
SISTEMA INTEGRADO PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO PARA A BACIA DO RIBEIRÃO ENTRE RIBEIROS

Michel Castro Moreira¹, Fernando Falco Pruski², André Luiz da Silva³, Demetrius David da Silva⁴, José Márcio Alves da Silva⁵

RESUMO

O valor da vazão passível de ser outorgada é influenciado pelo método utilizado para a sua obtenção, sendo que diversas metodologias encontram-se disponíveis para essa finalidade. O Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos (SINGERH) permite obter a disponibilidade hídrica, para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica de uma bacia, e quantificar o impacto da concessão de uma nova outorga nessa disponibilidade, tendo sido utilizado, neste trabalho, para verificar o impacto dos critérios de outorga e dos métodos de regionalização de vazões na estimativa da disponibilidade hídrica da bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Inicialmente, foi preparada a base de dados necessária para a aplicação do SINGERH, sendo ela composta do modelo digital de elevação, das vazões mínimas e média, das equações de regionalização de vazões, dos métodos tradicional e baseado na conservação de massas, e do cadastro de usuários de água da bacia. Os resultados obtidos indicaram a impossibilidade de concessão de novas outorgas até o final do período em análise. As simulações realizadas, além de terem permitido uma avaliação da forma como a variabilidade da disponibilidade hídrica influencia no processo de concessão de outorga, forneceu subsídios para a análise de diferentes critérios adotados para a distribuição de vazões a serem outorgadas.

Palavras-chave: outorga, vazão mínima de referência, regionalização de vazões

INTEGRATED SYSTEM FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT: CASE STUDY FOR THE BASIN OF THE ENTRE RIBEIROS CREEK

ABSTRACT

The value of the probably granted discharge is affected by the method used for its obtainment, and several methodologies are available to this purpose. The Integrated System for Water Resources Management (SINGERH) allows to obtaining water availability for any interesting section along the basin hydrographic net, as well as to quantify the impact from the granting of a new water right in this availability. So, it was used in this study in order to verify the impact of either grant criteria and the discharge regionalization methods upon the estimate of water availability in the basin of the Entre Rios creek. The data basis needed to the application of SINGERH was initially prepared. It consisted of digital elevation model of the minimum and medium discharges, regionalization equations of both the traditional method and that based on mass conservation and the cadastre of the basin water users. The results showed the impossibility of new grants for water using right until the end of the period under analysis. The accomplished simulations allowed to evaluate the way how variable water availability affects the water using right process, besides providing subsidies to the analysis of the different criteria adopted for the distribution of discharges to be granted.

Keywords: water right, reference discharge, discharge regionalization

Recebido para publicação em 11/03/2008. Aprovado em 29/03/2010

1- B^{cl}. C. da Computação. Doutorando em Eng. Agrícola, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista do CNPq. mmoreira@gprh.ufv.br

2- Eng^o. Agrícola. Professor Titular, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista do CNPq.

3- B^{cl}. C. da Computação, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista BDTI.

4- Eng^o. Agrônomo. Professor Associado, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista do CNPq.

5- Eng^o. Civil. Pós-Doutorando em Eng. Agrícola, DEA, UFV, Viçosa (MG), 36.570-000. Bolsista da FAPEMIG.

INTRODUÇÃO

Quando há baixa densidade demográfica, ocupação pouco intensiva do solo e desenvolvimento industrial restrito, o controle do uso da água em uma bacia hidrográfica exige menores cuidados. Entretanto, a medida que o seu uso se amplia e surgem conflitos, é necessária maior atenção para a proteção dos recursos hídricos, visando ao seu aproveitamento racional (SETTI *et al.*, 2001).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) constitui um grande avanço na gestão dos recursos hídricos, no Brasil, tendo 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).

Um dos instrumentos da PNRH para a gestão dos recursos hídricos é a outorga de direito de uso da água. O instrumento de outorga concede, por um período pré-estabelecido, 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 que garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível (MOREIRA, 2006).

No Brasil, cada Estado tem adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para a concessão de outorga, sem, entretanto, apresentar justificativas para a adoção desses valores (CRUZ, 2001). Do mesmo modo, tem-se definido o percentual da vazão mínima de referência passível de ser outorgado. Para captações superficiais, alguns critérios adotados para outorga são apresentados no Quadro 1.

O valor da vazão passível de ser outorgada é influenciado pelo método utilizado para a sua obtenção. Segundo Tucci (2002), pelo fato de uma rede hidrométrica não cobrir todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, faz-se necessária a utilização de metodologias que busquem uma melhor estimativa dos dados de interesse em seções que não possuam medições. Diversas metodologias encontram-se disponíveis para essa finalidade, sendo que, no entanto, a aplicação destas constitui uma dificuldade

na quantificação da disponibilidade de água, pelo fato de estas, na maioria dos casos, necessitarem do conhecimento de informações físicas da bacia.

O desenvolvimento de programas computacionais para agilizar o processo de estudo e gestão na área de recursos hídricos tem aumentado consideravelmente (MAUD *et al.* 2003).

Fistarol *et al.* (2004) afirmam que o surgimento dos sistemas de informações de recursos hídricos ocorreu por força da necessidade de dinamizar o processo de gestão participativa, uma vez que permite contemplar a crescente complexidade dos múltiplos usos da água, forçando a melhoria da dinâmica gerencial e a oferta de serviços gerada pelo desenvolvimento tecnológico.

Moreira (2006) desenvolveu um sistema de informações de recursos hídricos, denominado Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos (SINGERH), apresentado na primeira parte deste trabalho, que permite: obter a disponibilidade hídrica para qualquer seção de interesse ao longo da rede hidrográfica de uma bacia; quantificar o impacto da concessão de uma nova outorga nesta disponibilidade. No presente trabalho teve-se por objetivo apresentar um estudo de caso, para a sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros, afluente da bacia do rio Paracatu, que permite avaliar o desempenho do modelo desenvolvido e verificar o impacto de diferentes critérios de outorga e métodos de regionalização de vazões, na estimativa da disponibilidade hídrica de uma bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros, sub-bacia da bacia do rio Paracatu (Figura 1). A escolha dessa bacia deu-se, principalmente, em função das constatações do intenso desenvolvimento econômico, dos conflitos pelo uso da água, já existentes e da base de dados já disponível, a qual advém dos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH), da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os dados utilizados, necessários para a construção do banco de dados e para aplicação do SINGERH, foram obtidos para a bacia do rio Paracatu, sendo eles: modelo digital de elevação (MDE), vazões mínimas e média, equações de regionalização de vazões dos métodos tradicional e baseado na conservação de massas e cadastro de usuários de água da bacia, os quais são descritos na sequência.

Quadro 1. Critérios adotados para outorga de captação de águas pelos órgãos gestores de recursos hídrico

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazões consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazões insignificantes
ANA	70% da Q_{95} podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% para cada usuário individual.	Não existe, em função das peculiaridades do país, podendo variar o critério.	1,0 L/s	Resolução ANA nº 42/2004
SRH-BA	80% da Q_{90} 20% para cada usuário individual.	Decreto Estadual nº 6296/97	0,5 L/s	Decreto Estadual nº 6296/97
SRH-CE	90% da $Q_{90,reg}$	Decreto Estadual nº 23067/94	2,0 m ³ h ⁻¹ (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 23067/94
SEMARH-GO	70% da Q_{95}	Não possui legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99	1,0 L/s para maior parte do Estado e 0,5 L/s para as regiões de escassez (águas superficiais) 10,0 m ³ dia ⁻¹ (águas subterrâneas)	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
AAGISA-PB	90% da $Q_{90,reg}$. Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.	Decreto Estadual nº 19260/1997	2,0 m ³ h ⁻¹ (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 19260/1997
SUDERHSA-PR	50% da Q_{95}	Decreto Estadual nº 4646/2001	1,0 m ³ h ⁻¹ (0,3 L/s)	-
SECTMA-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir.	Não existe legislação específica.	0,5 L/s ou 43 m ³ dia ⁻¹ (águas superficiais) 5,0 m ³ dia ⁻¹ (águas subterrâneas para abastecimento humano)	Decreto Estadual nº 20423/98
SEMAR-PI	80% da Q_{95} (Rios) e 80% da $Q_{90,reg}$ (Açudes)	Não existe legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
SERHID-RN	90% da $Q_{90,reg}$	Decreto Estadual nº 13283/97	1,0 m ³ h ⁻¹ (0,3 L/s)	Decreto Estadual nº 13283/97
SEMA-RS	Não está definido.	-	Média mensal até 2,0 m ³ dia ⁻¹ (águas subterrâneas)	Decreto Estadual nº 42047/2002
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$.	Não existe legislação específica.	5,0 m ³ dia ⁻¹ (águas subterrâneas)	Decreto Estadual nº 32955/91
SEPLANTEC-SE	100% da Q_{90} 30% da Q_{90} para cada usuário individual.	Não existe legislação específica.	2,5 m ³ h ⁻¹ (0,69 L/s)	Resolução nº 01/2001
NATURATINS-TO	75% da Q_{90} por bacia. Individualmente o máximo é 25% da mesma Q_{90} . Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada.	Decreto Estadual já aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.	0,25 L/s ou 21,60 m ³ dia ⁻¹ . A minuta de regulamentação aprovada deve alterar para 1,0 L/s ou 21,60 m ³ dia ⁻¹	Portaria NATURATINS nº 118/2002
IEMA-ES	Somatório das vazões outorgadas fica limitado a 50% da $Q_{7,10}$ para rios perenes e Q_{90} para rios intermitentes	Instrução Normativa Nº 019 - IEMA, de 04 de outubro de 2005.	Não estão ainda definidos	Serão definidos pelo CERH em Resolução específica.

Fonte: adaptado de ANA (2005b).

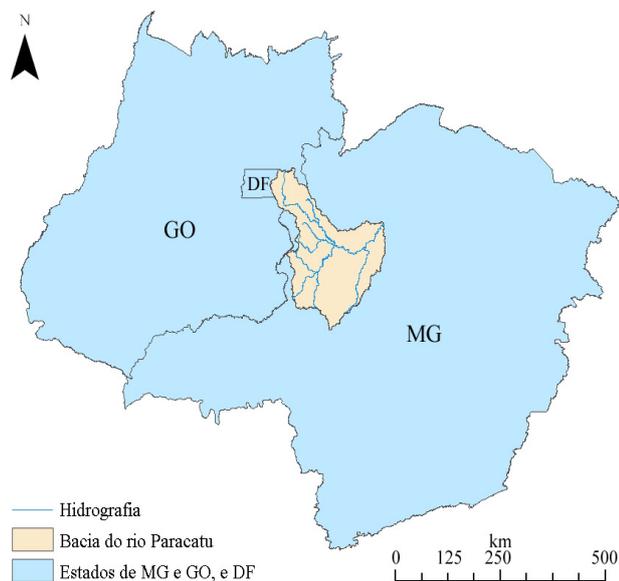


Figura 1. Mapa de localização da área em estudo.

Modelo digital de elevação

Os *grids* de direção de escoamento e fluxo acumulado são dados essenciais para a execução do SINGERH, sendo estes gerados a partir do MDE, utilizando rotinas comumente encontradas em *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas

(SIGs).

A metodologia utilizada para a geração e validação do MDE foi concebida para ser executada em cinco etapas, conforme descritas por Chaves (2002), Baena (2002) e Pires *et al.* (2005), sendo estas: amostragem, pré-processamento dos dados de drenagem e elevação, geração do MDE, pós-processamento do MDE e validação do MDE.

Vazões mínimas e média

Com vistas à espacialização das vazões mínimas e média, por meio do procedimento de regionalização de vazões, foram analisados os dados consistidos, correspondentes ao período de 1970 a 2000, de 21 estações fluviométricas (Quadro 2), pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (*HidroWeb*). As áreas de drenagem das estações fluviométricas, apresentadas na Quadro 2, foram calculadas utilizando-se o MDE da bacia, após seu posicionamento a partir das suas respectivas fichas descritivas, fornecidas pela ANA, não sendo, portanto, obtidas no *HidroWeb*. A localização das estações fluviométricas é apresentada na Figura 2.

Quadro 2. Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Área de drenagem (km ²)	Curso d'Água
42250000	Fazenda Limoeiro	17° 54' 56"	47° 00' 38"	464	Rio Claro
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	17° 36' 48"	46° 51' 31"	1836	Rio Escuro
42255000	Fazenda Nolasco	17° 13' 48"	47° 01' 20"	249	Ribeirão Santa Isabel
42257000	Barra do Escurinho	17° 30' 45"	46° 38' 46"	1997	Ribeirão Escurinho
42290000	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	7744	Rio Paracatu
42395000	Santa Rosa	17° 15' 19"	46° 28' 26"	12791	Rio Paracatu
42435000	Fazenda Barra da Égua	16° 52' 28"	46° 35' 12"	1591	Ribeirão Barra da Égua
42440000	Fazenda Poções	17° 02' 31"	46° 49' 04"	550	Ribeirão São Pedro
42460000	Fazenda Limeira	16° 12' 35"	47° 13' 58"	4164	Rio Preto
42490000	Unai	16° 20' 58"	46° 52' 48"	513	Rio Preto
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	5.963	Rio Preto
42545500	Fazenda o Resfriado	16° 30' 10"	46° 39' 46"	679	Ribeirão Roncador
42546000	Fazenda Santa Cruz	16° 08' 06"	46° 44' 52"	550	Rio Salobro
42600000	Porto dos Poções	16° 50' 23"	46° 21' 26"	9459	Rio Preto
42690001	Porto da Extrema	17° 01' 49"	46° 00' 49"	30181	Rio Paracatu
42750000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	31362	Rio Paracatu
42840000	Veredas	18° 08' 19"	45° 45' 32"	215	Rio Santo Antônio
42850000	Cachoeira das Almas	17° 21' 02"	45° 31' 57"	4391	Rio do Sono
42860000	Cachoeira do Paredão	17° 07' 16"	45° 26' 08"	5701	Rio do Sono
42930000	Porto do Cavalo	17° 01' 50"	45° 32' 22"	40818	Rio Paracatu
42980000	Porto Alegre	16° 46' 29"	45° 22' 55"	41481	Rio Paracatu

Os dados de vazões inexistentes ou considerados inconsistentes, a partir da análise da continuidade das vazões entre os postos fluviométricos, foram atribuídos como falhas e preenchidos utilizando-se o método da regressão linear.

As vazões mínimas utilizadas no estudo foram as vazões associadas às permanências de 90 (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) e, a mínima, com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$). 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 em que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado.

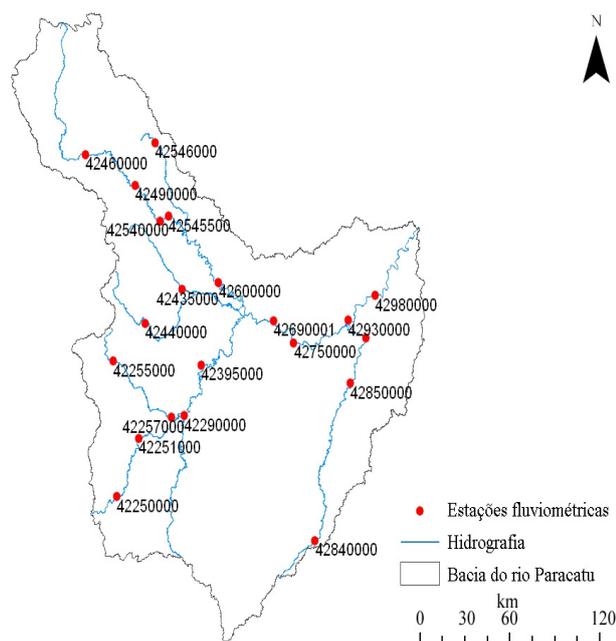


Figura 2. Localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Para a determinação da $Q_{7,10}$ foi identificado, para cada ano considerado no estudo e para cada estação fluviométrica, o valor da vazão mínima pertinente à duração de sete dias (Q_7), para então estabelecer o modelo probabilístico com melhor ajuste às séries da Q_7 . Os modelos probabilísticos que foram analisados para representar a vazão mínima foram: Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Weibull.

A seleção da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou aos dados da série histórica de Q_7 foi realizada com base no teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, a diferentes níveis de probabilidade, e no coeficiente de variação. Foi escolhida a distribuição de probabilidade que apresentou significância em nível de 20% de

probabilidade no teste de Kolmogorov-Smirnov, associada ao menor coeficiente de variação. Para obtenção da $Q_{7,10}$ foi utilizado o *software* RH 3.0 (EUCLYDES *et al.*, 1999).

A vazão média anual de longa duração (Q_{mld}) foi obtida para cada estação fluviométrica, pela média das vazões médias anuais.

Equações de regionalização de vazões

A obtenção das equações de regionalização de vazões pelo método tradicional, descrito em Eletrobras (1985a), foi realizada em duas etapas, que envolveram a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas, o ajuste de regressões múltiplas entre as vazões mínimas e média e a área de drenagem da bacia.

Para a definição das regiões hidrologicamente homogêneas, foi inicialmente observada a distribuição geográfica das estações e, então, analisados os coeficientes de determinação da regressão (r^2 e r^2a), o erro padrão (e.p), o coeficiente de variação (c.v%), a significância do modelo pelo teste F (%F), a classificação dos resíduos padronizados (r.p) e o erro percentual (%d.r) entre os valores das vazões observadas e as estimadas pelo modelo de regionalização obtido.

Quando foram verificados bons resultados de r^2 , r^2a , e.p, c.v%, %F, r.p e %d.r, a região foi definida como hidrologicamente homogênea para as vazões estudadas; entretanto, nos casos em que isso não ocorreu, houve necessidade de subdividir a região ou reorganizar as estações dentro das regiões e reiniciar o processo.

De posse dos valores de $Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} , Q_{mld} e da área de drenagem, correspondentes às diferentes estações fluviométricas pertencentes a uma mesma região homogênea, foi aplicada a regressão múltipla entre as vazões e a área de drenagem, para obtenção das equações de regressão regionais para cada região hidrologicamente homogênea, com base nos modelos: linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco.

Para fins de verificação do ajuste de determinado modelo aos dados, foram adotados o coeficiente de determinação ajustado, o erro-padrão da estimativa e o teste da função F. Os melhores modelos resultantes da aplicação da regressão múltipla foram selecionados, observando-se: maiores valores do coeficiente de determinação ajustado, menores valores de erro-padrão fatorial, resultados significativos pelo teste F e menor número de variáveis independentes.

Na identificação das regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste dos modelos de regressão múltipla foi utilizado o software RH 3.0.

Apesar de não ter sido necessário obter as equações de regionalização para o método baseado na proporcionalidade de vazões específicas, descrito em Eletrobras (1985b), vale ressaltar que o SINGERH possui este método implementado para a estimativa das vazões mínimas e média.

Para a obtenção das equações de regionalização pelo método baseado na conservação de massas, proposto por Novaes (2005), ajustaram-se os modelos de regressão para representação das vazões mínimas e média em função da área de drenagem das estações fluviométricas, localizadas no rio principal e, a partir desses modelos, as vazões na foz de cada rio afluente direto do rio principal foram obtidas, procedendo-se então novos ajustes, em um processo recursivo, dos rios de maior ordem para os de menor.

Na Figura 3, são apresentados os rios para os quais foram realizados os ajustes, sendo que esses possuíam pelo menos uma estação fluviométrica. Nas situações em que o rio não possuía nenhum posto fluviométrico não foi necessário proceder o ajuste, já que o SINGERH obtém, automaticamente, uma equação linear, de tal forma que a equação resultante produza uma vazão nula, quando a área de drenagem é zero, e uma vazão igual à estimada na foz do rio, quando a área de drenagem é aquela correspondente à área de drenagem do rio.

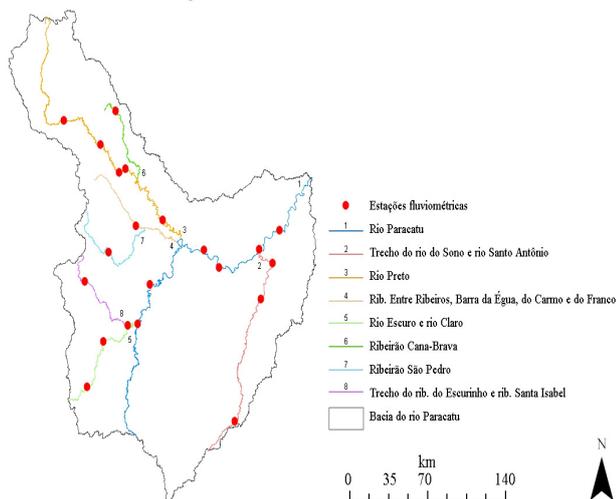


Figura 3. Rios nos quais foram ajustadas equações pelo método baseado na conservação de massas.

Cadastro de usuários de água da bacia

O SINGERH acessa as informações dos cadastros de usuários de água da bacia, em que constam as outorgas concedidas pelo órgão gestor estadual,

sendo, no presente estudo, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), e, pelo órgão gestor federal, a Agência Nacional de Águas (ANA).

O cadastro estadual foi disponibilizado pelo IGAM em uma versão eletrônica, do qual constam as outorgas realizadas nos rios estaduais para todo o Estado de Minas Gerais, atualizado até a data de 22 de janeiro de 2006. O cadastro federal foi disponibilizado pela ANA, também em uma versão eletrônica, no qual constam as outorgas realizadas nos rios federais de todo o país, sendo este atualizado até a data de 24 de janeiro de 2006. Pelo fato de os cadastros terem sido obtidos diretamente com os respectivos órgãos, sendo, dessa maneira, cadastro oficiais, não foi realizada análise de consistência.

Dentre as informações de cada outorga constam a localização, em coordenadas geográficas, o valor de vazão concedido e o período de vigência da outorga. De posse dessas informações, o SINGERH é capaz de calcular a disponibilidade hídrica e a vazão ainda permitível de ser outorgada, considerando os usuários a montante da seção de interesse.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4, apresentam-se as vazões passíveis de serem outorgadas na foz do ribeirão Entre Ribeiros (Latitude 16° 58' 55" e Longitude 46° 14' 21"), para o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2010, calculadas considerando-se as outorgas concedidas até 22 de janeiro de 2006, os critérios de outorga do Estado de Minas Gerais (30% da $Q_{7,10}$) e da União (70% da Q_{95}) e as vazões estimadas pelo método tradicional.

Pela análise da Figura 4a, observa-se que, considerando-se a $Q_{7,10}$ estimada pelo método tradicional e o critério de outorga do Estado de Minas Gerais (vazão máxima passível de outorga = $2,21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), as vazões outorgadas, nesta seção, em todos os meses em análise, superam a vazão máxima passível de ser outorgada, fato este identificado pela cor vermelha e pelo sinal negativo dos valores. No primeiro ano em análise, verifica-se que as vazões outorgadas superam em mais de $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a vazão máxima passível de outorga, representando, para o mês mais crítico, uma vazão outorgada da ordem de 81,92% da $Q_{7,10}$ estimada pelo método tradicional, valor este muito superior ao da máxima vazão concedida para outorga no Estado de Minas Gerais.

Percebe-se, ainda, um aumento ao longo do tempo das vazões remanescentes para concessão de

outorga, fato este explicado pela perda de validade das outorgas vigentes.

Na Figura 4b, em que se consideram a $Q_{7,10}$ estimada pelo método tradicional e o critério de outorga da União (vazão máxima passível de outorga = $7,63 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), observa-se que em todo o ano de 2006 ainda existem vazões passíveis de serem outorgadas, sendo estas inferiores a 30% e superiores a 10% da vazão máxima passível de outorga (cor amarela). No restante do período em análise, observam-se vazões ainda passíveis de serem outorgadas, superiores a 30% da vazão máxima passível de outorga (cor verde).

A maior disponibilidade de água para concessão de outorga, evidenciada na Figura 4b em relação à Figura 4a, decorre do fato de o critério de 70% da Q_{95} ser menos restritivo que o critério de 30% da $Q_{7,10}$, podendo-se verificar no Quadro 1 que o critério de outorga do Estado de Minas Gerais é o mais restritivo do país. Johnson e Lopes (2003) afirmam que o critério de 30% da $Q_{7,10}$ para a bacia do rio Paracatu é muito restritivo, por não representar, com exatidão, o potencial hídrico da região. O próprio IGAM, em questionário encaminhado à ANA (ANA, 2005a) salienta a necessidade da definição de diferentes critérios de outorga, conforme as particularidades de

cada região do Estado.

Na Figura 5, em que são consideradas as mesmas condições aplicadas à Figura 4, utilizando-se, no entanto, as $Q_{7,10}$ e Q_{95} estimadas pelo método baseado na conservação de massas, também se observam restrições quanto à concessão de novas outorgas para o período em análise (cor vermelha).

Evidencia-se, na Figura 5a, que no mês mais crítico (janeiro de 2006) uma vazão outorgada superior à máxima permitida para outorga no Estado de Minas Gerais, de $4,326 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, representando uma vazão outorgada de 104,8% da $Q_{7,10}$, estimada pelo método baseado na conservação de massas. Esta vazão outorgada, superior a 100% da $Q_{7,10}$, não implica necessariamente na eliminação total da vazão no curso d'água, uma vez que a $Q_{7,10}$ corresponde a um índice probabilístico relacionado com o risco de ocorrência de um evento a cada dez anos e o valor da vazão outorgada corresponde ao somatório das outorgas, o que não implica na retirada simultânea dessas vazões. Em entrevista com técnicos do IGAM, no entanto, foi constatado que na sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros existem seções em que foram observadas vazões nulas, fato este que tem levado o IGAM a tomar medidas no sentido de minimizar este problema.

(a)						(b)					
	2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010
Jan	-3,844 o	-2,833 o	-2,539 o	-2,123 o	-1,293 o	Jan	1,595 a	2,606 v	2,9 v	3,317 v	4,146 v
Fev	-3,644 o	-2,833 o	-2,539 o	-2,123 o	-1,293 o	Fev	1,795 a	2,606 v	2,9 v	3,317 v	4,146 v
Mar	-3,644 o	-2,833 o	-2,539 o	-2,122 o	-1,293 o	Mar	1,795 a	2,606 v	2,9 v	3,317 v	4,146 v
Abr	-3,562 o	-2,783 o	-2,539 o	-2,122 o	-1,293 o	Abr	1,877 a	2,656 v	2,9 v	3,317 v	4,146 v
Mai	-3,516 o	-2,783 o	-2,539 o	-2,057 o	-1,293 o	Mai	1,923 a	2,656 v	2,9 v	3,382 v	4,146 v
Jun	-3,371 o	-2,555 o	-2,123 o	-2,057 o	-1,293 o	Jun	2,068 a	2,884 v	3,316 v	3,382 v	4,146 v
Jul	-3,371 o	-2,555 o	-2,123 o	-2,057 o	-1,293 o	Jul	2,068 a	2,884 v	3,316 v	3,382 v	4,146 v
Ago	-3,371 o	-2,539 o	-2,123 o	-1,293 o	-1,293 o	Ago	2,068 a	2,9 v	3,317 v	4,146 v	4,146 v
Set	-3,271 o	-2,539 o	-2,123 o	-1,293 o	-1,293 o	Set	2,168 a	2,9 v	3,317 v	4,146 v	4,146 v
Out	-3,258 o	-2,539 o	-2,123 o	-1,293 o	-1,293 o	Out	2,181 a	2,9 v	3,317 v	4,146 v	4,146 v
Nov	-3,172 o	-2,539 o	-2,123 o	-1,293 o	-1,293 o	Nov	2,267 a	2,9 v	3,317 v	4,146 v	4,146 v
Dez	-3,156 o	-2,539 o	-2,123 o	-1,293 o	-1,293 o	Dez	2,283 a	2,9 v	3,317 v	4,146 v	4,146 v

Figura 4. Vazão remanescente para outorga na foz do ribeirão Entre Ribeiros, considerando o método de regionalização tradicional e os critérios de outorga: (a) 30% da $Q_{7,10}$; e (b) 70% da Q_{95} . Escala de cores: (v) verde; (a) amarelo; (l) laranja e (o) vermelho.

(a)						(b)					
	2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010
Jan	-4,326 o	-3,315 o	-3,021 o	-2,605 o	-1,776 o	Jan	-0,052 o	0,959 a	1,252 a	1,669 a	2,498 v
Fev	-4,126 o	-3,315 o	-3,021 o	-2,605 o	-1,776 o	Fev	0,148 l	0,959 a	1,252 a	1,669 a	2,498 v
Mar	-4,126 o	-3,315 o	-3,021 o	-2,605 o	-1,776 o	Mar	0,148 l	0,959 a	1,252 a	1,669 a	2,498 v
Abr	-4,044 o	-3,265 o	-3,021 o	-2,605 o	-1,776 o	Abr	0,23 l	1,009 a	1,252 a	1,669 a	2,498 v
Mai	-3,998 o	-3,265 o	-3,021 o	-2,54 o	-1,776 o	Mai	0,276 l	1,009 a	1,252 a	1,734 a	2,498 v
Jun	-3,853 o	-3,038 o	-2,605 o	-2,54 o	-1,776 o	Jun	0,421 l	1,236 a	1,668 a	1,734 a	2,498 v
Jul	-3,853 o	-3,038 o	-2,605 o	-2,54 o	-1,776 o	Jul	0,421 l	1,236 a	1,668 a	1,734 a	2,498 v
Ago	-3,853 o	-3,022 o	-2,605 o	-1,776 o	-1,776 o	Ago	0,421 l	1,252 a	1,669 a	2,498 v	2,498 v
Set	-3,753 o	-3,022 o	-2,605 o	-1,776 o	-1,776 o	Set	0,521 l	1,252 a	1,669 a	2,498 v	2,498 v
Out	-3,74 o	-3,022 o	-2,605 o	-1,776 o	-1,776 o	Out	0,534 l	1,252 a	1,669 a	2,498 v	2,498 v
Nov	-3,654 o	-3,022 o	-2,605 o	-1,776 o	-1,776 o	Nov	0,62 a	1,252 a	1,669 a	2,498 v	2,498 v
Dez	-3,638 o	-3,021 o	-2,605 o	-1,776 o	-1,776 o	Dez	0,636 a	1,252 a	1,669 a	2,498 v	2,498 v

Figura 5. Vazão remanescente para outorga na foz do ribeirão Entre Ribeiros, considerando o método de regionalização, baseado na conservação de massas e os critérios de outorga: (a) 30% da $Q_{7,10}$; e (b) 70% da Q_{95} . Escala de cores: (v) verde; (a) amarelo; (l) laranja e (o) vermelho.

A situação mais crítica quanto às vazões remanescentes para concessão de novas outorgas, evidenciada na Figura 5a em relação à Figura 4a, pode ser explicada pelo menor valor de $Q_{7,10}$ estimado pelo método baseado na conservação de massas ($5,78 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) em relação ao método tradicional ($7,39 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Na Figura 5b, elaborada com a utilização do critério de 70% da Q_{95} , é evidenciada, apenas no primeiro mês em análise, uma situação restritiva para concessão de novas outorgas, sendo que nos nove meses subsequentes o baixo valor da vazão remanescente (cor laranja) indica a necessidade de maior atenção na concessão de novas outorgas nesse período. No restante do período, há uma situação mais favorável quanto à existência de vazões ainda permissíveis de serem outorgadas, representada pelas cores amarela e verde no período de novembro de 2006 a dezembro de 2010.

Na Figura 6, em que são consideradas as mesmas condições aplicadas às Figuras 4 e 5, utilizando, no entanto, as $Q_{7,10}$ e Q_{95} estimadas pelo método baseado na proporcionalidade de vazões específicas, observam-se maiores restrições quanto à concessão de novas outorgas para o período em análise.

Na Figura 6a verifica-se, para todo o período em análise, que foram outorgadas vazões superiores à máxima passível no Estado de Minas Gerais, apresentando, no mês mais crítico (janeiro de 2006), uma vazão de $4,754 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o que representa uma vazão outorgada de 138,9% da $Q_{7,10}$ estimada pelo método baseado na proporcionalidade de vazões específicas, para a foz do ribeirão Entre Ribeiros.

Na Figura 6b, (Q_{95} estimada pelo método baseado na proporcionalidade de vazões específicas e vazão máxima passível de outorga correspondente a 70% da Q_{95}), verifica-se, no período de janeiro de 2006 a maio de 2008, uma maior restrição quanto à concessão de novas outorgas, em relação às restrições apresentadas nas Figuras 4b e 5b. A partir de junho de 2008 até o final do período em análise, no entanto, percebe-se que ainda existem vazões permissíveis de serem outorgadas (cores laranja e amarela).

Diversos autores também evidenciaram problemas de conflitos pelo uso da água na bacia do ribeirão Entre Ribeiros. ANA (2005b), em estudo que apresenta a relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica de diversas bacias do país, classifica a situação desta bacia como “Preocupante”, enquanto Rodriguez (2004) constatou, para a seção Fazenda Barra da Égua (localizada na bacia do ribeirão Entre Ribeiros), uma vazão de retirada pela irrigação no mês de maior demanda de 85,1% da $Q_{7,10}$.

As situações apresentadas nas Figuras 4a, 5a e 6a indicam, para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros, a impossibilidade de concessão de novas outorgas até o final do período em análise, cabendo ao órgão gestor uma maior atenção a fim de não permitir um agravamento dos conflitos pelo uso da água. Neste sentido, o IGAM tem tomado medidas para a minimização destes conflitos, realizando um processo coletivo de outorgas, no qual as outorgas emitidas estão sendo revistas.

Tendo em vista o fato de que o critério de outorga impõe restrições à expansão do uso da água e, conseqüentemente, ao desenvolvimento econômico e social da região, cabe ao Estado definir políticas adequadas que otimizem a preservação ambiental e o desenvolvimento. Neste sentido, diante das situações restritivas à concessão de novas outorgas, apresentadas nas Figuras 4a, 5a e 6a, verifica-se, nas Figuras 4b, 5b e 6b que, considerando-se as vazões estimadas pelo método tradicional, a alteração do critério de outorga para 70% da Q_{95} criaria maior disponibilidade hídrica para a concessão de outorga, implicando, neste caso, na diminuição da vazão residual (vazão ecológica).

As simulações realizadas com o SINGERH, além de permitirem uma avaliação da forma como a variabilidade da disponibilidade hídrica influencia no processo de concessão de outorga, fornecem subsídios para a análise do desempenho de diferentes critérios adotados para a distribuição de vazões a serem outorgadas. Essas constatações reforçam a importância de se repensar o critério para estimar a disponibilidade hídrica para outorgas.

(a)						(b)					
	2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010
Jan	-4,754	-3,743	-3,449	-3,033	-2,203	Jan	-1,429	-0,418	-0,124	0,292	1,121
Fev	-4,554	-3,743	-3,449	-3,033	-2,203	Fev	-1,229	-0,418	-0,124	0,292	1,121
Mar	-4,554	-3,743	-3,449	-3,032	-2,203	Mar	-1,229	-0,418	-0,124	0,292	1,121
Abr	-4,472	-3,693	-3,449	-3,032	-2,203	Abr	-1,147	-0,368	-0,124	0,292	1,121
Mai	-4,426	-3,693	-3,449	-2,967	-2,203	Mai	-1,101	-0,368	-0,124	0,357	1,121
Jun	-4,281	-3,465	-3,033	-2,967	-2,203	Jun	-0,956	-0,14	0,292	0,357	1,121
Jul	-4,281	-3,465	-3,033	-2,967	-2,203	Jul	-0,956	-0,14	0,292	0,357	1,121
Ago	-4,281	-3,449	-3,033	-2,203	-2,203	Ago	-0,956	-0,124	0,292	1,121	1,121
Set	-4,181	-3,449	-3,033	-2,203	-2,203	Set	-0,856	-0,124	0,292	1,121	1,121
Out	-4,168	-3,449	-3,033	-2,203	-2,203	Out	-0,843	-0,124	0,292	1,121	1,121
Nov	-4,082	-3,449	-3,033	-2,203	-2,203	Nov	-0,757	-0,124	0,292	1,121	1,121
Dez	-4,066	-3,449	-3,033	-2,203	-2,203	Dez	-0,741	-0,124	0,292	1,121	1,121

Figura 6. Vazão remanescente para outorga na foz do ribeirão Entre Ribeiros, considerando o método de regionalização baseado na proporcionalidade de vazões específicas e os critérios de outorga: (a) 30% da $Q_{7,10}$; e (b) 70% da Q_{95} . Escala de cores: (v) verde; (a) amarelo; (l) laranja e (o) vermelho.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o Sistema Integrado para a Gestão de Recursos Hídricos, SINGERH, permitiu:

- Analisar o impacto dos critérios de outorga e dos métodos de regionalização de vazões na disponibilidade hídrica da sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros;
- Constatar a existência de conflitos pelo uso da água na sub-bacia em estudo;
- Verificar que para a situação de maior conflito a vazão outorgada representou 138,9% da $Q_{7,10}$ estimada para a foz da bacia do ribeirão Entre Ribeiros;
- Verificar que, considerando-se o critério de outorga do Estado de Minas Gerais, não é possível a concessão de novas outorgas no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2010.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país – Diretrizes e prioridades**. Brasília: Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente, 2005a. 143 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/Tela_Apresentacao.htm>. Acesso em: 02/02/2006.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas; Ministério do Meio Ambiente, 2005b. 123 p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/Tela_Apresentacao.htm>. Acesso em: 02 fev 2006.

BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente**. Viçosa,

MG: UFV, 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

BRASIL, Política Nacional de Recursos Hídricos. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. [S. l.]: MMA/ SRH, 1997.

CHAVES, M. de A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

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. 2001.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, 1985a.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de minicentrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b.

EUCLYDES, H.P.; SOUSA, E.F.; FERREIRA, P.A. **RH 3.0 – Regionalização hidrológica**. (Manual do programa). Viçosa, MG: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS, 1999. 149 p.

FISTAROL, O.; FRANK, B.; REFOSCO, J.C. Sistema de Informações de Recursos Hídricos da Bacia do Itajaí. In: COBRAC 2004 CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO. Florianópolis: UFSC. **Resumos...** 2004. CD-Rom.

JOHNSON, R.M.F.; LOPES, P. D. **Projeto marca d'água seguindo as mudanças na gestão das bacias hidrográficas do Brasil: caderno 1: retratos 3 x 4 das bacias pesquisadas**. Brasília: Finatec, 2003. v.1. 212 p.

MAUAD, F.F., ALBERTIN, L.L. Gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Sapucaí-mirim/grande: aplicação de simulação computacional.

In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba-PR. **Resumos...**, 2003.

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

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. 2005.

PIRES, J.M.; NASCIMENTO, M.C. do.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C.A.A.S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de

características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n.2, p.39-47, 2005.

RODRIGUEZ, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu.** Viçosa, MG: UFV, 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2004.

SETTI, A.A.; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G. de M.; PEREIRA, I. de C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica Agência Nacional de Águas, 2001. 328p.

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