



Validação do método do flutuador modificado quando comparado ao molinete hidrométrico e método acústico para uma microbacia localizada no município de Caxias do Sul - RS

Fernando Bonotto Missiaggia¹, Guilherme Zenato Lazzari², Marcio Vicente Duarte Adami³, Taison Anderson Bortolin⁴, Rossano Belladona⁵

¹ UCS (fbmissiaggia1@ucs.br); ² FSG (lazzariguilherme@gmail.com); ³ SAMAE (mvadami@samaecaxias.com.br); ⁴ UCS (tabortol@ucs.br); ⁵ SAMAE (rbelladona@samaecaxias.com.br)

Resumo

O objetivo deste trabalho foi a validação do método do flutuador modificado quando comparado ao método convencional do molinete hidrométrico e ao método acústico (ADV– Accoustic Doppler Velocimeter). As medições da vazão foram realizadas no dia 22 de dezembro de 2017 na microbacia do Maestra, localizada no município de Caxias do Sul, região fisiográfica da encosta superior do nordeste do RS. A microbacia possui área de 3,53 km² e a estação fluviométrica (exutório) localiza-se sobre as coordenadas 29°7'15,867"S e 51°8'43,171"O. Não foi registrada precipitação acima de 6 mm nos 5 dias anteriores às medições. A cota linimétrica registrada no dia do teste foi de 31,5 cm, sendo esta uma das menores cotas já registradas na estação fluviométrica, período que abrange um monitoramento de janeiro de 2014 a dezembro de 2018. Os resultados de vazão obtidos pelo método de cálculo da meia seção, ADV e flutuador foram respectivamente, 28 L.s⁻¹, 29,7 L.s⁻¹ e 28 L.s⁻¹, evidenciando uma ótima aproximação ao valor do ADV, este considerado um instrumento de alta precisão de coleta de dados. Entretanto, recomenda-se análises em diferentes cotas linimétricas para validar a eficiência dos métodos hidrométricos disponíveis para a medição de vazão.

Palavras-chave: Molinete hidrométrico. Método acústico. Flutuador.

Área Temática: Recursos Hídricos

Validation of the modified float method when compared to the current meter and acoustic method for a microbasin located in Caxias do Sul, RS

Abstract

The objective of this work was to validate the modified float method when compared to the conventional method of the current meter and the acoustic method (ADV - Accoustic Doppler Velocimeter). Flow measurements were carried out on December 22, 2017 in the Maestra microbasin, located in the city of Caxias do Sul in the physiographic region of the upper northeast slope of RS. The microbasin has an area of 3.53 km² and the fluviometric station (outlet) located at 29°7'15.867"S and 51 °8'43.171"W. No precipitation was recorded above 6 mm in the previous 5 days of the measurements. The linimetric level recorded on the day of the test was 31.5 cm, being one of the lowest level ever recorded in the fluviometric station, period that includes a monitoring from January 2014 to December 2018. The results of the flow obtained by the method of calculation of the half section, ADV and float were 28 L.s⁻¹, 29.7 L.s⁻¹ and 28 L.s⁻¹, respectively. That the values obtained by the three methods are similar and approximate to the acoustic method, considered a high-precision instrument for data collection. Despite the positive result, other comparisons on different linimetric levels should be performed in order to validate the efficiency of the available hydrometric methods for flow measurements.

Keywords: Current meter. Acoustic method. Float.

Thematic Area: Water Resources



1 Introdução

O conhecimento e compreensão de parâmetros e variáveis hidrológicas é de extrema importância para bom planejamento e gestão dos recursos hídricos, promovendo assim sugestões e formas de prevenir impactos ao meio ambiente e quantidade e qualidade da água para as diferentes formas de uso (MARIA BONIFÁCIO; FREIRE, 2013). Considera-se vazão como sendo o volume de água que passa por uma determinada seção de um rio ao longo de uma unidade de tempo, e as medições de vazão são necessárias para a estimativa da disponibilidade de água em uma determinada parte do rio, considerando os diversos usos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

A vazão de um rio é o resultado da interação entre a precipitação e a bacia, e depende das características da bacia que influenciam a infiltração, o armazenamento e a evapotranspiração, durante as chuvas intensas a maior parte da vazão que passa por um rio é a água da própria chuva que não consegue penetrar no solo, atingindo cursos d'água e aumentando a vazão. É dessa forma que são formados os picos de vazão e as cheias e enchentes (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Na engenharia, as medições de vazão são de extrema importância para projetos e estudos de dimensionamento de barragens, sistemas de abastecimento de água, projeto de usinas hidrelétricas, estruturas de drenagem urbana, irrigação, navegação, capacidade do recurso hídrico em receber efluente de tratamento e entre outras. Para cada aplicação, que necessite dos dados históricos de vazão, há diferentes requerimentos quanto à qualidade de dados, forma de apresentação e custos envolvidos (MAIDMENT, 1992).

Existem diversos métodos de medição de vazão, como por exemplo: medição com vertedores, medição com calha Parshall, medição a vau com molinetes, medição com equipamentos com tecnologia acústica, medição com flutuador, entre outras. A medição com tecnologia acústica é considerada como tendo uma alta precisão na coleta de dados, porém com custo elevado de equipamentos. A escolha do método de medição de vazão deve ser realizada levando em consideração a característica do curso d'água, equipamentos necessários e recursos disponíveis (ALMEIDA JUNIOR et al., 2010).

Nesse contexto, considerando a precisão da tecnologia acústica para quantificar a vazão de cursos d'água, este estudo técnico procurou comparar os métodos do molinete hidrométrico, o método ADV, e o método do flutuador. Os valores calculados de vazão pelo ADV foram utilizados como referência para validar os resultados dos outros dois métodos, sendo possível observar as similaridades ou diferenças entre os valores de vazão obtidos.

2 Material e métodos

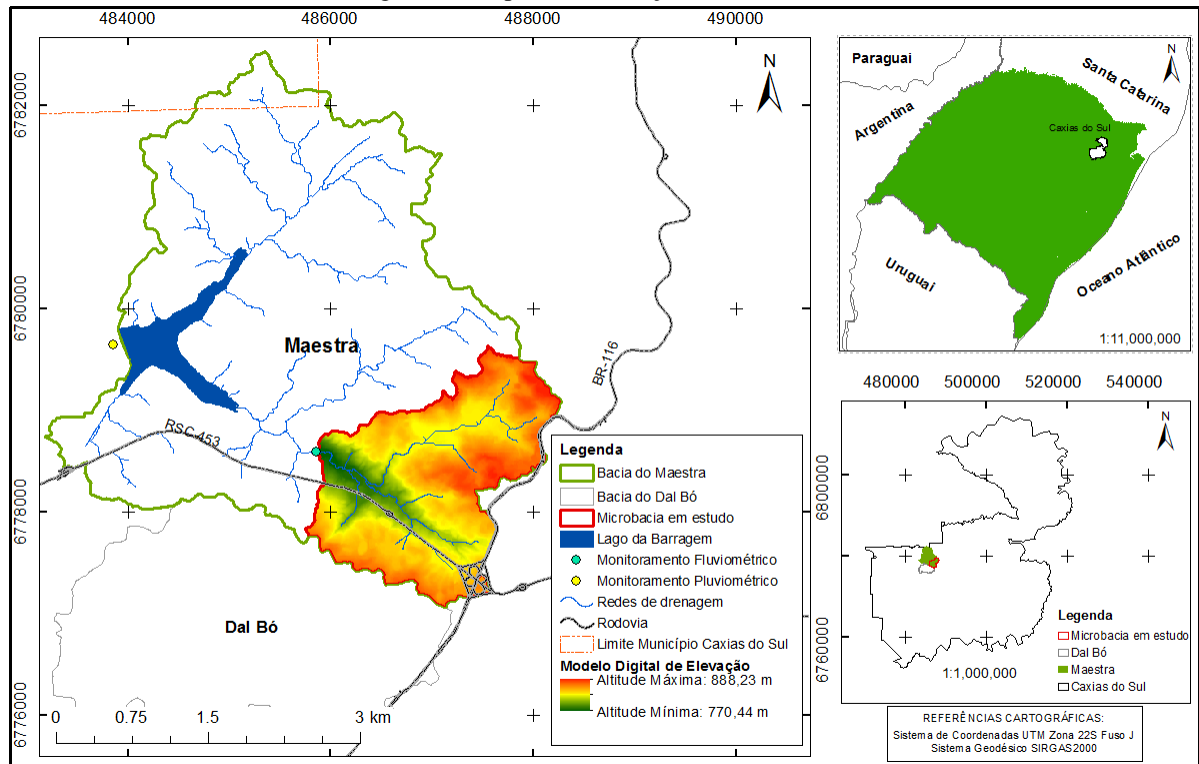
2.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido numa microbacia hidrográfica situada na bacia do Maestra, localizada no município de Caxias do Sul na região fisiográfica da encosta superior do nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A microbacia abrange uma área de 3,53 km² e possui o seu exutório delimitado na seção de monitoramento fluviométrica, localizada nas coordenadas 29°7'15,867"S e 51°8'43,171"O. A bacia do Maestra está inserida na bacia do Taquari-Antas, sendo que a presente microbacia é caracterizada por forte influência da atividade antrópica, através da inserção de edificações e vias pavimentadas. Dessa forma, em função da crescente urbanização, parte da rede hidrográfica passou por um processo de canalização ao longo do seu curso.

A microbacia possui uma variação altimétrica entre 888,23 metros e 770,74 metros, sendo que o talvegue principal possui um comprimento total de 3,47 km e declividade de 33,85 m.km⁻¹.



Figura 1 - Mapa de localização da microbacia.



2.2 Medição de vazão com molinete hidrométrico

O método consiste na medição da descarga líquida, em que o molinete é posicionado contra o fluxo do curso d'água, gerando um determinado número de rotações por segundo em sua hélice. A partir de uma equação característica deste molinete, o número de rotações obtido, durante a realização do teste, é aplicado nessa equação, com o intuito de quantificar uma determinada velocidade. Dessa forma, a vazão pelo método convencional é obtida através do somatório do produto da velocidade pela área molhada da seção transversal (SANTOS et al., 2001).

Para as medições a vau, foram utilizados os seguintes materiais: micromolinete hidrométrico e contador de pulsos eletrônico totalizador da marca Hidromec (Figura 2); trena graduada em escala centimétrica; régua de PVC para medição batimétrica do curso d'água; prancheta para anotação dos dados medidos. A equação do molinete ($V=0,25481 \times \text{Número de rotações} + 0,01650$), utilizada para o cálculo da velocidade, foi determinada através da calibração no Laboratório de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS).

Figura 2 - Instrumentos para medição de vazão a vau.





A metodologia de trabalho em campo (Figura 3) foi baseada em Santos et al. (2001), conforme Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Distância para medições da velocidade do fluxo em função da largura do rio.

Largura do rio [m]	Distância entre verticais [m]
< 3	0,3
3 a 6	0,5
6 a 15	1,0
15 a 30	2,0

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2001).

Tabela 2 - Pontos de amostragem, posição dos pontos e cálculo da velocidade média na subdivisão.

Profundidade (m)	Nº de pontos	Posição dos pontos	Velocidade média na vertical
0,15 a 0,6	1	0,6 p	$V=0,6$
0,6 a 1,2	2	0,2 e 0,8 p	$V=(V_{0,2} + V_{0,8})/2$
1,2 a 2,0	3	0,2; 0,6 e 0,8 p	$V=(V_{0,2} + 2*V_{0,6} + V_{0,8})/4$
2,0 a 4,0	4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p	$V=(V_{0,2} + 2*V_{0,4} + 2*V_{0,6} + V_{0,8})/6$
> 4,0	6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; p e F	$V=((V_s + 2*(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + VF)/10)$

p = profundidade [m]; S = superfície; F = fundo; V = velocidade

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2001).

Figura 3 - Medição de vazão a vau no exutório da bacia.



2.2.1 Método de cálculo da meia seção

Os cálculos utilizados para quantificar a vazão pelo método da meia seção seguiram as seguintes equações apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Cálculos desenvolvidos para determinação da velocidade da seção.

Primeiro passo	Cálculo da largura dos segmentos	$L_n = (d_{n+1} - d_{n-1})/2$
Segundo Passo	Cálculo da área dos segmentos	$A_n = L_n \times P_n$
Terceiro Passo	Cálculo da velocidade no segmento para $n \geq 1$	$Q_n = V_n \times A_n$
Quarto Passo	Somatório das vazões de cada subdivisão	$\sum Q_n = V_n \times A_n$

L_n = Largura [m]; d_{n+1} = Distância [m]; A_n = Área [m²]; P_n = Profundidade na subdivisão [m]; Q_n = Vazão na subdivisão [m³.s⁻¹]; V_n = Velocidade da subdivisão [m.s⁻¹].



2.3 Medição de vazão com método acústico ADV (Acoustic Doppler Velocimeter)

São instrumentos baseados no efeito Doppler, que consiste na emissão de pulsos acústicos na água, e ao refletir nas partículas de água, são receptados pelo próprio equipamento. Os resultados obtidos pelo ADV podem ser diretos, sendo informado pelo equipamento de forma prática, a vazão total que é quantificada na seção transversal, sendo que existe a possibilidade de envio de dados via telefonia móvel (TELLES; GÓIS, 2013).

Segundo Santos et al., (2001), o ADV consegue corrigir algumas deficiências dos molinetes tradicionais em hidrometria, como a impossibilidade de determinar a direção da velocidade, avaliação mais precisa da profundidade, e não possui as imprecisões do molinete em questão a direção do fluxo, pois não é influenciado pela mesma.

No trabalho em campo, foram utilizados os seguintes materiais: ADV Flow Tracker Sontek e trena graduada em escala centimétrica para subdividir a seção transversal (Figura 4). As medições com o ADV foram realizadas nos mesmos pontos em que o método do molinete hidrométrico, sendo necessário inserir os dados de profundidade e distância da margem no equipamento. Deste modo não é necessário o processamento de dados posteriormente, pois o mesmo realiza o cálculo de vazão e caracterização da seção transversal no próprio local, sendo um método mais rápido que o método do molinete.

Figura 4 - Medição com método acústico ADV.



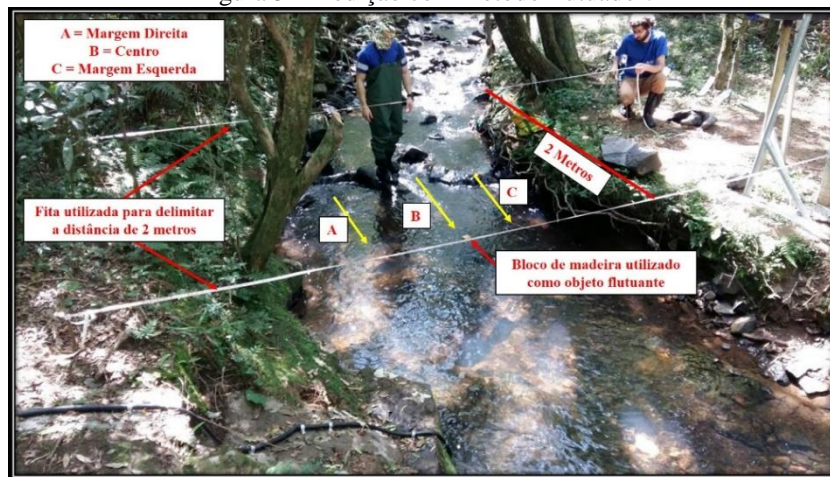
2.4 Medição com flutuadores

O método do flutuador consiste na determinação da velocidade de deslocamento de um objeto flutuante ao longo de um trecho do rio de comprimento conhecido (SANTOS et al., 2001). Para as medições com o método flutuador foram utilizados os seguintes materiais: trena centimétrica; cronômetro; bloco de madeira com dimensões de 5 cm/5 cm/1 cm; levantamento topográfico da seção transversal.

O trabalho em campo consistiu na utilização de uma trena centimétrica na calha do curso d'água, esta foi estendida por 2 metros de distância e o objeto foi arremessado em 3 posições diferentes, na parte esquerda, no centro e na parte direita da seção transversal conforme a Figura 5. Este procedimento foi adotado devido a diferença da distribuição da velocidade em canais abertos, conforme mostrado por Chadwick, Morfett e Borthwick (2017). Com o auxílio de um cronômetro, monitorou-se o tempo necessário para o objeto percorrer o trecho de 2 metros da trena e anotaram-se os valores na caderneta de campo. Ressalta-se que o método flutuador recomenda distâncias maiores que 10 metros, porém, devido à geometria do canal não foi possível realizar tal procedimento, adotando-se assim 2 metros.



Figura 5 - Medição com método flutuador.



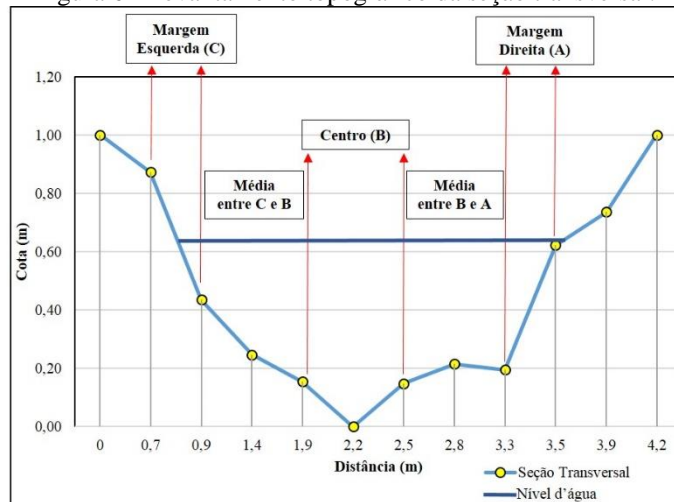
O fator de correção da velocidade utilizado na Equação 1 do método flutuador foi baseado na metodologia da Embrapa (2007), onde considera o valor de 0,8 para rios com fundo pedregoso e 0,9 para rios com fundo barrento. Para o presente estudo o valor considerado foi de 0,85 devido a seção transversal apresentar fundo rochoso e presença de barro em algumas partes do trecho estabelecido para medição.

$$\text{Velocidade} = \text{distância [m]} \times \text{tempo [s]} \times \text{Fator Correção} \quad [1]$$

Com o valor da velocidade observada para os 3 trechos (esquerda, centro e direita), calculou-se a velocidade média entre a margem esquerda e o centro e também para a margem direita e o centro.

Para obter-se o valor da vazão total foi necessário multiplicar a velocidade em cada trecho pela área ocupada pela água na determinada subdivisão (Figura 6). A quantificação das áreas foi desenvolvida no *software* AutoCad a partir do levantamento topográfico da seção transversal e sempre recalculada quando alterada a cota linimétrica nos dias de medição. Os equipamentos topográficos utilizados para o levantamento batimétrico da seção transversal foram: Topcon GTS 212; tripé de alumínio para estação total modelo j30; prisma simples modelo AY01 circular de 64 mm e bastão de 2 m GLS-20B. O georreferenciamento dos pontos da seção transversal foram levantados a partir de dois marcos municipais cadastrados na rede Caxiense de Marcos Geodésicos (RCMGeo, 2014a; RCMGeo, 2014b).

Figura 6 - Levantamento topográfico da seção transversal.





3 Resultados e discussões

Os resultados obtidos na cota linimétrica de 31,5 cm pelos três diferentes métodos hidrométricos de medição de vazão, tiveram resultados similares (Quadro 2). Considerando a medição com ADV como o mais preciso e servindo de validação para os outros dois métodos utilizados, o mesmo apresentou uma vazão calculada de 29,7 L.s⁻¹. Já com o método do flutuador o valor obtido foi de 28 L.s⁻¹, e pelo método da meia seção com uso do molinete o valor encontrado foi também de 28 L.s⁻¹. O erro percentual entre os três métodos foi de 5,7% em relação ao método ADV.

Quadro 2 - Comparação dos resultados obtidos de vazão na seção transversal pelos métodos hidrométricos.

Flow Tracker Sontek (L.s ⁻¹)	Método Flutuador (L.s ⁻¹)	Método Meia Seção (molinete) (L.s ⁻¹)
29,70	28,00	28,00

Realizando cálculos estatísticos dos três valores de vazão obtidos, como média, mediana, desvio padrão e variação, foi possível obter os resultados apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Cálculos estatísticos dos valores de vazão obtidos.

Média	Mediana	Desvio Padrão	Varição
28,57	28,00	0,981	0,963

As velocidades médias obtidas pelos métodos do flutuador e pelo método da meia seção com uso do molinete hidrométrico foram respectivamente, 0,120 m.s⁻¹, e 0,089 m.s⁻¹, representando um desvio padrão de aproximadamente 0,013, uma variação de 0,00018.

4 Conclusão

Os valores de vazão obtidos pelos três diferentes métodos hidrométricos apresentaram valores satisfatórios. Apesar de ter sido realizado apenas uma única comparação entre as técnicas de medição na determinada cota linimétrica, pode-se concluir que o método flutuador modificado demonstrou ser uma técnica simples e de baixo custo, apresentando um erro de 5,7% em comparação ao ADV, equipamento justificado pela bibliografia como sendo de alta precisão e eficiência. Entretanto o cálculo do flutuador entrega resultados com maior confiabilidade quando a batimetria da seção transversal é realizada com estação total, possibilitando assim a adaptação do método como demonstrado na metodologia deste trabalho.

Mesmo após ter sido evidenciado similaridades entre as vazões, deve-se atentar que para o presente estudo foi realizado somente um único teste comparativo na determinada cota linimétrica. Deste modo, a validação do método flutuador para as demais cotas, especialmente em eventos pluviométricos onde encontram-se cotas mais elevadas devem ser contemplados futuramente. Assim o uso do flutuador em eventos extremos é possível, onde o alto nível d'água coloca em risco a segurança do técnico, impossibilitando a medição com o uso do molinete hidrométrico ou ADV.

Assim quando realizado maiores comparações de vazão entre os métodos, será possível uma análise estatística com maior número de amostras, provando a possibilidade do uso do flutuador para as determinadas características encontradas na seção transversal da microbacia em estudo.

Conclui-se que a necessidade de comparar os métodos hidrométricos descritos neste estudo é de relevante importância, mostrando que o método do flutuador é uma técnica viável e que servirá para garantir a integridade de projetos e estudos que envolvam a microbacia hidrográfica e também a bacia do Maestra.



5 Referências

ALMEIDA JUNIOR, A. J. C. D. et al. Medição de velocidade e vazão em cursos d'água: molinete hidrométrico versus método do flutuador. **Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 20.**, n. 18, p. 1–6, 2010.

CHADWICK, A.; MORFETT, J.; BORTHWICK, M. **Hidráulica para engenharia civil e ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Medição de vazão**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Medição da vazão em rios pelo método do flutuador**. Concórdia, Santa Catarina, jul. 2007. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/443939/medicao-da-vazao-em-rios-pelo-metodo-do-flutuador>>. Acesso em: Nov de 2017.

MAIDMENT, D. R. **Handbook of Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1992.

MARIA BONIFÁCIO, C.; FREIRE, R. Comparação de três métodos para a medição da vazão e velocidade aplicados em dois cursos d'água da bacia do Ribeirão Maringá. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 2, p. 406–415, 2013.

SANTOS, I. DOS et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba - PR: LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

RCMGeo. **Rede Caxiense de Marcos Geodésicos**. 2014a. Disponível em: < <https://geofiles.caxias.rs.gov.br/rcmgeo/398.pdf>>. Acesso em Janeiro de 2018.

RCMGeo. **Rede Caxiense de Marcos Geodésicos**. 2014b. Disponível em: < <https://geofiles.caxias.rs.gov.br/rcmgeo/397.pdf>>. Acesso em Janeiro de 2018.

TELLES, D. D.; GÓIS, J. S. DE. **Ciclo ambiental da água**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.