas são discutidos e algumas soluções são propostas para evitar alguns erros frequentes observados em trabalhos que procuram estimar a velocidade da corrente e vazão em microbacias hidrográficas. Entretanto, existem algumas questões que são mais complicadas de se resolver e aparentemente não existe uma solução simples e exequível para elas. Nestes casos é demonstrado como proceder na coleta de dados para que os erros sejam reduzidos e exista uma autêntica aproximação com a realidade da vazão estimada.

Palavras chave: microbacias hidrográficas, medição da vazão, comparação de duas técnicas.

Introdução

O estudo e cálculo de vazão em microbacias é uma questão ainda mal resolvida, pois existe uma série de técnicas desenvolvidas por muitos pesquisadores que procuram estimá-la, entretanto, com exceção dos locais onde há uma infra-estrutura permanente montada e coleta diária de dados, os valores de vazão obtidos não representam totalmente a realidade. Este trabalho pretende discutir o cálculo da velocidade da corrente e vazão para estes locais onde não existem postos fixos de coleta de dados.

O ponto de partida para realizar o cálculo da vazão em microbacias hidrográficas com uma razoável precisão é ter consciência de que, ao menos que o pesquisador disponha de uma grande quantidade de recursos financeiros e tempo, será impossível obter um resultado que represente inteiramente a realidade da vazão e velocidade para uma determinada microbacia para um período temporal superior a alguns dias ou semanas, pois não se pode dizer que a vazão anual ou sazonal de um canal é “x” se apenas uma ou duas medidas foram realizadas no ano. O que se pode dizer nestes casos é que a vazão mensurada no dia ou semana “y” (no caso de não ter ocorrido precipitações nesta semana) é “x”.

Materiais e Técnicas

Foram calculados os valores da vazão de 11 pontos da microbacia do ribeirão dos Buenos para a terceira semana do mês de julho (inverno - estação menos chuvosa) de 2008. Os dados foram coletados em 3 dias cobrindo-se 4 pontos no primeiro dia, 4 no segundo e 3 no terceiro. Durante a semana em que as coletas se realizaram não houve precipitações.

Nas coletas de dados utilizou-se duas técnicas para que posteriormente fosse possível comparar os resultados obtidos com as diferentes técnicas. A primeira técnica utilizada foi a chamada flutuadora que possui uma série de variações que são apresentadas e utilizadas por diferentes autores como Environmental Protection Agency - EPA (UNITED STATES OF AMERICA, 1997) e Palhares et al (2007). Neste trabalho foi realizado um aperfeiçoamento das diversas variações da técnica flutuadora com o intuito de torná-la mais precisa.

O primeiro passo para o cálculo da vazão foi medir a área do perfil transversal do rio em 3 locais de montante para jusante com intervalo de 5 metros entre eles para

cada um dos 11 pontos de coleta de dados. As áreas foram somadas e divididas pelo número de unidades, obtendo-se a área média do perfil transversal desta seção do canal. Este valor foi inserido na equação para o cálculo da vazão.

A figura 1 demonstra um corte no canal, onde é possível visualizar a área do perfil transversal e a linha do perímetro úmido do ribeirão. Para que este polígono se aproxime da realidade do canal, primeiramente foi medido em campo a largura do canal em cada ponto e em seguida as profundidades da margem esquerda para a direita em intervalos de 0,5m. Em trabalho de gabinete estes dados foram inseridos no software Autocad Map que permitiu calcular o tamanho da linha do perímetro úmido de cada ponto, assim como a área do perímetro úmido, ou seja, a área do perfil transversal que foi fornecida em m².

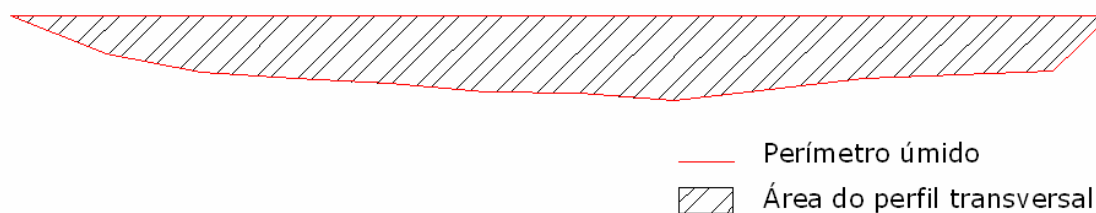


Figura 1: Corte do canal fluvial
Organização: Jéferson M R M F Lourenço (2008)

Como pode ser visto acima, neste trabalho não se utilizou a profundidade média do canal e nem o raio hidráulico, que é uma derivação da profundidade média, no cálculo da vazão, embora infelizmente a profundidade média ainda seja o procedimento adotado por boa parte dos trabalhos que procuram mensurar a vazão de rios apesar de levar a resultados incorretos.

O segundo passo da técnica flutuadora foi medir a velocidade média da corrente através da fórmula: $V = \frac{d}{t}$, onde:

V é a velocidade;

d é a distância;

t é o tempo.

A coleta de dados para aferição da velocidade foi realizada nos mesmos locais onde se tinha medido a área média do perfil transversal para uma seção de 10 metros do canal como já foi descrito. O procedimento adotado foi jogar um pedaço de graveto¹ de aproximadamente 10 cm, coletado na vegetação do próprio local, sobre a superfície da água, no meio do canal, na marca 0m e cronometrar o tempo gasto pelo graveto até atingir a marca de 10m. O processo foi repetido 12 vezes, anotando-se todos os tempos. Quando o graveto enroscava em algum ponto do canal (rochas, galhos, troncos etc) a medida não era computada e repetia-se o procedimento. Após a obtenção dos 12

¹ Alguns pesquisadores utilizam uma laranja, outros bolas de isopor etc.

medidas de tempo, a maior e a menor medida foram desprezadas e tirou-se a média simples das demais 10 medidas restantes. Este valor obtido na média foi inserido na fórmula.

A partir da obtenção dos dados da área do perfil transversal e da velocidade média da corrente para cada um dos 11 pontos de coleta foi possível realizar o cálculo da vazão através da fórmula: $Q = A \cdot V$ onde:

Q é a vazão;

A é a área do perfil transversal do canal e;

V é a velocidade.

A segunda técnica utilizada para o cálculo da vazão dos mesmos pontos mencionados anteriormente é realizada através da aplicação do aparelho Flowmeters 2030CF² e será chamada aqui de técnica do molinete, pois este é o termo normalmente empregado por pesquisadores brasileiros quando referem-se a aferição da vazão a partir da utilização de aparelhos deste tipo.

Esta técnica assemelha-se a técnica descrita por United States Geological Survey- USGS (UNITED STATES OF AMERICA, 2008) e também a descrita por Corrêa (2008), mas neste trabalho ela foi adaptada para se adequar as condições financeiras e de logística disponíveis.

Os autores mencionados acima dividem a área do perfil transversal do canal em diferentes seções no sentido horizontal e vertical e o molinete é empregado em cada umas delas calculando-se a vazão separadamente em cada uma das seções. Bortoni (1999), além de dividir o canal em seções, também utiliza de softwares específicos para trabalhar os dados tornando o processo mais ágil e menos dispendioso.

A divisão da área do perfil transversal em seções é mais recomendável quando o canal possui uma grande variação de profundidade e velocidade de uma margem a outra, entretanto quando no ponto escolhido o canal é mais uniforme, esta divisão pode ser dispensada, pois os resultados de vazão e velocidade serão semelhantes em qualquer uma das opções adotadas. Nos 11 pontos escolhidos para aferição da vazão e velocidade o leito do canal apresentava-se bastante uniforme na profundidade e velocidade de uma margem a outra, sendo assim, o cálculo e obtenção da área do perfil transversal do canal foram realizados da mesma maneira que na técnica flutuadora.

Para a coleta dos demais dados com a técnica do molinete, o aparelho Flowmeters 2030CF foi submergido na água a uma profundidade de aproximadamente 15cm durante 20 segundos a 0,5m da margem esquerda do canal onde a primeira medida foi obtida e posteriormente submergido novamente a 1,5m da margem e sucessivamente a 2,5m, 3,5m e assim ininterruptamente até chegar na outra margem do canal. Assim como na coleta dos dados da área do perfil transversal, os dados do aparelho Flowmeters 2030CF foram obtidos em três linhas de montante para jusante nas marcas 0m, 5m e 10m para cada um dos 11 pontos de coleta. Posteriormente os dados (Difference in COUNTS) registrados em cada submersão do aparelho foram somados e divididos pelo número de submersões tirando-se a média simples para cada um dos 11 pontos de coleta.

Na coleta dos dados quando a corrente do canal era fraca utilizou-se a hélice (rotor) grande do aparelho cuja constante fornecida pelo fabricante (Rotor Constant) é de 57560 e quando a corrente era forte a hélice pequena cuja constante fornecida é de 26873.

² Fabricado pela GENERAL OCEANICS INC.

Após a coleta de dados foi necessário aplicar duas equações fornecidas pelo manual do aparelho (GENERAL OCEANICS). A primeira denominada DISTANCE in meters pode ser interpretada como quantidade de água em metros (não em metros cúbicos) que passou pelo aparelho durante o tempo que ele ficou submerso na água.

$$\text{Distância em metros} = \frac{\text{Dados registrados no aparelho (x) constante do rotor utilizado}}{999999}$$

A segunda denominada SPEED in cm/sec calcula a velocidade em centímetros por segundos. Esta segunda foi transformada para fornecer dados de velocidade em metros por segundo.

$$\text{Velocidade em cm/seg} = \frac{\text{Distância em metros (x) 100}}{\text{Tempo em segundos}}$$

Transformada para fornecer os dados em metros por segundo ficou da seguinte maneira:

$$\text{Velocidade em m/seg} = \frac{\text{Distância em metros}}{\text{Tempo em segundos}}$$

Após a realização das equações citadas acima foi possível calcular a vazão através da mesma fórmula usada na técnica flutuadora ($Q = A \cdot V$)

Para avaliar a disparidade dos dados de velocidade da corrente e vazão produzidos pelas diferentes técnicas, foi aplicado o coeficiente de correlação de PEARSON citado e descrito por Gerardi et al (1981) para avaliar a correlação dos 11 valores de velocidade (um valor para cada um dos 11 pontos de coleta) produzidos pela técnica flutuadora e os 11 valores de velocidade produzidos pela técnica do molinete, ou seja, foi calculado o índice de correlação de PEARSON entre os dois bancos de dados. O mesmo procedimento foi adotado para os dados de vazão; deste modo foi possível obter o índice de correlação de PEARSON para o conjunto total de dados de velocidade e vazão da microbacia.

Resultados e Discussão

Como pode ser visto nos gráficos 1 e 2 os valores medidos para a velocidade da corrente e vazão com as duas técnicas utilizadas são semelhantes, obtendo-se valores ligeiramente mais elevados para velocidade da corrente e vazão com a técnica flutuadora para a maioria dos pontos avaliados.

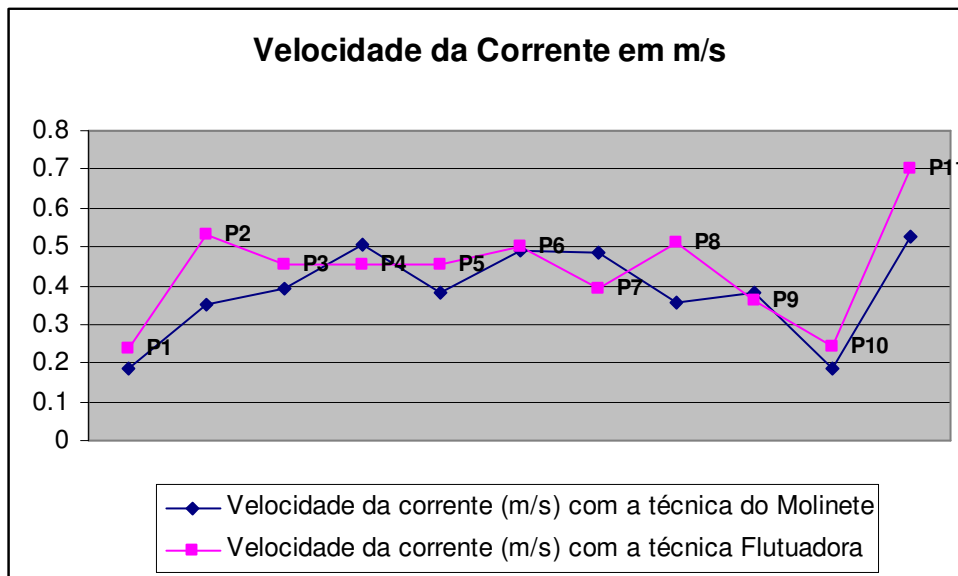


Gráfico 1: Velocidade média da corrente (m/s)
Organização: Jeferson M. R. M. F. Lourenço (2008)

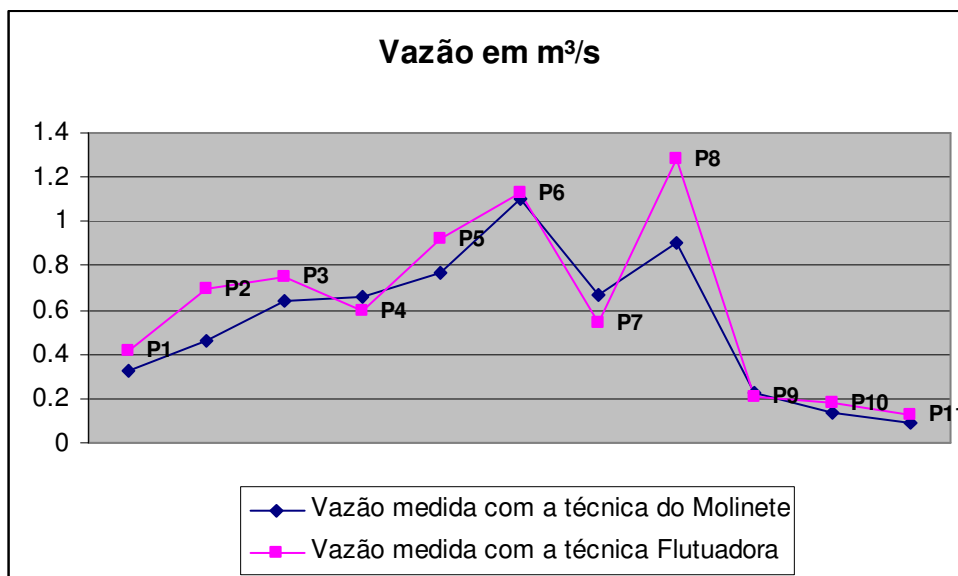


Gráfico 2: Vazão em (m³/s)
Organização: Jeferson M. R. M. F. Lourenço (2008)

Quando se observa os resultados do índice de correlação de PEARSON calculado para todo o conjunto de dados da velocidade da corrente ($r= 0.74$) e vazão ($r= 0.93$) seguindo-se a interpretação dos resultados deste índice exposta por Crespo (1995), pode-se concluir que existe uma forte correlação entre os dados produzidos com a técnica flutuadora e a técnica do molinete verificando-se maior correlação para os dados de vazão do que os de velocidade da corrente. Isto provavelmente ocorreu porque os valores da área do perfil transversal utilizados para o cálculo da vazão, são os mesmos para ambas as técnicas.

Mas os valores de velocidade foram produzidos de forma totalmente independentes, contudo, mesmo assim apresentaram uma boa correlação entre eles indicando que, embora provavelmente nenhuma das duas técnicas seja capaz de calcular

a velocidade da corrente e vazão de forma exata, ambas devem fornecer valores próximos da realidade.

Mas é necessário reiterar que ambas as técnicas não são perfeitas e possuem alguns pontos fracos como, por exemplo, no caso da técnica flutuadora a aferição da velocidade da corrente onde os dados são coletados somente na superfície da água e de acordo com as leis da geomorfologia fluvial como afirma Christofolletti (1980) existem sensíveis variações verticais e horizontais na velocidade da água em canais fluviais.

Com relação a técnica do molinete o mesmo pode ser dito quanto a coleta dos dados, já que o aparelho Flowmeters 2030CF foi sempre submerso próximo da superfície da água, pois colocá-lo também no meio da coluna d'água e próximo ao fundo do canal seria algo quase inexigível em alguns pontos de coleta.

Considerações Finais

Como pode ser visto neste trabalho, após a aplicação das duas técnicas para estimar a velocidade da corrente e vazão nos 11 pontos onde os dados foram coletados, é extremamente arriscado afirmar qual das duas técnicas é mais precisa, pois a partir da análise estatística dos dados ficou demonstrado que ambas apresentam resultados muito semelhantes.

O que se deve ter sempre em mente nesta questão é que mesmo que a técnica escolhida não apresente uma precisão absoluta, se os dados forem coletados e analisados corretamente, o erro existente tenderá ser sempre proporcionalmente o mesmo para todos os pontos de coleta, permitindo-se compará-los sem problemas.

Agradecimentos

Aos alunos de pós-graduação (Doutorado) do Departamento de Zoologia Julianna Rondineli e Alberto Carmassi da UNESP- RC pela ajuda com os cálculos do aparelho Flowmeters 2030CF (molinete).

Bibliografia

BORTONI, E. da C; VIANA, A. N. C; TIAGO FILHO, G. L. **Aplicação de pacotes gráficos para o cálculo de vazões em canais abertos**. Montevideo: Unesco, 1999. Grupo de Trabajo sobre Hidromecanica 5ª Reunion. Disponível em: <<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/hidromecanica/Trab%205.doc>> Acesso em: 10 nov. 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980. 177p.

CORRÊA, I. C. S. **Metodologia para o cálculo de vazão de uma seção transversal a um canal fluvial**. Porte Alegre: UFRGS, 2008. Disponível em : <http://www.ufrgs.br/lageo_geodesia/iisapgu/CorreaICS.pdf> Acesso em: 20 nov. 2008.

CRESPO, A. A. C. **Estatística**. 13. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 1995. 224p.

GENERAL OCEANICS. **Digital Flowmeter Mechanical & Electronic Operators Manual**. Miami: General Oceanics.

GERARDI, L. H. de; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: Editora DIFEL, 1981. 161p.

PALHARES, J. C. P.; RAMOS, C.; KLEIN, J. B.; LIMA, J. M. M. de; MULLER, S.; CESTONARO, T. Medição da vazão em rios pelo método do flutuador. **Comunicado Técnico**, Concórdia-SC, 1 ed, versão eletrônica, p.1 – 4, jul. 2007.

UNITED STATES OF AMERICA. Environmental Protection Agency. **Stream flow**. Washington: EPA, 1997. Cap 1, p. 134-138. Disponível em: <http://www.epa.gov/volunteer/stream/stream.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2007.

UNITED STATES OF AMERICA. United States Geological Survey. **How streamflow is measured**. Denver: USGS, 2008. Apresenta textos sobre vazão em rios. Disponível em: <http://ga.water.usgs.gov/edu/measureflow.html> Acesso em: 20 nov. 2008.