

Medição de Vazão no Rio Verde

Hidrologia Experimental

(TEA037)

Grenda Izabeli Menezes da Silva¹

¹GRR20182465

06 de setembro de 2022

1 Medição de vazão no rio Verde

Os discentes de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná, matriculados na disciplina Hidrologia Experimental, sob orientação do professor Michael Mannich, realizaram medições de vazão no dia 05/08/2022 em um trecho do Rio Verde, que pertence a bacia do rio Paraná e sub-bacia do Iguazu, e é localizado no município de Campo Largo, região metropolitana de Curitiba, Paraná.

A atividade prática consistiu na utilização do equipamento *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV), calibrado pelo professor no local, para a medição das velocidades em diferentes pontos do rio. A turma foi separada em duplas, as quais cada uma ficou responsável pela medição de uma certa distância horizontal do trecho escolhido. O professor utilizou uma fita para delimitar o perfil que será medido e servir como guia no processo, a fita foi então fixada nas duas margens, de forma a ficar perpendicular ao sentido do escoamento do rio. Cada dupla, após as devidas orientações e instruções de uso do equipamento, realizou a medição a cada (aproximadamente) 0,4 metros (em x), em que para cada ponto foi feita a medição em três pontos de profundidade, conforme indicado pelo equipamento.

Os possíveis erros obtidos na medição podem ser da angulação do equipamento no momento da aferição, pois nem todos conseguiram medir com o equipamento em 0° (como recomendado), seja por irregularidades no fundo do rio, ou por movimentações no equipamento pelo operador. Apesar desses erros, a medição foi satisfatória no dia, pois as condições climáticas estavam favoráveis, assim como o trecho não possuía velocidades muito altas, o que poderia dificultar a medição e talvez necessitar de outro método/equipamento.

2 Cálculos da vazão

Para os cálculos de vazão foram utilizados 3 métodos, sendo 2 os mais recomendáveis pela literatura e um último proposto pela autora.

2.1 Método da meia seção

Este método se baseia em dividir a seção por áreas de retângulos de altura h_i e largura obtida pela média de dois pontos. Essas áreas são então multiplicadas pela velocidade média de cada ponto, em que a velocidade média é calculada por meio de uma média ponderada de acordo com a profundidade, como ilustra a a tabela 1, para o presente trabalho foram realizadas medições de velocidade em 3 pontos de profundidade. A equação de vazão para esse método fica:

$$q_i = v_i h_i \left(\frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2} \right) \quad (1)$$

Tabela 1: Cálculo velocidade média

Nº de pontos	Posição na vertical em relação à profundidade (m)	Cálculo da velocidade média na vertical (m/s)
1	0,6p	$\bar{v} = v_{0,6}$
2	0,2p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + v_{0,8})/2$
3	0,2p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8})/4$
4	0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p	$\bar{v} = (v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + v_{0,8})/6$

Após a realização dos cálculos de vazão para cada ponto, seguindo a equação mostrada acima, os resultados obtidos foram:

Tabela 2: Resultados pelo método da meia seção

Pontos	x	y	$Velx_{med}$ (m ² /s)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1,0	0,00	0,000000	-	-
1	1,5	0,36	0,044175	0,162	0,007156
2	1,9	0,45	0,068625	0,180	0,012353
3	2,3	0,53	0,083175	0,212	0,017633
4	2,7	0,56	0,080025	0,196	0,015685
5	3,0	0,56	0,087000	0,196	0,017052
6	3,4	0,60	0,075525	0,240	0,018126
7	3,8	0,58	0,084200	0,232	0,019534
8	4,2	0,56	0,069675	0,224	0,015607
9	4,6	0,56	0,075575	0,224	0,016929
10	5,0	0,60	0,065475	0,240	0,015714
11	5,4	0,61	0,066225	0,244	0,016159
12	5,8	0,69	0,063175	0,276	0,017436
13	6,2	0,77	0,063725	0,308	0,019627
14	6,6	0,88	0,059325	0,352	0,020882
15	7,0	0,94	0,064750	0,376	0,024346
16	7,4	1,00	0,064000	0,400	0,025600
17	7,8	1,00	0,060600	0,400	0,024240
18	8,2	0,90	0,075725	0,360	0,027261
19	8,6	0,73	0,069400	0,292	0,020265
20	9,0	0,64	0,064250	0,256	0,016448
21	9,4	0,58	0,062925	0,290	0,018248
22	10,0	0,58	0,066950	0,348	0,023299
23	10,6	0,43	0,056475	0,258	0,014571
24	11,2	0,36	0,051900	0,252	0,013079
25	12,0	0,31	0,041700	0,248	0,010342
26	12,8	0,00	0,000000	0,000	0,000000
Σ				6,766	0,447592

2.2 Método da seção média

O método da seção média se assemelha ao método da meia seção, com a diferença que para o cálculo da área são considerados trapézios e a velocidade é dada pela média das velocidades médias dos pontos. Assim, a equação de vazão em cada ponto se torna:

$$q_i = \left(\frac{v_i + v_{i-1}}{2} \right) (d_i - d_{i-1}) \left(\frac{p_i + p_{i-1}}{2} \right) \quad (2)$$

Os resultados dos cálculos estão na tabela 3.

Tabela 3: Resultados pelo método da seção média

Pontos	x	y	$Velx_{med}$ (m ² /s)	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
0	1,0	0,00	0,000000	-	-
1	1,5	0,36	0,044175	0,090	0,001988
2	1,9	0,45	0,068625	0,162	0,009137
3	2,3	0,53	0,083175	0,196	0,014876
4	2,7	0,56	0,080025	0,218	0,017789
5	3,0	0,56	0,087000	0,168	0,014030
6	3,4	0,60	0,075525	0,232	0,018853
7	3,8	0,58	0,084200	0,236	0,018848
8	4,2	0,56	0,069675	0,228	0,017542
9	4,6	0,56	0,075575	0,224	0,016268
10	5,0	0,60	0,065475	0,232	0,016362
11	5,4	0,61	0,066225	0,242	0,015936
12	5,8	0,69	0,063175	0,260	0,016822
13	6,2	0,77	0,063725	0,292	0,018527
14	6,6	0,88	0,059325	0,330	0,020303
15	7,0	0,94	0,064750	0,364	0,022582
16	7,4	1,00	0,064000	0,388	0,024978
17	7,8	1,00	0,060600	0,400	0,024920
18	8,2	0,90	0,075725	0,380	0,025902
19	8,6	0,73	0,069400	0,326	0,023655
20	9,0	0,64	0,064250	0,274	0,018310
21	9,4	0,58	0,062925	0,244	0,015515
22	10,0	0,58	0,066950	0,348	0,022598
23	10,6	0,43	0,056475	0,303	0,018699
24	11,2	0,36	0,051900	0,237	0,012842
25	12,0	0,31	0,041700	0,268	0,012542
26	12,8	0,00	0,000000	0,124	0,002585
Σ				6,766	0,442409

2.3 Método próprio

Por fim, o método proposto pela autora é o cálculo da vazão em cada ponto feito pela multiplicação da área de um retângulo de largura Δx e altura h , pela velocidade média do ponto, porém esta sendo obtida pela média aritmética das velocidades nesse ponto x . A equação do cálculo descrito ficou da forma:

$$q_i = \left(\frac{v_{i(0.2)} + v_{i(0.6)} + v_{i(0.8)}}{3} \right) (d_i - d_{i-1}) h_i \quad (3)$$

Os resultados ficaram:

Tabela 4: Resultados pelo método dos retângulos

Pontos	y	x	$Velx_{med}$ (m ² /s)	Δx	Área (m ²)	Q (m ³ /s)
0	0,00	1,0	0,000000	-	-	-
1	0,36	1,5	0,042467	0,5	0,180	0,007644
2	0,45	1,9	0,066533	0,4	0,180	0,011976
3	0,53	2,3	0,0825333	0,4	0,212	0,017497
4	0,56	2,7	0,079267	0,4	0,224	0,017756
5	0,56	3,0	0,086999	0,3	0,168	0,014599
6	0,60	3,4	0,074967	0,4	0,240	0,017992
7	0,58	3,8	0,082833	0,4	0,232	0,019217
8	0,56	4,2	0,067067	0,4	0,224	0,015023
9	0,56	4,6	0,076267	0,4	0,224	0,017084
10	0,60	5,0	0,062467	0,4	0,240	0,014992
11	0,61	5,4	0,067133	0,4	0,244	0,016381
12	0,69	5,8	0,061200	0,4	0,276	0,016891
13	0,77	6,2	0,062033	0,4	0,308	0,019106
14	0,88	6,6	0,060733	0,4	0,352	0,021378
15	0,94	7,0	0,063633	0,4	0,376	0,023926
16	1,00	7,4	0,064000	0,4	0,400	0,025600
17	1,00	7,8	0,060000	0,4	0,400	0,024000
18	0,90	8,2	0,075768	0,4	0,360	0,027276
19	0,73	8,6	0,067700	0,4	0,292	0,019768
20	0,64	9,0	0,064633	0,4	0,256	0,016546
21	0,58	9,4	0,061567	0,4	0,232	0,014283
22	0,58	10,0	0,066867	0,6	0,348	0,023269
23	0,43	10,6	0,055333	0,6	0,258	0,014276
24	0,36	11,2	0,051900	0,6	0,216	0,011210
25	0,31	12,0	0,041700	0,8	0,248	0,010342
26	0,00	12,8	0,000000	0,8	0,000	0,000000
Σ					6,690	0,438034

2.4 Comparação dos resultados

Após os cálculos por diferentes métodos, foi possível realizar a comparação da área e vazão total do rio obtido em cada método, com os fornecidos pelo equipamento de medição:

Tabela 5: Comparação dos resultados

Método	Área (m ²)	Vazão (m ³ /s)
Meia seção	6,766	0,447592
Seção Média	6,766	0,442409
Autora (retângulos)	6,690	0,438034
Equipamento	6.766	0.447600

Nota-se então que o método da meia seção foi o que atingiu valor mais próximo do calculado pelo equipamento. O método que mais se distanciou dos demais foi o sugerido pela autora,

possivelmente por desconsiderar a profundidade no cálculo da velocidade média, porém ainda chegou relativamente próximo, o que pode indicar o uso desse método para cálculos grosseiros de estimativa, em trechos menores de rio.

3 Gráficos

Por meio dos dados de profundidade e distância horizontal, fornecidos pelo equipamento de medição, foi possível traçar o perfil transversal do rio, assim como visualizar as velocidades médias (média ponderada) ao longo do trecho horizontal, como ilustra o gráfico abaixo:

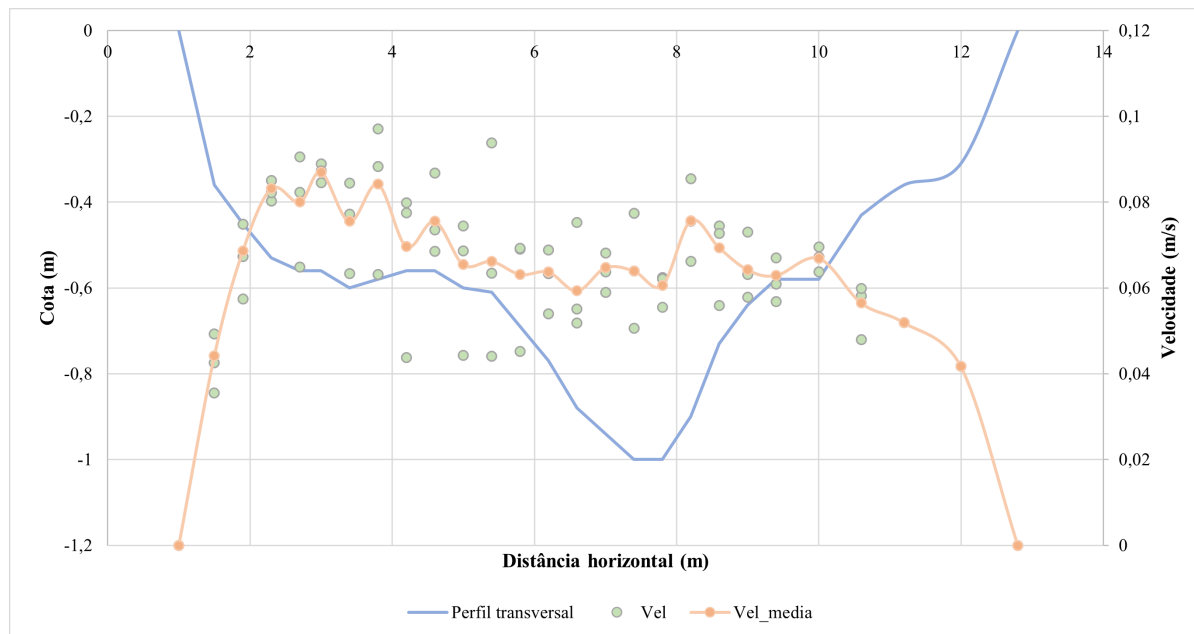
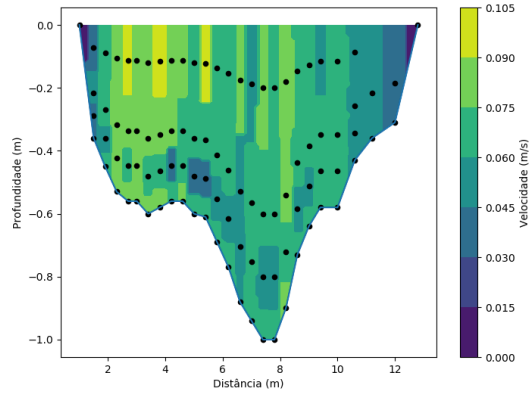
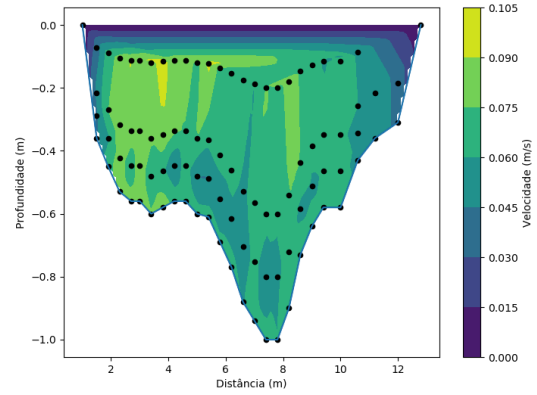


Figura 1: Perfil transversal e velocidades ao longo da distância horizontal

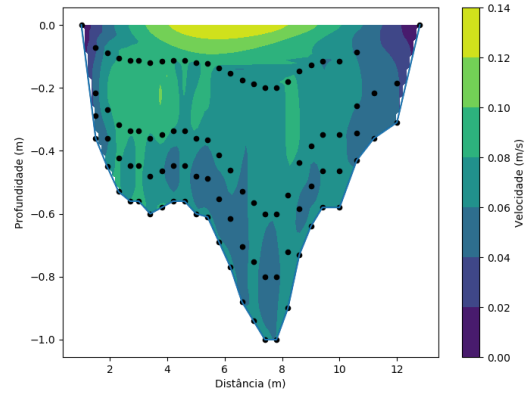
Como não há medição de velocidade em todos os pontos do perfil do rio, a fim de obter uma estimativa do gradiente de velocidade foi gerado gráficos de contorno utilizando um código em Python, em que foi feita a interpolação dos pontos conhecidos, por meio dos métodos: proximidade (a), linear (b) e cúbico (c). Os gráficos gerados ficaram:



(a)



(b)



(c)

Por meio de uma análise visual e com base nos conhecimentos de mecânica dos fluidos, pode-se dizer que a interpolação linear se aproxima mais do resultado esperado, pois apresenta velocidades baixas nas bordas e altas na região central. Porém seria necessário um estudo mais aprofundado das características do rio para maiores afirmações.