

BRUNO MARCEL BARROS DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NOS
CRITÉRIOS DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA E AVALIAÇÃO DE ÍNDICES
PARA A GESTÃO E PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS NA
BACIA DO RIO PARAÓPEBA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012**

BRUNO MARCEL BARROS DA SILVA


**INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NOS
CRITÉRIOS DE OUTORGA DE USO DA ÁGUA E AVALIAÇÃO DE ÍNDICES
PARA A GESTÃO E PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS NA
BACIA DO RIO PARAÓPEBA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2012.



Prof. Silvio Bueno Pereira



Prof. Celso Bandeira de Melo Ribeiro



Prof. Demetrius David da Silva
(Orientador)

"A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro".

Albert Einstein

*Às minhas avós Maria do Carmo e
Sebastiana, pela força de superar as
adversidades impostas ao longo da vida
e pela simplicidade de partilharem*

minha vida desde o primeiro segundo.

AGRADECIMENTOS

Nada seria possível sem o acompanhamento dos meus pais (Eva e Antônio), a quem tanto devo o apoio sem medida, aos meus irmãos (João, Marco, Aline, Carolina e Eloisa) por partilharem da minha caminhada desde o primeiro instante.

A todos os meus familiares, pelas palavras e direcionamento nos mais diversos momentos. À Karine, por estar presente oferecendo carinho e palavras em tantas ocasiões.

É impossível não citar os meus amigos, todos vocês, aqui representados pelo Ronan, a quem devo um agradecimento especial por dividir a república, participar da vida acadêmica e das aventuras de Viçosa por tanto tempo.

Aos colegas do CRRH, Adriana, Amanda, André, Antônio (Toninho), Bárbara, Camila, Danilo, Felipe, Gabriela, Hugo, Lara, Luana, Nívia e Vítor.

Aos professores Demetrius David da Silva, Michel Castro Moreira e Márcio Mota Ramos pelos conselhos, paciência e ensinamentos ao longo desta caminhada.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso. À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

BRUNO MARCEL BARROS DA SILVA nasceu no dia 03 de janeiro de 1983 na cidade de Ubatã no estado do Paraná. É filho de Eva Maria de Barros da Silva e Antônio Roberto da Silva.

No ano de 2004 iniciou os estudos na Universidade Federal de Viçosa no curso de Engenharia Ambiental onde se graduou no primeiro mês de 2009.

Em março de 2010 iniciou o mestrado no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, onde defendeu sua dissertação em fevereiro de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5

Artigo I

Influência da sazonalidade da disponibilidade hídrica nos critérios de outorga de uso da água: Estudo de caso da bacia do rio Paraopeba

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO GERAL	13
2.1. Objetivos específicos	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1. Descrição da área de estudo	14
3.2. Estimativa das vazões mínimas de referência nos postos fluviométricos	15
3.2.1. Identificação dos períodos sazonais	17
3.2.2. Determinação das vazões mínimas de referência	19
3.3. Comparação entre as vazões mínimas de referências de base sazonal e anual	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Períodos sazonais	22
5. CONCLUSÕES	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXO I	36
ANEXO II	37

Artigo II

Avaliação de índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba

1. INTRODUÇÃO	41
2. OBJETIVO	44
3. MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1. Descrição da área de estudo.....	45
3.2. Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC)	46
3.3. Obtenção dos índices	47
3.3.1. Índice de identificação de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg})	50
3.3.2. Índice de identificação de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp}).....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5. CONCLUSÕES	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

RESUMO

SILVA, Bruno Marcel Barros da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Influência da sazonalidade da disponibilidade hídrica nos critérios de outorga de uso da água e avaliação de índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba.** Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: Michel Castro Moreira e Márcio Mota Ramos.

O Brasil possui uma das mais modernas leis de gerenciamento de recursos hídricos do mundo, que instituiu seis instrumentos de gestão, dentre os quais a outorga de uso da água, permitindo grandes avanços no país. Neste sentido, o principal objetivo do presente trabalho foi fornecer subsídios técnico-científicos para a tomada de decisão pelos órgãos gestores de recursos hídricos, apresentando alternativas para aumentar a disponibilidade hídrica para outorga por meio da consideração da sazonalidade anual das vazões e da implementação de índices de sustentabilidade com foco na gestão e planejamento ao longo da hidrografia da bacia do rio Paraopeba. No primeiro trabalho foram analisados os efeitos quantitativos da adoção de períodos sazonais quadrimestrais e semestrais em comparação ao período anual para o cálculo das vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} , a fim de quantificar as diferenças relativas da disponibilidade hídrica entre as vazões de referência adotadas para fins de outorga de uso de água no Brasil. Os resultados mostraram que a aplicação de critérios sazonais pode propiciar aumento de até 126% na quantidade de água disponível para outorga nos períodos de maior disponibilidade hídrica para o caso da $Q_{7,10}$. Já para as vazões associadas às permanências de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) foram registrados aumentos de até 99%, porém, nos períodos secos a redução da disponibilidade foi de até 24,5% em comparação com o período anual. Concluiu-se que o uso dos critérios baseados no comportamento hídrico sazonal propicia flexibilização nas vazões outorgáveis em determinados períodos do ano. No segundo trabalho foram implementados índices para identificação de conflitos pelo uso da água na bacia do rio Paraopeba, sendo analisada a condição de cada segmento quanto ao total outorgado em comparação com a vazão máxima outorgável, situação relacionada a implantação do índice de identificação de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg}), e a vazão média de longa duração,

que se relaciona a implantação do índice de identificação de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp}). Foram gerados mapas nos quais diferentes cores dos segmentos da hidrografia refletem a condição dos mesmos quanto ao proposto por cada índice. Os resultados da aplicação do i_{cg} mostraram que 22,7% dos segmentos analisados enfrentam situações onde o total outorgado é superior ao total permitido para a bacia, indicando uma potencial situação de conflito pelo uso da água. Verificou-se, também, pela aplicação do i_{cp} , que três segmentos mostraram situações de conflito onde a solução não pode ser obtida por obras de engenharia que visem à regularização de vazões. Concluiu-se que a aplicação dos índices propostos permitiu identificar segmentos da hidrografia onde potenciais conflitos pelo uso da água estão configurados, nos quais não é possível equacionar com obras para regularização de vazões.

ABSTRACT

SILVA, Bruno Marcel Barros da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2012. **The influence of water seasonal availability on the criteria for water right and the evaluation of indexes for water management and planning on Paraopeba River watershed.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-advisers: Michel Castro Moreira and Márcio Mota Ramos.

Brazil has one of the most modern laws of water resources management in the world, which established six management tools, among these the water right allowed great advances in the field in the country. This work main objective was to provide technical-scientific knowledge for the decision making process for by water resources agencies, presenting alternatives to increase water availability for water rights by considering the annual seasonal consideration of stream flows and the implementation of sustainability index with planning and management focus on the Paraopeba River watershed hydrography. On the first paper, it was analyzed the quantitative effects on the seasonal four months and six months periods adoption comparing to the annual period for the calculation of the minimum stream flow $7Q_{10}$, Q_{90} and Q_{95} in order to quantify the relative differences between the minimum stream flows adopted and water right criteria in Brazil. Results show that concerning the $7Q_{10}$ the application of seasonal criteria could reflect in an increase of almost 126% on the water availability for the water right applications. The stream flows associated to the permanence of 90% (Q_{90}) and 95% (Q_{95}) of the time presented maximum increase of 99%, nevertheless, on the dry periods there was a reduction on the water availability of about 24.5% comparing to the annual period. So, the use of the criteria based on seasonal water behavior allows stream flow flexibility on water right minimum stream flow in certain annual periods. On the second paper indexes for water use conflicts identification were implemented at Paraopeba River watershed. Analysis were aimed to each segment condition about the sum of all water rights at the connection of the segment with others and the limits of water withdraw at the connection, situation related to the implementation of the water conflicts identification use index in water resources management (i_{cg}), and the other one related to the implementation of the water

use conflicts identification index in water resources planning (i_{cp}) that considers all water rights at the connection of the segment with others and the long term median flow. Maps were created which each segment were colorized to reflect the condition proposed on each index. The implementation of i_{cg} shows 22.7% of analyzed segments which has total water right above the limit for this watershed which indicates a potential situation for water use conflict. The i_{cp} implementation shows three segments where potential conflicts for water use are configured and it is not possible to set with stream flow regularization reservoirs implementation.

INTRODUÇÃO GERAL

Segundo ONU (2009), “água é vida, mas também sustento”, sendo um elemento essencial aos seres humanos e ao crescimento econômico. Por ser um recurso finito, a sua má gestão pode restringir o desenvolvimento de regiões e países, nos quais os problemas de alocação de água transcendem as fronteiras tradicionais ou hidrológicas dos recursos hídricos (GALLEGO-AYALA e JUÍZO, 2011).

Nas últimas décadas as questões sobre conflitos decorrentes da alocação de recursos hídricos entre múltiplos usuários tem sido de crescente interesse. A competição entre os usuários da água tem se intensificado devido ao crescimento populacional, alteração na disponibilidade específica e temporal da água, variações das condições naturais e deterioração da qualidade da água (WANG e HUANG, 2011).

O gerenciamento sustentável dos recursos hídricos não implica somente na manutenção de sistemas físicos e biológicos, mas também na utilização deste recurso com eficiência econômica, distribuição equitativa dos custos e benefícios dos desenvolvimentos relacionados nas políticas baseadas nas tomadas de decisão participativas da sociedade (IORIS *et al.*, 2008).

Todos estes preceitos inserem a necessidade da sustentabilidade dos recursos hídricos que, segundo Mutiga *et al.* (2010), significa usar os recursos naturais com sabedoria, protegendo os ecossistemas com perspectiva de manutenção para gerações futuras, ou seja, realizar o gerenciamento deste recurso praticando o uso responsável.

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, chamada Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sendo este um grande passo para o gerenciamento de tais recursos no Brasil. Essa lei tem como preceitos básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; a consideração dos múltiplos usos da água; o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico; e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

Os fundamentos dessa política e os instrumentos por ela estabelecidos constituem não apenas um desafio político, econômico, social, ambiental e cultural, mas também um desafio de conhecimentos. A implementação da política defronta-se com uma grande necessidade de conhecimentos científicos e tecnológicos em relação aos recursos hídricos (ANA, 2006).

Um dos principais instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos no Brasil é a outorga de uso da água, mediante a qual o poder público outorgante autoriza a utilização da água para os seus múltiplos usuários, sendo necessário para tal a realização de estudos hidrológicos no âmbito das bacias hidrográficas. Segundo Oliveira e Fioreze (2010), com a utilização deste instrumento "é possível, aos órgãos gestores dos recursos hídricos, controlar os volumes captados, o período em que as captações ocorrem e qual a finalidade de uso, contemplando os usos prioritários e as determinações dos planos de recursos hídricos e dos comitês de bacia hidrográfica". Deste modo, a outorga se torna o principal meio de se estabelecer a relação entre o consumo atual e a disponibilidade de água na bacia hidrográfica.

Entende-se por disponibilidade hídrica em uma bacia, para fins de outorga de usos consuntivos, a vazão passível de captação e consumo permitido em cada estado da federação. Assim, com a gestão descentralizada, coube a cada órgão gestor de âmbito estadual e à Agência Nacional de Águas – ANA, em nível federal, determinar qual o critério de vazão mínima para fins de outorga em corpos d'água de seu domínio. Neste contexto, Marques *et al.* (2009) descrevem que a adoção de vazões mínimas de referência que correspondem às condições anuais de maior escassez hídrica conduz a situações de vazões restritivas aos usos múltiplos, pois este valor limita a

quantidade de água passível de utilização principalmente nos períodos chuvosos, quando maior quantidade do recurso poderia ser outorgada.

Tal afirmação é corroborada por Rodriguez (2008), que menciona que quanto maior a variação das vazões no decorrer do ano pior é a representatividade das vazões de referência. Sendo assim, vários autores sugerem considerar a sazonalidade no estabelecimento das vazões mínimas de referência (KELMAN, 1997; CRUZ, 2001; CATALUNHA, 2004; EUCLYDES *et al.*, 2006; MARQUES *et al.*, 2009; LISBOA *et al.*, 2009; BOF *et al.*, 2009; BOF, 2010; MARQUES, 2010; SILVA *et al.*, 2011) e ressaltam que um dos principais benefícios seria a diminuição da pressão pela captação e uso da água nos períodos com maior disponibilidade hídrica.

Os problemas de conflito pelo uso da água existem e são críticos em várias regiões hidrográficas do país (ANA, 2011). Nesta situação merecem destaque as regiões nordeste e extremo sul do Brasil, além da bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), no estado de São Paulo, onde a demanda chega a ser superior a 40% da vazão média de longa duração.

Neste contexto de escassez hídrica e de conflitos pelo uso da água, torna-se fundamental a implementação e análise de indicadores e índices para a avaliação das condições atuais e das opções existentes para mitigá-los (ROSETA-PALMA e MEIRELES, 2008). Niemejer e Groot (2008) ressaltam a importância dos indicadores ambientais por servirem de alerta, transmitindo uma informação complexa, vinda de várias fontes, numa forma simplificada e útil. Ainda ressaltam que indicadores ambientais constituem uma importante fonte de informação para os órgãos gestores, por ajudarem a orientar a tomada de decisões, bem como para o monitoramento e avaliação.

A aplicação de índices no âmbito de bacias hidrográficas avançou nos últimos 20 anos e, segundo Brown e Matlock (2011), envolve relações entre oferta hídrica e demanda sócio-econômica de uma bacia hidrográfica ou a necessidade humana baseada em padrões de consumo *per capita*. Em todos os índices analisados, os autores destacam a aplicação global dos índices em nível de bacia hidrográfica. Moreira (2010) propôs a aplicação de índices de sustentabilidade no âmbito da rede de drenagem da bacia, sendo a análise em nível de segmentos. Desta forma, os resultados obtidos permitem identificar segmentos em situações de potencial conflito, caracterizando inclusive

situações de ilegalidade no que diz respeito à legislação de recursos hídricos, quando o total outorgado é superior ao permitido pelo órgão gestor.

Estudos enfatizam que a utilização das informações e dos indicadores sobre a situação dos recursos hídricos, seja do ponto de vista quantitativo, seja qualitativo, tem como objetivo principal fornecer subsídios para a tomada de decisão (ANA, 2011). Esta conduta permite que a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e das demais políticas estaduais seja feita em escala nacional.

Este trabalho teve como objetivos analisar a alteração das disponibilidades hídricas da bacia do rio Paraopeba, calculadas utilizando as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} de base anual e as vazões homólogas de base sazonal, e aplicar e analisar os índices de identificação de conflitos pelo uso da água na gestão (i_{cg}) e no planejamento (i_{cp}) dos recursos hídricos na referida bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2011**. 2011. Brasília-DF, p. 114.

_____. **Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais**. Brasília: Agência Nacional de Águas; Consórcio Engecorps/Projetec/Geoambiente/Riversidade Technology. 2006. 80 p.

BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS- Governo do Estado. DISTRITO FEDERAL. **Plano Diretor de recursos hídricos da Bacia do Rio Paracatu – PLANPAR**. S.I.: 1997. v.1. T. 1. CD-ROM.

BOF, L. H. N. **Análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BOF, L. H. N.; PRUSKI F. F.; SOUZA, W. A. M. Impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009**, Campo Grande - MS. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

BROWN, A; MATLOCK, M. D. **A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies**. **The Sustainability Consortium 2011**. 2011.

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da $Q_{7,10}$ para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A., FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais – Estudo de Caso. **Revista Item – Irrigação e Tecnologia Moderna**, 2006. Brasília, n. 71/72, p.42-50.

GALLEGO-AYALA, J.; JUÍZO, D. Strategic implementation of integrated water resources management in Mozambique: An A'WOT analysis. **Physics And Chemistry Of The Earth**, 2011, v. 36, p. 1103-1111.

IORIS, A. A. R.; HUNTER, C.; WALKER, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. **Journal of Environmental Management**, 2008, v.88, p. 1190-1201.

KELMAN, J. **Gerenciamento dos recursos hídricos. Parte I: outorga**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997, Vitória, Anais..., ABRH, 16 a 20 de novembro de 1997, CD-ROM.

LISBOA, L.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Análise das vazões alocáveis na bacia do rio Paraopeba considerando a sazonalidade da disponibilidade Hídrica. **XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009**. Petrolina – PE e Juazeiro – BA. Anais... Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.

MARQUES, F. A. **Sistema de Controle Dinâmico para a Gestão dos Usos Múltiplos da Água**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARQUES, F. A; SILVA, D. D; RAMOS, M. M; PRUSKI, F. F. AQUORA — Sistema multi-usuário para gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2009, v.14, n.4,p. 51-69.

MOREIRA, M. C. **Gestão e planejamento dos recursos hídricos: Regionalização de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água**. Viçosa, MG: UFV. 2010. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MUTIGA, J. K.; MAVENGANO, S. T.; ZHONGBO, SUE, Z.; WOLDI, T.; BECHT, R. Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the Upper Ewaso Ng'iro North Basin, Kenya. **Water Resource Manage**, 2010, v. 24, p. 3939-3959.

NIEMEIJER, D; GROOT, R. S. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. **Ecological Indicators**, 2008, v. 8, p. 14 – 25.

OLIVEIRA, L. F. C. de; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2010, v.15, n.1, p. 9-15. 22.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **World Water Assessment Program. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World**. Paris: UNESCO, and London: Earthscan 2009. 349 p.

RODRIGUEZ, R. del G. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ROSETA-PALMA, M; MEIRELES, M. Indicadores de Sustentabilidade. **Prospectiva e Planejamento**.2008, v. 15.

SILVA, D. D., MARQUES, F. A., LEMOS, A. F. Flexibilidade das Vazões Mínimas de Referência com a Adoção do Período Trimestral. **Engenharia na Agricultura**. 2011, vol. 19, n 3.

WANG, S.; HUANG, H. H. Interactive two-stage stochastic fuzzy programming for water resources management. **Journal Of Environmental Management**, 2011,v. 92, p. 1986-1995.

Artigo I

Influência da sazonalidade da disponibilidade hídrica nos critérios de outorga de uso da água: Estudo de caso da bacia do rio Paraopeba

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento integrado dos recursos hídricos é um processo que promove a gestão coordenada do uso da água, solo e recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social resultante de uma forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (GWP, 2000).

Vários países dispõem de arranjos institucionais e administrativos que possibilitam o tratamento adequado da gestão das águas. Do ponto de vista administrativo e institucional, o setor de recursos hídricos já está estruturado para ser tratado de forma individualizada, tal como o setor de transporte, energia e meio ambiente. O Brasil não é exceção, uma vez que dispõe de uma das mais modernas legislações de recursos hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 de 1997, a chamada Lei das Águas (BRAGA *et al.*, 2008).

Uma das principais ferramentas de gestão de recursos hídricos é a outorga, que visa garantir o direito de uso da água aos múltiplos usuários. Procedem dessa maneira, além do Brasil, França, EUA, Austrália, Chile, e vários outros que utilizam esse instrumento para o controle quantitativo e qualitativo de água nos cursos d'água (FAO, 2008).

No Brasil, a outorga de direito de uso da água permite que seu detentor, por um período preestabelecido, o direito de uso de determinada quantidade de água, condicionado à sua disponibilidade, de tal modo que assegure ao gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso, ao mesmo tempo em que

garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível (MOREIRA, 2006).

Assim, as vazões outorgadas devem ser consideradas como indisponíveis na bacia quando da análise de concessão de novas outorgas. Dessa forma, a emissão de uma outorga gera impactos na disponibilidade hídrica da bacia em todo o seu período de vigência.

As vazões mínimas de referência adotadas para fins de outorga pelos órgãos gestores estaduais e federal influenciam diretamente no total disponível para outorga. Os critérios para análise dos pedidos de outorga utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos utilizam diferentes vazões mínimas de referência, bem como percentuais considerados outorgáveis, Figura 1 (ANA, 2007). No Brasil, cada estado tem adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga sem, entretanto, apresentar justificativas para a adoção desses valores (CRUZ, 2001). No entanto a maior parte dos órgãos gestores de recursos hídricos que concedem outorgas possui esses critérios aprovados em legislação ou em discussão para aprovação.

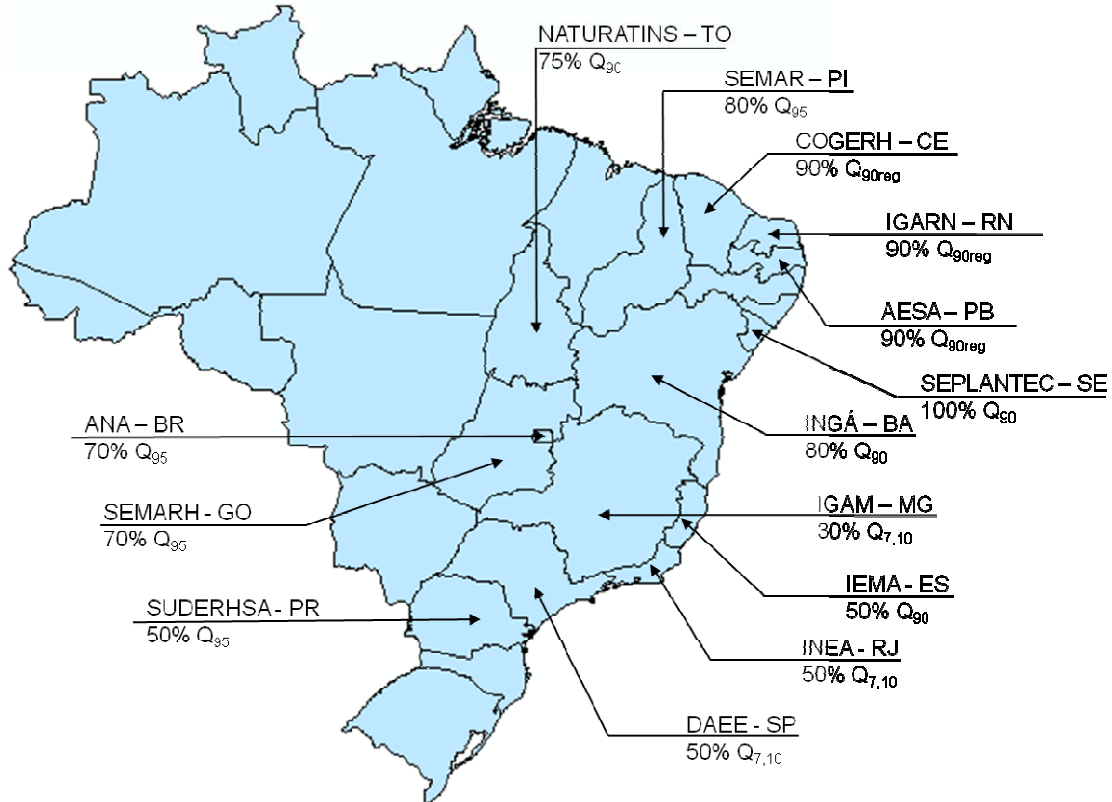


Figura 1 - Vazões mínimas de referência e percentual máximo outorgável usados para fins de outorga utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos no país.

Fonte: Marques (2010).

Como apenas parte das vazões mínimas de referência são outorgáveis, há a limitação do uso da água principalmente nos períodos de maior disponibilidade hídrica. A diversidade de vazões mínimas de referência adotadas assim como de diferentes percentuais desta vazão para outorga afeta diferentes usuários e suas diferentes atividades econômicas, como irrigação, abastecimento urbano, geração de energia, produção industrial, diluição, recreação, entre outros.

Destas atividades, a irrigação consome, em nível mundial, 70% da água derivada dos mananciais, seguido pela indústria e geração de energia que respondem por 20% do consumo (ONU, 2009). Rodriguez *et al.* (2006) observaram que no caso da irrigação a necessidade de água é sazonal, intercalando meses de elevado e baixo consumo, sendo que nem sempre esta necessidade condiz com o período de maior oferta hídrica.

A disponibilidade hídrica, condição necessária para outorga de uso da água, oscila entre extremos, há regiões de grande oferta e baixo consumo e

regiões precárias, como alta demanda e pouca oferta. As regiões hidrográficas Amazônica, Paraguai e Tocantis-Araguaia se encontram em um nível de relação demanda/disponibilidade "excelente", entre 0 e 5%. Já as regiões hidrográficas restantes encontram-se, na maioria, em situação "preocupante" (10 a 20%) e "muito crítico" (30 a 40%) (ANA, 2010). Fato preocupante a se notar nesta análise é que as regiões com maior disponibilidade de água estão no Norte e Centro-Oeste do país, onde residem apenas 15% da população nacional (IBGE, 2010).

Esse cenário potencializa os conflitos pelo uso da água, pois nas regiões com alta densidade populacional, os órgãos gestores têm a tarefa de garantir o direito de uso da água para diversas finalidades, como atividades agropecuárias, industriais, comerciais, abastecimento humano e outros, de modo a satisfazer os seus usos múltiplos. A fim de buscar alternativas para aumentar a disponibilidade de água e promover maior desenvolvimento sócio-econômico e ambiental na bacia do rio Paraopeba, este trabalho tem por hipótese que a consideração da sazonalidade hídrica no processo de concessão de outorga permitirá um melhor aproveitamento dos recursos hídricos da bacia.

2. OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da adoção de critérios sazonais para estimativa das vazões mínimas de referência com a finalidade de outorga de uso de água.

2.1. Objetivos específicos

- Identificar os períodos sazonais quadrimestral (seco, normal e chuvoso) e semestral (seco e chuvoso), além do período anual, para fins de obtenção das vazões mínimas de referência;
- Estimar as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) para as estações fluviométricas localizadas na bacia considerando os períodos sazonais e o anual; e
- Comparar as vazões de referência estimadas considerando a disponibilidade hídrica anual com aquelas obtidas com base nos períodos sazonais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

A bacia do rio Paraopeba (Figura 2), situada no Alto São Francisco, abrange uma área de drenagem de 13.642 km² representando 2,3% da área do Estado de Minas Gerais e contribuindo com cerca de 9,1% do volume médio escoado na foz do rio São Francisco (PEREIRA, 2004). Está localizada na amplitude de coordenadas geográficas aproximadas de 20°51' e 18°35' de latitude Sul e de 45°11' e 43°38' de longitude Oeste.

O rio Paraopeba possui 510 km de comprimento e é um dos mais importantes tributários do rio São Francisco (ALVES, 2007). Seus principais afluentes na margem direita são os rios Maranhão e Betim e o ribeirão São João, e os da margem esquerda são os rios Camapuã, Manso e Pardo e os ribeirões Serra Azul e Florestal (NAGHETTINI *et al.*, 2010). Sua nascente situa-se no sul do município de Cristiano Ottoni e sua foz no lago de Três Marias, no município de Felixlândia (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2003).

Quarenta e oito municípios mineiros integram a bacia, sendo que 26 estão integralmente dentro da sua área de drenagem (SCHVARTZMAN *et al.*, 2002). A região mais densamente povoada se encontra no terço central da bacia, onde se localiza um dos mais importantes centros econômicos de Minas Gerais, localizado entre Contagem e Betim, formando o segundo pólo industrial automobilístico do país. Juntos estes dois municípios respondem por aproximadamente 12,5% do PIB de Minas Gerais.

No setor minerário, a bacia merece destaque, por fornecer agregados finos para construção civil, pedras ornamentais e minério de ferro (CIBAPAR, 2009).

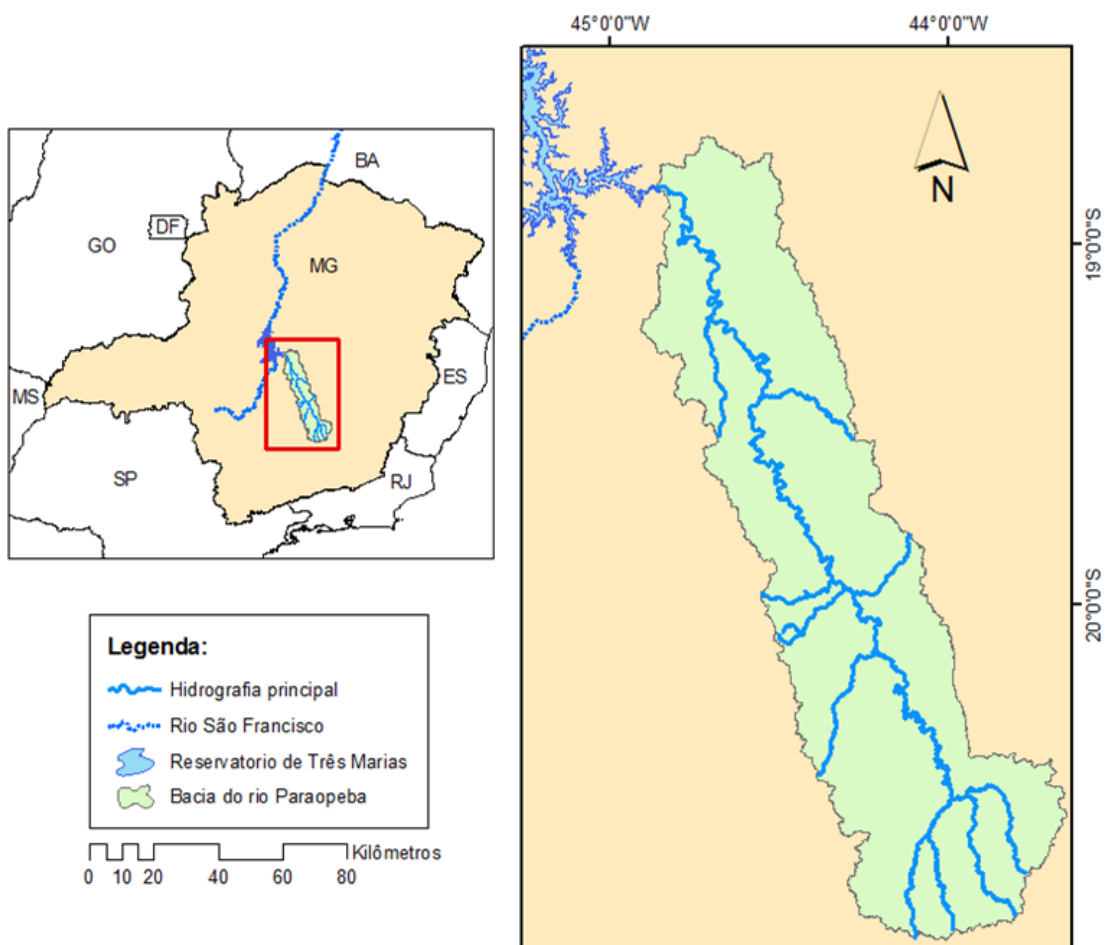


Figura 2 - Bacia do rio Paraopeba.

3.2. Estimativa das vazões mínimas de referência nos postos fluviométricos

A fim de estimar as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) foram analisados os dados consistidos de 13 estações fluviométricas (Figura 3 e Tabela 1) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb¹).

A partir desse banco de dados, o ano hidrológico foi determinado com a finalidade de servir de base temporal de avaliação em substituição ao ano civil. A determinação do ano hidrológico foi executada com base na observação da variabilidade do comportamento hidrológico da bacia.

¹ www.hidroweb.ana.gov.br

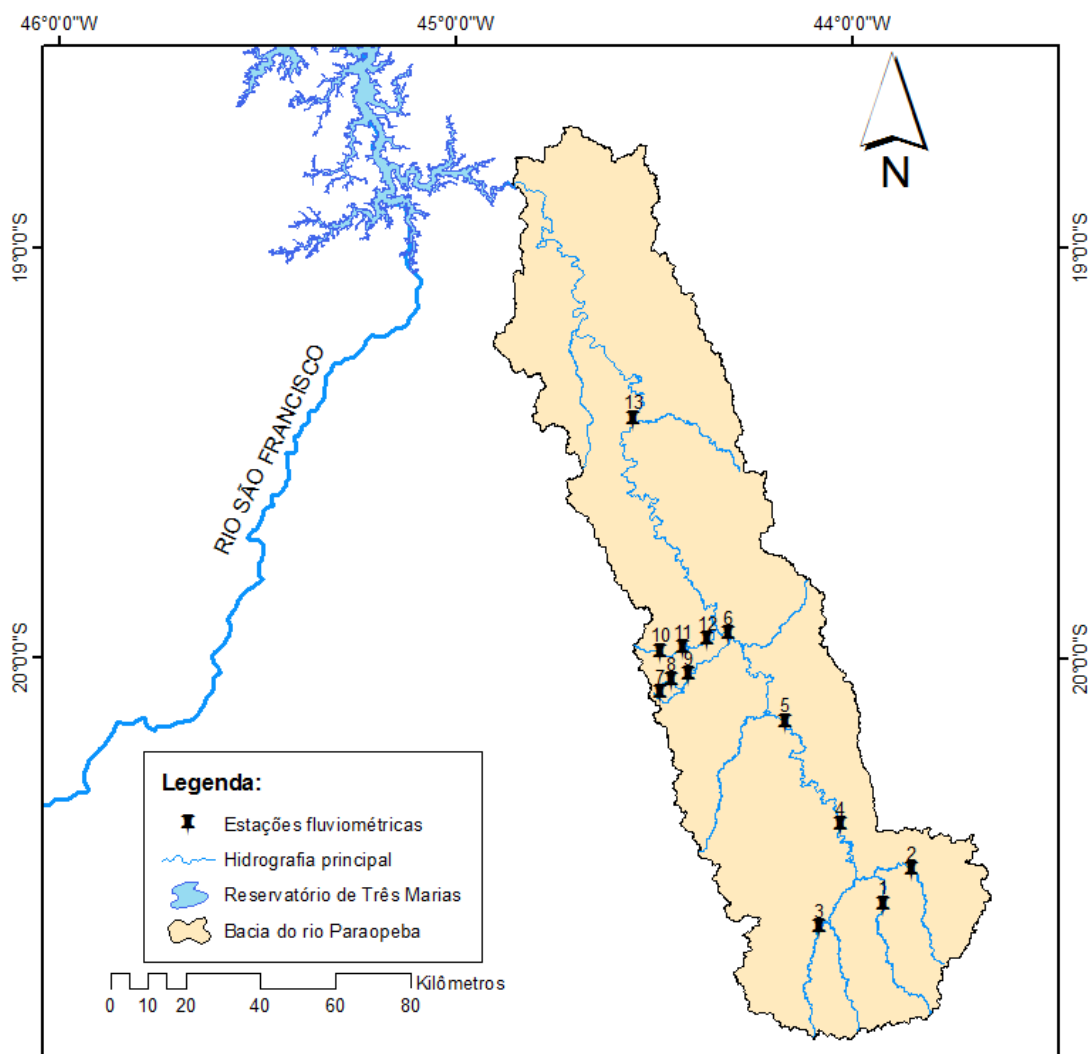


Figura 3 - Estações fluviométricas da bacia do rio Paraopeba utilizadas no estudo.

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

nº	Código	Nome	Lat. (Sul)	Long. (Oeste)	Área de drenagem (km ²)	Curso d'água
1	40549998	São Brás do Suaçui - Montante	20°36'14"	43°54'31"	446	Rio Paraopeba
2	40579995	Congonhas - Linígrafo	20°31'07"	43°50'08"	613	Rio Maranhão
3	40680000	Entre Rios de Minas	20°39'37"	44°04'19"	469	Rio Brumado
4	40710000	Belo Vale	20°24'29"	44°01'16"	2.690	Rio Paraopeba
5	40740000	Alberto Flores	20°09'25"	44°10'00"	3.945	Rio Paraopeba
6	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	19°56'56"	44°18'19"	5.680	Rio Paraopeba
7	40810350	Fazenda Laranjeiras	20°05'39"	44°29'37"	10,2	Córrego Mato Frio
8	40810800	Fazenda Pasto Grande	20°03'38"	44°27'08"	54,7	Ribeirão Serra Azul
9	40811100	Jardim	20°02'51"	44°24'32"	112,4	Ribeirão Serra Azul
10	40821998	Bom Jardim	19°59'43"	44°31'50"	39,8	Ribeirão Sesmaria
11	40822995	Mateus Leme - Aldeia	19°58'10"	44°25'19"	89,4	Ribeirão Mateus Leme
12	40823500	Suzana	19°57'41"	44°21'58"	153	Ribeirão Mateus Leme
13	40850000	Ponte da Taquara	19°25'23"	44°32'52"	8.720	Rio Paraopeba

3.2.1. Identificação dos períodos sazonais

Visando a flexibilidade anual dos critérios de outorga em consonância com a variabilidade natural do regime hidrológico, a definição dos intervalos de tempo utilizados no estudo de flexibilidade sazonal dos critérios de outorga baseou-se na validação de um conjunto de critérios que busca agrupar os meses em quadrimestres (seco, normal e chuvoso) e semestres (seco e chuvoso) que possuem o regime de hidrológico homogêneo.

Em referência à Teoria de Dow (1884), para avaliação das movimentações do mercado financeiro, Marques (2010) baseou-se em seis princípios para determinação dos períodos:

1° Princípio: As médias descontam tudo

Neste princípio, explicita-se a variabilidade das vazões diárias ao longo do dia e que os registros de monitoramento são incorporados na média. Sendo assim, a distribuição anual das vazões médias mensais não basta para definir os intervalos com regime crítico homogêneo, pois as mínimas de referência para a outorga são amortecidas pela média.

Marques (2006) observou na bacia do rio Doce, quando da divisão do ano em trimestres com base na distribuição das médias mensais, que não houve aumento da disponibilidade hídrica passível de outorga, pois apesar das médias elevadas, alguns meses apresentavam significativa ocorrência de eventos mínimos.

2° Princípio: O regime hidrológico tem três tendências

Foram estabelecidas três tendências na situação da disponibilidade hídrica ao longo do ano: mínima, média e máxima.

Na tendência de mínima ou quadrimestre seco, devido à estiagem, as vazões observadas estão próximas da vazão mínima anual. Na tendência média ou quadrimestre normal, as vazões aproximam-se das vazões médias anuais e a ocorrência de eventos mínimos são menos frequentes. A tendência de máxima é consequência do quadrimestre chuvoso, que implica em poucos ou nenhum evento de vazão mínima registrado.

Nos meses dos quadrimestres normal e chuvoso é possível, pela flexibilidade das vazões mínimas de referência, que haja acréscimos significativos de água para os usos múltiplos.

Para os semestres foram estabelecidas duas tendências, seca e chuvosa. Para tal, foram agrupados seis meses consecutivos, em um período de 12 meses de análise, com menores valores de vazões mínimas para constituir o semestre seco e os demais seis meses constituíram o semestre chuvoso.

3° Princípio: As tendências ocorrem em três fases

Segundo a teoria proposta para classificação do regime hidrológico crítico, as tendências podem apresentar fases distintas. São elas:

- Movimento: na primeira fase de cada período as vazões mínimas observadas movimentam-se no sentido da tendência: mínima ou máxima.
- Estabilização: nesta fase não ocorrem grandes variações nas vazões mínimas observadas. Na tendência média não ocorre esta fase, visto que a recessão das chuvas implica na redução contínua das vazões de base.
- Reversão: durante esta fase, o movimento se inverte e as vazões retornam contra a tendência. A tendência média não apresenta reversão.

4° Princípio: As médias devem confirmar a tendência

Por médias entendem-se as médias das vazões mínimas com sete dias de duração (Q_7) em cada quadrimestre. O princípio estabelece que a média das vazões mínimas observadas em cada quadrimestre deve confirmar as tendências de máxima, média ou mínima. Em síntese, a tendência de máxima, quadrimestre chuvoso ou semestre chuvoso deve apresentar a vazão mínima mais elevada e a tendência de mínima, quadrimestre seco ou semestre seco, a menor disponibilidade hídrica. A tendência de média ou quadrimestre normal deve se confirmar pela vazão mínima próxima da média anual.

5° Princípio: Os riscos comprovam as tendências

Enquanto o princípio anterior avalia a magnitude e a duração das vazões mínimas (Q_7), este princípio objetiva avaliar a frequência. Estabelece que a frequência de ocorrência da Q_7 no quadrimestre regido por cada tendência

confirma o agrupamento de meses com riscos homogêneos de ocorrência de situações críticas em disponibilidade hídrica.

6° Princípio: As tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas

O último princípio concilia a identificação dos períodos sazonais com a finalidade de flexibilizar os critérios utilizados no processo de outorga, estabelecendo que as vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) precisam confirmar a sazonalidade das tendências. Atendendo este princípio, existe a garantia da flexibilidade ao adotar vazões mínimas de referência específicas para cada período estabelecido.

3.2.2. Determinação das vazões mínimas de referência

A fim de avaliar a flexibilidade permitida aos critérios de outorga e, ainda, visando subsidiar as políticas de gestão dos recursos hídricos, além do tradicional período anual, os períodos sazonais foram utilizados na determinação das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}).

Inicialmente, a partir do banco de dados, foram elaborados diagramas de barras (ANEXO I) para cada estação com a finalidade de se observar os anos com total de falhas superior a 5%. Esta análise preliminar identificou a necessidade de preenchimento de falhas e o período-base (período comum de dados) de 23 anos, compreendido entre 1983 e 2005. Os dados mais recentes, referentes ao período de 2006 a 2010, não foram utilizadas por não estarem consistidos no sistema HidroWeb da ANA.

Para o cálculo da $Q_{7,10}$, inicialmente precede-se o preenchimento de falhas das séries anuais, estas foram conduzidas com base na vazão específica (q_7) e foi-se aplicado o método da regressão linear adotando-se como estação de apoio preferencialmente aquela que se encontrava localizada no mesmo curso d'água da estação com falhas em seus registros. A existência de pelo menos oito anos de dados em comum e um coeficiente de determinação mínimo de 0,7 foram os critérios estabelecidos para que se pudesse realizar o preenchimento de falhas. Nos casos de ausência de estação de apoio no mesmo rio ou de não atendimento aos critérios

mencionados anteriormente, foram testadas as estações mais próximas daquela que apresentava falhas. Neste processo a vazão específica foi utilizada pela necessidade de linearização das vazões com magnitudes discrepantes.

Assim, utilizou-se o modelo de regressão linear:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (1)$$

em que,

Y = estação fluviométrica em análise, com dados a serem preenchidos;

X = estação fluviométrica de apoio para preenchimento; e

β_0 e β_1 = parâmetros ajustados da regressão.

Como a vazão mínima $Q_{7,10}$ está associada a um determinado nível de risco, ou seja, associada a um período de retorno específico (T), as séries anuais de Q_7 para cada período de referência utilizado foram submetidas à análise estatística para identificação do modelo probabilístico que melhor se ajustava aos dados. Os modelos probabilísticos avaliados para as vazões mínimas foram os seguintes: Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull. A seleção da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou a cada uma das séries anuais de Q_7 foi realizada com base na amplitude do intervalo de confiança com 95% de probabilidade e no erro padrão.

Para obtenção das vazões de referência ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) em todas as escalas temporais (quadrimestral, semestral e anual) foi utilizado o software – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas² (SisCAH 1.0). Este sistema foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, sob a supervisão da Agência Nacional de Águas (ANA), e possui uma série de módulos computacionais que permitem realizar diversas análises do comportamento hidrológico em seções específicas da hidrografia.

Os valores de Q_{90} e Q_{95} foram obtidos das curvas de permanência de cada estação fluviométrica, com base em dados diários, retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período

² (SOUSA, 2009) disponível em: www.ufv.br/dea/gprh/software.htm

analisado. Para tanto se organizou as séries de dados de vazões em ordem decrescente e determinou-se a frequência associada a cada valor de vazão, de acordo com a equação:

$$f_i = \frac{N_{qi}}{N} \quad (2)$$

em que,

N_{qi} = número de eventos maiores ou iguais à vazão de ordem i ; e

N = número total de dados da amostra.

3.3. Comparação entre as vazões mínimas de referências de base sazonal e anual

A partir das estimativas das vazões mínimas de referência foram comparadas as vazões dos períodos quadrimestral e semestral com as do período anual. Nessa comparação foi verificada a diferença relativa da disponibilidade hídrica na vazão disponível para outorga, considerando a adoção das vazões mínimas de referência dos períodos quadrimestrais e semestrais com o período anual, conforme a equação:

$$D_p = \frac{Q_{sazonal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} \times 100 \quad (3)$$

em que,

D_p = diferença relativa da disponibilidade hídrica, %;

$Q_{sazonal}$ = vazão estimada em base sazonal, $m^3 s^{-1}$; e

Q_{anual} = vazão estimada em base anual, $m^3 s^{-1}$.

Pelo fato da bacia do rio Paraopeba estar em território mineiro, as vazões atualmente permissíveis para outorga foram quantificadas considerando o critério de 30% da $Q_{7,10}$.

Para visualização dos resultados foram elaborados gráficos, em escala comparativa, da diferença percentual da disponibilidade hídrica resultante da substituição da escala temporal anual por quadrimestral ou semestral nas análises de outorga na bacia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Períodos sazonais

A determinação dos períodos sazonais de comportamento hidrológico semelhante, segundo os critérios propostos por Marques (2010), teve a observação da variação natural do comportamento hidrológico da bacia como ponto inicial. A Figura 4 apresenta o comportamento hidrológico da estação mais a jusante da bacia do rio Paraopeba (Ponte da Taquara - 40850000), na qual se verifica que a partir do mês de setembro há um pequeno aumento dos valores nas vazões específicas médias e máxima devido ao início de eventos pluviométricos.

Estes eventos, no entanto, não são constantes o suficiente para garantir um aumento das vazões mínimas (Q_7) que continuam a registrar eventos menores ao longo dos meses de setembro e outubro. Isto pode ser justificado pelo conceito de inércia hídrica (NOVAES, 2005), que corresponde à precipitação mínima necessária para garantir a recarga do aquífero freático e, assim, garantir escoamento no leito do rio advindo da contribuição subterrânea.

A partir de novembro, com aumento das chuvas, há um aumento expressivo nos valores das vazões específicas médias e máximas e os eventos de mínima não registram valores como nos meses anteriores. Deste modo, para estudo das vazões máximas com a base anual, o ano hidrológico teria início no mês de setembro e acabaria no mês de agosto do ano seguinte. Já as vazões médias e mínimas, tendo a base anual como referência, teria seu estudo baseado no ano civil (janeiro – dezembro).

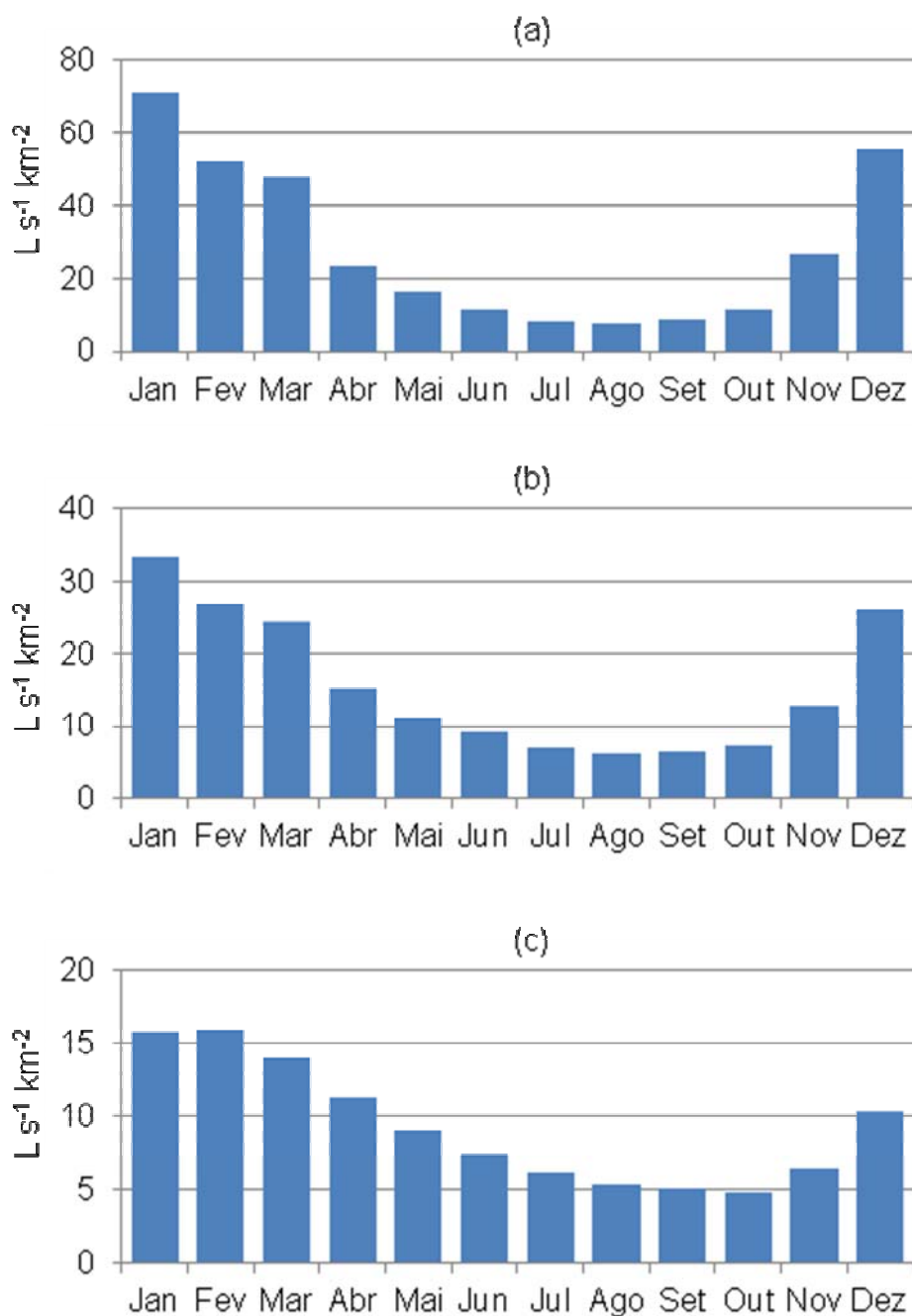


Figura 4 – Comportamento hidrológico da estação Ponte da Taquara (40850000): a) vazão específica máxima ($q_{esp\ máxima}$); vazão específica média ($q_{esp\ média}$); c) vazão específica mínima de sete dias de duração ($q_{7\ esp}$).

Entretanto, conforme proposto por Marques (2010), seis princípios baseados na Teoria de Dow foram observados para se determinar os períodos sazonais.

1° Princípio: As médias descontam tudo

Na Tabela 2 apresenta-se o padrão das vazões específicas médias, mínimas e máximas e destaca as vazões nos meses em que a consideração das vazões específicas médias comprometeria a flexibilidade da outorga pelo efeito da atenuação da média. O mês de maio apresenta valor médio 19% e 7% menor que os meses de abril e novembro, respectivamente; sendo assim, o semestre seco se estenderia de maio a outubro. Porém, ao se observar as vazões específicas mínimas, o mês de novembro apresenta valor 33% menor que as vazões de maio, apresentando uma condição mais crítica quanto à disponibilidade hídrica para outorga. Este comportamento se deve a vazões máximas mais expressivas em novembro, responsáveis por fixar o valor da média acima do que é observado em maio.

Tabela 2 – Média das vazões específicas médias, mínimas e máximas de todas as estações.

Vazões específicas (L s ⁻¹ km ⁻²)	Meses											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima	137	81	69	38	21	14	10	10	17	21	56	100
Mínima	14	14	14	12	9	8	7	6	5	5	6	9
Média	35	26	23	16	13	10	8	7	7	8	14	25

2° princípio: O regime hidrológico tem três tendências

A classificação em tendências buscou agrupar os meses com comportamentos hidrológicos semelhantes em disponibilidade hídrica. Foram agrupados os quadrimestres com menores valores de médias mínimas, configurando assim o período de tendências de mínimas, ou seja, o quadrimestre seco. Deste modo, tem-se a divisão do ano civil nos quadrimestres normal (QN), seco (QS) e chuvoso (QC) como disposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Divisão do regime hidrológico em tendências de disponibilidade hídrica

Tendência	Quadrimestres	Meses
Média	Normal	abril – maio – junho - julho
Mínima	Seco	agosto - setembro - outubro - novembro
Máxima	Chuvoso	dezembro – janeiro – fevereiro -março

Seguindo os mesmos critérios de comportamento hidrológico e análise dos valores mínimos foi possível determinar o semestre seco (SS) e chuvoso (SC) conforme apresentado na Tabela 4. O semestre seco tem início no mês de junho, que possui menor valor de média mínima que maio e finaliza no mês de novembro que possui valor de média mínima inferior ao mês de dezembro.

Tabela 4 – Divisão do regime hidrológico em semestres de mesma tendência

Semestre	Meses
Seco	junho – julho – agosto - setembro-outubro - novembro
Chuvoso	dezembro – janeiro – fevereiro -março - abril - maio

3º princípio: As tendências ocorrem em três fases

A Figura 5 apresenta a movimentação dos quadrimestres seco e chuvoso segundo as três tendências esperadas. O quadrimestre normal não apresentou todas as fases tendo apenas a de movimento no sentido decrescente rumo ao quadrimestre seco. Como o quadrimestre normal é uma transição entre o quadrimestre chuvoso e o seco, a ausência das demais fases era esperada como em Marques (2010).

A fase de movimento no sentido da tendência ocorre em um período curto, de um mês, seguido de dois meses de estabilização e um mês onde

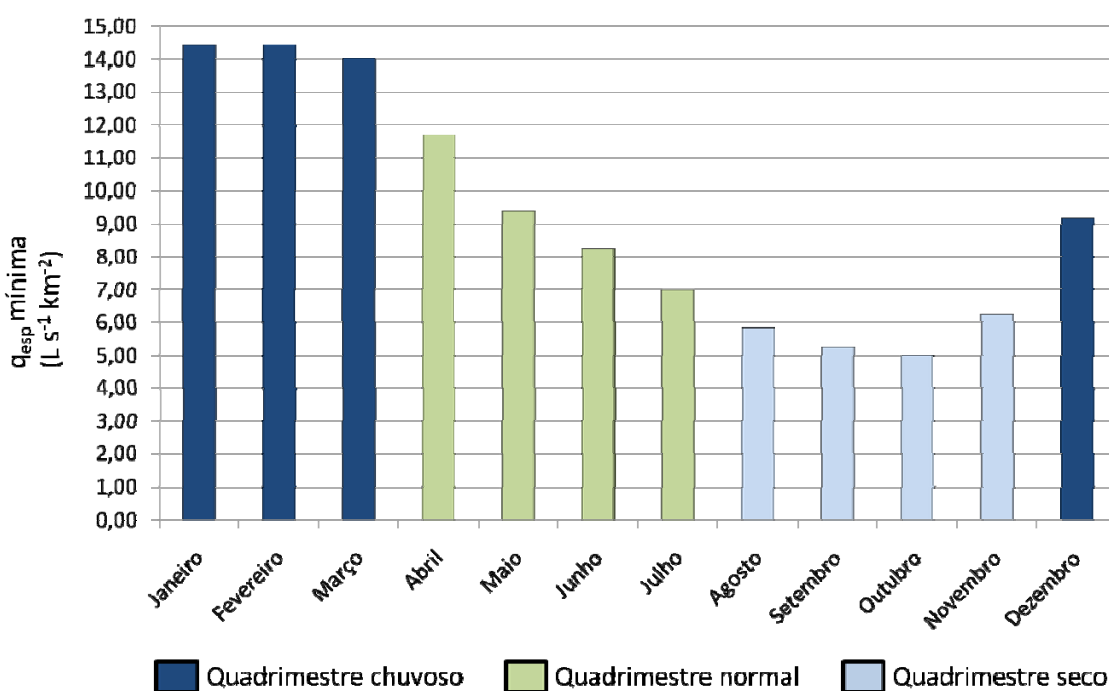


Figura 5 - Divisão sazonal do regime hidrológico.

ocorre a reversão e os valores das vazões caem ou se elevam no sentido contrário à tendência original e rumo à tendência seguinte.

4º princípio: As médias devem confirmar a tendência

Neste estudo foram comparadas as Q_7 referentes ao período sazonal em relação ao período anual em cada uma das estações. A diferença percentual média para os valores das estações fluviométricas consideradas é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Diferença percentual média da Q_7 sazonal em comparação com a Q_7 anual.

Quadrimestre			Semestre	
Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Chuvoso
0,90	54,71	143,89	0,77	93,07

5º princípio: Os riscos comprovam a tendência

A avaliação mensal da frequência de ocorrência dos valores de Q_7 anual confirmou a classificação dos meses nas tendências propostas. O quadrimestre seco concentra aproximadamente 75% das ocorrências de Q_7 anual, ou seja, em média há 75% de risco para a ocorrência dos sete dias mais secos do ano nos meses de agosto a novembro. Nos meses do quadrimestre normal, de abril a julho, este risco é de aproximadamente 14%. Já no quadrimestre chuvoso ainda há risco de aproximadamente 11% de ocorrência de um evento de Q_7 . A Figura 6a apresenta estes resultados e é possível observar que no mês de novembro o risco de ocorrência de um evento de Q_7 é 150% maior do que no mês de julho e 36% maior que no mês de dezembro.

A Figura 6b apresenta a análise de frequência para os semestres seco e chuvoso. Nota-se que a frequência de ocorrência de eventos de Q_7 no semestre chuvoso e seco é de aproximadamente 16% e 84%, respectivamente. A probabilidade de ocorrências deste evento no mês de dezembro é superior ao mês de abril, porém, de acordo com a Tabela 4, o semestre seco inicia-se em junho. Segundo Marques (2010), o estudo de frequência é crítico para a confirmação dos períodos sazonais, mas não definitivo.

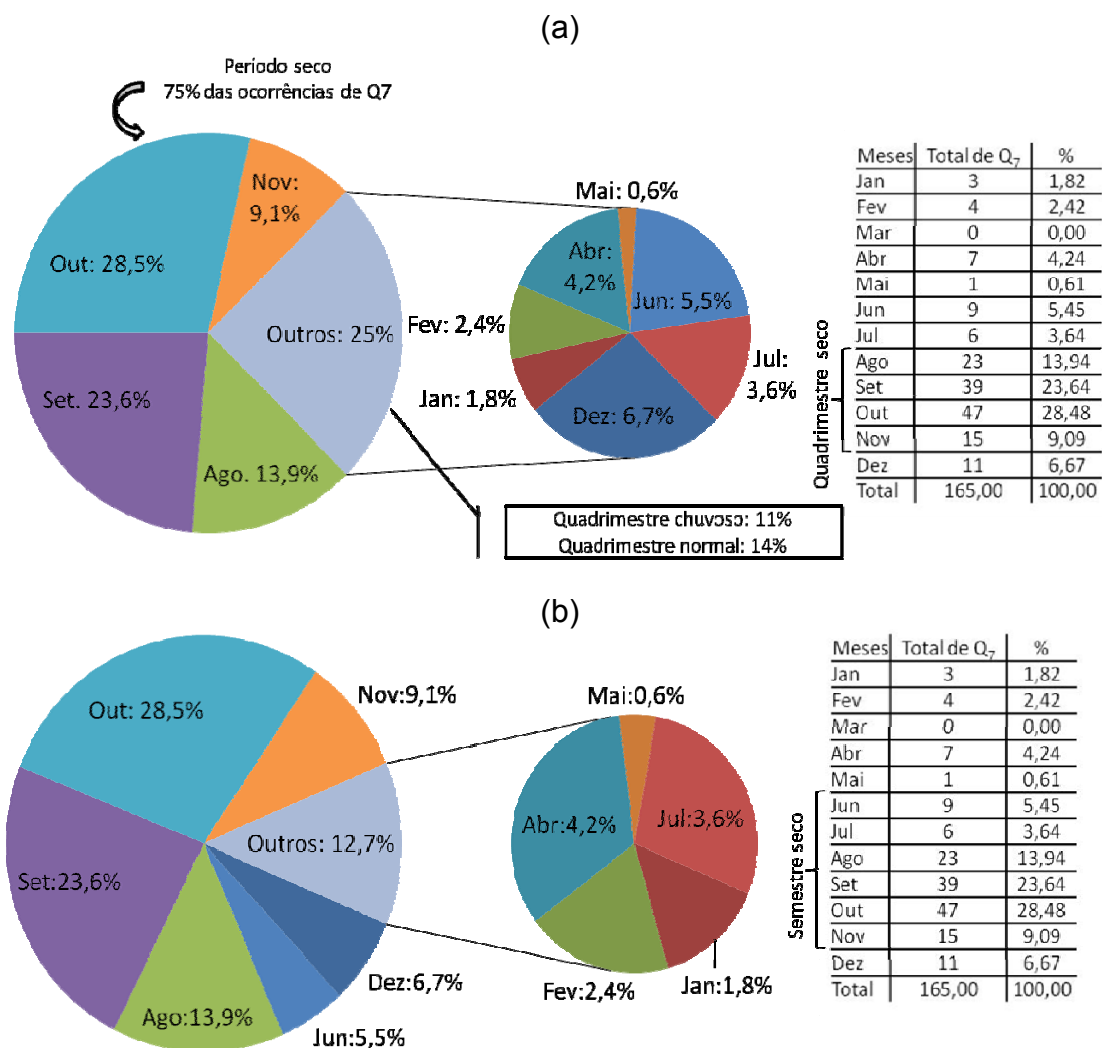


Figura 6 - Análise de frequência das ocorrências de Q₇ ao longo do ano e sua porcentagem relacionada aos: a) quadrimestres; b) semestres.

6º princípio: as tendências são confirmadas pela flexibilidade das vazões mínimas

A aplicação de períodos sazonais para aumento da flexibilidade na disponibilidade hídrica para outorga vem sendo estudada por vários autores (KELMAN, 1997; CRUZ, 2001; CATALUNHA, 2004; EUCLYDES *et al.*, 2006; MARQUES *et al.*, 2009; LISBOA *et al.*, 2009; BOF *et al.*, 2009; MARQUES, 2010; SILVA *et al.*, 2011) sendo que, apesar das singularidades quanto ao tipo de período sazonal escolhido, estes relataram ganhos percentuais no uso da vazão sazonal nos períodos de maior disponibilidade comparativamente à vazão anual correspondente.

Ao adotar a sazonalidade das tendências identificadas na bacia do rio Paraopeba, a flexibilidade deve ser confirmada, em última instância, pela comparação entre as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95}) obtidas com base em cada período e a vazão de referência de base anual, conforme requer o 6º princípio proposto por Marques (2010).

Como apresentado na Tabela 6, houve flexibilidade na adoção dos períodos sazonais. As tabelas para todas as estações, com as comparações das vazões por estação fluviométrica, estão apresentadas no Anexo II. Os quadrimestres chuvoso e normal e o semestre chuvoso apresentaram flexibilidade média de 126%, 72% e 96%, respectivamente, para a $Q_{7,10}$.

Não houve flexibilização das vazões no quadrimestre seco e semestre seco, uma vez que, em poucos casos, as ocorrências de Q_7 anual ocorreram fora deste período.

As estações que apresentaram valores de Q_7 fora do quadrimestre seco e semestre seco apresentaram vazões maiores que as vazões de base anual e, portanto, apresentaram alguma flexibilidade em relação ao quadrimestre seco, conforme apresentado na Figura 7. Foram elas, a estação Bom Jardim (40821998) que apresentou flexibilidade no semestre e quadrimestre seco e a estação Belo Vale (40710000) que apresentou flexibilidade no semestre seco.

Em relação às vazões mínimas associadas à curva de permanência, foi observada flexibilidade nos quadrimestres normal e chuvoso, assim como no semestre chuvoso, enquanto que no quadrimestre seco e semestre seco não houve flexibilização. Este fato era esperado, pois o mesmo não ocorreu em Bof *et al.* (2009), Bof (2010), Marques *et al.* (2009), Marques (2010). Foram observadas diferença relativa em relação às respectivas vazões do período anual de até -24,5%.

Tabela 6 – Diferença percentual média das vazões sazonais em relação à vazão anual correspondente referente a todas as estações

Vazões de referência	Quadrimestre			Semestre	
	Chuvoso	Normal	Seco	Chuvoso	Seco
$Q_{7,10}$	126,3	72,3	0,5	95,8	-0,4
Q_{95}	97,1	22,6	-22,7	75,0	-17,5
Q_{90}	99,0	17,1	-24,5	68,6	-18,0

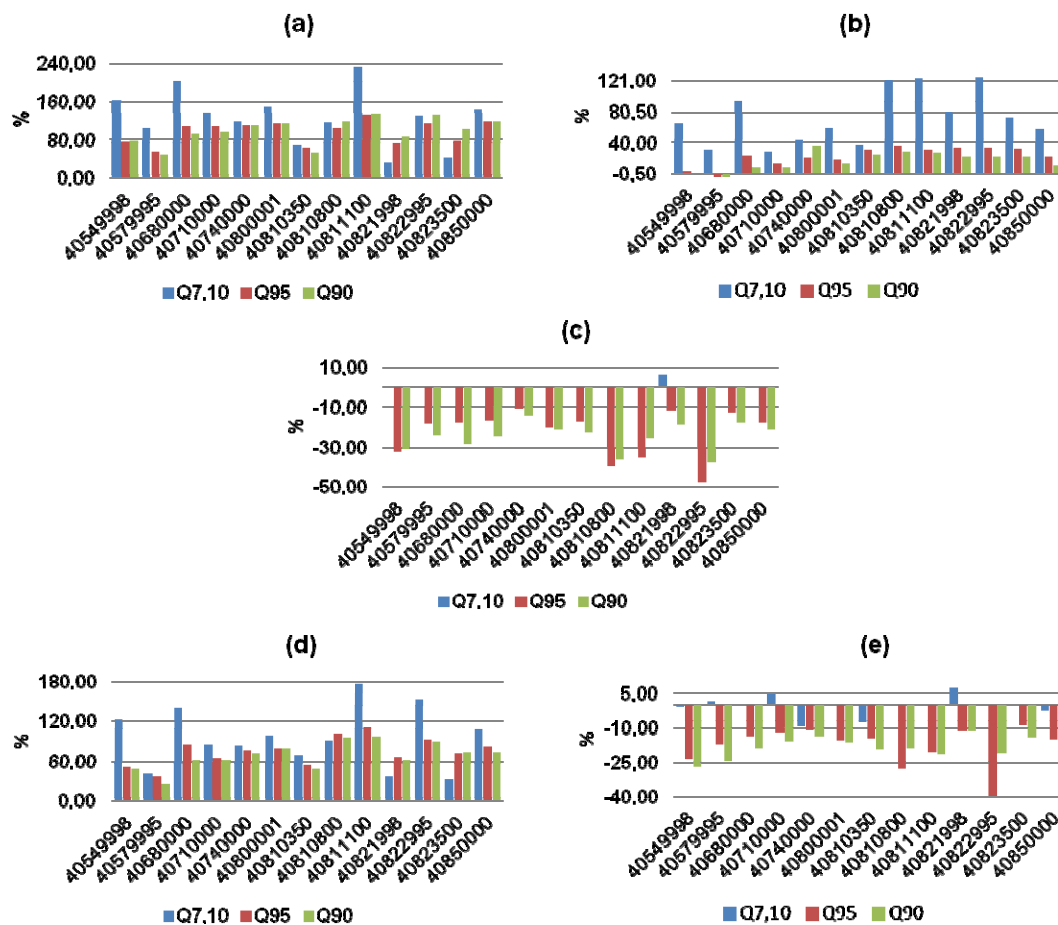


Figura 7 - Diferenças percentuais nos períodos sazonais estudados em cada estação fluviométrica: a) Quadrimestre chuvoso; b) Quadrimestre normal; c) Quadrimestre seco; d) Semestre chuvoso; e) Semestre seco.

Este fato se explica com a alteração do comportamento da curva de permanência, que, com a diminuição do período de análise se achata devido ao menor número de dados para traçá-la quando se utiliza apenas o período seco do ano, como apresentado na Figura 8.

Por outro lado, nos quadrimestres normal e chuvoso e no semestre chuvoso, os valores da Q_{90} e Q_{95} sazonais foram superiores quando comparado ao período anual de dados.

As estações Fazenda Pasto Grande (40810800), Bom Jardim (40821998) e Suzana (40823500) apresentaram vazão maior no período normal quando comparado ao quadrimestre chuvoso, apresentando, assim, maior flexibilidade nesse quadrimestre.

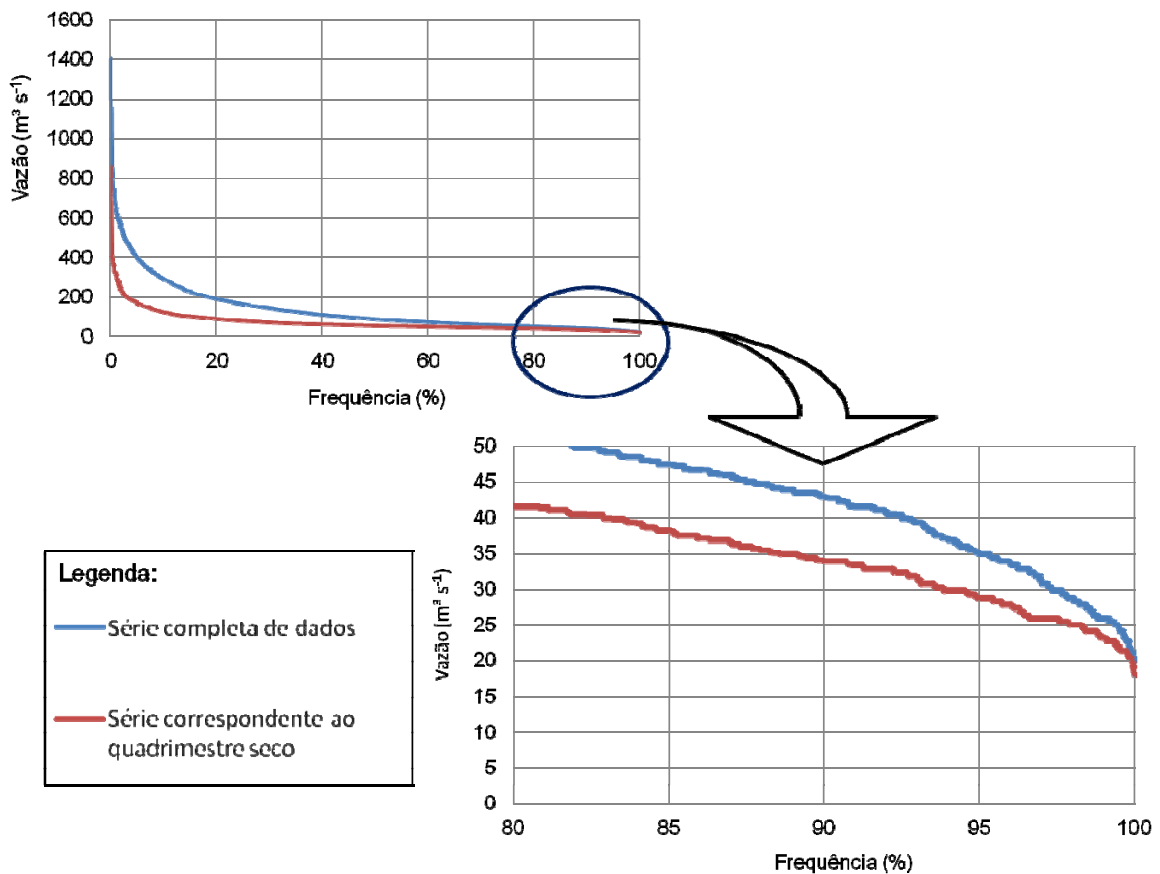


Figura 8 - Achatamento da curva de permanência da estação Ponte de Taquara (40850000) quando da consideração apenas de dados para o período seco.

A análise quantitativa sazonal da disponibilidade hídrica possibilita a elevar a possibilidade de exploração da água. Porém, a fim de garantir maior abrangência aos usos múltiplos é necessário contemplar a análise qualitativa da água, pois, certas características em empreendimentos fazem com que suas atividades se deem também de forma sazonal, quando haverá então maior consumo e aporte de efluentes despejados no corpo receptor, mesmo que este fato não coincida necessariamente com o período de maior escassez de água na bacia.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no trabalho, conclui-se que:

- A metodologia adotada para individualização dos períodos sazonais mostrou-se adequada para estimativa das vazões mínimas de referência e para a identificação dos quadrimestres seco, normal e chuvoso e semestres seco e chuvoso na bacia do rio Paraopeba;

- As diferenças relativas entre as vazões mínimas de referência sazonais e as de base anual foram expressivas nos quadrimestres normal e chuvoso e no semestre chuvoso;

- Não houve diferença relativa da $Q_{7,10}$ no semestre e quadrimestre secos em relação a base anual, enquanto que as vazões Q_{90} e Q_{95} nestes dois períodos sazonais foram menores comparativamente ao período anual; e

- O uso dos critérios baseados no comportamento hídrico sazonal propiciou flexibilização nas vazões outorgáveis na bacia do rio Paraopeba nos quadrimestres chuvoso e normal assim como no semestre chuvoso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/Downloads/2010/1%20-%20RELAT%C3%93RIO%20DE%20CONJUNTURA/Conjuntura_2010.pdf> Acesso em: 26 abr. 2011.

_____. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos 4**. Superintendência de Outorga e Fiscalização. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.intranet.anchieta.br/w ebmagistral/Intranet/biblioteca/Livros_Eletronicos%5CAg%C3%Aancia%20Nacional%20de%20%C3%81guas.%20Cadernos%20de%20Recursos%20H%C3%ADricos%204.pdf>. Acesso em: 24 novembro de 2011.

ALVES, C. B. M. Evaluation of fish passage through the Igarapé Dam fish ladder (rio Paraopeba, Brazil), using marking and recapture. **Neotrop. Ichthyol. [online]**. 2007, vol.5, n.2, pp. 233-236. ISSN 1679-6225.

BRAGA, B. P. F.; FLECHA, R; PENA, D. S., KELMAN, J. Pacto Federativo e Gestão d'águas. **Estudos Avançados. [online]**. 2008, vol.22, n.63, p. 17-42. ISSN 0103-4014.

BOF, L. H. N. **análise de critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BOF, L. H. N.; PRUSKI F. F.; SOUZA, W. A. M. Impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009**, Campo Grande - MS. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da Q7,10 para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA – CIBAPAR. **A Bacia do Paraopeba.** Disponível em: 0<<http://www.aguasdoparaopeba.org.br/texto.php?p=baciahidrografica>>. Acesso em 28 de jul. de 2011.

_____. **Plano Diretor da Bacia do Rio Paraopeba – Resumo Preliminar.** IGAM/UFV/UFOP/CETEC. Betim-MG, 2009. 83 p.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.** Porto Alegre, RS: UFRGS, 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A., FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais – Estudo de Caso. **Revista Item – Irrigação e Tecnologia Moderna**, 2006. Brasília, n. 71/72, p.42-50.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. - **Water Policy Reviews in Practice.** 2008. Cap. 1, p. 6-13.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2010, dados preliminares.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/censo2010/primeiros_dados_divulgados/index.php>. Acesso em: 26 abr. 2011.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP – GWP. **Integrated Water Resources Management.** Technical Advisory Committee, Stockholm, Suécia. 2000

KELMAN, J. **Gerenciamento dos recursos hídricos. Parte I: outorga.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997, Vitória, Anais..., ABRH, 16 a 20 de novembro de 1997, CD-ROM.

LISBOA, L.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Análise das vazões alocáveis na bacia do rio Paraopeba considerando a sazonalidade da disponibilidade Hídrica. **XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009.** Petrolina – PE e Juazeiro – BA. Anais... Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.

MARQUES, F. A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos.** Viçosa, MG: UFV, 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARQUES, F. A. **Sistema de Controle Dinâmico para a Gestão dos Usos Múltiplos da Água**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MARQUES, F. A.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2009, v.14, n.4,p. 51-69.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. Viçosa, MG: UFV. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NAGHETTINI, M.; VIVIANE, B. P. Calibração e um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 2010. vol. 15 n.2. p. 143-156.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. VIÇOSA, MG, UFV. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **World Water Assessment Program. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World**. Paris: UNESCO, and London: Earthscan 2009. 349 p.

PEREIRA, S. B. **Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. 2004. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RODRIGUEZ, R. DEL G., PRUSKI, F. F., NOVAES, L. F., SILVA, D. D., RAMOS, M. M., TEIXEIRA, A. F. Vazões Consumidas pela Irrigação e Pelos Abastecimentos Animal e Humano (urbano e Rural) na Bacia do Paracatu no Período de 1970 a 1976. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2006, vol. 11 n.3, p. 223-233.

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**, 2002. vol. 7, n. 1, p. 103-122.

SILVA, D. D., MARQUES, F. A., LEMOS, A. F. Flexibilidade das Vazões Mínimas de Referência com a Adoção do Período Trimestral. **Engenharia na Agricultura**. 2011, vol. 19, n 3.

SILVA JÚNIOR, O. B., BUENO, E. O., TUCCI, C. E. M., CASTRO, N. M. R. Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2003, vol. 8, n.1, p. 21–37.

SOUSA, H. T. **Sistema computacional para regionalização de vazões.** Viçosa, MG, UFV. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG.

ANEXO I
Diagrama de barras das estações

Tabela I – Diagrama de barras das estações utilizadas no trabalho.

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
40549998	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#	
40579995	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	#	o	o	#	o	o	o	o	o	#	o	#	#	o	#	o	#	#	
40680000	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	#	o	#	#	
40710000	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	o	o	o	o	o	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#
40740000	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#
40800001	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	#	#	#
40810350	o	o	o	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	o
40810800	o	o	o	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#
40811100	o	o	o	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#
40821998	o	o	o	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	x	x	x	x
40822995	o	o	o	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	#	#	#
40823500	o	o	o	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#
40850000	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	o	o	o	o	#	o	o	o	o	o	o	o	o	#	o	#	#
Período de estudo – dados consistidos																							Dados brutos						
o	Anos com menos de 5% de falhas																												
#	Anos com mais de 5% de falhas																												
x	Anos sem dados																												

ANEXO II

Diferença relativa entre as vazões estimada de referência de base sazonal e de base anual em cada estação da bacia

Tabela II.1 – Vazões estimadas de $Q_{7,10}$ em cada período sazonal analisado e a diferença relativa com base na vazão mínima obtida do período anual

Código	Anual	QC		QN		QS		SS		SC	
		Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)
40549998	1,44	3,77	162,29	2,39	66,05	1,44	0,00	1,43	-0,65	3,21	123,33
40579995	1,55	3,18	105,53	2,02	30,56	1,55	0,44	1,57	1,58	2,21	42,83
40680000	1,15	3,49	203,48	2,22	93,04	1,15	0,00	1,15	0,00	2,77	140,87
40710000	11,41	27,01	136,74	14,63	28,25	11,41	0,00	11,95	4,70	21,09	84,88
40740000	13,50	29,48	118,35	19,34	43,28	13,50	0,00	12,26	-9,20	24,79	83,65
40800001	15,49	38,41	147,97	24,56	58,55	15,49	0,00	15,49	0,00	30,90	99,48
40810350	0,03	0,05	68,86	0,04	37,89	0,03	0,00	0,03	-7,23	0,05	68,86
40810800	0,12	0,26	116,61	0,27	121,19	0,12	0,00	0,12	0,00	0,23	91,62
40811100	0,22	0,73	231,54	0,49	124,35	0,22	0,00	0,22	0,00	0,60	176,21
40821998	0,08	0,10	32,11	0,14	81,22	0,08	6,25	0,08	7,21	0,11	37,56
40822995	0,15	0,35	131,60	0,34	125,73	0,15	0,00	0,15	0,00	0,38	153,75
40823500	0,43	0,62	43,60	0,75	72,58	0,43	0,00	0,43	0,00	0,58	34,34
40850000	23,15	56,29	143,19	36,54	57,86	23,15	0,00	22,66	-2,09	48,23	108,38
Média			126,30		72,35		0,51		-0,44		95,83

Valores em $m^3 s^{-1}$.

Tabela II.2 – Vazões estimadas de Q_{95} em cada período sazonal analisado e a diferença relativa com base na vazão mínima obtida do período anual

Código	Anual	QC		QN		QS		SS		SC	
		Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)
40549998	2,53	4,47	76,68	2,61	3,30	1,72	-32,02	1,94	-23,38	3,84	51,70
40579995	2,42	3,76	55,32	2,24	-7,56	1,98	-18,11	2,01	-16,93	3,35	38,48
40680000	2,08	4,34	108,53	2,57	23,34	1,72	-17,31	1,80	-13,59	3,85	84,92
40710000	15,59	32,48	108,33	17,73	13,71	13,02	-16,52	13,73	-11,91	25,61	64,26
40740000	18,70	39,56	111,52	22,65	21,12	16,68	-10,80	16,68	-10,80	32,90	75,91
40800001	23,43	50,56	115,77	27,83	18,77	18,72	-20,11	19,94	-14,91	42,18	79,99
40810350	0,04	0,07	64,29	0,06	30,95	0,04	-16,90	0,04	-14,29	0,07	54,05
40810800	0,19	0,39	103,96	0,26	36,68	0,12	-39,16	0,14	-27,60	0,38	101,85
40811100	0,35	0,82	133,23	0,46	31,44	0,23	-34,76	0,28	-20,05	0,74	110,09
40821998	0,11	0,19	71,64	0,15	33,92	0,10	-11,75	0,10	-11,04	0,19	66,25
40822995	0,28	0,60	115,86	0,37	34,24	0,15	-47,27	0,17	-39,75	0,54	92,34
40823500	0,55	0,98	77,53	0,73	32,23	0,48	-12,69	0,50	-8,56	0,95	72,11
40850000	34,94	76,74	119,67	42,69	22,18	28,80	-17,56	29,79	-14,73	63,80	82,63
Média			97,10		22,64		-22,69		-17,50		74,97

Valores em $m^3 s^{-1}$.

Tabela II.3 – Vazões estimadas de Q_{90} em cada período sazonal analisado e a diferença relativa com base na vazão mínima obtida do período anual

Código	Anual	QC		QN		QS		SS		SC	
		Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)	Est.	Dp (%)
40549998	3,01	5,34	77,04	3,01	0,00	2,10	-30,49	2,21	-26,81	4,47	48,31
40579995	2,97	4,41	48,66	2,88	-3,09	2,25	-24,10	2,25	-24,10	3,76	26,82
40680000	2,73	5,27	92,91	2,97	8,78	1,98	-27,65	2,22	-18,64	4,42	62,02
40710000	19,34	38,07	96,83	20,80	7,52	14,65	-24,25	16,33	-15,56	31,35	62,10
40740000	21,62	45,68	111,25	29,40	35,96	18,64	-13,79	18,70	-13,50	37,15	71,81
40800001	28,18	60,80	115,71	31,90	13,17	22,28	-20,94	23,73	-15,79	50,51	79,22
40810350	0,05	0,08	52,80	0,07	25,15	0,04	-22,24	0,04	-18,76	0,08	48,94
40810800	0,23	0,51	118,53	0,30	29,11	0,15	-35,77	0,19	-18,53	0,46	95,53
40811100	0,45	1,05	135,07	0,57	27,86	0,34	-25,30	0,35	-21,28	0,88	97,08
40821998	0,13	0,24	85,42	0,16	22,37	0,11	-18,40	0,12	-11,07	0,21	62,52
40822995	0,35	0,82	132,72	0,43	22,28	0,22	-37,09	0,28	-20,68	0,67	90,24
40823500	0,64	1,29	102,00	0,78	22,55	0,53	-17,50	0,55	-13,76	1,11	73,04
40850000	42,82	93,48	118,30	47,39	10,66	33,88	-20,88	36,01	-15,92	74,45	73,86
Média			99,02		17,17		-24,49		-18,03		68,58

Valores em $m^3 s^{-1}$.

Artigo II

Avaliação de índices para a gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba

1. INTRODUÇÃO

Na gestão de recursos hídricos, a alocação de água consiste no “processo de definição de quantidades de água ou vazões a serem repartidas espacialmente e pelos tipos de usos e que, portanto, estabelece limites e define critérios e prioridades de outorga, tendo por objetivo principal a garantia de fornecimento d’água aos atuais e futuros usuários de recursos hídricos, respeitando-se as necessidades ambientais em termos de vazões mínimas a serem mantidas nos rios” (CBHRSF, 2004).

A análise das vazões alocáveis da bacia fornece subsídios para o planejamento estratégico da bacia, o qual se baseia no estudo de cenários alternativos futuros, estabelecendo metas e alternativas específicas de desenvolvimento sustentável (SILVA e RAMOS, 2001).

A outorga de direito de uso da água é o instrumento legal que assegura ao usuário o direito de utilizar os recursos hídricos. É um documento que deve garantir o controle quantitativo e qualitativo do uso da água, especificando o local, a fonte, a vazão e a finalidade de seu uso em determinado período. A outorga não dá ao usuário a propriedade da água ou sua alienação, mas o simples direito de seu uso. Portanto, poderá 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).

No Estado de Minas Gerais, o órgão responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), o qual concede a outorga de acordo com as seguintes modalidades (IGAM, 2010): Autorização - obras, serviços ou atividades desenvolvidas por pessoa física ou jurídica de direito privado, quando não se destinarem a finalidade de utilidade pública (prazo máximo de 5 anos); e Concessão - obras, serviços ou atividades desenvolvidas por pessoa jurídica de direito público, quando se destinarem a finalidade de utilidade pública (prazo máximo de 35 anos).

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 do encerramento do prazo de validade das outorgas.

Neste contexto, Moreira *et al.* (2010) analisaram as vazões passíveis de serem outorgadas na foz do ribeirão Entre Ribeiros, afluente rio Paracatu, no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2010. Os autores verificaram que as vazões outorgadas naquela seção, em todos os meses em análise, superaram a vazão máxima passível de ser outorgada.

Situação crítica evidenciada pelos autores na bacia do ribeirão Entre Ribeiros é corroborada por outros autores (ANA, 2005; NOVAES *et al.*, 2009), e também evidenciada nas bacias dos rios Verde Grande, Carinhanha, Paracatu e Paraopeba (ANA, 2005), e remete à necessidade de um adequado programa de gestão e planejamento de recursos hídricos.

A gestão de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba assume relevante importância, uma vez que além dos projetos de extração de minério, a bacia abastece grande parte da região metropolitana de Belo Horizonte.

Nestes casos, a tomada de decisão sobre o gerenciamento de recursos hídricos deve ser eficaz e surtir efeito em toda a bacia. Este processo pode ser apoiado com o uso de índices, que traduzem os dados coletados nas estações fluviométricas em informações para gestão e planejamento.

Índices como o *Water Scarcity Index* - WSI (FALKENMARK, 1987), *Social Water Scarcity Index* – SWSI (OHLSSON, 2000), *Water Exploitation Index* - WEI (EEA, 2004) ou critérios de classificação com base na disponibilidade e na demanda hídrica que fornecem valores globais para toda bacia são normalmente aplicados em nível de países, não permitindo 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 (2010) propôs a adoção de dois índices para caracterizar a situação de uma bacia em termos de gestão e planejamento. O primeiro, 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 a situação do curso d'água em segmentos pré-definidos e suas opções quanto a soluções de impacto imediato e de longo prazo.

Dessa forma, tendo em vista que a disponibilidade hídrica impõe restrições ao desenvolvimento econômico e social da região, o presente trabalho tem como hipótese que aplicação de índices de gestão e planejamento de recursos hídricos na bacia do rio Paraopeba permitirá ao órgão gestor verificar regiões com possíveis conflitos ou com problemas que possam vir requerer intervenções.

2. OBJETIVO

Avaliar o índice de identificação de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg}) e índice de identificação de conflito pelo uso da água no planejamento de recursos hídricos (i_{cp}) na bacia do rio Paraopeba visando identificar conflitos potenciais pelo uso da água e fornecer subsídios às ações do órgão gestor de recursos hídricos de Minas Gerais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da 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 km². 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).

Está localizada na amplitude de coordenadas geográficas aproximadas de 20°51' e 18°35' de latitude Sul e de 45°11' e 43°38' de longitude Oeste. 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 (NAGHETTINI, 2010).

O rio Paraopeba, afluente da margem direita do rio São Francisco, possui 510 km de comprimento e é um dos seus mais importantes tributários (ALVES, 2007). Nasce ao sul do município de Cristiano Ottoni e deságua no lago de Três Marias, no município de Felixlândia (SILVA JÚNIOR, 2003). Quarenta e oito municípios mineiros compõem a bacia, sendo que 26 situam-se integralmente dentro da sua área de drenagem (SCHVARTZMAN *et al.*, 2002).

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 (SCHAYER SABINO *et al.*, 2008).

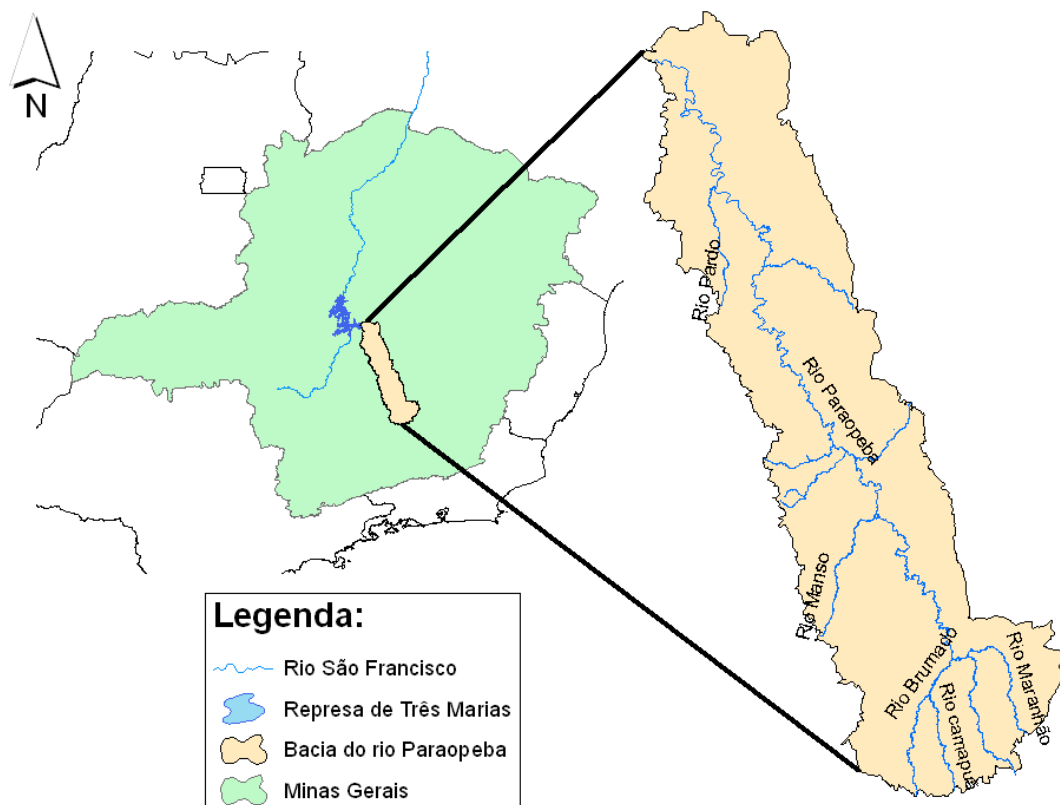


Figura 1 - Principais cursos d'água da bacia do rio Paraopeba.

3.2. Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC)

A fim de compilar as informações e apresentar os resultados gerados na aplicação dos índices, foi necessária a construção do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) para a bacia do rio Paraopeba. Na sua elaboração foram utilizadas as imagens do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection*) com resolução espacial de 30 metros e a base hidrográfica, na escala de 1:1.000.000, da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e apresentada na Figura 2.

O condicionamento da base altimétrica com a hidrográfica foi realizada no software ArcGIS® usando a plataforma Arc Hydro®. Os componentes da aplicação Arc Hydro (*Data Model e Tools*) merecem destaque, pois rotinas pré-estabelecidas estruturam os bancos de dados geográficos e possibilitam acessar ferramentas que implementam sub-rotinas que facilitam as análises frequentemente utilizadas na área de recursos hídricos (MAIDMENT, 2002).

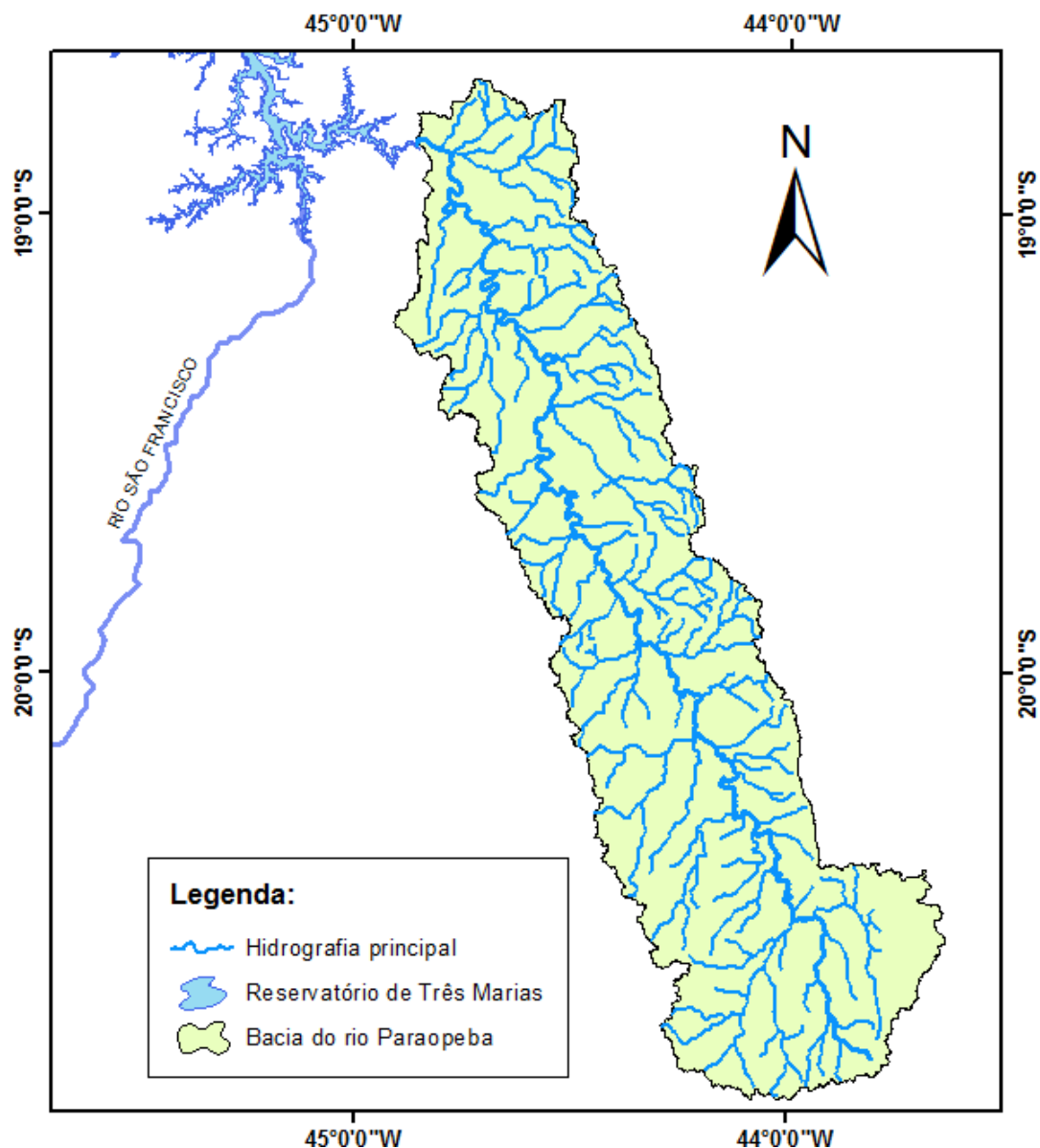


Figura 2 - Hidrografia mapeada da bacia do rio Paraopeba disponibilizada pela ANA na escala de 1:1.000.000.

3.3. Obtenção dos índices

O MDEHC gerado permitiu a aplicação dos índices por segmento da hidrografia. Estes foram definidos de três formas: a) os trechos de curso de curso d'água entre uma foz e sua primeira confluência; b) os trechos entre confluências vizinhas; c) os trechos entre uma confluência e sua nascente (Figura 3). Após gerar o modelo foram obtidos 298 segmentos onde foram implementados os índices i_{cg} e i_{cp} .

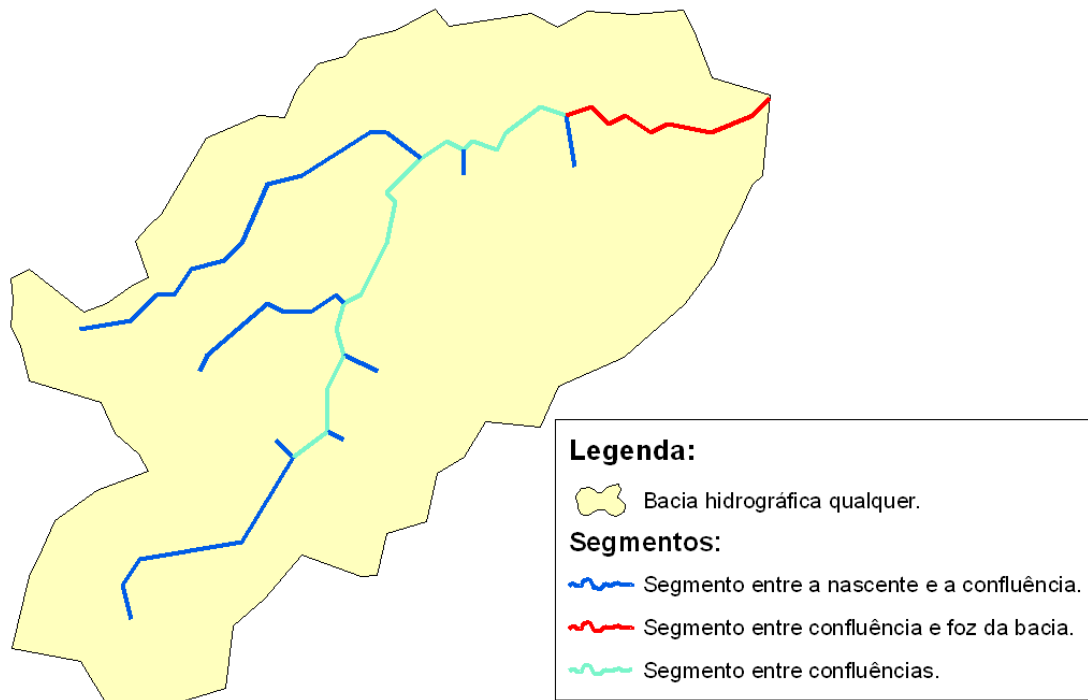


Figura 3 - Identificação de segmentos de cursos d'água em uma bacia hidrográfica.

Para a aplicação dos índices, além do MDEHC, foram necessários os valores das vazões outorgadas e das vazões estimadas nas confluências da hidrografia gerada.

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

Já a estimativa das vazões necessárias para aplicação dos índices, vazão média de longa duração (Q_{mld}) e a vazão mínima de referência de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) para pedidos de outorga no Estado de Minas Gerais foram calculadas pelas equações propostas por Rodriguez (2008). Neste trabalho as equações estão em função da vazão equivalente:

$$P_{eq} = \frac{P.A}{31.536} \tag{1}$$

em que,

P_{eq} = Vazão equivalente ao volume precipitado, $m^3 s^{-1}$;

P = Precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm; e

A = Área de drenagem, km^2 .

A área de drenagem será aquela referente a foz de cada segmento da hidrografia e a precipitação equivalente considerando os efeitos da inércia hídrica, descrito por NOVAES (2005).

A precipitação média na bacia do rio Paraopeba (P) foi estimada pelo método das isoietas, com dados de 103 estações utilizando-se o interpolador IDW (*Inverse Distance Weighting*) do ArcGIS®, com fator de ponderação 2, como apresentado na Figura 4.

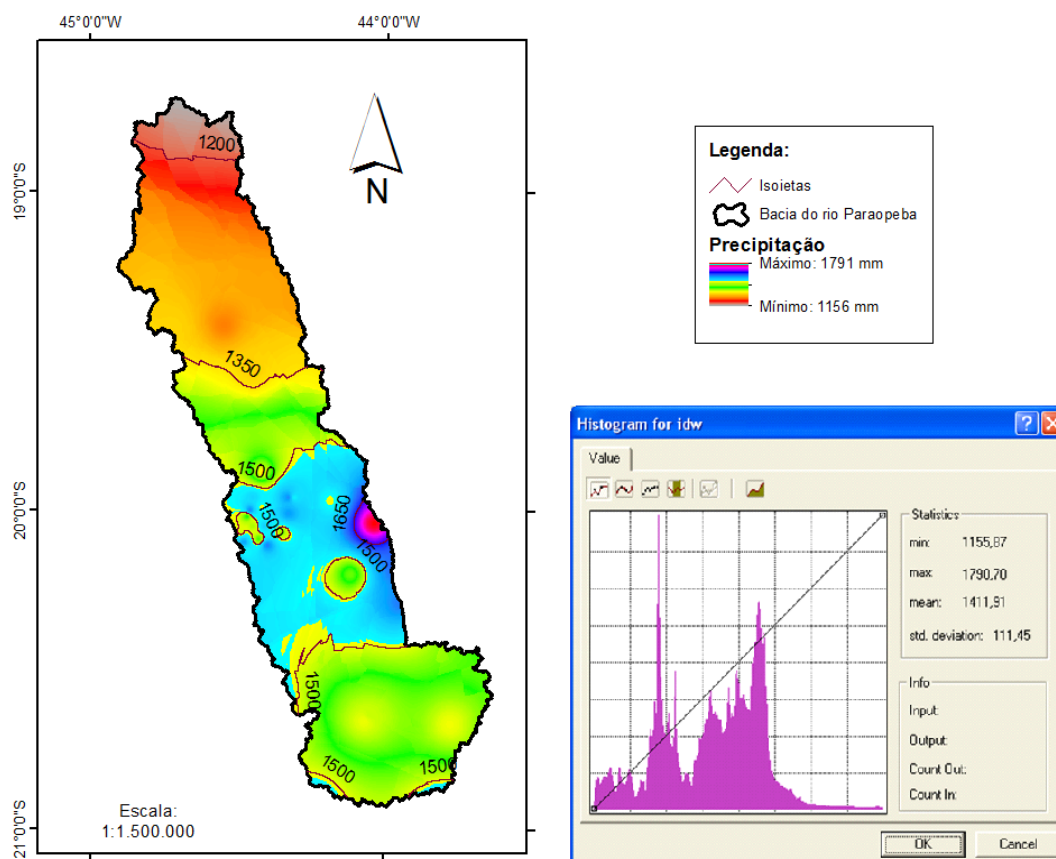


Figura 4 - Método das isoietas aplicado à bacia em estudo, com destaque para a média de precipitação na bacia.

3.3.1. Índice de identificação de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg})

O 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, calculado pela equação proposta por Moreira (2010):

$$i_{cg} = \frac{Q_{out}}{\frac{x}{100} Q_{mr}} \quad (2)$$

em que,

i_{cg} = índice de identificação de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos, adimensional;

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

x = fração da vazão mínima passível de ser outorgada, %; e

Q_{mr} = vazão mínima de referência 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 (IGAM) (30% da $Q_{7,10}$), que corresponde ao critério de outorga adotado em Minas Gerais. O produto obtido por x e Q_{mr} corresponde à vazão máxima passível de ser outorgada para usos consultivos 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 ($Q_{7,10}$), uma vez que o rio Paraopeba é de domínio estadual. Os valores da $Q_{7,10}$ foram obtidos utilizando a equação de regionalização proposta por Rodriguez (2008) para a bacia do rio Paraopeba:

$$Q_{7,10} = 0,077747 P_{eq750}^{1,128312} \quad (3)$$

em que,

$Q_{7,10}$ = Vazão mínima referente a sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, $m^3 s^{-1}$; e

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

Neste caso, a P_{eq750} foi calculada pela equação:





$$P_{eq750} = \frac{(P - 750)A}{31.536} \quad (4)$$

A Equação 3 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 dessa equação.

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} , tem-se a seguinte escala de variação dos valores de i_{cg} :



- $0 \leq i_{cg} \leq 1$ → situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo se encontram dentro dos limites legais;
- $i_{cg} > 1$ → situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos pela legislação.

Mapas foram gerados onde os segmentos dos rios da bacia do Paraopeba foram coloridos de modo a demonstrar o grau de conflito na região:

-  ($i_{cg} = 0$), 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, basta multiplicar 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.

3.3.2. Índice de identificação de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp})

O 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 seguinte equação proposta por Moreira (2010):

$$i_{cp} = \frac{Q_{out}}{Q_{mld}} \quad (5)$$

em que,

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

Q_{mld} = 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 a 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.

A obtenção da Q_{mld} na foz de cada segmento foi feita a partir das equações resultantes do trabalho de Rodriguez (2008) para a bacia do rio Paraopeba:




$$Q_{mld} = 0,324716P_{eq}^{1,0281} \quad (6)$$

Rodriguez (2008) destaca como condição para utilização da Equação 6 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, entre 0,29 e 0,39.

Os valores de i_{cp} , considerando-se a variação dos valores de Q_{out} em relação à Q_{mld} , variam da seguinte forma:

- $0 < i_{cp} \leq 1$ → situação na qual existindo o conflito pelo uso da água, ainda se pode ser resolvido com a adoção de medidas estruturais; e
- $i_{cp} > 1$ → situação na qual o conflito não pode ser contornado apenas com medidas estruturais.

Para os intervalos de i_{cp} , o seguinte simbolismo foi utilizado no mapas da gerados para a bacia, onde os segmentos dos rios principais 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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 estão espacializados os 189 pontos de outorga na bacia do rio Paraopeba segundo o banco de dados disponibilizado pelo CIBAPAR. Destes, 76 estavam relacionados à irrigação, 39 ao uso industrial, 13 ao abastecimento urbano de caráter concessivo, 12 ao consumo humano, 11 a dessedentação animal, nove a aquicultura, um a extração mineral e 28 não apresentaram a finalidade de uso, representando uma vazão captada de $27,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Com base no número de outorgas para a irrigação fica evidenciado a predominância dessa atividade econômica na bacia, porém, devido ao parque industrial da região metropolitana de Belo Horizonte, percebe-se que o setor industrial também merece destaque no uso da água.

Nota-se uma concentração de outorgas na parte central da bacia que, segundo Schvartzman *et al.* (2002), é decorrente dos núcleos populacionais com maior densidade demográfica, correspondentes à zona metropolitana de Belo Horizonte.

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 aponta Moreira (2010), 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.

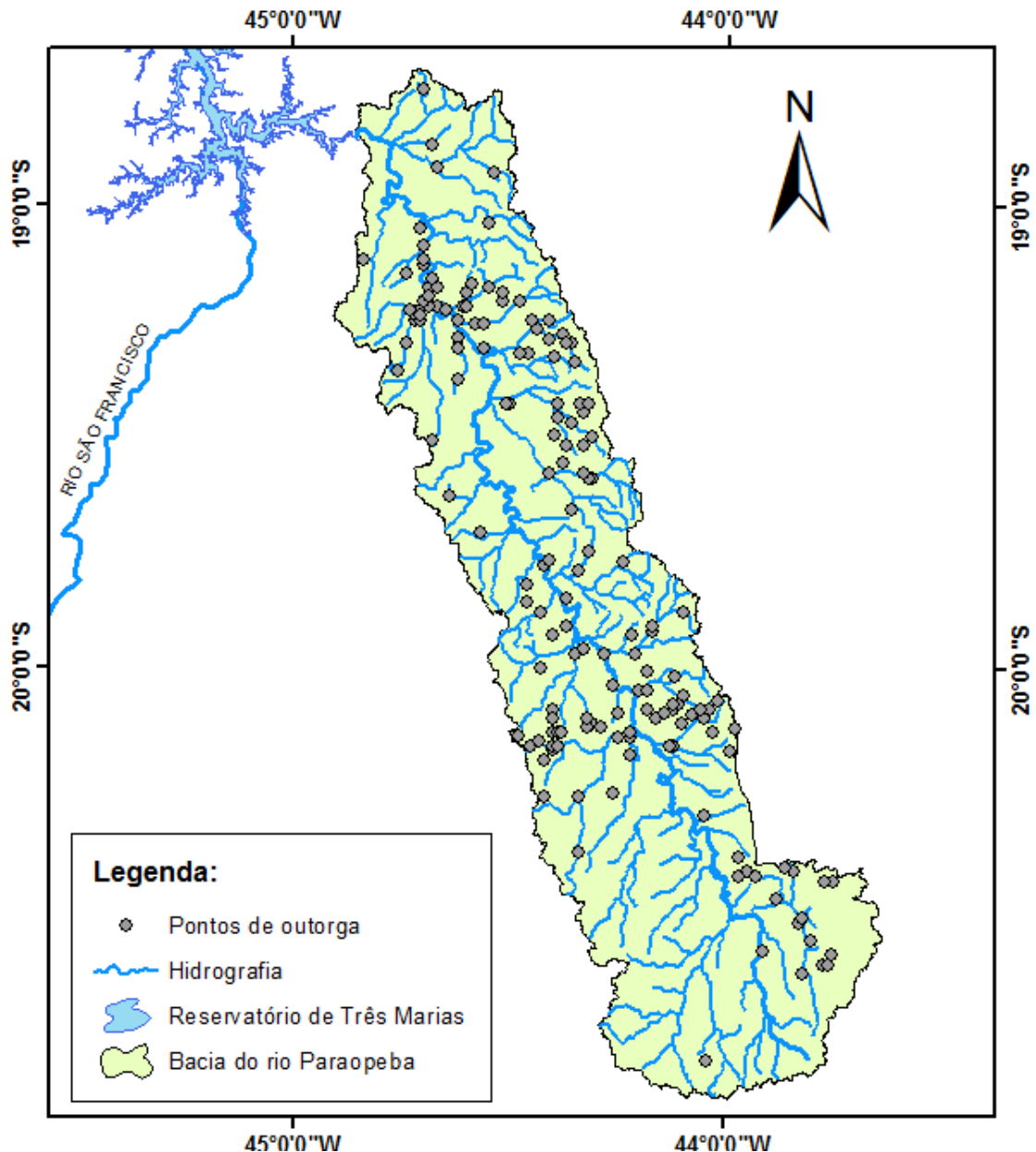








Figura 5 - Pontos de outorga aplicados a bacia do rio Paraopeba.

A Tabela 1 apresenta a distribuição dos resultados da aplicação do i_{cg} ao longo da bacia para os 150 segmentos que apresentaram vazões outorgadas no próprio segmento ou a montante deste. O mapa referente à aplicação do i_{cg} nestes segmentos é apresentado na Figura 6.

Tabela 1 - Classificação dos segmentos da bacia do rio Paraopeba de acordo com o índice de identificação 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	25,1
$0,7 < i_{cg} \leq 0,9$		5	1,6
$0,9 < i_{cg} \leq 1,0$		3	0,9
$\times i_{cg} \leq 1,0$		48	16,0
$\times i_{cg} > 1,0$		20	6,7
Total		298	100

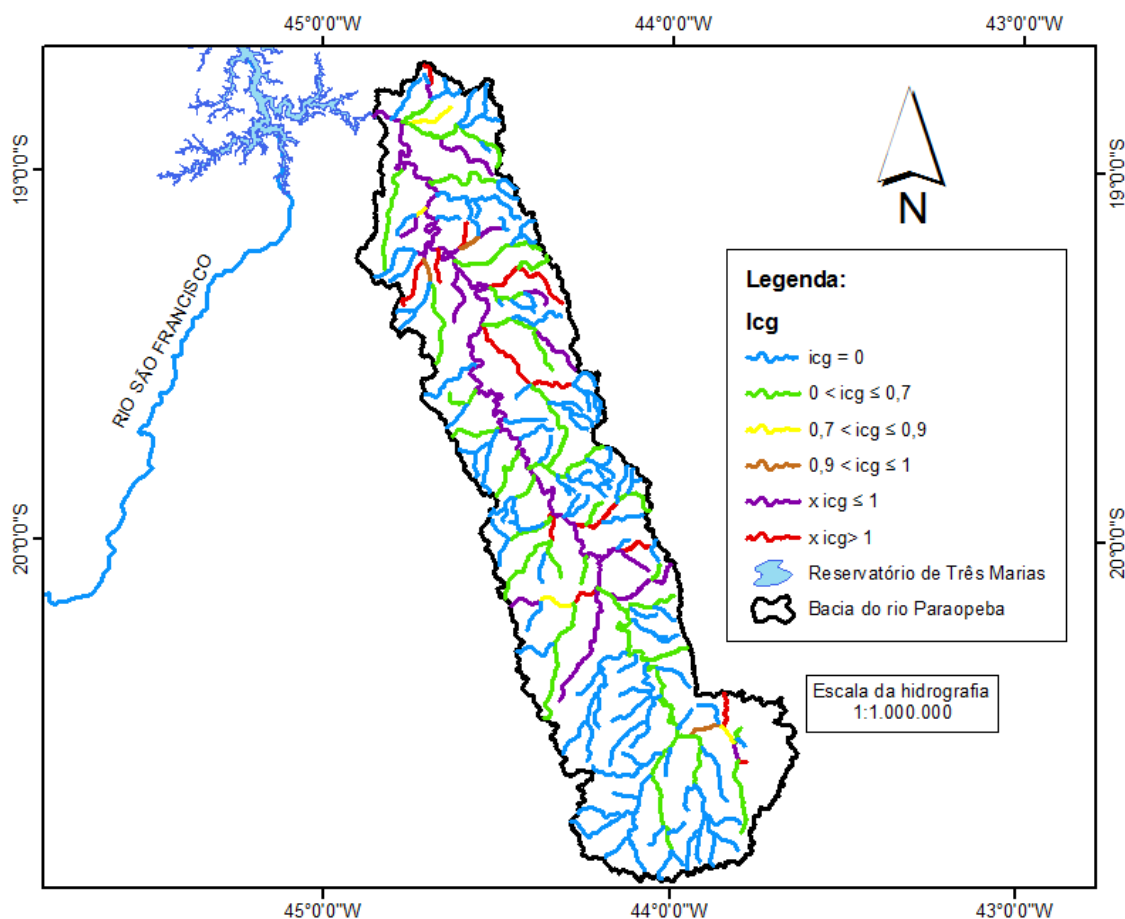


Figura 6 - Aplicação do índice de identificação de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (i_{cg}) na bacia do rio Paraopeba.

Dos 298 segmentos analisados, 22,7% tem vazões outorgadas acima do permissível por lei. Destes, 16,0% 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 maiores que a própria $Q_{7,10}$.

As sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, de modo geral, estão pressionadas pela alta demanda de usos consuntivos e que são necessários investimentos e ações efetivas de gestão para que possam ser preservados os usos múltiplos sem o risco da perda da biodiversidade na região (CIBAPAR, 2009).




A constatação de vazões outorgadas maiores que o permissível 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 muito restritivo. Estatisticamente, é uma situação com duração de sete dias consecutivos que acontece uma vez, em média, a cada dez anos. Além disso, por ser calculada com a base anual de dados, ela não leva em conta a variabilidade sazonal da vazão ao longo do ano.

No que diz respeito aos resultados apresentados na Figura 6, Moreira (2010) descreve 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. 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”.

Já a aplicação do i_{cp} (Tabela 2 e Figura 7) resultou em três segmentos com valores maiores que um, que correspondem à situação em que existindo o conflito pelo uso da água não se pode mais contorná-lo com a construção de barragens de regularização, uma vez que as vazões outorgadas são maiores que a vazão média de longa duração. Estes segmentos são referentes ao

Córrego Pau-a-Pique na margem esquerda e ao Ribeirão Macacos na margem direita. Nestes, observaram-se respectivamente dois e três pedidos de outorga

Tabela 2 - Classificação dos segmentos da bacia do rio Paraopeba de acordo com o índice de identificação 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
Total		298	100

relacionados à área de drenagem dos locais apresentados. Observa-se ainda que as vazões outorgadas de maior valor estavam relacionados com a irrigação.

Também foram identificados 147 segmentos onde, na configuração de conflito pelo uso da água, ainda se pode contorná-lo com a adoção de medidas estruturais.

Segundo CIBAPAR (2009), apenas uma das sub-bacias da região se encontrava em situação crítica por ter uma demanda de 30% da Q_{mld} . Este valor tem como referência o *water exploitation index* da ONU e é atualmente utilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). A aplicação do i_{cp} não identificou nenhuma sub-bacia com relevante índice de comprometimento, mas sim alguns segmentos ao longo da hidrografia como pode ser observado na Figura 7.

Constatada a necessidade de água para outorga por meio do i_{cg} e onde o i_{cp} é menor que um, é possível vislumbrar que o problema de conflito pelo uso da água possa ser minimizado por obras que visem regularizar a vazão do curso d'água.

Os dois índices não levam em consideração a qualidade da água na bacia, o que pode comprometer a gestão. 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 retrato atual das condições de outorgas quantitativas e qualitativas na bacia. Pode-se, também, considerar índices tradicionais como o de qualidade da água (IQA) que, por fornecer um valor numérico, poderia ser agregado na composição dos índices de gestão e planejamento.

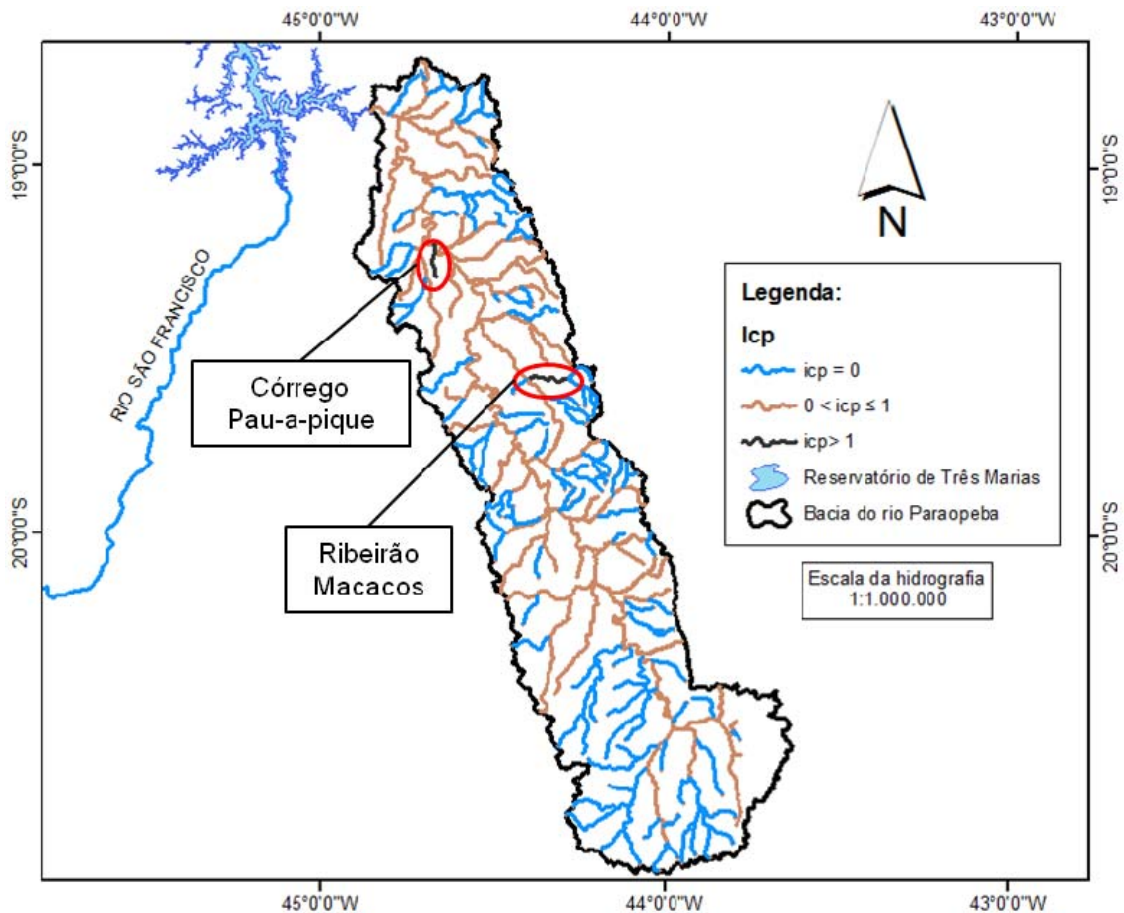


Figura 7 - Aplicação do índice de identificação de conflito pelo uso da água no planejamento dos recursos hídricos (i_{cp}) na bacia do rio Paraopeba.

Cabe salientar que a outorga é o instrumento de gestão de recursos hídricos que fornece informação suficiente para estabelecer banco dados sobre os usos da água em uma bacia. Sendo assim, deverá ser bem 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. Infelizmente, o acesso a este banco de dados é precário e demorado, o que prejudica não só a pesquisa, mas a própria gestão e o planejamento dos recursos hídricos.

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, e 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 e tomar decisões, sejam elas de gestão e planejamento ou de investimento, baseado em dados confiáveis, e contemplar de forma imediata e simplificada as implicações a montante e jusante do ponto de captação.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no trabalho, conclui-se 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 onde o montante outorgado ultrapassa o valor da vazão média de longa duração, caracterizando potencial conflito pelo uso da água que não pode ser equacionado com a implantação de obras de regularização de vazão;
- A análise conjunta do i_{cg} e i_{cp} permitiu concluir que a solução para grande parte dos segmentos da bacia pode ser obtida com 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.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/Tela_Apresentacao.htm>. Acesso em: 25 fev. 2011.

ALVES, C. B. M. Evaluation of fish passage through the Igarapé Dam fish ladder (rio Paraopeba, Brazil), using marking and recapture. **Neotrop. Ichthyol. [online]**. 2007, vol.5, n.2, pp. 233-236. ISSN 1679-6225.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA - 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>. Acesso em: 05 de maio de 2011.

_____. **Plano Diretor da Bacia do Rio Paraopeba – Resumo Preliminar**. IGAM/UFV/UFOP/CETEC. Betim-MG, 2009. 83 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF. Deliberação CBHSF N° 08, de 29 de julho de 2004.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - EEA. **Indicator fact sheet**. Madrid, Espanha: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. 2004. p. 8.

FALKENMARK, M. *et al.* Water-related limitations to local development: Round Table discussion. **Ambio**. 1987. vol. 16. p. 191–200.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Portaria IGAM nº 49, de 01 de julho de 2010**. Estabelece os procedimentos para a regularização do uso de recursos hídricos do domínio do Estado de Minas Gerais. Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 06 de julho de 2010.

_____. **Outorga de direito de uso dos recursos hídricos.** Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/outorga>> Acesso em 22 de março de 2011.

MAIDMENT D. R. **Arc Hydro: GIS for water resources.** ESRI Press. Redlands-California. First edition. 2002.

MOREIRA, M. C. **Gestão e planejamento dos recursos hídricos: Regionalização de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água.** Viçosa, MG: UFV. 2010. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MOREIRA, M. C., PRUSKI, F. F., SILVA, A. L., SILVA, D. D., SILVA, J. M. A. Sistema integrado para a gestão de recursos hídricos: estudo de caso para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros. **Engenharia na Agricultura**, 2010. vol. 18, p. 419-428.

NAGHETTINI, M.; VIVIANE, B. P. Calibração e um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** 2010. vol. 15 n.2. p. 143-156.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu.** VIÇOSA, MG, UFV. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOVAES, L. F. de; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. Del G. Gestão de recursos hídricos: uma nova metodologia para a estimativa das vazões mínimas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 17, n. 1, p. 62-74, 2009.

OHLSSON, L. Water conflicts and social resource scarcity. **Physics and Chemistry of the Earth**. 2000. vol. 25, n 3. P. 213-220.

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**. [online]. 2007, vol.11, n.6, pp. 615-622.

RODRIGUEZ, R. del G. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões.** Viçosa, MG: UFV, 2008. 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCHAYER SABINO, C. V; ABREU, J. F. de; LOBATO, W; SCHAYER SABINO, G; 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**, 2008, 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**, 2002. vol. 7, n. 1, p. 103-122.

SILVA JÚNIOR, O. B., BUENO, E. O., TUCCI, C. E. M., CASTRO, N. M. R. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2003, vol. 8, n.1, p. 21–37.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. **Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos**. Brasília, DF: MMA/SRH/ABEAS/UFV, 2001. 89 p.

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**. 2003. vol. 39. p. 1109-1126.