

Título: Análise de novos critérios de outorga e alternativas para o melhor aproveitamento das águas superficiais e da precipitação na bacia do rio Jequitinhonha

Justificativa

O crescimento da demanda mundial por água de boa qualidade a uma taxa superior à taxa de renovação associada ao ciclo hidrológico tende a se tornar uma das maiores pressões antrópicas sobre os recursos naturais do planeta no próximo século. O consumo mundial de água cresceu mais de seis vezes entre 1900 e 1995 - mais que o dobro da taxa de crescimento da população - e continua a crescer rapidamente com a elevação de consumo dos setores agrícola, industrial e residencial (WMO, 1997).

Nas últimas décadas a preocupação com a degradação dos recursos hídricos, motivada pelo uso indiscriminado, pelo desperdício e pela poluição das águas tem tomado grandes proporções. A degradação dos recursos hídricos põe em risco as gerações futuras pelo perigo de escassez, o que faz necessário buscar medidas para promover sua utilização racional e ainda propiciar recursos econômicos para a sua manutenção (CORDEIRO, 2011).

O Brasil é o país com maior disponibilidade hídrica e dispõe de 11% do total de recursos hídricos mundiais (TUCCI et al., 2001). Apesar dessa situação favorável, os dados de balanço hídrico mostram que existe uma grande diversidade hidrológica dentro do território brasileiro. De acordo com Freitas et al. (1983), a disponibilidade per capita de água varia de 1.835 m³/hab/ano na bacia hidrográfica do Atlântico Leste 1 a 628.938 m³/hab/ano na bacia Amazônica, sendo a concentração populacional em regiões de menor disponibilidade um fator complicador para a gestão dos recursos hídricos no país.

O crescimento das demandas, quando associado a uma situação em que a disponibilidade hídrica é insuficiente para atendê-las, caracteriza situação de escassez hídrica. No entanto, o cenário de escassez se deve não apenas à irregularidade na distribuição da água e ao aumento das demandas - o que muitas vezes pode gerar conflitos de uso - mas também ao fato de que, nos últimos 50 anos, a degradação da qualidade da água aumentou em níveis alarmantes. Atualmente, grandes centros urbanos, industriais e áreas de desenvolvimento agrícola com grande uso de adubos químicos e agrotóxicos já enfrentam a falta de qualidade da água, o que pode gerar graves problemas de saúde pública (SOCIOAMBIENTAL, 2005).

Nesse contexto, de acordo com Alvim et al. (2007), a bacia do rio Jequitinhonha é uma região crítica em relação à disponibilidade de recursos hídricos, apresentando

rendimentos específicos mínimos superficiais muito reduzidos e um potencial hidrogeológico limitado, associado a aspectos restritivos de qualidade da água subterrânea.

É uma bacia extremamente degradada, desprovida de vegetação e matas de topo, com ocorrência de solos delgados e rochas aflorantes. Tais fatores, aliados ao fato de serem observados índices pluviométricos reduzidos, concentrados em períodos de apenas três a quatro meses do ano, propicia a formação de regimes de escoamento torrenciais, dificultando os processos de infiltração e recarga dos aquíferos subterrâneos, que garantiriam o escoamento de base dos mananciais nos períodos de estiagem. Como consequência observa-se a ocorrência de mananciais intermitentes e um potencial hidrogeológico limitado, com poços poucos produtivos (ALVIM et al., 2007).

De acordo com Gonçalves (1997), o índice de pobreza na região é elevado, ocasionando êxodo rural para os grandes centros urbanos e um esvaziamento demográfico persistente. Vários diagnósticos convergem ao apontar as restrições hídricas e as secas periódicas como agentes relevantes para o baixo desempenho da agropecuária na bacia, que ainda responde por 30% do PIB regional. Esses fatores, somados à carência de investimentos públicos e privados, corroboram a tese de que a região é expulsora de população.

A população do Jequitinhonha tem manifesto crescente sensibilidade para o que pode ser denominado a “questão da água”. A manifestação mais aguda ocorre com o esgotamento absoluto: em alguns lugares as nascentes, córregos e ribeirões secos obrigaram a população a usar a água dos caminhões-pipas das prefeituras, principalmente no Médio Jequitinhonha. Manifesta-se também a escassez pelo fato das nascentes terem perdido muito em vazão, obrigando famílias a fazer rodízio para coletar água dos minadouros. Em algumas situações só a coletam a cada três dias e apenas para parte do consumo doméstico. Nesses casos não há possibilidade de banho e lavagem de roupas todos os dias. Nesta situação, em algumas comunidades, várias das práticas e sistemas produtivos foram abandonados e o consumo humano passou a ser controlado, sendo que em muitos lugares reduziram o número de animais de criação e famílias foram obrigadas a abandonar o plantio de hortaliças (RIBEIRO et.al., 2003).

Para que seja possível a caracterização do risco de ocorrência de escassez hídrica em uma bacia é necessário o conhecimento tanto da disponibilidade como das demandas existentes.

O crescimento da demanda por água aumenta a necessidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos, a fim de ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais e permitir a convivência dos usos atuais e futuros da água sem conflitos (MACHADO, 2008).

Como em diversas bacias hidrográficas brasileiras existem problemas de disponibilidade de água, a sociedade tem-se mobilizado visando o uso compartilhado e racional dos recursos hídricos (MOREIRA, 2006). Um dos resultados foi a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, Lei 9433, de 1997), que tem como princípios básicos a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos usos múltiplos da água, a água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da gestão integrada, descentralizada e participativa desse recurso. (BRASIL, 1997).

Visando alcançar o pleno estabelecimento dos instrumentos de Gestão, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais – CERH-MG aprovou em setembro de 2001 os Termos de Referência para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH). Numa primeira etapa foi realizado um levantamento do que existe no Estado sobre recursos hídricos. Nesse levantamento foram verificados os estudos de caracterização dos recursos hídricos existentes, tendo sido desenvolvida uma análise das informações, dos cenários e dos Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica, realizada uma análise crítica sobre o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e elaborada uma proposta metodológica para o desenvolvimento de etapa posterior do Plano (PERH - MG, 2006).

O Plano Estadual visa assegurar os usos múltiplos da água e a conservação, proteção e recuperação das bacias hidrográficas. Visa também subsidiar a tomada de decisões dos membros do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e identificar fontes de financiamento para a implementação de projetos prioritários (IGAM, 2009).

Em estudos de recursos hídricos, um dos problemas enfrentados é a carência de dados hidrológicos, ou seja, a falta de conhecimento apropriado da disponibilidade hídrica. Segundo Minella (2004) há uma grande dificuldade no conhecimento de variáveis hidrológicas no Brasil, devido a falta de um programa eficiente de coleta e armazenamento de dados, pois os dados existentes são poucos e descontínuos, comprometendo vários projetos, como os que buscam amenizar os conflitos pela água e os de controle de inundações.

Uma das metodologias utilizadas para contornar esse problema é a regionalização de vazões, que consiste na transferência de informações hidrológicas de uma região com dados disponíveis para outra região com carência de dados (FILL, 1987). A regionalização, portanto, é um instrumento que permite aos órgãos gestores estimar a disponibilidade hídrica em qualquer trecho da hidrografia.

Para dar suporte à gestão dos recursos hídricos, um dos instrumentos adotados pela PNRH é a outorga, elemento central do controle para o uso racional dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). O conhecimento das disponibilidades hídricas ao longo dos rios é de essencial importância no processo de decisão referente a outorgas.

Muitos estados brasileiros não estabelecem a vazão máxima outorgável, sendo que, quando a mesma é definida, esta se baseia no uso de uma porcentagem da vazão de referência (RODRIGUES et al., 2006). Essa vazão de referência normalmente se baseia em vazões de estiagem ou em vazões com alta probabilidade de superação (MACHADO, 2006).

Atualmente no Estado de Minas Gerais, tem sido permitida a concessão de outorgas de direito do uso das águas até que se atinja a vazão equivalente a 30% da vazão mínima de sete dias de duração e de dez anos de período de retorno, $Q_{7,10}$. Por ser um critério definido a partir da análise de períodos críticos de estiagem, a vazão de outorga é bastante restritiva quanto à expansão dos sistemas de uso das águas (LANNA, 1997).

Observa-se em algumas regiões do estado que este valor máximo de vazão de outorga é insuficiente para o atendimento das demandas dos usuários existentes na bacia. Este valor, calculado através da análise dos períodos críticos de estiagem, é mantido fixo ao longo do ano, restringindo assim um maior uso da água em meses fora do período de estiagem (MAIA, 2003).

Medeiros e Naghettini (2001) propuseram e avaliaram a utilização de um fator de correção anual para a vazão de outorga, sendo este baseado em uma relação entre as vazões observadas no início do ano e no início do período de estiagem, o que resulta em valores superiores ao critério de 30% de $Q_{7,10}$, para os anos mais chuvosos.

Simulações realizadas por Euclides et al. (2006) mostraram que na região hidrográfica do Baixo Rio Grande o uso do critério de outorga sazonal, para condições de captação a fio d'água permitiu aumentar a vazão outorgada em até 61,80%. Nas demais sub-bacias do rio Grande estudadas, utilizando o mesmo procedimento foi possível um acréscimo na vazão de 52,40%.

No estudo de Bof et al. (2009), realizado para a bacia do rio Paraopeba, situada em Minas Gerais, foi evidenciado que a utilização de critérios baseados em vazões mensais potencializa um melhor plano de utilização da água, à medida que permite um maior uso da água no período em que há disponibilidade e impõe uma restrição mais realista no período crítico de disponibilidade de água.

De acordo com Oliveira (2011), que realizou estudo para a bacia do ribeirão Entre Ribeiros, a substituição da $Q_{7,10}$ calculada em base anual pelas calculadas em base mensal resulta em um aumento da disponibilidade hídrica na bacia ao longo do ano, sendo maior que 50% nos meses de dezembro a junho. O uso do critério de 30% da $Q_{7,10}$ mensal proporcionou, ao longo do ano, aumentos de até 209% no percentual de trechos em que o somatório das outorgas não superou a vazão máxima outorgável.

Para regiões onde a disponibilidade natural (a fio d'água), mesmo considerando a sazonalidade de vazões, não é suficiente para suprir as demandas, existe a possibilidade de aumento da disponibilidade pelo aproveitamento do potencial de regularização de vazão nos cursos d'água.

Com a regularização das vazões pela construção de barragem (formação de reservatório) visa-se atingir vários objetivos, destacando-se: o atendimento às necessidades do abastecimento urbano ou rural (irrigação); o aproveitamento hidroelétrico (geração de energia); a atenuação de cheias (combate às inundações); o controle de estiagens; o controle de sedimentos; a recreação; e, também, permitir a navegação fluvial (BARBOSA, 2011).

Além do problema da escassez, o semi-árido brasileiro é extremamente afetado pela irregularidade das chuvas, com precipitações que ocorrem entre três e cinco meses, com grande amplitude de variação, em média, de 250 a 800 mm anuais. Nesse contexto, o uso de cisternas permite a captação e o armazenamento de água para suprir as demandas para dessedentação humana (BRITO et al., 1997).

Um dos primeiros estudos realizados, neste século, sobre o aproveitamento de água de chuva através de cisternas foi descrito por Kenyon, em 1929, citado por Myers (1967), sendo até hoje usado. No trabalho foi descrito um sistema artificial de armazenamento de água para o consumo humano e animal numa região com 305 mm de precipitação média anual.

Deste modo, o presente trabalho está baseado na hipótese de que a consideração da sazonalidade das disponibilidades hídricas, o uso de critérios de outorga menos restritivos e o uso de cisternas e práticas de regularização de vazões constituem técnicas

que podem proporcionar um melhor uso da água e, conseqüentemente, a redução de conflitos e problemas associados à escassez de recursos hídricos na bacia do rio Jequitinhonha.

Referências Bibliográficas:

ALVIM, A.M.; FERREIRA, G.P. “Aspectos quantitativos e qualitativos das disponibilidades hídricas nas bacias dos rios Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus”. In Anais do **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo - SP: ABRH, 2007a.

BARBOSA, A. R. **Regularização de Vazão**. Notas de aula da disciplina Hidrologia Aplicada. 2011. 9 p. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

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

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 jan 1997, P. 470. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em: 25 out. 2011.

BRITO, L. T. L.; PORTO, E. R. Cisterna rural: água para o consumo humano. In **Anais do Simpósio sobre captação de água de chuva no semi-árido brasileiro**, Petrolina, PE, 1997.

CORDEIRO, A.M.T.M. **Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil do Ponto de Vista Legal**. Centro Universitário do Norte – UNINORTE Faculdade de Direito, 2011. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/68622308/recursos-hidricos>> Acesso em: 02 nov 2011.

EUCLYDES, H.P.; FERREIRA, P.A.; FILHO, R.F.F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de minas gerais. Estudo de caso. **Revista ITEM – Irrigação & Tecnologia Moderna**, nº 71/72, 3º e 4º Trimestres. p 42-50. 2006

FILL, H.H. Informações hidrológicas. In: BARTH, F.T.; POMPEU, C.T.; FILL, H.D.; TUCCI, C.E.M.; KELMAN, J.; BRAGA JÚNIOR, B.P.F. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. p. 95-210 (Coleção ABRH).

FREITAS, Marcos; RANGEL, Diana; DUTRA, Luiz. Gestão de Recursos Hídricos no Brasil – A experiência da Agência Nacional de Águas. In: ENCONTRO ÁGUAS, 3. 1983, **Anais Eletrônicos**. Disponível em: <http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_naranjaTC-154.htm>. Acesso em: 01 nov. 2011.

GONÇALVES, R. N. 1997. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jequitinhonha – Diretrizes Gerais para Ordenação Territorial**. Relatório Técnico, Ministério do Planejamento e Orçamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria de Geociências 1ª Divisão de Geociências do Nordeste – DIGEO 1/NE.1. Salvador.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos tem novo plano de trabalho**. Portal meioambiente.mg, 07 agosto 2009. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/828-plano-estadual-de-recursos-hidricos-tem-novo-plano-de-trabalho>> Acesso em: 01 nov 2011.

LANNA, A. E. (1997). **Modelos de gerenciamento das águas**. A água em revista, Belo Horizonte, ano V, n. 8, p. 24-33.

MACHADO, E.C.M.N. **Alocação negociada de água em bacias do semi-árido: critérios ambientais, sócio- econômicos e tecnológicos**. 2006. 15 p. Plano Preliminar de Tese (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

MACHADO, J. A relevância da outorga da ANA. Portal Terra Sustentabilidade, 24 setembro 2008. Disponível em:

<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/artigos.aspx>> Acesso em: 01 nov 2011.

MAIA, J.L. **Estabelecimento de Vazões de Outorga na Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, com a utilização de sazonalidade.** 2003. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

MEDEIROS, M. J.; NAGHETTINI, M. **Análise da viabilidade de aplicação de um fator de correção anual para o critério da vazão de outorga adotado no estado de Minas Gerais.** Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos de língua oficial portuguesa. Aracajú - SE. (2001)

MYERS, L.E. **Recent advances in water harvesting.** Journal of soil and water conservation, 22(3): 95-97. 1967.

MINELLA, J. P. G. **Avaliação de parâmetros hidrossedimentométricos numa bacia do Rio Grande do Sul.** Revista Eletrônica de Recursos Hídricos, 1:46-51, 2004.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água.** 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

OLIVEIRA, J. R. S. **Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão Entre Ribeiros.** 2011. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PERH - MG. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais. Relatório Final.** Agência Nacional de Águas – ANA, Projeto PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO, Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, Governo de Minas. Contrato nº 010/2006 – Dezembro 2006.

PNRH. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva.** Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. - Brasília: MMA, 2006. 135p. ; 27 cm. + 1 CD-ROM

RIBEIRO, E. M.; Galizoni, F. M. 2003. **Água, população rural e políticas de gestão: O caso do vale do Jequitinhonha, Minas Gerais.** *Ambiente e Sociedade* 6(1): 129–146.

RODRIGUES, A.C.L.; BARBOSA, D.L.; FREIRE, P.K.C.; CURI, R.C.; CURI, W.F. Um estudo sobre outorga do uso da água. In: **Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.** Gravatá - PE. 2006.

SOCIOAMBIENTAL. **O risco da escassez.** Portal Instituto Socioambiental, Março 2005. Disponível em: < <http://www.socioambiental.org/esp/agua/pgn/>> Acesso em: 27 nov 2011.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão de água no Brasil.** Brasília: UNESCO, 156 p. 2001.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO (1997). **Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World.** WMO, Genebra.

Objetivos

Objetivo Geral

Desenvolver estudo visando a proposição de alternativas para melhorar o aproveitamento das águas superficiais e da precipitação na bacia do rio Jequitinhonha.

Objetivos Específicos

Caracterizar as demandas de uso da água na bacia do rio Jequitinhonha.

Quantificar a disponibilidade natural e potencial de água na bacia do rio Jequitinhonha.

Avaliar o impacto do uso de diferentes critérios de outorga e de práticas de regularização na disponibilidade hídrica da bacia do rio Jequitinhonha.

Avaliar a quantidade de água a ser reservada para garantir um efetivo suprimento de água quando do uso de cisternas.

Meta e Metodologia

Bacia Hidrográfica de estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha (JQ1, JQ2 e JQ3) e está localizada entre os paralelos 15°39' e 18°36' de latitude Sul e os meridianos 39°50' e 43°48' de longitude Oeste. A bacia abrange aproximadamente 70.315 km². Desta área, 66.319 km² situam-se em Minas Gerais, enquanto 3.996 km² pertencem à Bahia.

Espacialmente os índices pluviométricos anuais variam entre 600 e 1600 mm na parte mineira da bacia do rio Jequitinhonha, mas as precipitações concentram-se em apenas seis meses do ano, entre outubro e março. Além disso, é comum a ocorrência de veranicos, que costumam trazer conseqüências graves para a população da região, uma vez que o fenômeno ocorre em período de temperaturas mais elevadas e altas taxas de evapotranspiração. No trecho médio da bacia os baixos índices pluviométricos coincidem com os mais altos índices de evapotranspiração (FERREIRA, 2009).

Apesar de reunir características hídricas do semi-árido até o úmido, as variações espaciais da temperatura média anual na bacia do rio Jequitinhonha são relativamente pequenas, entre 21 a 24°. A elevada taxa de evapotranspiração potencial ao longo do ano (1264 mm) e a pequena quantidade de chuvas (831 mm em média) ocasionam uma situação marcada pela forte deficiência hídrica, principalmente durante os sete a nove meses mais secos (FERREIRA, 2009).

Atualmente, os principais usos de água na bacia do Jequitinhonha são o abastecimento humano (urbano e rural) e a irrigação. A mineração e o garimpo, usos não-consultivos, têm promovido degradação da qualidade da água e mananciais nas regiões, também afetadas pelo problema de falta de esgotamento sanitário na área urbana. A agricultura e pecuária, exploradas em áreas ribeirinhas, principalmente para subsistência e com baixo nível tecnológico, também promoveram degradação e assoreamento ao longo dos anos (EUCLYDES et al., 2011).

Caracterização das demandas de uso da água na bacia do rio Jequitinhonha

Para quantificar os usos de água na bacia do rio Jequitinhonha serão consideradas no estudo as outorgas superficiais, a fio d'água e em barramentos, emitidas pelo órgão responsável pela concessão de direito de uso dos recursos hídricos em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

As outorgas serão espacializadas ao longo da hidrografia contemplada no banco de dados da Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG), obtida através de um projeto interinstitucional no qual a Universidade Federal de Viçosa, através do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola, realizou o estudo de regionalização de vazões e geração de modelo para a automatização da obtenção de vazões mínimas e média para o estado de Minas Gerais.

Tendo em vista o fato de que as demandas são variáveis ao longo do ano serão gerados 12 mapas representando esta sazonalidade, sendo o valor de demanda a ser considerado no estudo obtido para cada um dos 12 meses do ano para cada trecho, a partir da soma das outorgas concedidas a montante da confluência com o trecho subsequente.

Quantificação das disponibilidades natural e potencial de água na bacia do rio Jequitinhonha

Enquanto a disponibilidade natural dos recursos hídricos é definida pela análise das vazões mínimas observadas nos períodos de estiagem, também designados de períodos críticos, a disponibilidade potencial é determinada pela vazão média de longa duração (Q_{mld}), que consiste na média de todas as vazões diárias observadas no ano (PRUSKI, 2009).

A Universidade Federal de Viçosa desenvolveu um projeto para o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) que teve como objetivo o conhecimento da disponibilidade hídrica em todos os trechos sob dominialidade do Estado de Minas Gerais, sendo aplicada a regionalização de vazões em base anual para a vazão média de longa duração e para as vazões mínimas (Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$).

Neste estudo a disponibilidade natural será caracterizada pela vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência ($Q_{7,10}$), por ser esta a vazão mínima de referência no Estado de Minas Gerais, que será quantificada em bases mensal e anual, e pela vazão mínima com 95% de permanência no tempo.

Já a disponibilidade potencial será caracterizada pela vazão média de longo período (Q_{mld}), que consiste na maior vazão possível de ser regularizada no curso d'água, abstraindo-se as perdas por evaporação e infiltração (PRUSKI et al., 2006).

Também será considerada no estudo a curva de regularização de vazões, que é a representação gráfica dos valores de vazão regularizada e de volume do reservatório, obtido em função do maior acúmulo dos déficits hídricos do período analisado para cada valor de vazão.

A $Q_{7,10}$, a Q_{95} , a Q_{mld} e a curva de regularização serão estimadas de acordo com as séries de dados históricos consistidos, obtidas nas estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA) utilizando o programa SisCAH 1.0 - Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA et al., 2009).

Obtenção da $Q_{7,10}$

Para estimar a $Q_{7,10}$ serão utilizadas as distribuições de densidade de probabilidade Logpearson 3, Pearson 3, Normal, Lognormal 2, Gumbel e Weibull.

Para tais distribuições, a estimativa da magnitude de um evento com determinado período de retorno é dada pela equação

$$M = \mu + k \sigma \quad (1)$$

em que: M = magnitude do evento para o período de retorno estabelecido; μ = média dos eventos; k = fator de frequência; e σ = desvio padrão dos eventos.

Serão utilizadas as menores médias de sete dias consecutivos (Q_7), para cada ano das séries históricas de vazão, no caso da estimativa anual. Para as vazões mensais, haverá uma restrição ao conjunto de dados para cada mês, sendo a análise similar à estimativa anual, porém com o intervalo de dados pertinente ao mês cuja vazão será calculada.

Para cada tipo de distribuição de frequência o fator de frequência será calculado conforme a metodologia descrita por Kite (1988).

Será adotado um período de retorno de 10 anos para estimar a variável de interesse $Q_{7,10}$. A melhor estimativa corresponde a distribuição de densidade de probabilidade que apresentar menor amplitude do intervalo de confiança dentre as

estimativas obtidas pelas distribuições. O SisCAH 1.0 indica automaticamente a distribuição de probabilidade que apresenta o melhor ajuste estatístico associado ao período de retorno utilizado.

Obtenção da Q_{95}

O procedimento que será utilizado para a obtenção da vazão associada à permanência de 95% para cada estação fluviométrica é baseado na obtenção de classes de frequência, sendo definidos 50 intervalos de classe com base na escala logarítmica e posteriormente calculado os limites dos intervalos e o número de vazões associadas em cada intervalo e a frequência associada ao seu limite inferior.

As mínimas associadas à permanência de 95% (Q_{95}) serão calculadas a partir da curva de permanência. A curva de permanência descreve a relação entre a vazão de um curso d'água e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentado na curva (PRUSKI et al., 2006).

O procedimento disponível para a obtenção desta curva para cada estação fluviométrica é baseado na obtenção de classes de frequência e que segue os seguintes passos:

- seleção da série de dados de vazões diárias a ser utilizada para a obtenção da curva;
- definição de 50 intervalos de classe das vazões diárias;
- subdivisão dos intervalos de classe com base na escala logarítmica devido à grande variação de magnitude das vazões envolvidas;
- cálculo do intervalo de classe (ΔX) pela equação:

$$\Delta X = [\ln(Q_{\text{máx}}) - \ln(Q_{\text{mín}})] \quad (2)$$

em que: $Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima da série; e $Q_{\text{mín}}$ = vazão mínima da série.

- cálculo dos limites dos intervalos, a partir de $Q_{\text{mín}}$, adicionando o intervalo calculado anteriormente, o que resulta na vazão do limite superior do intervalo i :

$$Q_{i+1} = \exp [\ln(Q_i) + \Delta X] \quad (3)$$

- determinação, com base nos dados de vazão da série histórica de cada estação fluviométrica, do número de vazões classificadas em cada intervalo;

- determinação da frequência (f_i) associada ao limite inferior de cada intervalo:

$$f_i = (Nq_i / NT) 100 \quad (4)$$

em que: Nq_i = número de vazões de cada intervalo; e NT = número total de vazões.

- obtenção da curva de permanência plotando-se na ordenada os limites inferiores dos intervalos de classe de vazão e na abscissa a frequência de ocorrência.

Utilizando o SisCAH 1.0 a Q_{95} será obtida automaticamente pela interpolação dos limites dos intervalos de classes, conforme a metodologia descrita.

Obtenção da Q_{mld}

A vazão média de longa duração (Q_{mld}) consiste na média de todas as vazões diárias observadas nos anos da série histórica e, assim como a $Q_{7,10}$, será estimada utilizando o SisCAH 1.0.

Obtenção da curva de regularização

O SisCAH 1.0 calcula o volume do reservatório necessário para regularizar a vazão de acordo com o maior déficit hídrico do período analisado, ou seja, acumulando as diferenças entre o volume diário de água que passa pela seção do rio e o volume regularizado quando o acúmulo for negativo. O maior valor desse acúmulo é o próprio volume do reservatório.

O estabelecimento da curva de regularização envolve as seguintes etapas:

- seleção da série de vazões diárias;
- cálculo da vazão média ($Q_{média}$) com base na série histórica utilizada;
- estabelecimento de 20 diferentes valores de vazões a serem regularizadas ($Q_{reg i}$), utilizando-se uma variação de 0,05 da $Q_{média}$ para cada valor, ou seja, as vazões regularizadas variam de 0,05 a 1,0 $Q_{média}$;

- obtenção, para cada vazão a ser regularizada, dos valores das diferenças entre as vazões diárias da série de dados históricos e a vazão a ser regularizada;

- determinação do volume necessário do reservatório para atender a equação de regularização. Quando $Q_{série histórica} < Q_{reg i}$ (diferença negativa) começa-se a acumular

até que se obtenha um valor acumulado positivo. Pesquisa-se então o maior volume acumulado até o momento e repete-se o mesmo procedimento, iniciando o acúmulo no próximo valor de diferença negativa. Ao final de todos os cálculos faz-se a pesquisa para identificar o máximo volume deficitário acumulado para cada vazão regularizada. Para transformar a diferença de vazões diárias em volume multiplica-se o valor obtido por 86400, que é o número de segundos em um dia.

Regionalização de vazões

Estudos de regionalização da disponibilidade natural (mínima), potencial (média) e das curvas de regularização de vazões mostram a disponibilidade efetiva de água não somente para condições ditas a fio d'água, e representadas pela vazão mínima, mas, também, para as condições ditas potenciais, e representadas pela vazão média.

A regionalização das vazões será feita utilizando o programa SisCoRV - Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SOUSA et al., 2009). Para obtenção das equações de regionalização serão consideradas as séries de vinte e seis estações localizadas na bacia em estudo.

No Quadro 1 estão listadas as estações fluviométricas que serão utilizadas no estudo.

Quadro 1 - Estações fluviométricas que serão utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Curso d'Água
54001000	Povoado de Vau	18° 25' 03"	43° 31' 37"	Rio Jequitinhonha
54010005	Vila Terra Branca - Jusante	17° 18' 39"	43° 12' 27"	Rio Jequitinhonha
54110002	Grão Mogol (Faz. Jambeiro)	16° 35' 42"	42° 55' 08"	Rio Itacambiruçu
54150000	Porto Mandacaru	16° 40' 39"	42° 29' 10"	Rio Jequitinhonha
54165000	Ponte Vacaria	16° 11' 39"	42° 35' 11"	Rio Vacaria
54193000	Rubelita	16° 24' 44"	42° 15' 54"	Rio Salinas
54195000	Barra do Salinas	16° 37' 04"	42° 18' 31"	Rio Jequitinhonha
54220000	São Gonçalo do Rio Preto	18° 00' 27"	43° 22' 32"	Rio Preto
54225000	Senador Modestino	17° 57' 11"	43° 14' 48"	Rio Araçuaí
54230000	Carbonita	17° 34' 44"	42° 59' 45"	Rio Araçuaí
54234000	Itamarandiba	18° 05' 24"	42° 50' 20"	Rio Itamarandiba
54235000	Ponte MG-214	17° 38' 26"	42° 40' 36"	Rio Itamarandiba
54260000	Ponte Alta	17° 17' 24"	42° 48' 58"	Rio Araçuaí
54300000	Minas Novas	17° 13' 13"	42° 35' 53"	Rio Fanado
54390000	Pega	16° 51' 36"	42° 20' 54"	Rio Araçuaí
54430000	Setubinha	17° 34' 19"	42° 08' 09"	Ribeirão Setubinha
54485000	Fazenda Facão	16° 58' 16"	42° 06' 56"	Rio Gravata
54500000	Araçuaí	16° 51' 15"	42° 03' 43"	Rio Araçuaí

54530000	Itira	16° 45' 32"	42° 00' 14"	Rio Jequitinhonha
54580000	Itaobim	16° 34' 20"	41° 30' 09"	Rio Jequitinhonha
54590000	São João Grande	16° 41' 23"	41° 29' 33"	Ribeirão São João
54710000	Jequitinhonha	16° 25' 54"	41° 00' 47"	Rio Jequitinhonha
54730005	Fazenda Boa Sorte - Jusante	16° 37' 20"	41° 01' 40"	Rio São Miguel
54770000	Fazenda Cajueiro	16° 07' 03"	40° 44' 08"	Rio São Francisco
54780000	Jacinto	16° 08' 04"	40° 18' 22"	Rio Jequitinhonha
54950000	Itapebi	15° 56' 35"	39° 31' 24"	Rio Jequitinhonha

As variáveis independentes que serão utilizadas no estudo representam as características físicas e climáticas da bacia. Para representar uma característica física da bacia será utilizada a área de drenagem, por ser esta a característica física que mais interfere no processo de formação das vazões médias e mínimas (RIBEIRO et al., 2005).

Como característica climática será utilizada a precipitação média de longa duração, tendo em vista o estudo realizado por Rodriguez (2008), que evidenciou que a consideração da precipitação no estudo de regionalização de vazões na bacia do Paracatu permitiu uma melhor qualidade do ajuste.

A precipitação média anual correspondente ao período base na bacia será estimada pela interpolação dos dados das estações pluviométricas localizadas na região de estudo (Quadro 2) e a área de drenagem será obtida usando a hidrografia contemplada no banco de dados da Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Otocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG).

Quadro 2 - Estações pluviométricas que serão utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (m)
1541025	Berizal	15° 44' 26"	41° 53' 02"	-
1640000	Jacinto	16° 08' 19"	40° 17' 25"	160
1641001	Itaobim	16° 34' 06"	41° 30' 11"	241
1641007	São João Grande	16° 41' 22"	41° 29' 54"	-
1641010	Itinga	16° 37' 05"	41° 46' 03"	-
1641011	Medina	16° 13' 48"	41° 28' 51"	590
1642007	Porto Mandacaru	16° 40' 44"	42° 29' 08"	273
1642013	Pega	16° 51' 36"	42° 20' 51"	290
1642014	Grão Mogol	16° 35' 26"	42° 55' 07"	-
1741013	Padre Paraíso	17° 04' 22"	41° 28' 59"	-
1742014	Capelinha	17° 41' 30"	42° 31' 34"	890
1742017	Malacacheta	17° 50' 44"	42° 04' 32"	-
1742019	Água Boa	17° 59' 32"	42° 23' 38"	600
1742020	Fazenda Facão	16° 58' 16"	42° 06' 56"	-

1843002	Gouveia	18° 27' 56"	43° 44' 35"	1200
1843011	Serro	18° 35' 34"	43° 24' 45"	940

Para relacionar a precipitação média anual na bacia e a área de drenagem de cada trecho será usada uma única variável que, além de permitir uma representação bidimensional da relação entre as variáveis dependentes e independentes, também permite o ganho de um grau de liberdade na análise estatística.

$$P_{eq} = P A / k \quad (5)$$

em que: P_{eq} = vazão equivalente ao volume precipitado, $m^3 s^{-1}$; P = precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm; A = área de drenagem, km^2 ; e k = fator de conversão, o qual é igual a 31.536.

Embora a precipitação média anual seja uma variável explicativa do processo de formação das vazões mínimas e médias, considera-se que esta não reflita efetivamente a contribuição para a formação destas vazões, pois para que haja a ocorrência do escoamento no leito do rio advindo da contribuição subterrânea é necessário que, primeiramente, a precipitação venha suprir o déficit de água existente na zona de aeração do solo, que, por sua vez, depende das características do solo, da cobertura vegetal e do processo de evapotranspiração. Desse modo, Novaes (2005) propôs o conceito de inércia hídrica, que é a precipitação mínima necessária para garantir a recarga do lençol freático, e estimou que, para a bacia do Paracatu, a vazão deve se tornar nula no início do período de recessão para precipitações médias anuais inferiores a 750 mm.

Nesse trabalho, para a consideração da inércia hídrica será subtraído o valor correspondente a 600 mm para cada pixel do mapa da precipitação média anual, sendo atribuído o valor zero quando a inércia foi maior que a precipitação. Assim, será utilizada a equação

$$P_{eq600} = [(P - 600) A] / k \quad (6)$$

em que P_{eq600} é igual à vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 600 mm, $m^3 s^{-1}$.

Desta forma, as variáveis independentes utilizadas serão: a área de drenagem (A), a vazão equivalente ao volume precipitado (P_{eq}) e a vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma diminuição da inércia hídrica igual a 600 mm (P_{eq600}).

A regionalização será feita utilizando o Método Tradicional, por ter sido este o método que, no estudo de Rodriguez (2008), melhor representou o comportamento das vazões médias e mínimas na bacia do Paracatu.

Para o Método Tradicional, o SisCoRV permite a obtenção de equações utilizando os seguintes modelos de regressão: linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco.

$$Q_{lin} = a + b X \quad (7)$$

$$Q_{pot} = a X^b \quad (8)$$

$$Q_{exp} = a e^{bX} \quad (9)$$

$$Q_{log} = a + b \ln X \quad (10)$$

$$Q_{rec} = (a + bX)^{-1} \quad (11)$$

em que: Q_{lin} = vazão estimada pelo modelo linear, $m^3 s^{-1}$; Q_{pot} = vazão estimada pelo modelo potencial; Q_{exp} = vazão estimada pelo modelo exponencial; Q_{log} = vazão estimada pelo modelo logarítmico; Q_{rec} = vazão estimada pelo modelo recíproco, $m^3 s^{-1}$; a e b = parâmetros de ajuste dos modelos, adimensionais; e X = variável explicativa.

A seleção da equação que conduz à condição mais representativa das vazões da bacia será feita analisando-se os melhores ajustes estatísticos, com base no maior coeficiente de determinação (R^2), menor erro padrão e menores valores dos resíduos.

A equação obtida com o melhor modelo será aplicada para a regionalização das variáveis dependentes consideradas ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{mld}), para o período anual e mensal, e será feita uma comparação entre os resultados estimados pela regionalização nas

estações fluviométricas e aqueles estimados com base nos dados observados para as mesmas seções para avaliar a precisão das variáveis estimadas. A comparação será feita analisando o erro relativo percentual entre o valor observado e o estimado, calculado pela equação

$$ER = [(Q_{obs} - Q_{reg}) / Q_{obs}] 100 \quad (12)$$

em que: ER = erro relativo, %; Q_{obs} = vazão estimada com base nos dados observados na estação fluviométrica, $m^3 s^{-1}$; e Q_{reg} = vazão estimada pelo modelo de regionalização, $m^3 s^{-1}$.

A estimativa do volume necessário para a regularização de uma determinada vazão é feita pela análise do armazenamento a ser realizado por um reservatório ao longo do período correspondente à série histórica de dados disponíveis. Para tanto, é considerada uma equação do tipo $\alpha = a.\beta^b$, sendo,

$$\alpha = V / (Q_{mld} \times 86400) \quad (13)$$

$$\beta = q / Q_{mld} \quad (14)$$

em que: V = volume do reservatório, m^3 ; q = vazão regularizada, m^3/s ; e Q_{mld} = vazão média de longa duração, m^3/s .

Para cada estação utilizada, serão computados na análise 20 valores de α relacionados a 20 valores de β , e a análise de regressão potencial será realizada utilizando todos os dados de todas as estações, sendo o ajuste obtido determinante para evidenciar a correlação entre as variáveis do modelo.

Após a análise de regressão potencial, é necessária a obtenção da vazão média de longa duração regionalizada para o mesmo conjunto de estações utilizadas na regressão anterior, de forma a aplicar a equação potencial obtida ao valor de vazão média de longa duração em função das variáveis independentes associadas ao local de interesse. Dessa forma a obtenção do volume do reservatório em hectômetros cúbicos se dará pela equação:

$$V = 0,0864 a \beta^b Q_{mld} \quad (15)$$

em que a e b são os coeficientes obtidos na regressão potencial dos valores de α e β .

Há casos em que a informação da vazão regularizada é a incógnita, sendo o valor do volume do reservatório pré-estabelecido, logo, pode-se obter o valor de vazão regularizada pela equação 16:

$$q = (V / 0,0864 a)^{1/b} Q_{mld}^{(1-1/b)} \quad (16)$$

Assim como os dados de demanda, as equações obtidas para quantificação da disponibilidade hídrica serão espacializadas ao longo da hidrografia contemplada no banco de dados da Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG), permitindo a obtenção dos valores de disponibilidade para cada trecho da hidrografia, considerando para a estimativa o ponto de confluência entre o trecho considerado e o trecho de jusante.

Avaliação do impacto do uso de diferentes critérios de outorga e de práticas de regularização na disponibilidade hídrica da bacia do rio Jequitinhonha.

O Estado de Minas Gerais vem desenvolvendo, desde 1993, alguns planos e estudos que irão ajudar no desenvolvimento da segunda etapa do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Na 1ª etapa, realizou-se uma análise desses planos no intuito de avaliar o conteúdo dos mesmos e verificar o que poderá ser utilizado e/ou complementado quando da realização da segunda etapa. Portanto, considerando o Plano de Trabalho para o desenvolvimento da 1ª Etapa do Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Termos de Referência para o PERH/MG, foram definidos como pauta para a análise os estudos dos Planos Diretores de Bacias Hidrográficas elaborados no Estado de Minas Gerais (PERH - MG, 2006).

De forma geral, observou-se que nos Planos Diretores de Bacias Hidrográficas não há a compatibilização de suas proposições de vazões superficiais e subterrâneas outorgáveis e alocação da disponibilidade hídrica com a atual legislação de recursos hídricos do Estado. A isso se deve acrescentar o fato de que apenas os Planos mais recentes, e que alcançaram melhor desempenho nesse quesito (Paracatu, Velhas e São Francisco), propuseram valores para vazões superficiais e subterrâneas outorgáveis e

alocação da disponibilidade hídrica. Isso pode indicar uma necessidade de revisão dos critérios para outorga e alocação dos recursos hídricos (PERH - MG, 2006).

Além desse fato, com a evolução dos cadastros de usuários e dos próprios planos diretores, o IGAM tem estudado a revisão do critério atual, avaliando a possibilidade de adoção de diferenciações dos volumes outorgáveis por região do Estado (PERH - MG, 2006).

Pelo já exposto, serão avaliados os critérios considerando a disponibilidade natural e baseados no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual (cenário atual) e mensal, 50% da $Q_{7,10}$ anual e mensal e 30 e 50% da Q_{95} anual e mensal. Será também avaliado o impacto do uso da regularização de vazões no aumento da disponibilidade hídrica.

Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ anual

A primeira análise a ser realizada considerará o critério usado pelo IGAM para a concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos em Minas Gerais, que é baseado na Portaria nº 010/98, e que estipula, no parágrafo 1º do artigo 8º, que “até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), para cada Bacia”, sendo esta calculada em uma base anual, e resolve no parágrafo 2º do mesmo artigo “fixar em 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$, o limite máximo de derivações consuntivas a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantido a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da $Q_{7,10}$ ”.

Nesta análise serão confrontados os dados de demanda com os valores de vazão disponíveis para serem outorgadas, de acordo com o critério de 30% da $Q_{7,10}$ anual. A análise será feita trecho a trecho ao longo da hidrografia, visando avaliar a condição de déficit ou disponibilidade de vazão permissível para uso, considerando as vazões já outorgadas em relação às máximas permissíveis. A partir desta análise serão elaborados mapas caracterizando a condição atual (déficit ou disponibilidade) de cada trecho.

De posse destas informações será feita uma análise de frequência do número de trechos da hidrografia em relação à sua condição de disponibilidade ou escassez para cada mês.

Critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$ mensal

Uma vez que a disponibilidade de água varia expressivamente ao longo do ano, a utilização do critério baseado no uso das vazões mínimas anuais implica numa restrição única ao longo de todo o ano, quando, na verdade, esta restrição é específica para um período, sendo que, mesmo neste período, a disponibilidade pode ser aumentada pela consideração da sazonalidade de variação das vazões.

Considerando, ainda, que o período de maior demanda pelos recursos hídricos nem sempre coincide com o período de menor disponibilidade hídrica, a segunda análise será feita confrontando os valores mensais de demanda com os valores de vazão disponível para ser outorgada nos meses correspondentes. Será mantido o critério baseado no uso de 30% da $Q_{7,10}$, usado para outorga no Estado de Minas Gerais, porém, nesta análise será utilizada a $Q_{7,10}$ calculada em base mensal.

Para mostrar o impacto do uso desse critério no aumento da vazão máxima permissível para outorga serão gerados mapas caracterizando a condição atual (déficit ou disponibilidade) de cada trecho. Será feita, como para o critério baseado no uso de 30% na $Q_{7,10}$ mensal, uma análise de frequência do número de trechos da hidrografia em relação à sua condição de disponibilidade ou escassez para cada mês.

Critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$

Tendo em vista a alegação de que o critério utilizado no Estado de Minas Gerais, o mais restritivo do país, impõe limites muito baixos para o uso da água, restringindo o desenvolvimento econômico e social, e o fato de que a própria legislação mineira abre a possibilidade de que o valor de vazão mínima de referência possa ser alterado, se procederá a análise do uso do critério baseado em 50% da $Q_{7,10}$.

O critério baseado no uso de 50% da $Q_{7,10}$ é atualmente usado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para concessão de outorgas no Estado de São Paulo, de acordo com a Lei nº 9.034 de 27 de dezembro de 1994, e é considerado o segundo critério mais restritivo dentre aqueles utilizados pelos órgãos gestores em todo o país. Este critério, apesar de ter a $Q_{7,10}$ como vazão mínima de referência, que é a mesma usada pelo IGAM, é um pouco menos restritivo ao considerar 50% ao invés de apenas 30% desta vazão.

As análises baseadas neste critério considerarão, assim como para o critério usado pelo IGAM, as disponibilidades anual e mensal. O impacto da substituição do uso do critério de 30% da $Q_{7,10}$ pelo critério de 50% da $Q_{7,10}$, tanto em uma base anual como

mensal, será avaliado pela comparação das alterações ocorridas nas condições de cada trecho.

Crítérios baseados no uso de 30% e 50% da Q_{95}

Assim como para a $Q_{7,10}$ também será procedida a análise do impacto do uso de vazões associadas à permanência de 95% no tempo, devendo ser considerados percentuais correspondentes a 30% e 50% da Q_{95} e a análise ser efetuada tanto em uma base anual como mensal.

Regularização de vazões

O aumento dos valores de vazão disponível para outorga também pode ser obtido por meio da regularização de vazões. A capacidade de regularização dos reservatórios é determinada em função do volume necessário ao consumo, até um limite correspondente à vazão média de longa duração e respeitando a legislação, que, para o Estado de Minas Gerais, estipula no parágrafo 3º do artigo 8º da Portaria nº 10/98, com redação alterada pela Portaria IGAM nº 07/99, que seja garantido um fluxo residual mínimo a jusante equivalente a 70% da $Q_{7,10}$.

Caso a utilização das demais práticas analisadas neste estudo não seja suficiente para suprir a vazão de demanda em cada trecho será avaliada a regularização de vazões, considerando a vazão potencialmente regularizável ou de uma parte desta.

Serão elaborados mapas e uma vez identificados os trechos em que as demandas superem as necessidades serão determinadas as capacidades dos reservatórios de regularização capazes de resolver ou atenuar estas condições de conflito.

Modelo para dimensionamento de cisternas

Desenvolvimento do Modelo

O desenvolvimento do modelo se baseará no princípio de que, para o cálculo do volume de uma cisterna, deve ser considerado o efeito acumulativo de precipitações que ocorrem de forma sucessiva em uma série.

Para o desenvolvimento do modelo serão adotadas as seguintes premissas:

- a área de contribuição para a cisterna é formada pela área da superfície de captação (telhado);

- o consumo médio de água por casa não varia;
- o volume requerido para a cisterna é suficiente para garantir que não ocorra o transbordamento da água; e
- o balanço do volume de água armazenado na cisterna é feito em uma base diária, sendo contabilizado o volume escoado e o volume armazenado remanescente do dia anterior.

O modelo utilizará dados sintéticos de precipitação, advindos do modelo ClimaBr, para a obtenção de uma série diária de volumes escoados, com a qual será realizado o balanço diário do volume armazenado na cisterna. A partir da série de volumes armazenados será identificado o maior valor obtido em cada ano e, assim, criada uma série anual de volumes máximos armazenados na cisterna, à qual será aplicada a distribuição de Gumbel para a obtenção do volume requerido para a cisterna.

Obtenção da série sintética de dados de precipitação

A série sintética é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios, produzidos por algoritmos computacionais a fim de gerar seqüências de números aleatórios que se assemelham aos dados climáticos reais (WILKS, 1999). Para o Brasil, a aplicação desses procedimentos apresenta um grande potencial, tendo em vista o fato da extensão das séries históricas disponíveis normalmente ser reduzida, principalmente quando se trata de dados pluviográficos.

O modelo ClimaBr, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, foi desenvolvido com a finalidade de gerar séries sintéticas de precipitação, temperaturas máximas e mínimas, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar. No presente trabalho, o ClimaBr será utilizado para a geração de séries sintéticas de precipitação. Serão utilizados os dados das estações pluviométricas localizadas na região do Jequitinhonha (Quadro 2), sendo gerada uma série de 100 anos para cada localidade. Em cada série sintética gerada, apenas os dados referentes à precipitação total diária serão analisados.

Cálculo do volume escoado

O cálculo do volume de escoamento superficial que afluí à cisterna será obtido a partir do produto da lâmina precipitada e da área da superfície de captação, nesse caso o telhado das residências:

$$VES = LP A_C / 1.000 \quad (17)$$

em que: VES = volume de escoamento superficial que afluí à cisterna, m³; LP = Lâmina precipitada, mm; e A_C = área do telhado das residências, m².

O valor de A_C representa a área do telhado em que todo o escoamento superficial que ocorre nesse local é drenado para a cisterna.

Cálculo do volume armazenado

O volume armazenado na cisterna em um determinado dia da série (V_{Ai}) será obtido a partir da soma do volume de escoamento superficial que chega à cisterna nesse dia e do volume armazenado remanescente do dia anterior (V_{Ai-1}), subtraindo o volume consumido pela família que habita a residência. Estes volumes serão obtidos pelas equações:

$$V_{Ai} = VES_i + V_{Ai-1} - VC_i \quad (18)$$

$$VC_i = NP CP_i \quad (19)$$

em que: VC_i = volume consumido pela família que habita a residência, m³; NP = número de pessoas que habitam a residência, adimensional; e CP_i = volume per capita de água consumido na residência, m³.

As simulações se iniciam no dia em que ocorre o primeiro evento chuvoso da série, onde o volume armazenado será estimado considerando apenas o volume de escoamento superficial. Se este volume não for completamente consumido ficará um volume remanescente para o dia subsequente.

Cálculo do volume requerido para a cisterna

O volume requerido para a cisterna (V_C) será obtido aplicando à série de volumes máximos acumulados, a distribuição de Gumbel.

Segundo Kite (1988), a magnitude do evento para séries finitas é dada por:

$$V_C = V_{\text{máx}} + k' \sigma \quad (20)$$

em que: $V_{\text{máx}}$ = média dos volumes máximos armazenados, m^3 ; k' = fator de frequência, adimensional; e σ = desvio padrão dos volumes máximos armazenados em cada ano da série, adimensional.

O fator de frequência para séries finitas será calculado da seguinte forma:

$$K' = - \{0,45 + 0,7797 \ln [-\ln(1-1/T)]\} \quad (21)$$

em que: T = período de retorno, anos.

Software para a aplicação da metodologia

Tendo em vista o fato de que os cálculos descritos serão realizados em uma base diária e para um número de anos expressivo, que garante a estabilidade da série, haverá a necessidade do desenvolvimento de um aplicativo computacional que permita a realização da grande quantidade de cálculos requeridos. O software permitirá obter o volume requerido para cisternas.

Referências Bibliográficas:

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F.; OLIVEIRA E. P. **Atualização dos estudos hidrológicos na bacia do rio Jequitinhonha**. 2011. Portal Atlas Digital das águas de Minas. Disponível em: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/jequitinhonha/resumo_jequitinhonha.html> Acesso em: 01 nov. 2011

FERREIRA, V. O. **Aspectos litoestruturais e de relevo na bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: subsídios para a gestão de recursos hídricos**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa/MG. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

KITE, G.W. **Frequency and risk analyses in hydrology**. 5. ed. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications. 1988. 257p.

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

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; KOEZ, M. **Estudo da Vazão em Cursos d'Água**. Viçosa: Engenharia na Agricultura. Caderno didático: 43. Associação de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 151p.

PRUSKI, F. F. **Proposta ao Plano Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais de alternativas para o aumento da disponibilidade de água e a melhoria da gestão dos recursos hídricos**. Abril de 2009. 36p.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.13, n. 2, p. 103-107, 2005.

RODRIGUEZ, R.G. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões** 2008. 240p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOUSA, H.T.; BOF L.H.N.; PRUSKI F.F.; SOUZA, J.F. Sistema Computacional para Regionalização de Vazões. In **Anais do VII Congresso Brasileiro de Agroinformática**, Viçosa - MG: SBIAGRO, Out. 2009.

SOUSA, H.T.; PRUSKI F.F.; BOF L.H.N.; CECOM, P.R.; SOUZA, J.R.C. **Sistema Computacional para Análises Hidrológicas**, Brasília, DF: ANA; Viçosa, MG: UFV, 2009. 60p

WILKS, D.S. **Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain**. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v.96, n.1-3, p.85-101, 1999.

