

Rayssa Balieiro Ribeiro

Universidade Federal de Viçosa, Departamento
de Engenharia Agrícola
rayssabalieiro@gmail.com

Fernando Falco Pruski

Universidade Federal de Viçosa, Departamento
de Engenharia Agrícola
ffpruski@ufv.br

Maria Camila Alves Ramos

Universidade Federal de Viçosa, Departamento
de Engenharia Agrícola
mcamilaaramos@gmail.com

DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM CONDIÇÕES DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO

Resumo: Os reservatórios de regularização de vazão apresentam-se como uma importante técnica para otimização do uso da água em uma bacia hidrográfica, uma vez que armazena água nos períodos de excedente hídrico para uso nos períodos de escassez, permitindo, desse modo, que a disponibilidade hídrica aproxime-se da potencial da bacia. No Estado de Minas Gerais, a vazão máxima outorgável em cursos d'água regularizados é expressa pela Q_{mld} menos 50% da $Q_{7,10}$, enquanto que em condições naturais o limite máximo outorgável corresponde a 50% da $Q_{7,10}$. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou analisar as variações na disponibilidade hídrica ocasionadas pela consideração da vazão permissível para outorga para condições de regularização em relação ao critério a fio d'água, sendo para isso apresentado um estudo de caso para a bacia do Paracatu. Para isso, foi estimada, para cada trecho da hidrografia, a relação $Q_{mld}/Q_{7,10}$ e a diferença percentual entre os critérios utilizados no estado para concessão de outorga com e sem a presença de estruturas de regularização. Os valores obtidos para a relação $Q_{mld}/Q_{7,10}$ variaram de 3,7 a 10,0, e o incremento de disponibilidade de 531 a 1795%, resultado que reforça a potencialidade dos reservatórios no aproveitamento do uso da água.

Palavras-chave: Disponibilidade natural. Disponibilidade potencial. Reservatórios de regularização. Armazenamento de água. Gestão de recursos hídricos.

WATER AVAILABILITY IN CONDITIONS OF REGULARIZATION OF STREAMFLOW

Abstract: The streamflow regularization reservoirs are an important technique for optimizing water use in a watershed, since it stores water during periods of water excess for use during periods of scarcity. Therefore, it allows water availability to approach the potential of the basin. In the Minas Gerais State, the maximum streamflow permissible for water grant in regularized watercourses is expressed by Q_{mld} minus 50% of $Q_{7,10}$, while in natural conditions the maximum permissible limit corresponds to 50% of $Q_{7,10}$. In this sense, the present study aimed to analyze the variations in the water availability caused by the consideration of the water grant criterion in conditions of streamflow regularization in relation to the natural condition, presenting a case study for Paracatu river basin. For this, it was estimated, for each stretch of hydrography, the relation $Q_{mld}/Q_{7,10}$ and the percentage difference between the criteria used in the concession granting state with and without the reservoirs. The values obtained for the ratio $Q_{mld}/Q_{7,10}$ ranged from 3.7 to 10.0, and the availability

increase from 531 to 1795%, a result that reinforces the potential of the reservoirs in the use of water.

Keywords: Natural availability. Potential availability. Regularization reservoirs. Water availability. Water storage. Management of water resources.

Recebido em: 01/11/2018 - Aprovado em: 10/12/2018 - Disponibilizado em: 22/12/2018

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de extrema importância para a manutenção da vida no planeta, sendo sua utilização indispensável para diversas atividades humanas. Entretanto, com intenso crescimento populacional e o desenvolvimento das atividades econômicas nos últimos anos, tem-se tornado comuns quadros de escassez, em que a disponibilidade hídrica não é suficiente para atender as demandas.

Esse contexto, somado às projeções de aumento da população mundial em cerca 30% (UNITED NATIONS, 2017) e da demanda hídrica em aproximadamente 55% até 2050 (WWAP, 2015) têm aumentado as preocupações e incertezas quanto à garantia de suprimento de água e motivado a busca por políticas de planejamento e gestão a fim de atenuar os conflitos já existentes e futuros.

No Brasil, o controle entre demandas e oferta hídrica é regulado pela outorga do direito de uso da água, que consiste em um dos instrumentos de gestão instituídos pela Lei Federal 9.433 de 1997.

Para a concessão de outorgas é imprescindível o conhecimento da disponibilidade hídrica ao longo da hidrografia e o entendimento de sua distribuição espacial e temporal nos cursos d'água. A disponibilidade dos recursos hídricos é representada pelas vazões mínimas, caracterizada como a disponibilidade hídrica natural (SMAKHTIN, 2001), e pelas vazões médias de longa duração, que refletem a disponibilidade hídrica potencial de uma bacia (PRUSKI & PRUSKI, 2011).

Nos períodos de estiagem, podem ocorrer situações em que a disponibilidade natural não seja suficiente para atender as demandas existentes na bacia. Nessas circunstâncias, tem-se a possibilidade de potencializar o uso da água pela regularização de vazões, que pode ser feita pela construção de reservatórios (BARBOSA, 2011), os quais armazenam o excesso de água nos períodos de maior oferta e a disponibilizam nos períodos de seca (XU et al., 2017).

Os reservatórios de regularização modificam o suprimento de água a jusante, tendendo a aumentar a vazão mínima

disponível, aproximando-a da vazão média. É importante destacar que a disponibilidade de água não pode superar o potencial da bacia, a menos que se tenha transposição (NUNES & PRUSKI, 2015; ASFORA & CIRILO, 2005).

A construção de reservatórios de regularização permite que a concessão de outorgas de direito de uso da água englobe um maior número de usuários, o que maximiza os benefícios da adoção dessa prática (NUNES & PRUSKI, 2015). Conforme a resolução conjunta da SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março de 2012, que dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais, as outorgas a fio d'água podem ser concedidas até que se atinja o valor de 50% da vazão mínima média de sete dias de duração considerando um período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) para a maioria das bacias hidrográficas estaduais. Em condições em que o curso d'água esteja regularizado, a concessão de outorgas pode ser feita até que se atinja a vazão média de longa duração (Q_{mld}), deixando uma vazão remanescente de pelo menos 50% da $Q_{7,10}$.

A estimativa da disponibilidade hídrica considerando esses dois critérios tem potencial de permitir um melhor planejamento do uso da água em situações de conflito e onde há sazonalidade das

vazões naturais, o que de acordo com ANA (2013), ocorre em boa parte dos regimes hidrológicos no país, em que as vazões sofrem variações de acordo com a época do ano.

A bacia do rio Paracatu embora situada em uma região hidrográfica de elevada disponibilidade hídrica, quando analisada a relação demanda/disponibilidade apresenta algumas sub-bacias em condição preocupante (ANA, 2009). Ramos (2016), analisando o comportamento sazonal das vazões em diferentes seções dessa mesma bacia, observou que as vazões mínimas correspondentes ao mês de máxima oferta são da ordem de 1,59 a 6,78 vezes as vazões mínimas anuais para os mesmos locais, o que indica um expressivo aumento de disponibilidade hídrica em relação ao período mais crítico do ano e, conseqüentemente, elevado potencial de regularização de vazões através da construção de reservatórios.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou analisar as variações na disponibilidade hídrica ocasionadas pela consideração da vazão permissível para outorga para condições de regularização em relação ao critério a fio d'água, sendo para isso apresentado um estudo de caso para a bacia do Paracatu.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

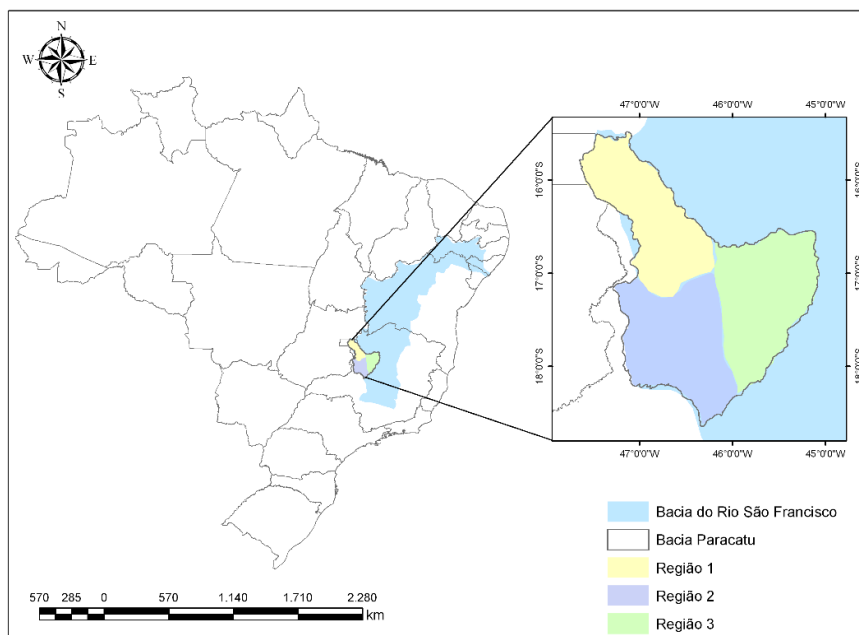
O estudo foi realizado para a bacia do Paracatu (Figura 1), a qual tem a maior proporção de sua área, cerca de 92%, situada no estado de Minas Gerais, enquanto o restante, 5 e 3%, ocupa áreas do estado de Goiás e do Distrito Federal, respectivamente (IGAM, 2006). O rio Paracatu apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 45.600 km² e contribui com 40% da vazão do São Francisco (PEREIRA et al., 2007).

O clima dessa bacia, de acordo com a classificação de Köppen, é caracterizado

como megatérmico chuvoso do tipo Aw, isto é, quente e úmido com chuvas de verão (BRASIL, 1998).

A bacia em estudo é dividida em três regiões hidrologicamente homogêneas (RHH) quanto às vazões médias e mínimas: região I, que engloba as sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto; região II, que vai da cabeceira do rio Paracatu até a confluência com o ribeirão Entre Ribeiros; e a região III, que corresponde ao restante da bacia até a foz do rio Paracatu no rio São Francisco (PRUSKI et al. 2011).

Figura 1 - Localização geográfica da bacia do rio Paracatu e suas RHH



Dados utilizados

Para caracterização da disponibilidade hídrica em condições a fio d'água e de regularização foram utilizadas a $Q_{7,10}$ e a Q_{mld} , respectivamente. Essas vazões foram obtidas pelo “Estudo de

regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no estado de Minas Gerais”, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de

Viçosa (GPRH/UFV) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (2012).

$$\Delta\text{Disp. \%} = \frac{(Q_{\text{mld}} - 0,5 Q_{7,10}) - 0,5 Q_{7,10}}{0,5 Q_{7,10}} 100 \quad (1)$$

Disponibilidade hídrica

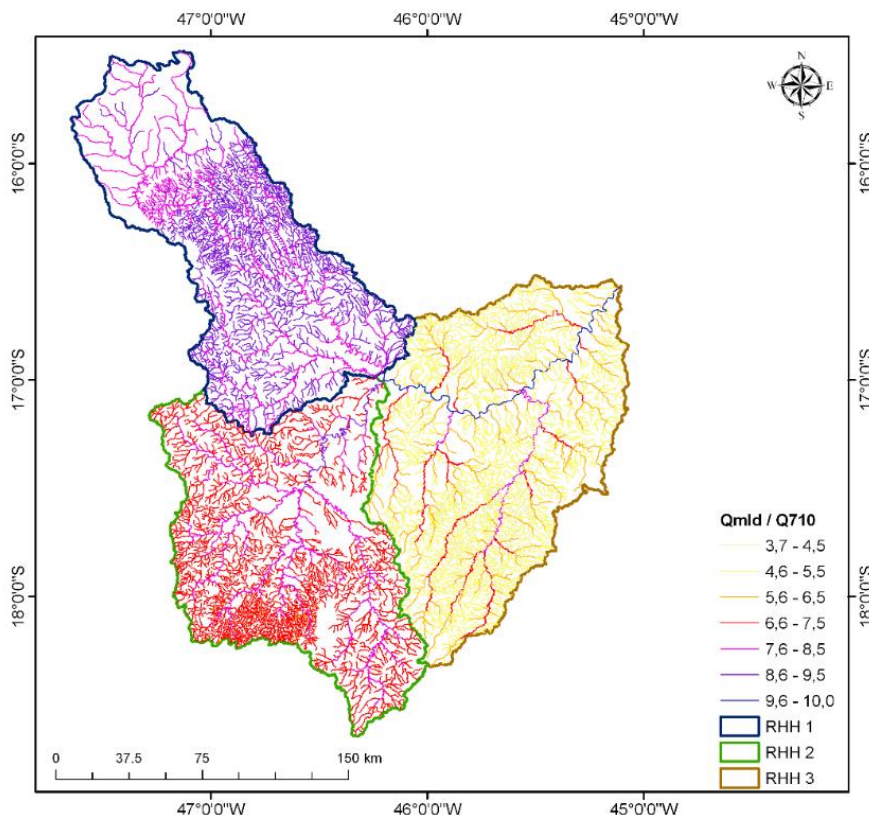
Primeiramente, foi feita uma análise da relação entre a disponibilidade hídrica potencial (Q_{mld}) e a natural ($Q_{7,10}$) ao longo da hidrografia e, posteriormente, calculou-se o aumento de disponibilidade devido à consideração da vazão permissível para outorga para condições de regularização em relação ao critério a fio d'água, a partir da aplicação da equação:

em que: em que $\Delta\text{Disp. \%}$ é o acréscimo em disponibilidade hídrica devido à consideração da vazão permissível para outorga para condições de regularização em relação ao critério a fio d'água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 está apresentado o mapa da relação $Q_{\text{mld}}/Q_{7,10}$ obtido para a bacia do Paracatu.

Figura 2 - Relação $Q_{\text{mld}}/Q_{7,10}$ para a bacia do Paracatu



Observa-se que os valores da relação $Q_{\text{mld}}/Q_{7,10}$ variaram de 3,7 a 10,0,

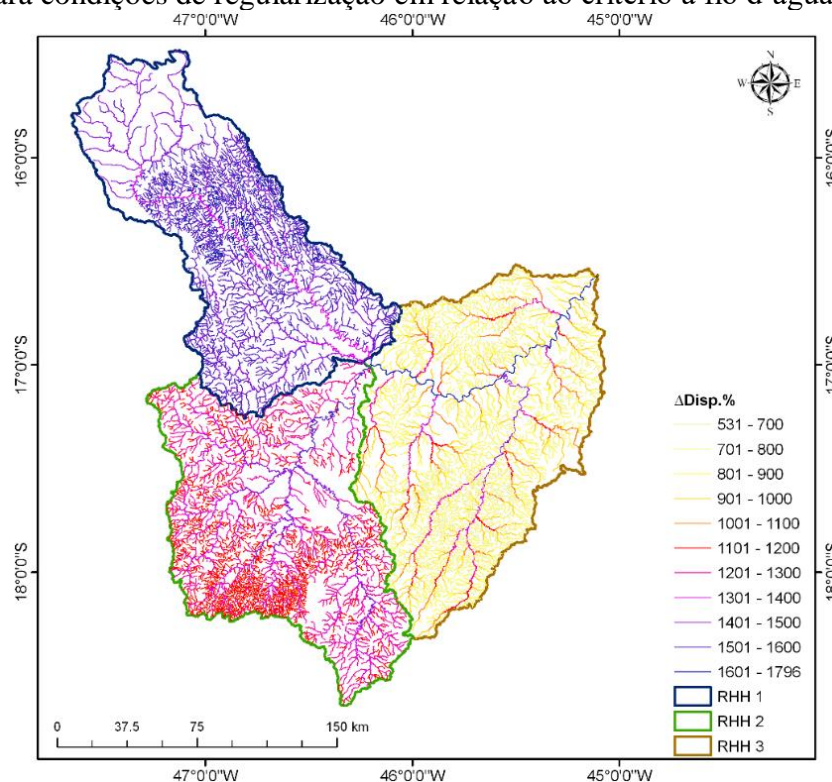
sendo os maiores valores observados na parte noroeste da bacia, que de acordo

IGAM (2006) se caracteriza por uma região com hidrogeologia cárstica e maiores precipitações anuais, e os menores valores na porção leste, na qual segundo apresentado no mesmo estudo citado predominam sistemas hidrogeológicos fraturados e onde são evidenciados os menores totais precipitados na bacia. Nota-se também uma expressiva diferença no comportamento dos valores observados para a relação nas diferentes regiões hidrologicamente homogêneas. A RHH 1, embora tenha apresentado pequena amplitude de variação, de 7,8 a 9,7 (média de 8,6), correspondeu a região de maior valor médio da relação $Q_{mld}/Q_{7,10}$, sendo seguida pela RHH 2, em que os valores

oscilaram de 6,3 a 8,6 (média de 7,1) e pela RHH 3, a qual apresentou maior variação dos valores de 3,7 a 10,0, (média de 5,3). Nunes e Pruski (2015) calcularam essa mesma relação para a sub-bacia do Entre Ribeiros, localizada na porção sul da RHH 1, e obtiveram valores entre 8,3 a 9,0 o que confirma os resultados apresentados.

As variações da relação $Q_{mld}/Q_{7,10}$ estão relacionadas ao acréscimo em disponibilidade hídrica devido à consideração da vazão permissível para outorga para condições de regularização em relação ao critério a fio d'água, $\Delta Disp. \%$, que são apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Aumento de disponibilidade devido à consideração da vazão permissível para outorga para condições de regularização em relação ao critério a fio d'água ($\Delta Disp. \%$)



Observa-se que o Δ Disp.% para a bacia do Paracatu variou de 531 a 1795%, com valor médio de 117 %, e seguiu a mesma tendência de comportamento discutida para a relação $Q_{mld}/Q_{7,10}$.

Os resultados apresentados reforçam a potencialidade dos reservatórios de regularização de vazão na atenuação dos problemas relacionados à disponibilidade hídrica, sendo um aspecto de grande importância para o planejamento e gestão desses recursos.

No presente trabalho, avaliou-se apenas os termos quantitativos em relação ao incremento da disponibilidade hídrica. Entretanto, uma consideração a ser feita em relação à utilização dos reservatórios de regularização de vazão, é que, assim como toda prática tecnológica, os mesmos estão associados a impactos positivos e também negativos. A construção de estruturas de regularização é acompanhada de consequências ambientais, sociais, e ainda riscos provenientes de uma eventual

ruptura. Portanto, a utilização desse tipo de prática deve ocorrer em situações nas quais a adoção de medidas como a consideração da variação sazonal da disponibilidade hídrica natural e/ou a redução das demandas não forem possíveis ou suficientes para contornar a escassez hídrica.

CONCLUSÕES

Os reservatórios de regularização permitem que a disponibilidade de uma bacia se aproxime de seu potencial, possibilitando que a concessão de outorgas seja menos restritiva, atuando como uma alternativa ao planejamento e gestão em condições de escassez. Nesse contexto, o presente estudo estimou, para a bacia do Paracatu, a relação $Q_{mld}/Q_{7,10}$ e observou variações de 3,7 a 10,0, as quais estiveram relacionadas a incrementos de disponibilidade de 531 a 1795%.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2009**. Brasília, ANA: 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos 2013**. Brasília, ANA: 2013.

ASFORA, M. C.; CIRILO, J. A. Reservatórios de regularização: alocação de água para usos múltiplos com diferentes garantias. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 2, p.27-38, 2005.

BARBOSA, A. R. **Regularização de Vazão**. Notas de aula da disciplina Hidrologia Aplicada. 2011. 9 p.

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu**. Brasília: PLANPAR, 1998. v.1, t.1. CD-ROM.

GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS (GPRH), INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM), Vários colaboradores. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, IGAM: 2012.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM) - Comitê da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu. **Plano diretor de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu**: resumo executivo. Belo Horizonte: IGAM, 384 p., 2006.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012. **Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/CTIG/4-r-c-semad-igam-no-1548-versao-publicada.pdf>>. Acesso em: 18 de abril de 2015.

NUNES, A. A.; PRUSKI, F. F. The effect of reservoirs on water availability. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p.7-15, 2015.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. DA; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p.615–622, 2007.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. D. G.; SOUZA, J. F.; SILVA, B. M. B.; SARAIVA, I. S. Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 67-77, 2011.

PRUSKI, F. F.; PRUSKI, P. L.. Technology and innovation in the face the water resources management. In: Medeiros, S. de S., Gheyi, H.R., Galvão, C., de, O., Paz, V.P.S. (Eds.), **Water resources in arid and semiarid regions**. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, 27-58, 2011.

RAMOS, M. C. A. **Critérios de valoração da água com base na sazonalidade das vazões e na efetiva demanda hídrica das culturas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SMAKHTIN, V.U. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, v. 240, p. 147-186, 2001.

UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. **World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables**. Working Paper No. ESA/P/WP/248, 2017.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO: 2015.

XU, B.; BOYCE, S. E.; ZHANG, Y.; LIU, Q.; GUO, L.; ZHONG, P. A. Stochastic programming with a joint chance constraint model for reservoir refill operation considering flood risk. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 143, n. 1, 04016067, 2017.