



## Índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba, Estado de Minas Gerais

doi: 10.4136/ambi-agua.1597

Received: 23 Jan. 2015; Accepted: 12 Jun. 2015

Bruno Marcel Barros da Silva<sup>1</sup>; Demetrius David da Silva<sup>2</sup>;  
Michel Castro Moreira<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), Brasília, DF, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil

Departamento de Engenharia Agrícola

<sup>3</sup>Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), Barreiras, BA, Brasil

\*Autor correspondente: e-mail: michelcm@ufob.edu.br,

bruno\_eab@yahoo.com.br, demetrius@ufv.br

### RESUMO

O conhecimento das vazões outorgadas e da distribuição espacial dos usos da água na bacia torna-se indispensável para a condução de uma adequada gestão de recursos hídricos. Neste processo, o uso de índices permite identificar eventuais problemas de conflitos pelo uso da água. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os índices de conflito pelo uso da água na gestão ( $i_{cg}$ ) e no planejamento ( $i_{cp}$ ) de recursos hídricos da bacia do rio Paraopeba, visando identificar potenciais conflitos pelo uso da água e fornecer subsídios às ações do órgão gestor de recursos hídricos do Estado de Minas Gerais. No cálculo dos índices, além do modelo digital de elevação para a obtenção das áreas de drenagem da foz de cada um dos segmentos, foram necessários os valores das vazões outorgadas e das vazões estimadas nas confluências da hidrografia da bacia. Os resultados do cálculo do  $i_{cg}$  mostraram que em 22,7% dos segmentos analisados o total das vazões outorgadas são superiores as estimativas das vazões permitidas, indicando uma potencial situação de conflito pelo uso da água. Na análise do  $i_{cp}$  verificou-se que em três segmentos as vazões outorgadas superaram a vazão média de longa duração. A análise conjunta do  $i_{cg}$  e  $i_{cp}$  permitiu concluir que em eventuais conflitos pelo uso da água a solução pode ser obtida com a adoção de políticas públicas ou investimentos em obras de engenharia que aumentem a disponibilidade de água para outorga ao longo do ano.

**Palavras-chave:** conflito pelo uso da água, disponibilidade hídrica, outorga.

### Indexes for water management and planning on the Paraopeba River Basin, Minas Gerais State

### ABSTRACT

Knowledge of the true amount of officially granted use of water and the spatial distribution of water usage in a watershed has become indispensable for the appropriate management of water resources. In this process, the use of indexes allows for the identification of possible water use conflicts. The objective of this study was to evaluate the

indexes of conflict regarding water use in the management ( $i_{cg}$ ) and planning ( $i_{cp}$ ) of water resources in the Paraopeba River Basin, focusing on identifying possible water resource conflicts and on providing supportive information for the water management agency in Minas Gerais State. Besides the Digital Elevation Model (DEM) for hydrological analyses to calculate the drainage area for every river segment, the official amount of granted water use and estimated river flows at watershed confluences was also needed. The results of the  $i_{cg}$  calculation demonstrated that in 22.7% of the analyzed river segments the use of water was higher than what is legally granted, and this indicates a potential conflict regarding water use. The  $i_{cp}$  analyses showed that in three river segments the use of water was higher than the long-term mean flow. The combined  $i_{cg}$  and  $i_{cp}$  analyses led us to conclude that in the water use conflict scenario the solution could be establishing an infrastructure that would allow a year-round increase in the availability of water to be granted.

**Keywords:** water availability, water-use conflict, water rights.

## 1. INTRODUÇÃO

A outorga de direito de uso da água é o instrumento legal que assegura ao usuário o direito de utilizar, por um período pré-estabelecido, os recursos hídricos, sendo um documento que deve garantir ao órgão gestor o controle quantitativo e qualitativo do uso da água. A outorga não dá ao usuário a propriedade da água ou sua alienação, mas o direito de seu uso, podendo, portanto, ser suspensa, parcial ou totalmente, em casos extremos de escassez ou de não cumprimento pelo outorgado dos termos de outorga previstos nas regulamentações, ou por necessidade premente de se atenderem os usos prioritários e de interesse coletivo (IGAM, 2011).

Considerando que a outorga, exceto em casos excepcionais, garante ao seu detentor a quantidade de água alocada, as vazões outorgadas devem ser consideradas como indisponíveis na bacia quando da análise de concessão de novas outorgas. Dessa forma, a concessão de uma outorga gera impactos na disponibilidade hídrica da bacia em todo o seu período de vigência. Nas bacias em que já são evidenciados conflitos pelo uso da água, como a bacia do rio Paraopeba, as outorgas vigentes se tornam de expressiva importância, uma vez que as vazões nelas alocadas somente se tornarão disponíveis novamente no encerramento do prazo de validade das outorgas (Moreira, 2010).

Assim, o conhecimento da disponibilidade hídrica comprometida pelas outorgas, bem como da distribuição espacial dos usos da água na bacia, torna-se indispensável para a condução de uma adequada gestão de recursos hídricos. Neste processo, o uso de índices permite identificar eventuais problemas de conflitos pelo uso da água advindos da disponibilidade hídrica da bacia.

Dentre os índices existentes se destacam o *Water Scarcity Index* - WSI (Falkenmark et al., 1987), o *Social Water Scarcity Index* - SWSI (Ohlsson, 2000), o *Water Exploitation Index* - WEI (EEA, 2004), e ainda critérios de classificação com base na disponibilidade e na demanda hídrica (ANA, 2005). Estas ferramentas fornecem valores globais para toda bacia, sendo ainda aplicados em nível de países, porém não permitem a observação de diferenças regionais, bem como a variação da disponibilidade e da demanda de água (Yoffe et al., 2003).

Considerando que a maioria dos conflitos pelo uso da água é por falta de planejamento e gestão de recursos hídricos, que estão intimamente ligados à inexistência de informações que associem as vazões já outorgadas com a disponibilidade hídrica, Moreira et al. (2012) propuseram a adoção dos índices de conflito pelo uso da água na gestão ( $i_{cg}$ ) e no planejamento ( $i_{cp}$ ) dos recursos hídricos.

O primeiro índice, relacionado à gestão, demonstra o grau de uso do recurso hídrico em relação à máxima vazão passível de ser outorgada. Já o segundo, relacionado ao

planejamento, demonstra as possibilidades de intervenção no curso d'água a fim de se buscar soluções de impacto imediato e de longo prazo para a mitigação de potenciais conflitos pelo uso da água.

Dessa forma, tendo em vista que a disponibilidade hídrica impõe restrições ao desenvolvimento econômico e social de uma região, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os índices de conflito pelo uso da água na gestão ( $i_{cg}$ ) e no planejamento ( $i_{cp}$ ) de recursos hídricos da bacia do rio Paraopeba, visando identificar conflitos potenciais pelo uso da água e fornecer subsídios às ações do órgão gestor de recursos hídricos do Estado de Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A bacia do rio Paraopeba (Figura 1) está situada no Alto São Francisco e abrange uma área de drenagem de 13.642 km<sup>2</sup>. Representa 2,2% da área do Estado de Minas Gerais, contribuindo com cerca de 9,1% do volume médio escoado na foz do rio São Francisco (Pereira et al., 2007). Os principais afluentes do rio Paraopeba são os rios Maranhão e Betim e o ribeirão São João, pela margem direita; e os rios Camapuã, Manso e Pardo e os ribeirões Serra Azul e Florestal, pelo lado esquerdo (Pinheiro e Naghettini, 2010).

A bacia apresenta grande diversidade nas atividades econômicas, englobando centros industriais e minerários, regiões urbanas mais densamente ocupadas, principalmente no alto curso, e regiões pouco ocupadas e destinadas às atividades agropecuárias no terço inferior do seu curso (Sabino et al., 2008).

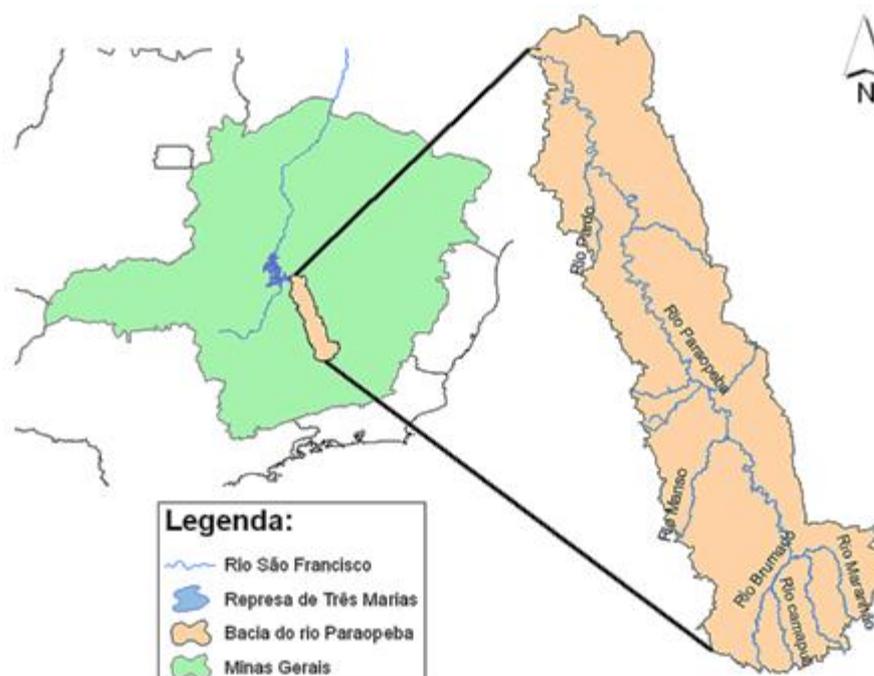


Figura 1. Bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

### 2.2. Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado

A fim de se obter a área de drenagem em diferentes seções da bacia do rio Paraopeba, foi necessária a geração do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) da bacia. Na geração do MDEHC foram utilizados os dados altimétricos, com resolução espacial de 30 metros, do projeto *Advanced Spaceborne Thermal Emission and*

*Reflection* (ASTER); e a base hidrográfica, na escala de 1:1.000.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA).

A partir da amostragem dos dados altimétricos e da hidrografia da bacia, foram realizados o pré-processamento dos dados, a geração do MDE, o pós-processamento do MDE e a validação do MDE, conforme metodologia apresentada por Pires et al. (2005). As etapas de desenvolvimento do MDEHC foram realizadas utilizando-se o pacote Arc Hydro<sup>®</sup> do software ESRI ArcGIS<sup>®</sup> (ArcGIS).

### 2.3. Cálculo dos índices

Os índices de conflito pelo uso da água na gestão ( $i_{cg}$ ) e no planejamento ( $i_{cp}$ ) dos recursos hídricos, conforme propostos por Moreira et al. (2012), são aplicados aos segmentos da hidrografia da bacia. Os segmentos da hidrografia da bacia foram classificados de três formas: os trechos de curso d'água entre uma foz e sua primeira confluência; os trechos entre confluências vizinhas; e os trechos entre uma confluência e sua nascente (Figura 2).



**Figura 2.** Identificação de segmentos de cursos d'água em uma bacia hidrográfica.

No cálculo dos índices, além do MDEHC para a obtenção das áreas de drenagem da foz de cada um dos segmentos, foram necessários os valores das vazões outorgadas e das vazões estimadas na foz dos segmentos da hidrografia da bacia.

As vazões outorgadas foram obtidas a partir do cadastro de outorgas do Consórcio Intermunicipal da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba (CIBAPAR, 2011), responsável por operacionalizar e executar as decisões do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba.

A estimativa das vazões necessárias para aplicação dos índices, sendo elas a vazão mínima de referência correspondente ao valor anual da menor média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma vez a cada 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), e a vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ), foram calculadas pelas equações propostas por Rodriguez (2008).

A  $Q_{7,10}$ , conforme Rodriguez (2008), foi obtida para a foz de cada segmento da bacia do rio Paraopeba pela Equação 1.

$$Q_{7,10} = 0,077747P_{eq750}^{1,1283122} \quad (1)$$

em que:

$Q_{7,10}$  é a vazão mínima de referência com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos,  $m^3 s^{-1}$ ; e

$P_{eq750}$  é a vazão equivalente ao volume precipitado descontados 750 mm referentes à inércia hídrica,  $m^3 s^{-1}$ .

A  $P_{eq750}$  foi calculada pela Equação 2.

$$P_{eq750} = \frac{(P - 750)A}{31.536} \quad (2)$$

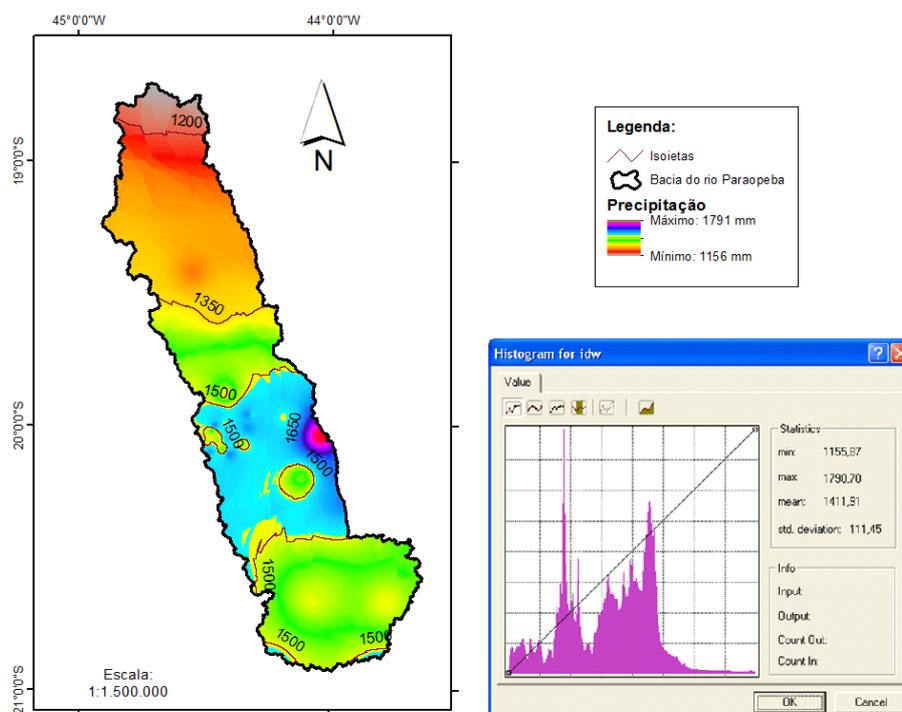
em que:

P é a precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm; e

A é a área de drenagem,  $km^2$ .

Segundo Rodriguez (2008), a Equação 2 só pode ser aplicada em trechos com a vazão específica  $q_{7,10}$  menor ou igual a  $4,8 L s^{-1} km^{-2}$ . A análise desta condição para a bacia do rio Paraopeba permitiu verificar que o valor máximo nas confluências da hidrografia foi de  $3,32 L s^{-1} km^{-2}$ , atendendo, portanto, ao limite de uso da equação.

A área de drenagem foi obtida para a foz de cada segmento da hidrografia utilizando-se o MDEHC e rotinas computacionais implementadas no ArcGIS, enquanto a precipitação média anual na bacia do rio Paraopeba foi estimada a partir de dados de 103 estações pluviométricas da bacia disponibilizadas no sistema HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA). De posse dos dados das estações aplicou-se o método das isoietas utilizando-se o interpolador IDW (*Inverse Distance Weighting*) do ArcGIS, com fator de ponderação 2, como apresentado na Figura 3.



**Figura 3.** Método das isoietas aplicado à bacia em estudo, com destaque para a média de precipitação na bacia.

A obtenção da  $Q_{mld}$  na foz de cada segmento foi feita a partir das equações propostas por Rodriguez (2008) para a bacia do rio Paraopeba pela Equação 3.

$$Q_{mld} = 0,324716 P_{eq}^{1,0281} \quad (3)$$

em que:

$Q_{mld}$  é a vazão média de longa duração,  $m^3 s^{-1}$ ; e

$P_{eq}$  é a vazão equivalente ao volume precipitado,  $m^3 s^{-1}$ .

A  $P_{eq}$  foi calculada pela Equação 4.

$$P_{eq} = \frac{PA}{31.536} \quad (4)$$

Rodriguez (2008) destaca como condição para utilização da Equação 3 que o coeficiente de escoamento (CE) deverá ser de até 0,483. O CE foi calculado pela razão do volume escoado na bacia, que é resultado do produto da vazão média de longa duração pela quantidade de segundos no ano, e do total precipitado na área abrangida ao longo do ano. A aplicação desta condição resultou em valores de CE inferiores ao pré-estabelecido, sendo eles entre 0,29 e 0,39.

### 2.3.1. Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $i_{cg}$ )

O Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $i_{cg}$ ) visa subsidiar as ações afetas à gestão dos recursos hídricos, nas quais se busca compatibilizar o uso, o controle e a proteção deste recurso ambiental, disciplinando as respectivas intervenções antrópicas de modo a se atingir o desenvolvimento sustentável (Moreira et al., 2012). O cálculo do  $i_{cg}$  para cada segmento da bacia do rio Paraopeba foi realizado utilizando-se a Equação 5.

$$i_{cg} = \frac{Q_{out}}{X Q_{mr}} \quad (5)$$

em que:

$i_{cg}$  é o índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos, adimensional;

$Q_{out}$  é a vazão outorgada a montante da foz do segmento em estudo,  $m^3 s^{-1}$ ;

$X$  é a percentagem, expressa em decimal, da  $Q_{mr}$  passível de ser outorgada, adimensional; e

$Q_{mr}$  é a vazão mínima de referência estimada na foz do segmento em estudo,  $m^3 s^{-1}$ .

O percentual da  $Q_{mr}$  passível de ser outorgada é definido pelo órgão gestor da bacia (Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM), sendo para a bacia do rio Paraopeba definido como 30% da  $Q_{7,10}$ . O produto obtido por  $x$  e  $Q_{mr}$  corresponde à vazão máxima passível de ser outorgada para usos consuntivos na bacia.

A vazão mínima de referência estimada na foz de cada segmento em análise ( $Q_{mr}$ ) é a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), a qual foi estimada pela Equação 1.

A  $Q_{out}$  pode variar entre zero e um valor positivo correspondente à soma das vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo. Considerando a variação dos valores de

$Q_{out}$  em relação à  $xQ_{mr}$ , Moreira et al. (2012) propuseram a seguinte escala de variação dos valores de  $i_{cg}$ :

$0 \leq i_{cg} \leq 1$  é a situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo se encontram dentro dos limites legais; e

$i_{cg} > 1$  é a situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos pela legislação.

Visando uma representação gráfica dos valores de  $i_{cg}$  por meio da elaboração de mapas, na situação em que as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo estão dentro dos limites legais ( $0 \leq i_{cg} \leq 1$ ), foi utilizada uma estratificação para caracterização das faixas de vazão ainda permissíveis de serem outorgadas:

-  ( $i_{cg} = 0$ ), ou seja, vazão ainda permissível de ser outorgada igual a vazão máxima passível de ser outorgada na foz do segmento em estudo;
-  ( $0 < i_{cg} \leq 0,7$ ), ou seja, vazão ainda permissível de ser outorgada superior a 30% da vazão máxima passível de outorga;
-  ( $0,7 < i_{cg} \leq 0,9$ ), ou seja, vazão ainda permissível de ser outorgada inferior a 30% e superior a 10% da vazão máxima passível de outorga; e
-  ( $0,9 < i_{cg} \leq 1$ ), ou seja, vazão permissível de ser outorgada inferior a 10% da vazão máxima passível de outorga ou o limite de outorga foi alcançado.

Para caracterizar a condição em que as vazões outorgadas superam os limites previstos pela legislação ( $i_{cg} > 1$ ), foi feita uma estratificação do intervalo em duas classes. Dado que o limite legal já foi ultrapassado, para este caso as faixas adotadas de valores de  $i_{cg}$  terão como referência a  $Q_{mr}$  em substituição a  $xQ_{mr}$ . Para tanto, multiplicou-se o valor de  $i_{cg}$  pelo percentual da  $Q_{mr}$  passível de ser outorgada ( $x$ ). Dessa forma, o limiar para estratificação da condição em que as outorgas emitidas superam a vazão permissível de ser outorgada é dado por  $x i_{cg}$ . Nesse caso, considerando-se a situação em que o valor de  $Q_{out}$  é superior a  $xQ_{mr}$ , a variação dos valores de  $i_{cg}$  está entre os seguintes intervalos:

-  ( $x i_{cg} \leq 1$ ), ou seja, vazão outorgada superior a  $x Q_{mr}$  e inferior ou igual à vazão mínima de referência; e
-  ( $x i_{cg} > 1$ ), ou seja, vazão outorgada superior à vazão mínima de referência.

### 2.3.2. Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $i_{cp}$ )

O Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $i_{cp}$ ) busca prever e avaliar ações alternativas e futuras, visando à tomada de decisões mais adequadas e racionais para fins de planejamento de recursos hídricos, sendo expresso pela Equação 6 (Moreira et al., 2012)

$$i_{cp} = \frac{Q_{out}}{Q_{mld}} \quad (6)$$

em que:

$i_{cp}$  é o índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos, adimensional; e

$Q_{mld}$  é a vazão média de longa duração na foz do segmento em estudo,  $m^3s^{-1}$ .

A utilização da  $Q_{mld}$  para o cálculo do  $i_{cp}$  deve-se ao fato de a vazão média corresponder à vazão máxima possível de ser regularizada, abstraindo-se os processos de evaporação e a infiltração. Dessa maneira, a utilização da  $Q_{mld}$  visa verificar se, caso haja conflito pelo uso da água, este pode ser minimizado com a adoção de medidas estruturais como a construção de barramentos.

Os valores de  $i_{cp}$ , considerando-se a variação dos valores de  $Q_{out}$  em relação à  $Q_{mld}$ , conforme proposta de Moreira et al. (2012), variam da seguinte forma:

$0 \leq i_{cp} \leq 1$  é a situação na qual existindo o conflito pelo uso da água, ainda se pode ser resolvido com a adoção de medidas estruturais; e

$i_{cp} > 1$  é a situação na qual o conflito não pode ser contornado apenas com medidas estruturais.

Para os intervalos de  $i_{cp}$ , o seguinte simbolismo foi utilizado na geração dos mapas da bacia, onde os segmentos dos rios foram coloridos da seguinte maneira:

-  ( $i_{cp} = 0$ ), ou seja, situação na qual não existem vazões outorgadas a montante da foz do segmento analisado;
-  ( $0 < i_{cp} \leq 1$ ), ou seja, situação na qual existindo o conflito pelo uso da água, ainda se pode contorná-lo com a adoção de medidas estruturais; e
-  ( $i_{cp} > 1$ ), ou seja, situação na qual o conflito não pode ser contornado apenas com medidas estruturais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

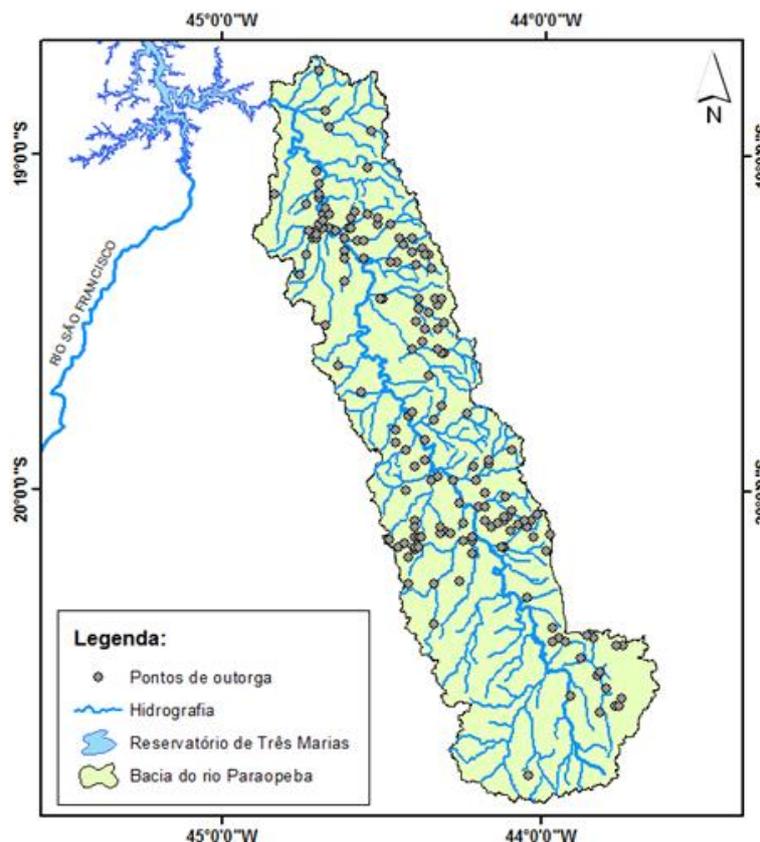
Na Figura 4 são apresentadas as 189 outorgas vigentes na bacia do rio Paraopeba, de acordo com o banco de dados do CIBAPAR. Destas, 76 estão relacionadas à irrigação, 39 ao uso industrial, 13 ao abastecimento urbano de caráter concessivo, 12 ao consumo humano, 11 a dessedentação animal, nove a aquicultura, uma a extração mineral e 28 não apresentaram a finalidade de uso, totalizando uma vazão outorgada de  $27,31 m^3 s^{-1}$  na bacia.

Considerando o número de outorgas para a irrigação (40,2% do número total de outorgas), verifica-se a predominância desta atividade econômica em relação ao uso da água, porém, devido ao parque industrial da região metropolitana de Belo Horizonte, percebe-se que o setor industrial também merece destaque neste uso (20,6% do número total de outorgas).

Nota-se uma concentração de outorgas na parte central da bacia que, segundo Schwartzman et al. (2002), pode ser explicada pela existência da região metropolitana de Belo Horizonte, na qual se verifica grande número de indústrias.

Apesar dos dados obtidos corresponderem às características econômicas da região, esperava-se que a quantidade de outorgas fosse mais expressiva, principalmente para o uso de água do setor de mineração, decorrente do destaque nacional da região nesta atividade.

Como apontam Almeida et al. (2014), é de vital importância o correto levantamento dos usos de água na bacia. Assim, por meio das outorgas, os órgãos gestores de recursos hídricos detêm a informação a ser analisada na estimativa da disponibilidade hídrica remanescente, motivo pelo qual nos cálculos dos índices propostos se utilizam as vazões outorgadas vigentes.



**Figura 4.** Localização das outorgas da bacia do rio Paraopeba.

Na Tabela 1 apresenta-se a classificação dos segmentos de acordo com o  $i_{cg}$ , enquanto na Figura 5 apresenta-se o mapa referente à aplicação do  $i_{cg}$  na bacia do rio Paraopeba.

**Tabela 1.** Classificação dos segmentos da bacia do rio Paraopeba de acordo com o índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $i_{cg}$ ).

Intervalo de valores	Cor	Número de segmentos	% em relação aos segmentos analisados
$i_{cg} = 0$		148	49,7
$0 < i_{cg} \leq 0,7$		74	24,8
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$		5	1,7
$0,9 < i_{cg} \leq 1$		3	1,0
$x \ i_{cg} \leq 1$		48	16,1
$x \ i_{cg} > 1$		20	6,7
<b>Total</b>		<b>298</b>	<b>100,0</b>

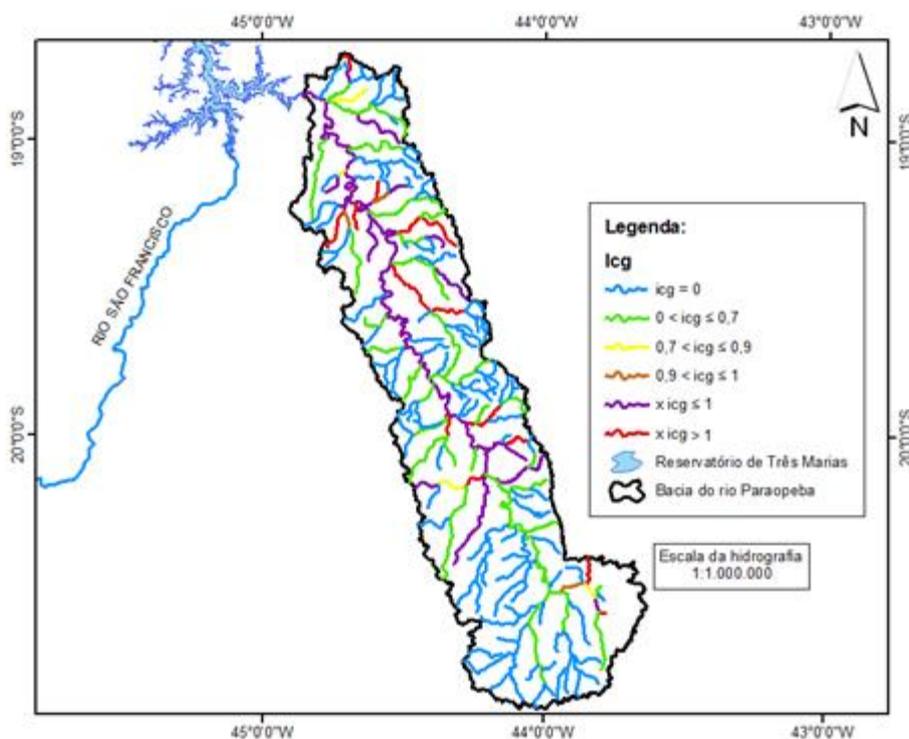
Pela análise dos dados da Tabela 1, verifica-se que em 148 segmentos não há outorga no próprio segmento ou a montante dele, enquanto que 150 segmentos apresentaram vazões outorgadas no próprio segmento ou a montante dele. Dos 298 segmentos analisados, em 230 (77,2%) as outorgas estão dentro dos limites legais na bacia, ou seja, não ultrapassaram o critério de outorga de 30% da  $Q_{7,10}$ . Por outro lado, em 68 segmentos (22,8%) verificou-se vazões outorgadas acima do limite permissível por lei.

Destes, 16,1% apresentam valores de outorga acima do máximo outorgável no Estado de Minas Gerais, ou seja, 30% da  $Q_{7,10}$ ; e 6,7% dos segmentos apresentaram valores de outorga superiores a própria vazão mínima de referência adota.

A evidência de vazões outorgadas superiores ao limite legal corrobora a preocupação do CIBAPAR (2009), que afirma que as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, de modo geral, estão pressionadas pela alta demanda de usos consuntivos, sendo necessários investimentos e ações efetivas de gestão para que possam ser preservados os usos múltiplos sem o risco da perda da biodiversidade na região.

A constatação de vazões outorgadas maiores que o permissível, no entanto, não representa o esgotamento da capacidade hídrica da região. A vazão outorgável referente a 30% da  $Q_{7,10}$  de base de dados anual é um valor que estatisticamente representa uma situação com duração de sete dias consecutivos que acontece uma vez, em média, a cada dez anos. Além disso, por ser calculada pelo órgão gestor considerando uma base anual de dados, a  $Q_{7,10}$  não leva em consideração a variabilidade sazonal da vazão ao longo do ano.

No que diz respeito aos resultados apresentados na Figura 5, Moreira et al. (2012) explicam que a coloração azul, apesar de indicar a não existência de outorgas a montante do segmento em análise, não é garantia de que o órgão gestor possa emitir nova outorga, tendo em vista que no processo de outorga devem-se considerar os usuários a jusante da seção de interesse.



**Figura 5.** Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $i_{cg}$ ) na bacia do rio Paraopeba.

Por outro lado, a presença de segmentos com colorações roxa e vermelha indica a impossibilidade de emissão de novas outorgas a montante dos mesmos. Desse modo, o  $i_{cg}$  permite ao órgão gestor traçar um panorama, a partir de simples análise visual, das regiões em que não se pode emitir novas outorgas, exigindo, por conseguinte, maior atenção do órgão gestor de recursos hídricos.

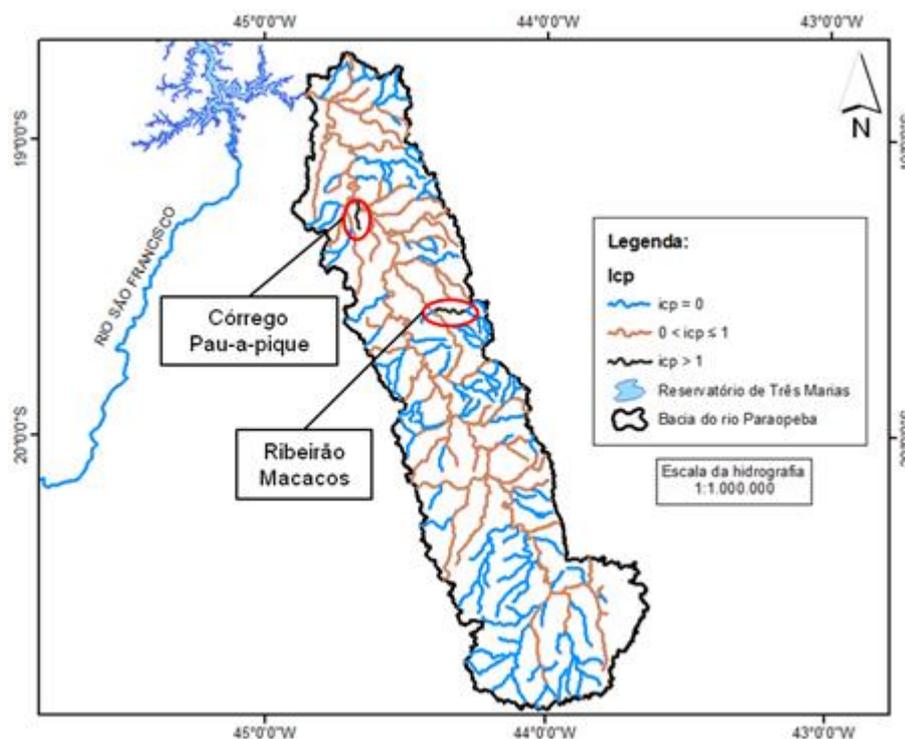
O cálculo do  $i_{cp}$  dos segmentos da bacia do rio Paraopeba (Tabela 2 e Figura 6) apresentou 148 segmentos (49,7%) sem outorgas, enquanto em 150 segmentos (51,3%)

existem outorgas no próprio segmento ou em segmentos a montante. Destes, foram identificados 147 segmentos ( $0 < i_{cp} \leq 1$ ) em que, na existência de conflito pelo uso da água, ainda se pode contorná-lo com a adoção de medidas estruturais.

**Tabela 2.** Classificação dos segmentos da bacia do rio Paraopeba de acordo com o índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $i_{cp}$ ).

Intervalo de valores	Cor	Número de segmentos	% em relação aos segmentos analisados
$i_{cp} = 0$		148	49,7
$0 < i_{cp} \leq 1,0$		147	49,3
$i_{cp} > 1,0$		3	1,0
<b>Total</b>		<b>298</b>	<b>100,0</b>

Em três segmentos da bacia observa-se valores de  $i_{cp}$  maiores que a unidade ( $i_{cp} > 1,0$ ), correspondendo à situação em que existindo o conflito pelo uso da água não se pode mais contorná-lo apenas com a adoção de medidas estruturais, como a construção de barragens de regularização, uma vez que as vazões outorgadas são maiores que a vazão média de longa duração.



**Figura 6.** Índice de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos ( $i_{cp}$ ) na bacia do rio Paraopeba.

Estes segmentos ocorreram no Córrego Pau-a-Pique, na margem esquerda, e no Ribeirão Macacos, na margem direita do rio Paraopeba, em regiões em que se observa um maior número de outorgas associadas à irrigação.

Apesar dos índices permitirem uma ampla análise quanto à utilização dos recursos hídricos na bacia, os mesmos não fornecem subsídios que levem em consideração a qualidade da água na bacia. Almeida et al. (2014) explicam que essa é uma limitação quanto ao seu uso,

dado que conflitos pelo uso da água também podem ocorrer devido à baixa qualidade da água, mesmo que esta esteja disponível quantitativamente de modo satisfatório.

Estudos complementares devem ser feitos agregando dados como as vazões de diluição e modelos de autodepuração em cursos d'água, a fim de se estabelecer um diagnóstico atual das condições de outorgas quantitativas e qualitativas na bacia do rio Paraopeba.

Cabe salientar que a outorga é o instrumento de gestão de recursos hídricos que permite controlar os aspectos quantitativos e qualitativos da água de uma bacia. Sendo assim, o conjunto de dados associados à outorga deve ser organizado e compilado para promover fácil acesso a estas informações, uma vez que os pedidos de outorga são dependentes das vazões alocadas pré-existentes ao longo de toda a bacia.

Logo, é imprescindível maior controle sobre os instrumentos legais e a implantação de sistemas informatizados de fácil acesso para dinamizar e melhorar a disponibilização da informação. Dessa forma, com a adoção de índices como os analisados neste trabalho, o órgão gestor e a sociedade poderão contar com um método claro e preciso para visualizar as informações de outorga referentes a toda a bacia.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A aplicação do  $i_{cg}$  permitiu identificar que em 22,7% dos segmentos da hidrografia as vazões outorgadas são superiores ao máximo permitido na bacia do rio Paraopeba;
- A aplicação do  $i_{cp}$  permitiu identificar três segmentos da hidrografia em que as vazões outorgadas ultrapassam o valor da vazão média de longa duração;
- A análise conjunta do  $i_{cg}$  e  $i_{cp}$  permitiu verificar que em eventuais conflitos pelo uso da água estabelecidos a solução pode ser obtida com investimentos em obras de engenharia que aumentem a disponibilidade de água para outorga ao longo do ano; e
- A possibilidade de realizar as análises de disponibilidade hídrica em nível de segmentos da hidrografia permite que o órgão gestor atue localmente para a solução dos conflitos existentes ou no planejamento de soluções para conflitos eminentes.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (Processo nº 00220/09) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo nº 302288/2008-2), pelo apoio financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2005. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/pnrh\\_novo/Tela\\_Apresentacao.htm](http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/Tela_Apresentacao.htm)>. Acesso em: 25 fev. 2011.
- ALMEIDA, W. A.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da. Applying water vulnerability indexes for river segments. **Water Resources Management**, v. 28, p. 4289-4301, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0745-5>
- CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAPEBA - CIBAPAR. **Lista de outorga dos usuários de água superficial da bacia hidrográfica do rio Paraopeba**. Disponível em: <[http://www.aguasdoparaopeba.org.br/arquivos/doc\\_cadastro\\_paraopeba\\_27242.pdf](http://www.aguasdoparaopeba.org.br/arquivos/doc_cadastro_paraopeba_27242.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2011.

- CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÓPEBA - CIBAPAR. **Plano diretor da bacia do rio Paraopeba – resumo preliminar.** IGAM/UFV/UFOP/CETEC. Betim, 2009. 83 p.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - EEA. **Indicator fact sheet.** Madri: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2004. 8 p.
- FALKENMARK, M. et al. Water-related limitations to local development: round table discussion. **Ambio**, v. 16. p. 191-200, 1987. <http://dx.doi.org/10.2307/4313354>
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Outorga de direito de uso dos recursos hídricos.** Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/outorga>> Acesso em: 22 mar. 2011.
- MOREIRA, M. C. **Gestão e planejamento dos recursos hídricos: regionalização de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água.** 2010. 85f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; LARA, M. dos S. Índices para identificação de conflitos pelo uso da água: proposição metodológica e estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 7-15, 2012.
- OHLSSON, L. Water conflicts and social resource scarcity. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 25, n 3, p. 213-220, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00006-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00006-X)
- 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000600010>
- PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. da C. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 143-156, 2010.
- PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C. do.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 2, p. 39-47, 2005.
- RODRIGUEZ, R. del G. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões.** 2008. 254f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- SABINO, C. V. S; ABREU, J. F. de; LOBATO, W; SABINO, G. S; KNUP, E. A. N. Análise de alguns aspectos da qualidade da água da bacia do rio Paraopeba utilizando estatística multivariada. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 6-18, 2008.
- 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.
- YOFFE, S.; WOLF, A. T.; GIORDANO, M. Conflict and cooperation over international freshwater resources: indicators of basins at risk. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 39. p. 1109-1126, 2003. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb03696.x>