
Estresse hidrológico: aplicação às bacias dos rios Paraopeba e Sapucaí, Minas Gerais

Hydrological stress evaluation of Paraopeba and Sapucaí river basin, Minas Gerais

Matheus Fonseca Durães¹; Carlos Rogério de Mello² e Samuel Beskow³

¹ Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Curitiba, PR, Brasil
mattdduraes@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Lavras, Laboratório de Hidráulica – Departamento de Engenharia, Lavras, MG, Brasil
crmello@deg.ufla.br

³ CDTec/Eng. Hídrica/ Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil
samuel.beskow@ufpel.edu.br

Recebido: 09/01/14 - Revisado: 30/10/14 - Aceito: 01/12/14

RESUMO

O cotejo entre as demandas e as disponibilidades hídricas, em meio às diversas variáveis a serem consideradas na atividade de gerenciamento, apresenta diferentes cenários, cujas avaliações e interpretações são muito úteis às tomadas de decisão pelo órgão gestor de recursos hídricos. Uma das possíveis alternativas para se realizar tal cotejo refere-se ao conceito de estresse hidrológico, o qual estabelece o balanço entre a vazão disponível, obtida com base na curva de permanência de vazões de uma dada seção fluvial, e a soma das demandas. O princípio é definir um valor limiar para a proporção entre o valor de pico do conjunto das vazões de demanda e um dado percentil da curva de permanência, acima do qual se estabelece uma situação de estresse hidrológico. Assim, objetivou-se neste trabalho, empregar este conceito, por meio de um estudo de caso envolvendo as bacias dos rios Paraopeba e Sapucaí, avaliando o nível de estresse distribuído por sub-bacia. Os resultados referentes aos índices de estresse hidrológico no qual as bacias se encontram situam-se em níveis desde baixo a alto, apontando para a necessidade de alterações na política de gestão de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.

Palavras Chave: Gestão de recursos hídricos. Curva de permanência. Vazões de referência

ABSTRACT:

Contrasting water demands and water availabilities, among several variables that are important for natural resource management, present different scenarios, whose evaluation and interpretation are key elements for stakeholders. In this context, one of the possible alternatives refers to the concept of hydrological stress which establishes the overall balance between water availability and water demand, on the basis of the flow duration curve at a given river cross section. The central idea is to define a threshold value for the ratio between the total demand discharge and a given percentile discharge obtained from the at-site flow duration curve, beyond which the hydrological stress is established in a given watershed. This study analyzes the opportunity to employ this concept to water resources management, through a case study in the Paraopeba and Sapucaí river basin, in order to evaluate the stress level distributed by sub-basins. Hydrological stress indices ranged from low to high, pointing to eventual changes in the water resources management policies in the Minas Gerais State.

Keywords: Water resources management. Flow duration curve. Reference discharges

INTRODUÇÃO

Gestores de recursos hídricos, agências governamentais e também os usuários de recursos hídricos deparam-se frequentemente com a questão de manter o fluxo mínimo de água necessário ao equilíbrio dos ecossistemas fluviais e ribeirinhos de uma bacia hidrográfica, ao mesmo tempo em que é preciso reservar ou alocar água para atender aos seus diversos usos, requeridos pelos diferentes setores da economia e usuários ali instalados.

É necessário então, avaliar o grau de comprometimento do curso d'água, utilizando-se para isso indicadores que retratem as situações atual e prospectiva de seus recursos hídricos, estipulando critérios e limites de enquadramento dos cursos d'água semelhante aos níveis de qualidade, em função da disponibilidade e das demandas, buscando otimizar as alocações de água entre os diversos usos e usuários.

Referindo-se ao uso de indicadores, Gao et al. (2008) mostram que sua utilização auxilia na compreensão, por exemplo, dos efeitos da operação de reservatórios a montante, bem como de outras interferências antrópicas no regime hidrológico de um rio, permitindo dessa forma, avaliar o grau de alteração hidrológica que pode ser causada por determinada política no uso dos recursos hídricos. De modo geral, os indicadores hidrológicos permitem caracterizar o estado (ou comportamento) de uma bacia hidrográfica, sumariando aspectos chaves de seu regime hidrológico a partir de um pequeno número de cálculos estatísticos, conforme preconizado por Reichold et al. (2010), tornando seu uso fácil e muito útil do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos locais.

Os métodos de análise hidrológica caracterizam-se por estabelecer vazões de restrição usando somente dados de séries históricas de vazão, entendendo que o limiar de vazão definido é suficiente para a manutenção de certas características do ecossistema (Galvão, 2008), tendo como vantagem, sua maior precisão, uma vez que são calculados diretamente de dados hidrológicos coletados em estações fluviométricas. Os métodos dessa categoria utilizam ferramentas da hidrologia estatística, especialmente a curva de permanência, para fornecer as recomendações de vazões de estiagem e, por sua vez, a disponibilidade hídrica mínima da bacia hidrográfica.

Brandt et al. (2008) citam que, de modo geral, os indicadores de uso consuntivo são determinados com base em análises estatísticas de longas séries fluviométricas capazes de descrever a magnitude e a variação temporal das vazões e do regime hidrológico. O uso deste tipo de indicador reduz a complexidade do sistema de recursos hídricos, possibilitando comparações espaciais entre bacias ou a verificação de mudanças temporais dentro de uma mesma bacia. Neste sentido, Galvão (2008) destaca que o estresse hidrológico pode se estabelecer, a partir de um indicador que estima o nível de impacto ao qual o curso d'água está submetido, por meio de um balanço entre a oferta e a demanda, levando em consideração tanto os efeitos da extração da água, como também, as variações a que estão submetidos os corpos hídricos.

O termo estresse hidrológico tem sido empregado em diferentes regiões, destacando-se os estados americanos de Massachusetts (BRANDT et al. 2008), que considera tanto

os efeitos de qualidade quanto de quantidade de água, e New Hampshire (NHDES, 2013), onde o conceito é aplicado visando identificar e assegurar a demanda futura de água com o objetivo de reduzir os impactos ambientais.

Na Austrália, o Departamento de Recursos Naturais de Nova Gales do Sul vem adotando desde 2006, uma metodologia denominada Macro Water Sharing Plans (MWSP) para determinar o grau de estresse hidrológico, tomando como parâmetros, a vulnerabilidade climática e a razão de uso dos recursos hídricos da bacia estudada (SILVA; GALVÍNIO, 2011). Essa metodologia foi inicialmente utilizada por Gordon et al. (2004) para classificar bacias em Nova Gales do Sul, permitindo dar prioridade aos sistemas altamente estressados e menor prioridade para os sistemas menos impactados.

De acordo com Harris et al. (2006), pode-se relacionar o estresse hidrológico como um indicador obtido a partir da curva de permanência das vazões, tendo como referência o mês mais crítico em termos de disponibilidade hídrica, cujo valor limite corresponde à vazão com permanência de 80%, indicando assim, através do estresse hidrológico, os potenciais riscos que uma determinada demanda por água pode causar em estudos realizados na Austrália.

Essa abordagem permite que as agências governamentais reguladoras tenham maior atuação no gerenciamento dos recursos hídricos, onde o estabelecimento de novas regras de uso pode alterar o pico de demanda diária, diminuindo conflitos pelo uso da água.

A adoção de um valor de referência é um dos principais entraves à implementação de um sistema eficiente de gerenciamento de recursos hídricos. Entretanto, embora essa característica possa ser considerada negativa, a adoção de uma vazão de referência constitui-se em procedimento oportuno para proteção de rios, uma vez que as alocações para derivações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de pequeno risco (SILVA et al., 2006).

Considerando o critério adotado por Harris et al. (2006), o qual utiliza a vazão correspondente a um determinado percentil da curva de permanência e a demanda pelos recursos hídricos, Durães (2010) constatou que para representar o estresse hidrológico em Minas Gerais, a vazão de referência deveria ser considerada com base em toda a série histórica do curso d'água e não somente a série relativa ao período mais seco ou o mês mais crítico em termos de disponibilidade, adotando-se, portanto, a vazão correspondente à 90% de permanência ($Q_{90\%}$) como referência, uma vez que essa variável descreve melhor as condições limitantes de vazão e é um estimador conservador de escoamento de base médio, conforme mostram Wallace & Cox (2002), sendo considerado por Rivera-Ramirez et al. (2002) como um valor limite para advertir níveis críticos de vazões, embora, para situações onde haja conflito, a análise sazonal da $Q_{90\%}$ possa ser considerada.

A vazão de referência neste contexto define um valor que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso de água que enquadre a bacia em um nível de estresse elevado, exigindo um papel mais presente dos órgãos de gerenciamento.

Embora o Estado de Minas Gerais adote o critério para

concessão de outorgas a $Q_{7,10}$, sua utilização para recomendação de vazão e como referência para o estresse hidrológico não possui base ecológica, pois não considera as especificidades dos ecossistemas e ignora a dinâmica natural da ictiofauna e ictioflora, existentes num curso de água (LONGHI; FORMIGA, 2011). Com isto, Durães (2010) propôs níveis de estresse em três categorias, em função da razão entre o total retirado e a vazão de referência, sendo considerado alto, aquele valor cujo somatório dos usos consuntivos supera 50% da $Q_{90\%}$.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o estresse hidrológico nas bacias dos rios Paraopeba e Sapucaí, utilizando a metodologia proposta por Durães (2010), permitindo identificar as áreas mais susceptíveis e, consequentemente, viabilizando ações pontuais por parte dos órgãos gestores.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das áreas de estudo

A área de estudo corresponde às bacias hidrográficas do rio Paraopeba (BHRP) e do rio Sapucaí (BHRS). A primeira é afluente do rio São Francisco, localizado na região central de Minas Gerais na amplitude de coordenadas de -20,85°S e -18,583°S de latitude e de -45,183°W e -43,633°W de longitude, com sua foz localizada na represa da UHE de Três Marias, com área total

de 13.640 Km², porém, delimitada neste estudo até a seção de controle da estação fluviométrica de Ponte da Taquara, cuja área de drenagem é de 8.750 km², devido à disponibilidade de dados somente até esta seção. A segunda área de estudo é integrante da bacia do rio Grande, localizando-se na região sul de Minas Gerais, na amplitude de coordenadas -22,554°S e -22,885°S de latitude e de -45,701°W e -45,735°W de longitude, com área total de 8.882 km², porém, delimitada neste estudo, pelo mesmo motivo anterior, até a seção de controle em Careagu, cuja área de drenagem é de 7.330 km². Esta bacia drena diretamente para o reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas.

A precipitação média anual na BHRP possui variabilidade considerável, variando de 1.700 mm na região de cabeceira a 1.150 mm na região próxima à sua foz. O regime pluviométrico apresenta forte sazonalidade, com ocorrência dos valores máximos mensais concentrados no período de verão, entre dezembro e março, e dos mínimos entre os meses de maio a agosto (DURÃES E MELLO, 2013). A classificação climática de Köppen apresenta as tipologias Cwb, Cwa e Aw (CPRM, 2001). Em relação à BHRS, a precipitação média na cabeceira, influenciada pela Serra da Mantiqueira apresenta um total médio anual superior a 1.800 mm, com duas estações bem definidas, sendo a classificação climática para a região do Alto Sapucaí do tipo Cwb (MAIA, 2003), sendo que nas demais regiões desta bacia, a precipitação média anual está em torno de 1.500 mm, com os meses de dezembro a fevereiro caracterizando-se por serem os mais chuvosos e os meses de mínimos entre junho e agosto. Na Figura 1 é ilustrada a localização da BHRP e da BHRS dentro do Estado de Minas Gerais.

Estimativa do estresse hidrológico

O estresse hidrológico, também designado como EH neste trabalho é um indicador que expressa a quantidade de vazão de um curso d'água que tenha sido significativamente reduzida, e foi estimado a partir da metodologia proposta por Durães (2010) para Minas Gerais.

Na referida metodologia, foi feito um levantamento das vazões outorgadas no país, afim de determinar o limite superior para determinar as classes de estresse hidrológico. Desse modo, avaliou-se os critérios adotados pelos estados da Bahia, Ceará e Espírito Santo, os quais, utilizam como vazão de referência a $Q_{90\%}$. Assim, o estado do Espírito Santo, por ter um limite mais rígido em relação aos demais que utilizam a $Q_{90\%}$, e por estar no Sudeste do Brasil, foi tomado como referência para classificar o maior nível de estresse, uma vez que em sua legislação, o somatório das vazões a serem outorgadas não deve superar 50% da referência, ou seja, a vazão residual (ou ecológica) deve ser igual ou superior que 50% da $Q_{90\%}$. Assim, com o intuito de se ter uma análise qualitativa do nível de estresse, utilizou-se do valor médio da classe mais rigorosa como limite para as classes Baixo e Médio.

Essa metodologia proposta por Durães (2010), assemelha-se às recomendações do método Northern Great Plains Resource Program (MORHARDT, 1986) para vazões ecológicas, o qual se baseia na curva de permanência das vazões, onde a vazão ecológica recomendada para cada mês é igual à vazão que

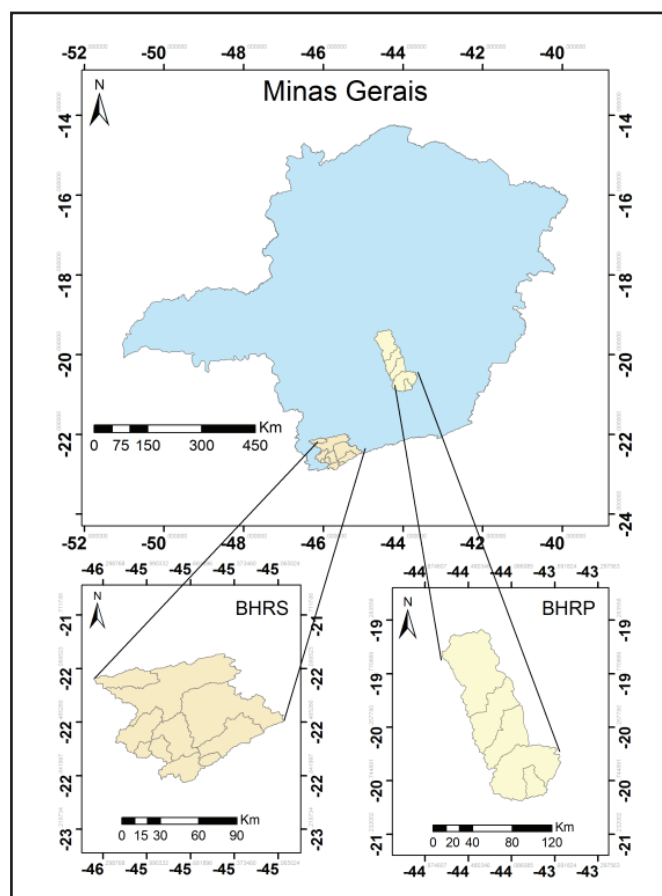


Figura 1 – Mapa de localização das bacias hidrográficas dos rios Paraopeba (BHRP) e Sapucaí (BHRS)

é igualada ou excedida em 90% do tempo, com exceção para meses de vazões mais elevadas.

A análise a partir da curva de permanência permite identificar o comportamento hidrológico da bacia ao longo do tempo bem como acompanhar os efeitos da sazonalidade no regime hidrológico. A partir dessa consideração, os valores de referência podem ser alterados, podendo apresentar valores acima do critério estipulado, tolerando um aumento da demanda por água, tornando-se necessário adotar regras de acesso ao recurso hídrico, como esquematizado na Figura 2.

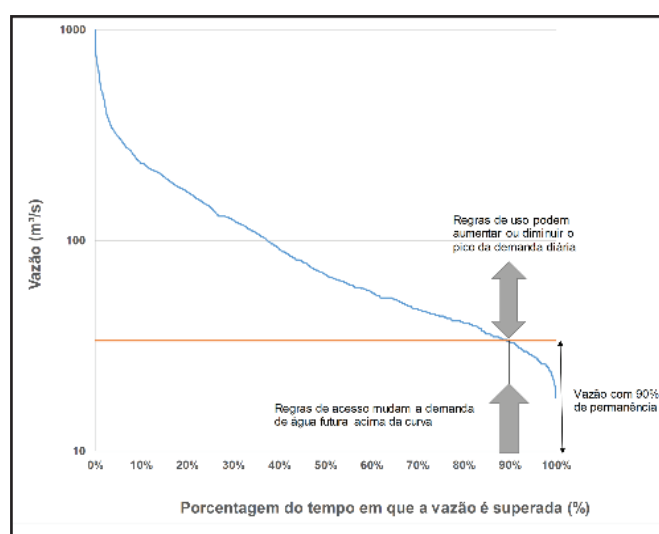


Figura 2 - Curva de permanência esquemática caracterizando o conceito de estresse hidrológico

Considerando a sazonalidade e seus efeitos sobre o regime hidrológico, Mclean (2001) estudou esse comportamento

em uma área reflorestada, comparando as curvas sazonais de permanência e observou diferenças na redução da vazão perceptíveis no verão em relação ao inverno, na Nova Zelândia. Contudo, esse comportamento pode não ser observado em função da maior variabilidade da precipitação nos meses de verão no Brasil, em especial na região Sudeste, o qual é caracterizado por ser chuvoso.

Por outro lado, a curva de permanência varia de acordo com as características fisiográficas da bacia e de acordo com Tucci (2002), bacias maiores e com grande regularização, a tendência é que o trecho médio da curva de permanência apresente um intervalo maior, enquanto para bacias de cabeceira, esse intervalo tende a ser reduzido.

Em razão dessa sazonalidade e efeitos de forma, localização e também da geologia, o estresse hidrológico, segundo a metodologia proposta, pode ser avaliado a partir da curva de permanência, permitindo aos Órgãos Gestores uma melhor atuação nas atividades de gerenciamento, bem como uma análise global considerando todo o período ou uma análise mais rigorosa, avaliando a demanda pelo uso da água em épocas de menor disponibilidade.

Para quantificar os usos de água nas bacias estudadas, foram consideradas no presente estudo as outorgas superficiais e o cadastro de uso considerado insignificante, emitidas pelo órgão responsável por tal concessão de direito de uso em Minas Gerais, no caso, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e para aquelas localizadas em rios federais, as emitidas pela Agência Nacional das Águas (ANA). Foram consultados os processos relativos às outorgas e cadastro válidos e concedidos até julho de 2012.

Deve-se notar que os usos consuntivos (irrigação, abastecimento e outros usos) relacionados a cada um dos postos fluviométricos foram incorporadas à série histórica, para a

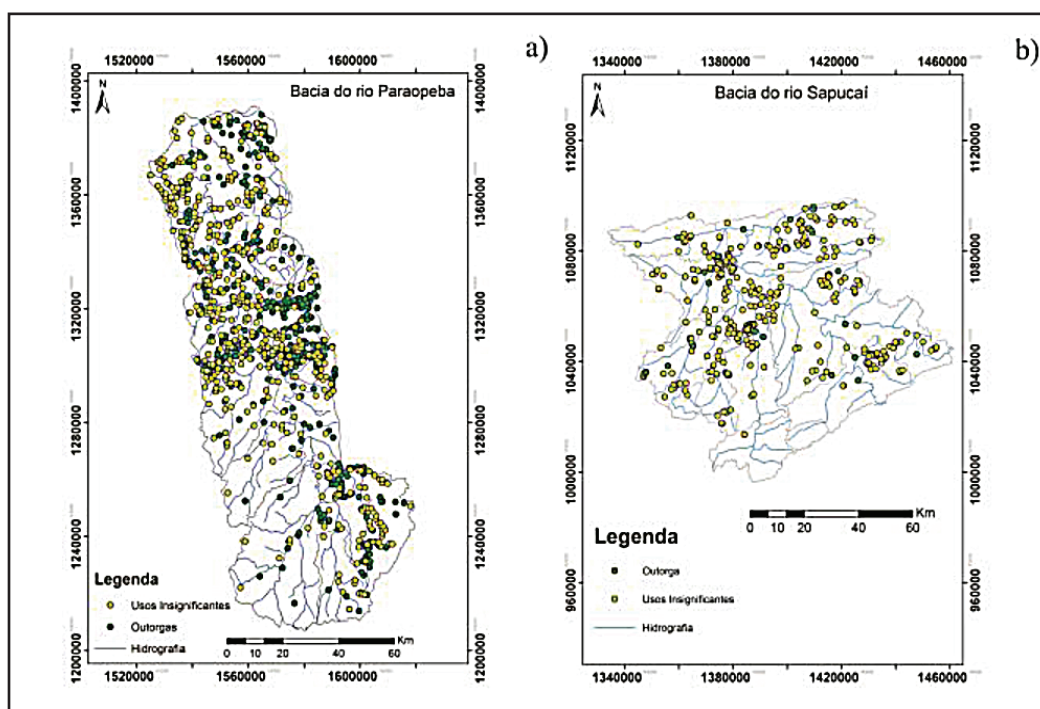


Figura 3 - Distribuição espacial do uso da água na BHRP (a) e na BHRS (b)

Tabela 1 – Postos fluviométricos utilizados no estudo e suas informações

Código	Nome	Operadora	Latitude	Longitude	Área (km²)	Bacia	Posto
40549998	São Brás do Suaçuí - Montante	CPRM	-20,60388	-43,90861	462	BHRP	P1
40710000	Belo Vale	CPRM	-20,40805	-44,02111	2770	BHRP	P2
40740000	Alberto Flores	CPRM	-20,15694	-44,16666	4120	BHRP	P3
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	CPRM	-19,94888	-44,30527	5690	BHRP	P4
40850000	Ponte da Taquara	CPRM	-19,42305	-44,54777	8750	BHRP	P5
61250000	Fazenda da Guarda	IGAM	-22,68778	-45,47972	109	BHRS	S1
61390000	Vargem do Cervo	IGAM	-22,11667	-45,91778	486	BHRS	S2
61271000	Itajubá	IGAM	-22,44278	-45,42722	860	BHRS	S3
61305000	Santa Rita do Sapucaí	IGAM	-22,25139	-45,70889	2810	BHRS	S4
61320000	São Bento do Sapucaí	IGAM	-22,68580	-45,73630	475	BHRS	S5
61360000	Cambuí	IGAM	-22,60690	-46,04170	116	BHRS	S6
61343000	Bairro do Analdino	IGAM	-22,55750	-45,88250	247	BHRS	S7
61350000	Conceição dos Ouros	IGAM	-22,41420	-45,79080	1310	BHRS	S8
61370000	Ponte do Rodrigues	IGAM	-22,37060	-45,88810	676	BHRS	S9
61410000	Careaçu	IGAM	-22,05417	-45,69917	7330	BHRS	S10

naturalização das vazões, no período correspondente à validade desses usos.

Considerando os usos dos recursos hídricos superficiais, foram observadas 7.946 captações na bacia do rio Paraopeba e 667 na bacia do rio Sapucaí (IGAM, 2013). Posteriormente, esses usos foram distribuídos espacialmente, permitindo a obtenção do grau de estresse em nível de sub-bacias, conforme mostra a Figura 3.

Os dados fluviométricos para obtenção da vazão de referência por meio da curva de permanência foram obtidos junto ao site Hidro Web/ANA para ambas bacias, conforme as seções de controle listadas na Tabela 1. De acordo com esta fonte, os dados foram devidamente consistidos, apresentando nível 2 de consistência, não representando limitação ao presente estudo.

A partir das séries históricas, calculou-se o estresse hidrológico pela razão entre a vazão outorgada em cada sub-bacia pela vazão correspondente à 90% de permanência da respectiva seção de controle. Os resultados obtidos foram então classificados conforme Tabela 2, gerando o nível de estresse em cada sub-bacia hidrográfica listada na Tabela 1.

Tabela 2 – Classificação dos níveis de estresse (Durães, 2010)

Nível de Estresse	Critério
Baixo	Somatório das vazões outorgadas está abaixo de 25% da $Q_{90\%}$.
Médio	Somatório das vazões outorgadas está entre 25 a 50% da $Q_{90\%}$.
Alto	Somatório das vazões outorgadas supera 50% da $Q_{90\%}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à BHRP, Durães (2010) caracterizando o estresse hidrológico, observou uma demanda hídrica no ano de 2009 de $11,79 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ até a seção de controle Porto do Mesquita, operado pela CEMIG, cuja área de drenagem totaliza 10.300 km^2 .

Ainda de acordo com este mesmo autor, para o ano de 2009, a vazão outorgada para a seção de controle Ponte Nova do Paraopeba (P4) foi da ordem de $2,73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, sendo que atualmente,

considerando os usos insignificantes, este valor é de $14,52 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Ressalta-se que os valores encontrados de vazão outorgada ocorreram devido a um banco de dados mais consistente, desenvolvido após campanha sistemática e intensa do governo de Minas Gerais para regularização dos usuários junto ao IGAM, muito embora, ainda impreciso e passível de melhorias e de maior controle por parte do órgão responsável. A atualização dos dados de outorga e do cadastro de uso insignificante por parte do Órgão Gestor e sua disponibilidade ao público, possibilitará o acompanhamento das políticas de uso da água, verificando locais onde houve aumento ou diminuição do grau de estresse, alocando recursos para áreas mais estressadas e políticas que permitam o uso consciente da água nas bacias menos impactadas. Ressalta-se que a metodologia do Estresse Hidrológico ainda não vem sendo aplicada pelos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil dada sua incipiência nas condições brasileiras. Neste sentido, o presente estudo traz como contribuição uma análise de gestão baseada em outro princípio do que tradicionalmente vem sendo feito no Brasil e em especial no Estado de Minas Gerais, permitindo identificar áreas com maior possibilidade para conflitos por uso da água. Neste sentido, e por se tratar de um estudo piloto para as condições brasileiras, a escolha destas duas bacias hidrográficas se deveu a dois fatores: ambas são importantes unidades geomorfológicas de Minas Gerais uma vez que alimentam diretamente dois grandes reservatórios de UHE, e, portanto, grandes consumidores de água que impactam os usuários a montante dos mesmos (Furnas e Três Marias) e segundo, são bacias que apresentam uma boa base de dados hidrológicos, com seções fluviométricas que permitem uma análise espacialmente distribuída, bem como um banco de dados absolutamente atualizado pelo órgão gestor de Minas Gerais (IGAM), inclusive com cadastro atualizado de usuários insignificantes, o que em muitas das vezes, limita estudos desta natureza.

As informações contidas na Tabela 3, obtidas pelas curvas de permanência e pelas demandas hídricas por sub-bacia, permitem classificar as bacias em estudo em nível de estresse e assim, identificar as áreas mais estressadas, favorecendo mudanças na forma da gestão dos recursos hídricos. Tais mudanças estão associadas aos procedimentos para emissão de outorgas superficiais bem como identificar, de forma distribuída, sub-bacias que

Tabela 3 – Informações sobre a demanda e vazão de referência nas bacias estudadas

Nome	RE (L s ⁻¹ Km ²)	Q _{90%} (m ³ s ⁻¹)	Q _{outorga} (m ³ s ⁻¹)	Q _{out} / Q _{90%}	EH
São Brás do Suaçuí – Montante	4,54	2,10	0,44	20,95	Baixo
Belo Vale	6,75	18,70	3,86	20,64	Baixo
Alberto Flores	5,24	21,62	6,35	29,37	Médio
Ponte Nova do Paraopeba	5,40	30,75	14,52	47,22	Médio
Ponte da Taquara	4,61	40,41	49,98	122,9	Alto
Fazenda da Guarda	16,23	1,77	0	0	Baixo
Vargem do Cervo	6,07	2,95	0,0039	0,132	Baixo
Itajubá	11,58	9,96	0,0132	0,133	Baixo
Santa Rita do Sapucaí	7,15	20,10	0,405	2,015	Baixo
São Bento do Sapucaí	12,42	5,90	2x10 ⁻⁴	0,003	Baixo
Cambuí	8,10	0,94	4x10 ⁻⁴	0,042	Baixo
Bairro do Analdino	8,14	2,01	7x10 ⁻⁴	0,035	Baixo
Conceição dos Ouros	6,79	8,89	0,0055	0,062	Baixo
Ponte do Rodrigues	8,05	5,44	0,004	0,077	Baixo
Careçu	7,91	58,00	1,45	2,5	Baixo

apresentam usuários em excesso e aumento das condições para possíveis conflitos por uso da água no futuro próximo. Harris et al. (2006), ao avaliarem e classificarem bacias hidrográficas na Austrália, visando a diminuição de conflitos pelo uso da água, propuseram metodologia semelhante a deste trabalho, permitindo identificar áreas mais susceptíveis aos conflitos. A Figura 4 apresenta as curvas de permanência para as seções estudadas e a Figura 5 apresenta o mapeamento do estresse hidrológico na BHRP (5a) e na BHRS (5b).

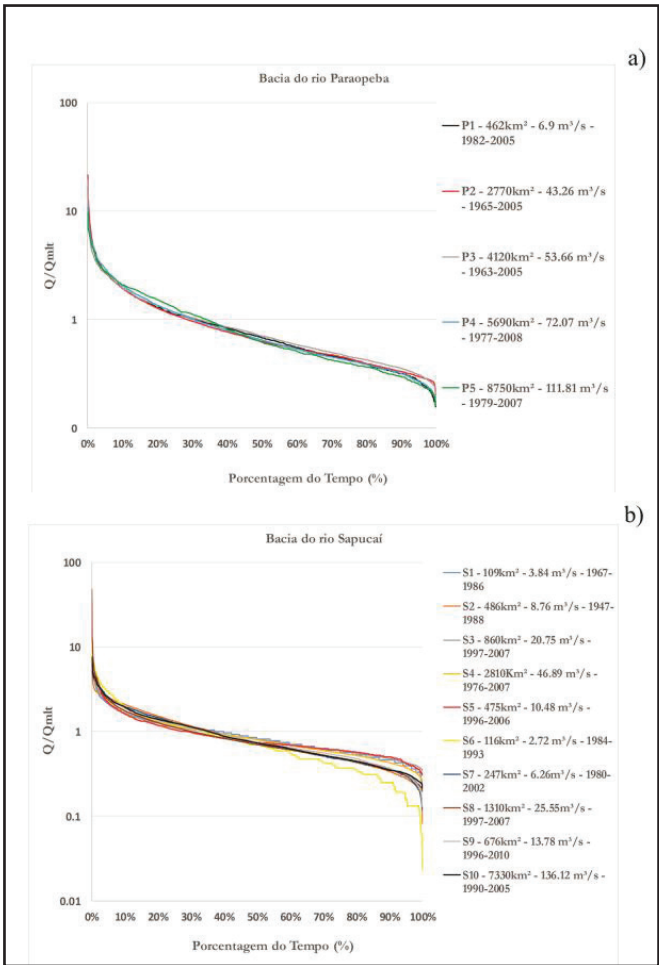


Figura 4 - Curvas de permanência das bacias dos rios Paraopeba (a) e Sapucaí (b), com seus respectivos valores de vazão média de longo termo e período da série

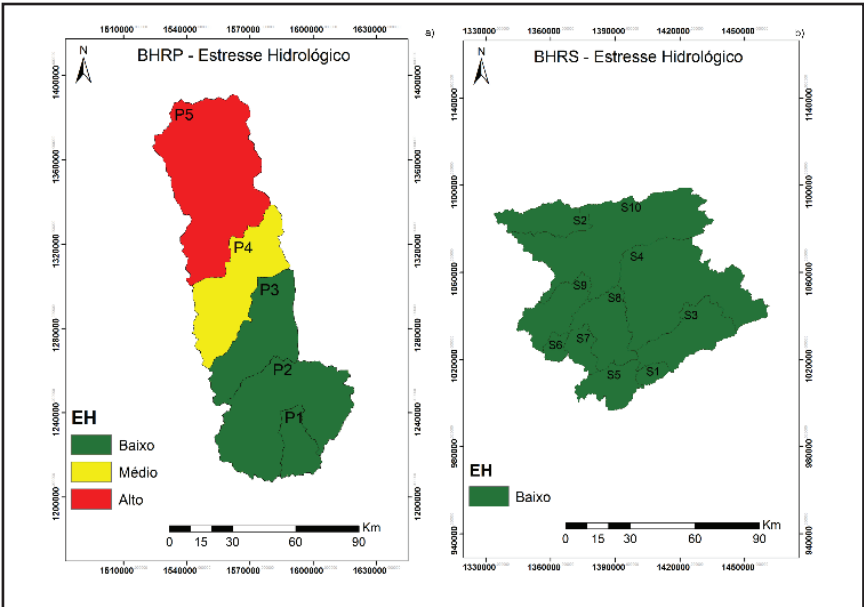


Figura 5 – Distribuição espacial do estresse hidrológico por sub-bacias

Em relação às informações referentes ao consumo de água, observou-se na BHRP uma demanda maior que na BHRS, em virtude do seu maior desenvolvimento urbano e conseqüente pressão exercida pelos usuários de água naquela região.

Na BHRP, destaca-se que a estação Ponte da Taquara se enquadra na categoria de estresse “Alto”, sendo seu valor 1,22 vezes maior que a vazão de referência para o estresse hidrológico ($Q_{90\%}$). As seções Alberto Flores e Ponte Nova do Paraopeba por sua vez, se enquadraram no nível “Médio” de estresse. Contudo, a seção Ponte Nova do Paraopeba apresenta valor bem próximo do limite desta classe. As demais estações desta bacia se enquadraram no nível “Baixo”.

Durães (2010), trabalhando com os dados hidrológicos da BHRP, classificou-a com nível “Médio” de estresse. Porém, deve ser ressaltado que naquela oportunidade foi utilizado apenas o banco de dados disponível para outorgas superficiais, desconsiderando os usuários insignificantes. Observou-se que com a consideração das outorgas de uso insignificante, pôde-se avaliar melhor o grau de comprometimento dos recursos hídricos na BHRP, mostrando assim, a importância de um banco de dados mais consistente, completo e atual como subsídio para a gestão de recursos hídricos.

Os usos enquadrados como insignificantes merecem atenção especial, visto que seu processo de obtenção é simples, atinge um número alto de usuários e seu critério precisa ser discutido em função das pressões exercidas e futuras demandas naquela bacia.

Na BHRP, considerando apenas os usos consuntivos sem o abastecimento público e sem os usos insignificantes, foi obtido um valor outorgado de $6,78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, consumo menor do que obtido por Durães (2010), correspondendo a 13,64% do volume total outorgado na bacia. Isto significa que, a principal fonte de estresse pode ser atribuída aos usos insignificantes.

Em termos comparativos, Schwartzman et al. (2002), encontrou para a mesma bacia, uma demanda de $10,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para agricultura irrigada no ano de 1996, o que demonstra a importância da gestão dos recursos hídricos, bem como no investimento em ter um banco de dados atualizado, o qual, permite acompanhar a tendência de uso da água na bacia.

Em relação à BHRS, o nível de estresse encontrado em todas as sub-bacias foi “Baixo”, o que caracteriza um ambiente com razoável conforto em termos de comprometimento dos recursos hídricos superficiais. Comparativamente, a BHRP é mais populosa que a BHRS, uma vez que na primeira bacia existem importantes cidades e polos industriais do Estado, como é o caso de algumas cidades da região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), além de extensas áreas com agricultura irrigada e cidades de médio e grande porte, que induz um aumento na demanda hídrica. Contudo, além destes aspectos relativos à demanda inferior na BHRS, é importante considerar a maior disponibilidade hídrica desta bacia, traduzida nos valores consideravelmente mais altos de $RE_{90\%}$ (Tabela 3), o que está associado às melhores condições climáticas no tocante ao balanço hídrico vertical (precipitação – evapotranspiração), com maiores excedentes hídricos para promoção de recarga subterrânea (DURÃES; MELLO, 2013).

Os resultados obtidos, principalmente para a BHRP,

reforçam a afirmação de Collischonn et al. (2005) que demonstram a insuficiência do tradicional critério de vazão ecológica como um valor único, no caso de Minas Gerais, 30% da $Q_{7,10}$, válido para todas as épocas e estações do ano.

Informações como o nível de estresse hidrológico são importantes para nortear as emissões de outorga, com maior segurança tanto para o meio ambiente quanto para os próprios usuários, evitando possíveis conflitos, consistindo em ferramenta de gestão que é mais apropriada que a fixação de um percentual de uma vazão de referência, como vem sendo feito atualmente.

CONCLUSÕES

O banco de dados mais consistente e atualizado de usuários de recursos hídricos, principalmente para a bacia do rio Paraopeba, foi fundamental para avaliar um aumento da classe, sugerindo um constante aperfeiçoamento do banco de dados afim de diagnosticar áreas com maiores demandas, principalmente para os usos denominados insignificantes.

Com base nos resultados, fica evidenciado que o conceito de estresse hidrológico permite uma melhor atuação da agência gestora dos recursos hídricos, demonstrando ser uma ferramenta mais eficiente para auxiliar na tomada de decisões em bacias hidrográficas.

A partir da análise da curva de permanência, pode-se adotar medidas que aumentem a oferta hídrica e assegurem um controle mais efetivo dos usuários instalados nas bacias, permitindo uma maior atuação dos Órgãos gestores dos recursos hídricos, proporcionando subsídios que fundamentam a tomada de decisões e ajudam no planejamento e manejo racional da água e permitindo adequar os fatores socioeconômicos aos hidrológicos.

REFERÊNCIAS

- BRANDT, S.; VOGEL, R. M.; ARCHFIELD, S. A. *Indicators of Hydrologic Stress in Massachusetts*, ASCE-EWRI, World Water & Environmental Resources Congress. Honolulu, Hawaii, 2008.
- COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G. R.; TASSI, R.; SOUSA, C. F. *Em busca do hidrograma ecológico*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005. João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH, 20-24 Nov. 200. 1 CD-ROM.
- DURÃES, M. F. *Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído*. 2010. 147f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. Groundwater recharge behavior based on surface runoff hydrographs in two basins of the Minas Gerais state. *Revista Ambiente e Água*, v. 8, p. 57-66, 2013.

- GALVÃO, D. M. O. *Subsídios à determinação de vazões ambientais em cursos d'água não regulados: o caso do ribeirão Pipiripau (DF/GO)*. 2008. 219f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- Gao, Y.; VOGEL, R. M.; KROLL, C. N.; POFF, N. L.; OLDEN, J. D. Development of Representative Indicators of Hydrologic Alteration. *Journal of Hydrology*, v. 374, p. 136-147, 2008.
- GORDON, N. D.; MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L.; GIPPEL, C. J.; NATHAN, R. J. *Stream Hydrology – an introduction for ecologists*. 2a. ed., Editora John Wiley & Sons LTD, 2004. 446p.
- HARRIS, E.; HATFIELD, E.; HEALEY, M.; MILLER, D.; SCHRODER, D. *Macro approach for water sharing in unregulated rivers*. In: INTERNATIONAL RIVER SYMPOSIUM, 9th., Brisbane, Australia, 2006.
- IGAM. *Instituto Mineiro de Gestão das Águas*. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br> Acesso em: abril de 2013.
- LONGHI, E. H.; FORMIGA, K. T. M. Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 20, pp. 33-48, 2011.
- MAIA, J. L. *Estabelecimento de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Alto Sapucaí, com a utilização de sazonalidade*. 2003. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.
- MCLEAN, S. *Baseflow response to vegetation change, Glendhu State Forest*, Otago, New Zealand. 2001. 118f. Dissertação – (Mestrado em Geografia) – University of Otago, Dunedin, 2001.
- MORHARDT, J. E. *Instream flow methodologies*. EA Engineering Science and Technology, Inc. California, USA, 1986.
- NHDES. *New Hampshire Department of Environmental Services*. 2013. Disponível em: http://www.des.nh.gov/organization/commissioner/gsu/nhhdhp/stressed_basin
- REICHOLD, L. ZECHMAN, E. M.; BRILL, E. D.; HOLMES, H. Simulation-Optimization framework to support sustainable watershed development by mimicking the predevelopment flow regime. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 136, n. 3, p. 366-375, 2010.
- SILVA, A. M.; PIERANGELI, C.; MELLO, C. R.; OLIVEIRA, P. M. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 374-380, 2006.
- RIVERA-RAMIREZ, H. D.; WARNER, G. S.; SCATENA, F. N. Prediction of master recession curves and baseflow recessions in the Luquillo mountains of Puerto Rico. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 38, p. 693-704, 2001.
- SCHVARTZMAN, A. S.; NASCIMENTO, N. O.; VON SPERLING, M. Outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos: aplicação à bacia do rio Paraopeba, MG. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 1. p. 103-122, 2002.
- SILVA, E. R. A. C.; GALVÍNIO, J. D. A metodologia de escopo global MWSP aplicada no âmbito local para análise do estresse hidrológico no médio trecho da bacia do Ipojuca – PE: uma contribuição à temática da transposição do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, p. 602-628, 2011.
- TUCCI, C. E. M. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256p
- WALLACE, T. B.; COX, W. E. *Locating information on surface water availability in Virginia* (draft). 24p. 2002. Acesso: www.rapriverbasin.state.va.us/studies. Acessado em set. 2014..