

MAPEAMENTO DE CURSOS DE ÁGUA COM BAIXA CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO NATURAL NA BACIA DO SÃO FRANCISCO EM MINAS GERAIS

HUMBERTO PAULO EUCLYDES¹; PAULO AFONSO FERREIRA²; REYNALDO FURTADO FARIA FILHO³; DANIEL ROSSI ALTOÉ⁴

¹ Pesquisador, Msc, RURALMINAS/UFV/Viçosa – Brasil. e-mail: hpeuclyd@ufv.br;

² Professor, PhD, DEA/UFV/Viçosa – Brasil. e-mail: pafonso@ufv.br;

³ Professor, MSc, UNIFEI/ Itajubá – Brasil. E-mail: reynaldofilho@unifei.edu.br;

⁴ Estudante graduação, DEC/UFV/Viçosa – Brasil. e-mail: daniel.altoe@ufv.br.

Resumo: Neste trabalho descrevem-se os estudos realizados e a metodologia para o mapeamento de cursos de água com baixa capacidade de regularização natural localizados nas regiões hidrográficas mineiras pertencentes a bacia do rio São Francisco. A relação entre a disponibilidade hídrica máxima representada pela vazão média, e a vazão mínima da estação seca é um indicador da necessidade de regularização natural de um curso de água. Este indicador, denominado índice de vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($r_{7,10}$), foi estimado utilizando séries temporais de 93 estações fluviométricas localizadas nas regiões em estudo. Os resultados foram agrupados em quatro intervalos de classe, em que o intervalo de baixa capacidade de regularização natural foi estabelecido, quando $r_{7,10} \leq 10\%$ da Q_{mlp} . Os valores extremos (máximos e mínimos) foram identificados na bacia do São Francisco, ou sejam: a) sub-bacia do rio carinhanha como a de maior capacidade de regularização natural ($r_{7,10}$ de 41 a 70% da Q_{mlp}); e b) sub-bacia do rio Verde Grande que apresentou os menores índices de vazões mínimas ($r_{7,10} \approx 1\%$ da Q_{mlp}). Nas 24 seções fluviais identificadas nesse estudo como de baixa capacidade de regularização natural, recomenda-se aos órgãos gestores maior atenção no gerenciamento dos recursos hídricos.

Palavras-chaves: aquíferos, índice de vazão mínima, gerenciamento de recursos hídricos

Abstract: This paper describes the studies and the methodology for mapping the water-course flows with low natural regularization capacity and located in the hydrographic regions of the Minas Gerais state belonging the basin of San Francisco. The relationship between the maximum water availability represented by average flow and the minimum flow during dry season is an indicator of the need for natural regularization of a water-course. This indicator so-called as minimum flow index ($mfi = Q_{7,10}/Q_{mlp}$) was estimated, by using temporary series of 93 fluviometrics stations located in the regions under study. The results were grouped into four class intervals, in which the interval of the low natural regularization capacity was established when $mfi \leq 10\%$. The extreme values (maximum and minimum) were identified in São Francisco basin river, that are: a) sub-basin

of the Carinhanha river showing higher natural regularization capacity (mfi from 41 up to 70%), and b) sub-basin of the Verde Grande river that showed the lowest flow rates (mfi \approx 1% Qmlp). In the 24 river cross sections identified in this study as those showing low natural regularization capacity, a special attention to the management of the hydric resources is recommended to their administrators.

KEYWORDS: aquifer, minimum index flow, management of hydric resources

Introdução: Nas diferentes etapas do planejamento dos recursos hídricos é necessário conhecer a distribuição temporal e espacial das vazões dos cursos de água. A vazão média não deve ser considerada como único parâmetro para representar a disponibilidade hídrica, uma vez que as vazões dos rios dependem da sazonalidade e da variabilidade climática. Portanto, os períodos críticos em termos de disponibilidade hídrica devem ser avaliados, a fim de garantir uma margem de segurança às atividades de planejamento e gestão. As vazões de estiagens podem ser analisadas em função da frequência de ocorrência de vazões em uma seção do rio da bacia hidrográfica. A relação entre a disponibilidade hídrica máxima representada pela vazão média, e a vazão mínima de estiagem é um indicador da necessidade de regularização natural de um curso de água. Este indicador, denominado índice de vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($r_{7,10}$), depende da capacidade de regularização natural do curso de água, ou seja, quanto menor este índice maior a variação de vazão durante os períodos de estiagens, com baixa capacidade de regularização natural (Tucci, 2002). Os valores destes índices aumentam à medida que o curso de água possui maior regularização. Em geral as bacias hidrográficas localizadas sobre formações sedimentares, com maior área de drenagem e/ou com regularidade de chuvas, apresentam vazões durante o período seco entre 20 a 30% da vazão média, podendo alcançar 70%. Por outro lado, as bacias localizadas em formações cristalinas, e regimes irregulares de chuvas possuem vazões muito baixas durante o período de estiagem, geralmente, inferiores a 10% da vazão média (ANA, 2005). Desde a década de 1960, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos no sentido de uma melhor compreensão da interação entre os sistemas hídrico superficial e subterrâneo. Diversas soluções analíticas são encontradas na literatura procurando descrever a interação entre aquíferos confinados, semiconfinados e livres e seus efeitos sobre as vazões dos rios. Relativamente aos aquíferos semiconfinados poucas soluções analíticas estão disponíveis. Isso se deve às complicações que envolvem a análise do estrato semipermeável sobreposto ao aquífero. Dentre esses trabalhos destacam-se os publicados por Zhang (1992) e Barlow & Moench (1998). Segundo Lima et al. (2007), as soluções analíticas utilizadas para aquíferos confinados foram também diversas vezes aplicadas a condições de aquíferos livres, substituindo-se o coeficiente de armazenamento pela porosidade efetiva. Outros pesquisadores como Jordan (1977), Lane (1983) e Walters (1990),

analisaram sistemas rio-aquífero específicos em função da taxa de diminuição da vazão dos rios ao longo do seu curso. No Semi-Árido brasileiro, os trabalhos de Araújo & Ribeiro (1996), Rego (2001), Araújo (2002) e Lima (2004) apresentam-se como pioneiros nessa linha de pesquisa. Diversas outras modelagens de aquíferos e sistemas rio-aquífero podem ser encontradas em Illangasekare & Morel-Seytoux (1982), Gomes (1990) e Xi Chen & Xunhong Chen (2003). No presente estudo além de salientar a ausência de informações sobre o comportamento das vazões de estiagens, que ocorre num sistema rio-aquífero, objetiva fornecer subsídios aos órgãos responsáveis pela gestão de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais. Analisa as relações existentes entre as vazões de estiagens e as médias, objetivando identificar e mapear, por meio de sistemas de informações geográficas, os cursos de água com baixa capacidade de regularização natural.

Metodologia: A região selecionada para aplicação da metodologia corresponde a região hidrográfica mineira do rio São Francisco (área de drenagem de 531.200 Km²), abrangendo o período de série histórica de 1950 a 2009. O índice de vazões mínimas ($r_{7,10}$) foi estimado usando a relação entre as vazões mínimas (vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos – $Q_{7,10}$) e as vazões médias diárias anuais (vazão média de longo período - Q_{mlp}), obtidas das séries temporais de 93 estações localizadas na região em estudo (HIDROTEC, 2009). Os valores da vazão mínima $Q_{7,10}$ foram obtidos com base em estatística hidrológica por meio de ajustes das distribuições de probabilidades de Weibull e log-normal, a três parâmetros, aos dados das vazões mínimas de estiagem, de cada estação. Os dados foram processados utilizando-se o programa computacional de regionalização hidrológica RH, versão 4.0, desenvolvido no âmbito do programa HIDROTEC e disponibilizado no Atlas (2009). Os intervalos do índice da vazão mínima foram estabelecidos com base no amplo acervo de informações hidrológicas (planos diretores de recursos hídricos), informações locais (visitas técnicas) e com a aplicação do método estatístico de agrupamento de Sturges. Para esse procedimento estatístico utilizou-se o “software” Sistema para Análises Estatísticas- SAEG, versão 9.1 (SAEG, 2007).

Resultados e Discussão: Os resultados foram agrupados em quatro intervalos de classe assim distribuídos: baixa capacidade de regularização ($r_{7,10} \leq 10\%$ da Q_{mlp}); média capacidade de regularização ($r_{7,10}$ de 11 a 30% da Q_{mlp}); alta capacidade de regularização ($r_{7,10}$ de 31 a 40% da Q_{mlp}); e muito alta capacidade de regularização ($r_{7,10}$ 41 a 70% da Q_{mlp}). Por meio do sistema de informações geográficas, software ArcGis 8.3 (ESRI, 2002), realizou-se o mapeamento das seções fluviais na rede hidrográfica das regiões estudadas que apresentaram baixa capacidade de regularização natural ($r_{7,10} \leq 10\%$ da Q_{mlp}). A Figura 1 ilustra graficamente (arquivo de saída do RH 4.0) o ajuste da distribuição de probabilidades de Weibull aos dados das vazões mínimas do

rio Carinhanha na estação de São Gonçalo, enquanto na Figura 2 estão representadas as localizações das seções fluviais (estações), que apresentaram baixa capacidade de regularização natural, na região hidrográfica do Alto Médio São Francisco, em Minas Gerais.

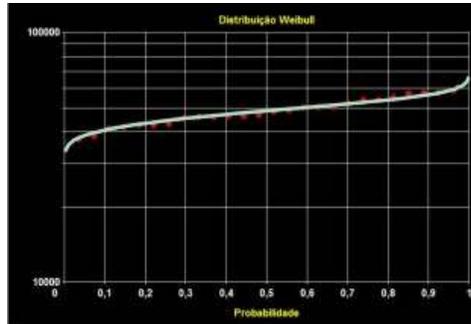


Figura 2. Ajuste da distribuição de Weibull às vazões mínimas do rio Carinhanha em São Gonçalo.

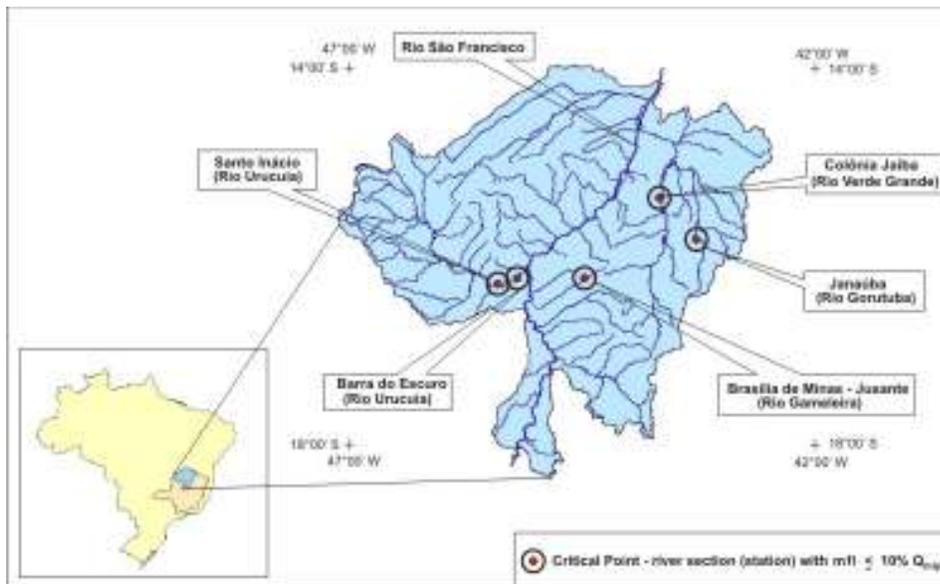


Figura 2. Localizações das seções fluviais que apresentaram baixa capacidade de regularização natural, na região hidrográfica do Alto Médio São Francisco, em Minas Gerais.

Os resultados permitiram identificar 24 seções fluviais com baixa capacidade de regularização natural. A região hidrográfica que apresentou maior capacidade de regularização natural foi a sub-bacia do rio Carinhanha, localizada na margem esquerda do São Francisco, divisa dos estados de Minas Gerais e Bahia. Nessa sub-bacia os índices de vazões mínimas ($r_{7,10}$) foram enquadrados no intervalo de classe de muito alta capacidade de regularização ($r_{7,10}$ de 41 a 70% da Q_{mlp}) mostrando a influência do aquífero Urucuia-Areado, (predominante nesta sub-bacia), na manutenção do escoamento de base dos cursos de água. Em termos globais, a disponibilidade hídrica desse sistema aquífero é elevada. É importante ressaltar que os menores índices de vazões mínimas ($r_{7,10} \approx 1\%$ da Q_{mlp}) foram identificados na sub-bacia do rio Verde Grande, afluente da margem direita do São

Francisco. Essa região hidrográfica, sob a influência do aquífero Bambuí, apresenta áreas de intensa exploração de água. É fundamental destacar que o cálculo das vazões de período seco foi baseado nos dados observados das estações fluviométricas e, portanto, em algumas regiões hidrográficas os resultados podem estar sofrendo influências de eventuais regularizações e/ou usos consuntivos.

Conclusões: Os órgãos gestores de recursos hídricos devem estar atentos ao gerenciar estes recursos onde os cursos de água apresentaram baixa capacidade de regularização natural, principalmente com relação ao lançamento de efluentes e conservação de ecossistemas. Objetivando aumentar a oferta de água nessas bacias de baixa capacidade de regularização natural, recomenda-se: a) outorga associada a regularização de vazão com a construção de reservatório; b) tratamento de efluentes antes de lança-los nos corpos de água, quando da adoção de critérios de outorga; c) utilização de vazões de referência de acordo com as especificidades de cada bacia; e d) introdução da outorga sazonal conforme a modalidade a que se destinam os recursos hídricos (por ex: agricultura irrigada - vazões diferenciadas para os períodos seco e chuvoso do ano).

Referências:

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidades e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente, 2005. 123 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/Tela_Apresentação.html>. Acesso em: 15 out. 2007.

ATLAS digital das águas de Minas ; uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Coordenação técnica, direção e roteirização Humberto Paulo Euclides. 2. ed. Belo Horizonte : RURALMINAS ; Viçosa, MG : UFV , 2009 . 1 CD-ROM. ISBN 85-7601-082-8. Acompanha manual.

ARAÚJO, J. C. **Avaliação de perdas de água em trânsito em rios so Semi-Árido**. Relatório Técnico, FUNCEME. Fortaleza, março. 2002.

ARAÚJO, J.C.; Ribeiro, A.L. **Avaliação de perda d'água em rios do Semi-Árido**. Terceiro seminário de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador-BA,1996.

BARLOW, P.M.; Moench, A.F. **Analytical solutions and computer programs for hydraulic interaction of stream-aquifer systems**. US Geological Survey, Open-File Report 98-415A, pp.85.1998.

ESRI – Environment System Research Institute – **ArcGis, versão 8.3**: Html help control. Rediands, California: ESRI, 2002.

GOMES, C.C. **Modelagem matemática para estudo de comportamento de aquífero aluvial represado por barragem subterrânea**. Dissertação de mestrado. Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 1990.

HIDROTEC- Uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/hidrotec>>. Acesso em: 20-04-2009.

ILLANGASEKARE, T.; Morel-Seytoux, H.J. Stream-aquifer influence coefficients as tools for simulation and management. *Water Resources Research*, v. 18, n.1,p. 168-176.1982.

JORDAN, P.R. **Stream-flow transmission losses in Western Kansas**. *Journal of Hydraulic Engineering*, American Society of Civil Engineers, 103 (HY8), p. 905-919. 1977.

LANE, L.J. **Transmission losses**. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 1983.

LIMA, C.H.R. Estudo da interação rio-aquífero para regime transiente por meio de um modelo analítico. Dissertação de Mestrado. Depto. De Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2004.

LIMA, C.H.R.; Frischkorn, H.; Burte, J. **Avaliação da interação rio-aquífero a partir de dados experimentais e de um modelo analítico**. *Revista Brasileira de Recursos hídricos*, vol.12, nº1, p.217-230, jan/mar 2007.

WALTER, M.O. **Transmission losses in arid regions**. *Journal of Hydraulic Engineering*, 116 (1), p. 129-139.1990.

RÊGO, T.C.C.C. **Simulação de perda de água em trânsito na Bacia do Rio Jaguaribe**. Dissertação de Mestrado, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2001.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS, 2002. 256 p.

ZANG, W.Z. **Transient groundwater flow in an aquifer-aquitard system in response to water level changes in rivers or canals**. *Journal of Hydrology*, 133, p.233-257.1992.

XI CHEM; Xunhong Chen. **Stream water infiltration, bank storage, and storage zone changes due to stream-stage fluctuations**. *Journal of Hydrology*, 280,p.246- 264.2003.