

Otimização e Simulação Comparativa de Cenários de Outorga

Jussara Cabral Cruz

Departamento de Hidráulica e Saneamento – UFSM
jussara@ct.ufsm.br

Carlos E. M. Tucci

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS
tucci@iph.ufrgs.br

Recebido: 30/06/04 revisado: 19/05/05 aceito: 12/08/05

RESUMO

A implantação de um sistema de outorga de uso dos recursos hídricos, em bases sustentáveis, pressupõe a realização de um balanço hídrico, em nível de bacia hidrográfica, cotejando tanto as disponibilidades de água quanto as demandas. Este artigo apresenta um equacionamento de balanço hídrico, cujas características principais são a simplicidade e a consideração da variabilidade sazonal e interanual dos recursos hídricos ofertados na bacia hidrográfica. Com base no modelo de balanço proposto, são ensaiados diferentes critérios de outorga, cujas análises são apresentadas neste artigo. Os aspectos avaliados são: prioridades entre diferentes tipos de usuários; critérios de alocação de volumes entre as seções; critérios de definição do número de trechos de gerenciamento; efeito da variabilidade interanual da disponibilidade hídrica; efeito da disponibilidade hídrica sazonal e efeitos ambientais da outorga.

Palavras-chave: balanço hídrico, critérios de outorga, disponibilidade hídrica, demanda.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento de recursos hídricos visa a harmonizar e a solucionar conflitos resultantes do uso intensivo da água, na bacia hidrográfica. Este gerenciamento é um compromisso entre os diferentes usos da água e a conservação das funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas. O principal instrumento de gestão utilizado é a outorga do uso da água, que depende da disponibilidade hídrica, no tempo e no espaço da bacia, e das necessidades para a conservação dos sistemas hídricos.

A alocação de água numa bacia envolve decisões que se baseiam na Lei Nacional 9433 de 08 de janeiro de 1997, também conhecida como “Lei das águas” (Brasil, 1997). Tais decisões consideram as demandas dos setores usuários das águas, inclusive para desenvolvimento econômico, além da conservação do meio ambiente (Legislação ambiental). Dentro dos limites impostos por essas legislações, existem vários condicionantes que se ajustam dentro de cada realidade sócio-econômica, climática e ambiental e requerem a tomada de decisão por parte dos atores de governo e da

sociedade (mecanismo definido na política brasileira dos recursos hídricos).

As principais metodologias que permitem o estudo de alocação de água numa bacia são baseadas:

- a. no uso de dados estatísticos das vazões ou de disponibilidade hídrica (Kelman, 1997; Figueiredo, 1999; Euclides et al., 1999; Cruz et al., 1999) como a Q_{95} (vazão de 95% da curva de permanência) ou a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de 7 dias de duração com dez anos de recorrência);
- b. em modelos de simulação de cenários e disponibilidades da bacia, que operam como sistemas de apoio à decisão (Azevedo et al., 1997; Souza Filho, 1999; Galvão et al., 2001). Como exemplo, há o Sistema de Apoio à Decisão - SAGBAH estruturado por Viegas e Lanna (1999), composto por módulos de geração de séries de vazões, módulos de simulação da propagação das vazões, com balanço hídrico de demandas e de reservatórios. Esse tipo de metodologia, permite a análise de diferentes cenários de

- outorga das disponibilidades hídricas e, também, apoia a tomada de decisão.
- c. em modelos de otimização dos resultados das simulações, segundo critérios de outorga definidos pelos tomadores de decisão. Existem várias técnicas utilizadas em associação com modelos de otimização como programação linear, não linear e dinâmica, entre outras (Braga et al, 1998).

Neste artigo, são analisados diferentes cenários de alocação de água, num sistema hídrico, que busca a compatibilização entre as demandas e os volumes finitos de oferta de água, de forma a garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. Nele, também são apresentadas análises de fatores que intervêm na estruturação da sistemática de outorga - como as diferentes finalidades de uso da água, o estabelecimento de prioridades entre esses usos, a discretização do sistema hídrico e as funções de alocação de volumes -, e a análise da influência dos aspectos mencionados no atendimento das demandas. No equacionamento proposto, foi utilizada a combinação das concepções citadas acima, ou seja, um modelo simplificado de oferta em conjunto com um modelo de otimização para estimativa das outorgas e um modelo de simulação para verificação do atendimento.

MODELO DE ALOCAÇÃO E OUTORGA

O modelo de alocação da outorga se baseia na aplicação da equação de balanço hídrico ou de alocação de volumes, em cada seção de um rio tendo a bacia hidrográfica como espaço de planejamento. O modelo otimiza a distribuição da água, com base numa função objetivo sujeita a restrições, para um cenário que combine as diferentes variáveis de entrada. Estas variáveis são: disponibilidade hídrica com um determinado risco de falha, demanda na bacia (definidas em função de diferentes cenários de uso da água) e condições a serem mantidas no sistema fluvial, para sua conservação ambiental.

O modelo de otimização apresenta uma solução de alocação dos volumes. Suas condições operacionais são verificadas por meio da simulação da série histórica com a alocação determinada pelo modelo de otimização (Figura 1).

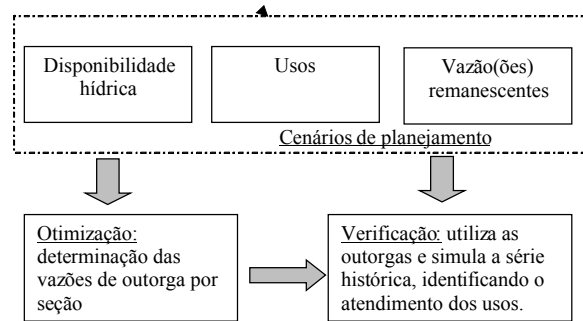


Figura 1 – Estrutura metodológica

A seguir, são apresentadas a equação do balanço hídrico e suas principais variáveis de entrada; em seguida, a metodologia de otimização.

Equação de balanço hídrico

O modelo de balanço hídrico consiste em um modelo de alocação de água (outorga), em cada trecho de gerenciamento, com base na oferta e na demanda de água. O modelo adotado baseia-se na divisão do rio em “n” SHRs (Seções Hidrológicas de Referência, Figura 2) e mescla as concepções de Kelman (1997) e Silveira et al. (1998).

A vazão, em cada seção hidrológica de referência (SHR), representa a oferta (disponibilidade). Já a demanda é estabelecida de acordo com a necessidade dos usuários.

A equação do balanço hídrico, em cada seção, fica:

$$D_r^i = D_z^i - Q_a^i - \sum_{j=1}^{ni} (D^j - Q_{re}^i) \quad (1)$$

onde: D_r^i é a vazão disponível para uso e passível de outorga na seção SHR; D_z^i é a disponibilidade no cenário em estudo na SHRi; ni representa o número de seções a montante de i , inclusive i ; $\sum_{j=1}^{ni} D^j = D_{acum}^i$ é a demanda acumulada na seção i ; Q_a^i é a vazão remanescente (pode variar no tempo, juntamente com as demais variáveis); Q_{re}^i é a vazão de retorno dos usos consuntivos como irrigação, sistemas de abastecimento e usos industriais.

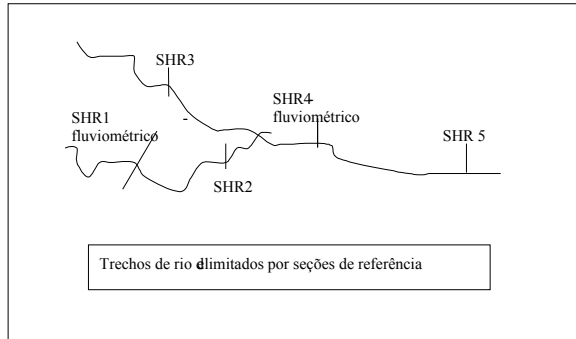


Figura 2 - Esquema de divisão do rio: seções de referência

Características das seções de referência

Para a operacionalização do balanço hídrico, é necessária a divisão da rede de drenagem em seções hidrológicas de referência, que definem *trechos de gerenciamento*. Essas seções de referência têm sido denominadas como: “*seções hidrológicas de referência - SHR*” (Silveira et al., 1998; Cruz et al., 1999; Cruz, 2001); “*pontos característicos*” (Lanna, 1997; Pereira, 1996); “*nós*” (Porto et al., 1999; TNRCC, 1998; Azevedo et al., 1997); “*pontos de controle*” (Wurbs e Dunn, 1996); “*pontos notáveis*” (Almeida et al., 1999); ou ainda, “*pontos de referência*” (Cordeiro Netto et al., 1999).

As SHRs devem ser definidas em função tanto de critérios que consideram a distribuição geográfica da demanda, quanto de fatores geomorfológicos e hidrológicos. Locais de grande demanda pontual ou grande demanda em pequeno trecho podem definir o posicionamento de algumas SHRs (Lanna, 1997).

Os fatores geomorfológicos são fundamentais para a divisão da rede de drenagem em trechos; porque, pela observação das características do meio físico, identificam-se locais especiais com alteração significativa de declividade e de mudanças no substrato do leito do rio, mudanças de tipo de solo e de topografia, que constituem locais adequados para estabelecer as seções de referência.

A divisão em sub-bacias deve procurar evitar a escolha de seções consecutivas que apresentem grandes diferenças entre as respectivas áreas contribuintes, ou mudanças bruscas no regime de vazões. As SHRs podem ser seções singulares, tais como: de confluência entre rios (Viegas e Lanna, 1999); com estações de monitoramento; com presença de obras hidráulicas; de passagem (por exemplo, de eclusas); de armazenamento (reservatórios); de derivações pontuais elevadas

(bombeamento ou canais de derivação); etc. As SHRs devem se localizar em locais que definam trechos sem acidentes singulares ao longo de sua extensão, de modo a facilitar o uso de métodos de estimativa de vazões simplificadas.

Variáveis de entrada

As principais variáveis de entrada da equação do balanço hídrico são: a disponibilidade hídrica, a demanda, a vazão de retorno e a vazão remanescente (ou vazão ecológica, ambiental, ou com outra denominação utilizada).

Disponibilidade hídrica: é a parcela da oferta hídrica associada a uma garantia. Em geral, esses valores são definidos como, por exemplo, uma parcela da vazão média, uma garantia (percentil) da curva de permanência de vazões, ou uma estatística da curva de probabilidade de vazão mínima (por exemplo, $Q_{7,10}$). A definição de apenas um valor anual não é adequada, quando existe grande variabilidade sazonal (por exemplo, em região semi-árida). Existem, portanto, cenários de definição de uma disponibilidade hídrica sazonal (trimestral, mensal, etc.).

Na especificação da vazão disponível, existem muitas incertezas relacionadas com: (a) representatividade da série; (b) erros na medição dos dados; (c) não estacionariedade dos dados por causa da retirada de água do rio ao longo do tempo, que pode não ser uniforme; (d) método de cálculo adotado para a disponibilidade. Essas incertezas são mais críticas, justamente para as vazões mínimas e geram dificuldades na reconstituição das vazões naturais. Em decorrência dessas dificuldades, deve-se estabelecer um cenário ou, em outras palavras, um marco inicial a ser utilizado na equação do balanço. Esta vazão é chamada, aqui, *disponibilidade cenário atual* (D_2) (Silveira et al., 1998).

Estimativa da Demanda: As demandas são identificadas em função dos usos existentes (cadastro) ou potenciais (cenários de desenvolvimento da bacia hidrográfica). Quando existe carga de efluentes sobre o sistema hídrico, alguns autores utilizam a demanda de água para diluição. Kelman (1997) equaciona a parcela correspondente à demanda qualitativa, em cada seção, considerando-a como uma demanda puramente quantitativa (derivação), ou seja, uma reserva para diluição de poluentes. Para introduzir a outorga quali-quantitativa, as vazões disponíveis

(D_r^i) deverão ser específicas para cada parâmetro de outorga, em função de sua carga e, para o caso de parâmetros não conservativos, das características de decaimento de suas concentrações. Obviamente, para o processamento das outorgas quantitativas, deverá ser considerada, como vazão de reserva de outorga qualitativa, a maior vazão outorgada entre os diferentes parâmetros. A cada outorga quantitativa, o valor correspondente deverá ser subtraído de todas as tabelas de parâmetros qualitativos.

Balanco das demandas: Na equação do balanço, a demanda em cada seção de referência é definida em função da contabilidade de montante para jusante. Sendo D^j a demanda solicitada pelos usuários do trecho entre SHR_j , e a próxima seção a jusante SHR_{j+1} , cada vez que parte ou toda demanda for outorgada para a seção j , esse valor será debitado das disponibilidades das seções de jusante e ficará indisponibilizado para os usuários de montante de j . Se a vazão remanescente em j for zero após a outorga, então, nenhuma demanda adicional poderá ser concedida para os usuários de montante. Da mesma forma, se após descontar D^j , alguma SHR à jusante de j ficar com demanda negativa, não será possível outorgar toda a demanda de j , mas somente o valor disponível na seção de jusante (Figura 3).

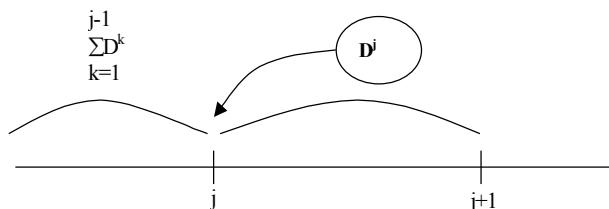


Figura 3 - Esquema do desconto da demanda nas seções de referência

Vazão remanescente : É importante diferenciar, aqui, a vazão remanescente da vazão de qualidade da água (*vazão sanitária*), que muitas vezes são utilizadas como sinônimos, mas possuem conceitos diferentes. A manutenção das vazões remanescentes ou ambientais visa à conservação do ambiente a jusante; portanto, deve manter sua variabilidade natural pré-existente. A vazão sanitária é uma vazão mínima que deve ser garantida para que a qualidade da água do rio fique dentro de padrões que não afetem sua vida aquática, em consequência de despejos existentes ou previstos. Essas duas variáveis somente seriam iguais se o objetivo da vazão

remanescente fosse unicamente o de manter a qualidade da água do rio, desprezando-se os outros objetivos ambientais de sustentabilidade da flora e da fauna. Ao se adotar uma vazão remanescente com variação sazonal, é possível manter o *hidroperíodo* do rio. Neste artigo, adotou-se, como critério de vazão remanescente sazonal, o valor de $Q_{7,10}$, calculado para cada mês do ano.

A disponibilidade hídrica não representa a vazão outorgável, já que é necessário manter vazões remanescentes para a conservação ambiental (Q_a), que podem ter uma função variável no tempo, vinculada a condicionantes ambientais. A vazão disponível D_z (disponibilidade atual), diminuída da vazão remanescente de conservação ambiental, é a vazão (D_r) passível de outorga.

$$D_r = D_z - Q_a \quad (2)$$

Essa vazão pode ser menor, igual, ou maior do que zero. No primeiro caso, não há disponibilidade para outorga; pois o consumo na SHR é maior do que poderia ser, uma vez que ultrapassa os limites impostos pela vazão ambiental (no período considerado). Nesse caso, duas possibilidades de gestão são aplicáveis: a primeira diz respeito à restrição de uso (acionamento); a segunda refere-se à possibilidade de investimentos na bacia para fins de redistribuição das vazões no tempo, por meio de obras e/ou intervenções, visando a recuperar as condições ambientais adequadas. Quando a diferença da equação 2 é igual a zero, a demanda está no limite de seu crescimento. Qualquer crescimento adicional requer investimentos adicionais de regularização. Finalmente, a terceira possibilidade: quando a diferença é maior do que zero, ela indica que é possível aumentar a demanda até o limite do valor resultante, isto é, ela expressa a vazão que poderá ser outorgada para novos usuários, ou para a ampliação dos usos atuais.

Otimização

A variável a ser determinada na distribuição das vazões outorgáveis, é a vazão alocada ou outorgada em cada seção. O cálculo pode ser realizado: (a) de montante para jusante; (b) de jusante para montante; (c) com otimização da distribuição. Os dois primeiros são incompatíveis entre si, quando existem limites nos valores de oferta em relação à demanda, já o terceiro é dependente da função objetivo, escolhida para a

busca de uma distribuição adequada das vazões (Cruz, 2001).

Na distribuição dessas vazões, foram utilizadas duas funções objetivo que minimizam a diferença entre a demanda existente e a vazão a ser outorgada pelo balanço hídrico. Os valores a serem otimizados são as vazões a serem outorgadas. Essa estruturação do modelo não otimiza o resultado econômico da outorga, mas a proporção de atendimento. As funções escolhidas foram:

Função relativa: A equação fica

$$F1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_{demanda} - Q_{outorgada}}{Q_{demanda}} \right)^2 \quad (3)$$

Esta equação tira o maior peso dado aos valores absolutos de demanda, pois enfatiza o melhor ajuste dos valores relativos (Tucci, 1998) e proporciona uma distribuição mais equânime entre os usuários.

Função quadrática: A equação é a seguinte:

$$F2 = \sum (Q_{demanda} - Q_{outorgada})^2 \quad (4)$$

Esta equação prioriza o ajuste dos valores maiores (Tucci, 1998). No problema da outorga, a equação privilegia os usuários das seções com maior demanda, pois apresenta a tendência de outorgar uma vazão proporcionalmente maior. A primeira equação não pode ser usada quando a demanda é zero. Nessa situação foi adotada a outorga de 100%.

Na outorga, existem restrições que precisam ser consideradas durante a aplicação do modelo de balanço hídrico. A primeira delas delimita o valor a ser outorgado, ele deve ser maior que zero e dentro do valor da demanda em cada seção. A segunda refere-se às conseqüências, na seção de outorga, causadas por valores outorgados a montante, vale entender, a outorga da seção, acumulada com a dos usuários de montante, deve ser maior ou igual a zero e menor que a demanda da seção acumulada com a de seções a montante.

As restrições ficam:

$$0 \leq Q_r^i \leq D^i \quad (5)$$

$$0 \leq \sum Q_r^i \leq D_{ac} \quad (6)$$

onde Q_r^i é a vazão outorgada na seção i , D^i é a demanda local e D_{ac} é a demanda acumulada em todas as seções de montante mais a seção i .

O balanço hídrico foi desenvolvido com o uso de planilha eletrônica EXCEL da Microsoft, versão 2000, pela facilidade de utilização do software SOLVER, interno ao EXCEL, como ferramenta de otimização. O software usa um algoritmo de programação não-linear chamado GRG2, baseado na técnica de gradientes reduzidos generalizados, e o algoritmo Simplex, para programação linear (Barbosa, 1997; Cirilo, 1997).

Como exemplos de alocação de água, para gerenciamento de usos de recursos hídricos, com este tipo de planilha, podemos citar tanto o modelo SOGRA, proposto por Kelman (1997), como o estudo de Jacobs e Voguel (1998).

Critérios

Na aplicação do modelo de balanço hídrico otimizado, adotou-se a hipótese de que todas as SHRs, concomitantemente, estão atravessando a mesma situação hidrológica de período seco ou úmido, o que consiste em aceitar uma maior correlação entre as seções que a real. A simulação do balanço hídrico, com as vazões históricas, permite verificar a incerteza contida nessa hipótese.

A vazão correspondente à disponibilidade hídrica, utilizada na equação do balanço hídrico (equação 1), é realizada tendo por base uma vazão de referência. Neste trabalho, adota-se a percentagem de 95% da curva de permanência ($Q_{95\%}$).

Verificação com a simulação

O modelo de simulação da outorga consiste em efetuar o balanço hídrico do sistema, com as vazões da série histórica, por intermédio da equação 1. Nessa equação, os valores de disponibilidade são substituídos pelas vazões da série histórica afluentes a cada SHR. O processo é efetuado para cada dia. Em cada dia, é realizado o balanço passo a passo, seção a seção, simulando o “cenário” em que a outorga teoricamente foi efetuada, isto é, vazões são outorgadas, pelo modelo de otimização, para cada um dos valores de disponibilidades.

A simulação informa, para cada dia, se houve falha, ou não, no atendimento dos valores outorgados em cada SHR. Após a simulação com toda a série histórica de vazões, a frequência de

falhas para o atendimento, em cada seção, é dada por:

$$f(\text{falhas}) = \frac{\text{n}^\circ \text{ dias com falhas}}{\text{n}^\circ \text{ dias simulados com demanda}} \times 100\% \quad (6)$$

Outros indicadores também importantes são o número máximo de dias consecutivos com falhas e o segundo maior número de dias consecutivos com falhas, que indicam se as falhas são concentradas em poucos eventos, porém agudos, ou se são distribuídas ao longo do período simulado.

Igualmente, a quantificação das falhas, em termos volumétricos, pode ser obtida, somando-se todos os déficits de vazão de cada evento de falhas, este constituído de uma seqüência ininterrupta de dias com falhas.

Com as freqüências de falhas obtidas para cada cenário de outorga, constrói-se uma curva de disponibilidades em função do risco de falha e uma curva de vazões outorgadas em função das falhas. A partir dessas curvas, é possível conhecer qual vazão representa um risco de 5% de não atendimento da demanda, em um ano qualquer, e compará-la com a curva permanência.

O modelo de simulação foi estruturado em uma planilha EXCEL e gerenciado por um programa de macro, em linguagem Visual Basic da Microsoft.

RESULTADOS

Bacia do rio Jacuí

A bacia do Baixo-Jacuí, correspondente ao curso inferior do rio Jacuí, é uma das 23 bacias hidrográficas integrantes do sistema estadual de recursos hídricos, pertencente à região hidrográfica do Guaíba (Figura 4). Essa bacia começa logo após a confluência do rio Vacacaí, em Passo São Lourenço (27.416 km²), e vai até Passo do Raso (71.454km²), após confluência com o rio Taquari (Figura 5). Segundo a individualização das bacias de gerenciamento no estado do Rio Grande do Sul, adotada pelo Conselho de Recursos Hídricos (CRH-RS), a bacia possui apenas 14.700 km²; pois, da região hidrográfica delimitada por Passo São Lourenço e Passo do Raso, não devem ser contabilizadas nem a bacia do rio Pardo nem a do rio Taquari. Nessa região, residem cerca de 500.000 habitantes, ou seja, 5% da população do Estado (CRH,1999). Existem dados de demanda e de disponibilidade hídrica, em várias seções de referência. As falhas dos dados existentes foram

preenchidas com a aplicação de um modelo hidrológico chuva-vazão; para tanto, adotou-se parâmetros ajustados para bacias próximas semelhantes e que possuem dados observados concomitantes de chuva e de vazão (CRH, 1999).



Figura 4: Localização da Bacia do Baixo Jacuí

Cenários de Análise

Nos cenários analisados, foram determinadas as demandas de diferentes horizontes de planejamento, a disponibilidade hídrica para alguns níveis de probabilidade, a vazão remanescente e as duas funções objetivo.

Demanda Hídrica: A demanda hídrica é definida em função da necessidade de alocação de volumes, para diferentes usuários e para diferentes cenários. No caso desse estudo, os usuários considerados são: irrigação, consumo humano, dessedentação de animais e uso industrial, para o cenário de 2015. No caso dos usuários de navegação, por exemplo, a manutenção da atividade é vinculada a uma vazão mínima de permanência no próprio canal (instream flow), que pode ser a mesma da conservação ambiental, quando esta é maior que a de navegação. Se a navegação necessitar de maior vazão, então a vazão a manter no canal é a de navegação. Neste estudo, considerou-se que a vazão ambiental supre as necessidades da navegação. No trecho em questão, não existe a demanda energética, de modo que foi considerada nula, mas o raciocínio da navegação serve tanto para este caso quanto para vários outros usos não-consuntivos.

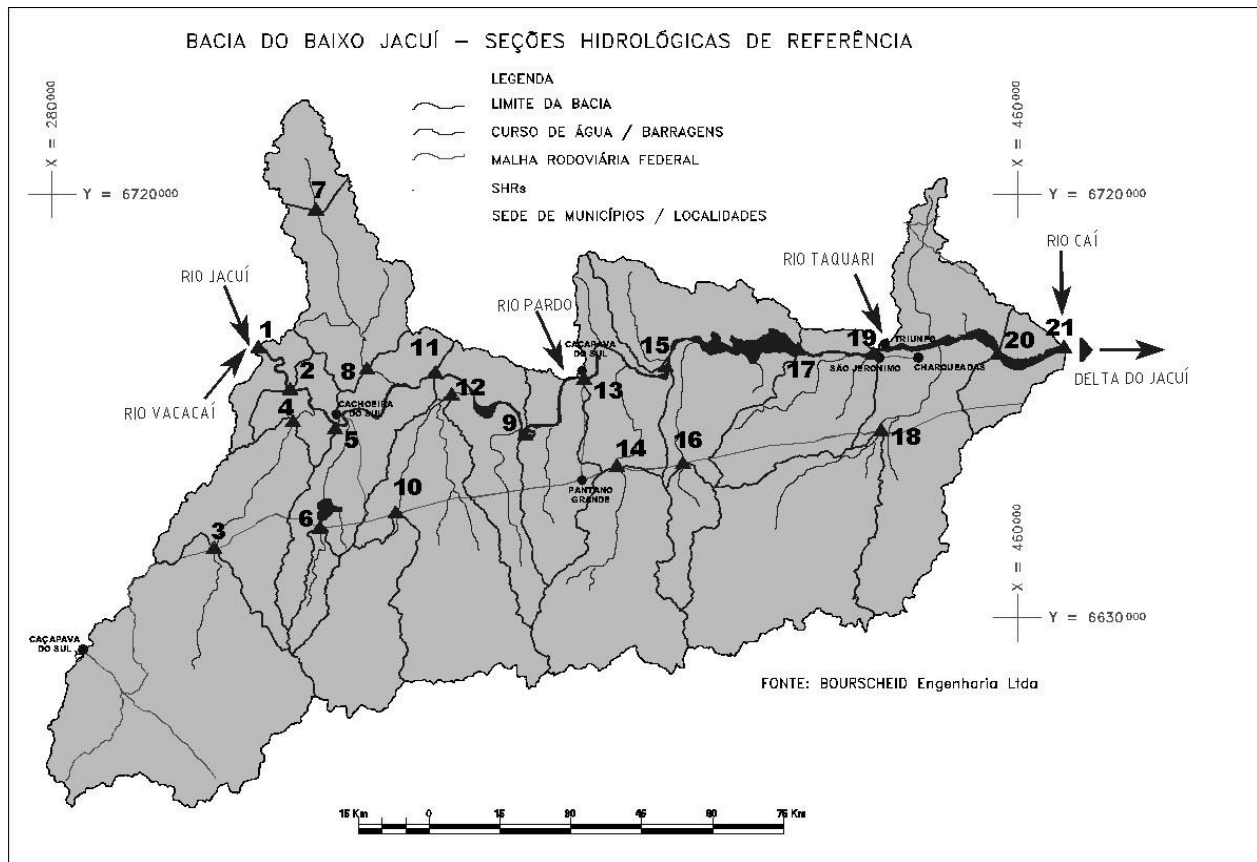


Figura 5 – Seções Hidrológicas de Referência na Bacia do Baixo-Jacuí

Os critérios estudados na bacia do Baixo-Jacuí foram:

Critérios de outorga: Os critérios de outorga analisados são: (a) distribuição igualitária entre todos os usuários; (b) priorização do abastecimento nos afluentes; (c) priorização do abastecimento no rio principal; (e) priorização dos usos na seguinte ordem: população, rebanho, indústria e irrigação.

Em função da grande diferença entre os valores dos três primeiros usos, com relação à irrigação, entendeu-se que não haveria ganho em inverter a última posição. Como a população tem prioridade legal, também não se poderia permutar o primeiro uso. O Decreto nº 37.033 (Rio Grande do Sul, 1996) estabelece, no Art. 18, que os recursos hídricos serão utilizados, prioritariamente, para o abastecimento das populações, ficando a hierarquia dos demais usos estabelecida nos planos da bacia hidrográfica. Como a dessedentação de animais em geral, nos

cenários futuros dos estudos do CRH/RS, era de demanda negativa, optou-se em simular somente essa ordem de prioridade.

Critérios de demanda: Foram considerados os seguintes tipos de demanda para as simulações: (a) demanda total, na qual todos os usuários foram agrupados em um único uso; (b) demanda por uso: abastecimento da população, dessedentação de animais, abastecimento da indústria e derivação para irrigação (não foram considerados usuários para irrigação neste trabalho) e, (c) demanda ambiental sazonalizada, considerada a $Q_{7,10}$ de cada mês.

Cenários de simulação: Foram consideradas previsões de variações nas demandas futuras, a partir do marco zero (com usos de 1998), para os anos de 2010 e 2015.

Disponibilidade Hídrica: A disponibilidade hídrica refere-se ao volume de água disponível para a

outorga. A disponibilidade hídrica efetiva é obtida após a retirada da vazão remanescente. Existem vários critérios para caracterizar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica. O critério geralmente se baseia em vazões mínimas associadas a uma probabilidade de ocorrência. Este valor pode variar sazonalmente, ou pode ser fixado um valor anual. Neste estudo, foram utilizados os valores mensais dos meses mais críticos: novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril. Como, nos demais meses, existe maior disponibilidade hídrica e as demandas são constantes e pequenas (não há demanda de irrigação), os resultados são semelhantes aos de abril e aos de novembro.

Discretização: Dois critérios de discretização foram utilizados: (a) com cinco estações; (b) com 17 estações. Essa separação foi utilizada para verificar a importância da discretização para esse tipo de estudo.

A Tabela 1 apresenta 12 cenários diferentes de análise considerando-se o que foi descrito acima. Cada opção será tratada no texto como cenário de outorga e são mutuamente exclusivas.

Características dos cenários quanto aos usos

Para os cenários 1, 2, 5 e 6, foram consideradas as prioridades de uso. Concedeu-se prioridade para população, em segundo para o rebanho, em terceiro para a indústria e, por último, para a irrigação. A comparação foi realizada com os cenários que adotaram apenas uma demanda, por meio do somatório dos diversos usos em cada seção (3, 4, 11 e 12). A análise foi realizada para as duas funções objetivo de otimização, com resultados semelhantes. As outorgas processadas, considerando-se diversos usuários, sistematicamente, tiveram uma melhor distribuição de água entre as seções, do que aquelas processadas considerando-se toda a demanda como um único usuário. Isso se deve ao fato de que, como existe a prioridade de uso, primeiro se atende a demanda para o usuário com maior prioridade, para somente depois redistribuir o volume restante para o segundo usuário e assim por diante. No caso da demanda única, em virtude dos aspectos relacionados com o comportamento das funções objetivo, algumas seções não são atendidas nem em suas necessidades de atendimento da demanda populacional. Para os cenários 1, 2, 5 e 6, que consideram quatro tipos

de usuários, os valores outorgados atendem, praticamente, a 100% das demandas dos usuários população, rebanho e indústria. Em vista disso, o uso de prioridade torna-se vantajoso no processo de outorga.

Função objetivo de otimização

A função objetivo (FO) é a que orienta o algoritmo de otimização na alocação de volumes para outorga. Nesse estudo, foram utilizadas duas funções: a FO relativa, que visa a proporcionar uma distribuição mais equânime entre os usuários e a FO quadrática, que apresenta a característica de privilegiar os usuários das seções com maior demanda.

A Figura 6 mostra as outorgas concedidas para todas as seções, respectivamente, pela utilização dos cenários 1 e 2 e permite visualizar as diferentes tendências das funções objetivo, no conjunto das outorgas para todas as seções. O cenário 1, processado com FO relativa, sempre outorga uma percentagem significativa da demanda solicitada para todas as seções; já o cenário 2 (FO quadrática) somente o faz para nove seções, deixando para os usuários das SHRs 5, 14 e 15 percentagem zero, e para as SHRs 2, 3, 10, 13 e 19, somente uma percentagem insignificante em relação ao total demandado em cada seção, ou seja, próximo a zero, para os usos populacionais, rebanho e indústria; geralmente zero para irrigação (ver tabela da Figura 6). Essa simulação demonstra a tendência esperada nos resultados para cada FO e comprova quão mais equânime é a distribuição proporcionada pelo critério da FO relativa em relação à FO quadrática.

Pode-se observar que, quando FO relativa é usada, a diferença entre os valores outorgados entre os cenários de demanda de cada SHR é pequena, ao contrário do que acontece quando a FO é a quadrática (cenários pares).

Densidade de trechos de gerenciamento nos valores outorgados

Na definição do sistema de outorga e cálculo das disponibilidades hídricas, uma das variáveis que devem ser analisadas é o número de seções da rede hidrográfica. Duas alternativas foram simuladas: as dezessete seções, ou apenas as cinco seções com dados observados de vazão. Os resultados das simulações do balanço hídrico otimizado para as dezessete seções, referentes às vazões outorgadas, foram acumulados nas cinco

Tabela 1 – Critérios de Outorga Simulados

Cenários	Número de SHRs	Função objetivo	Demanda	Prioridade de outorga (*)	Observações
1	17	Relativa	Por uso	1–população 2– rebanho 3– indústria 4– irrigação	
2	17	Quadrática	Por uso	1–População 2– rebanho 3– indústria 4– irrigação	
3	17	Relativa	Demanda total	-	Simula demanda total, nas seções, como se fosse um usuário
4	17	Quadrática	Demanda total	-	Simula demanda total, nas seções, como se fosse um usuário
5	5	Relativa	Por uso	1–população 2– rebanho 3– indústria 4– irrigação	Utiliza, como SHR, seções com dados fluviométricos
6	5	Quadrática	Por uso	1–população 2– rebanho 3– indústria 4– irrigação	Com dados fluviométricos
7	17	Relativa	Demanda total	1 - usuários do Jacuí 2 - usuários dos afluentes	Simula demanda total, nas seções, como se fosse um usuário
8	17	Quadrática	Demanda total	1 - usuários do Jacuí 2 - usuários dos afluentes	Simula demanda total, nas seções, como se fosse um usuário
9	17	Relativa	Demanda total	1- usuários dos afluentes 2 - usuários do Jacuí	Simula demanda total, nas seções, como se fosse um usuário
10	17	Quadrática	Demanda total	1- usuários dos afluentes 2 - usuários do Jacuí	Simula demanda total, nas seções, como se fosse um usuário
11	5	Relativa	Demanda total	-	Simula demanda total, nas seções, como se fosse um usuário
12	5	Quadrática	Demanda total	-	Simula demanda total nas seções como se fosse um usuário

seções com dados medidos, de forma a poder compará-los, com vistas a homogeneizar as outorgas em termos de demanda total de cada trecho.

O efeito da definição de um número maior de SHRs é semelhante ao de estabelecer uma priorização entre diversos usuários. Embora a *demanda total* na bacia seja a mesma, na opção com dezessete seções, esse valor está mais distribuído, conforme pode ser visto na Figura 7, na qual são apresentadas as

demandas de cada seção como percentuais da demanda total na bacia. Pode-se constatar, observando-se a distribuição da demanda total entre as seções, que a seção 20 é responsável pela segunda maior parcela de demanda, na simulação com 5 seções; já a seção 5 é responsável pela terceira. Porém, na simulação com dezessete seções, as parcelas das seções contribuintes a SHR20 apresentam menor magnitude individual do que as

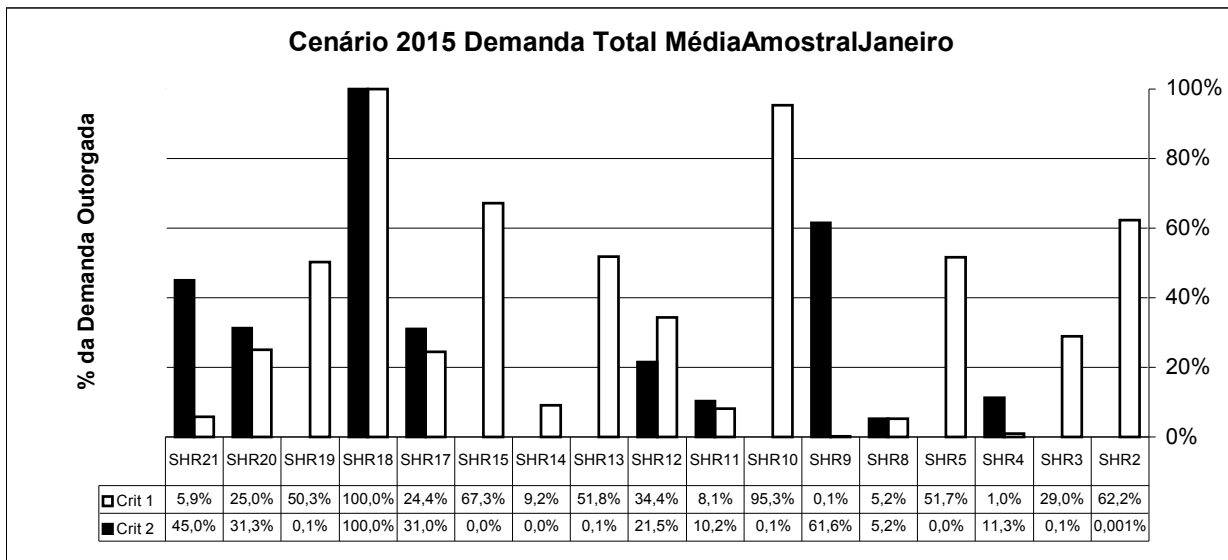


Figura 6 – Influência da função objetivo

SHRs contribuintes a SHR5.

Observou-se que, nos resultados, quanto maior o número de seções, mais equânime parece ser a distribuição de outorga e parece ser, também, mais independente da FO de otimização.

Efeito da priorização de uso no canal principal ou nas sub-bacias

A finalidade de analisar o efeito da priorização dos usuários de sub-bacias, ou dos usuários do rio principal, é verificar quais são as conseqüências de um sistema de outorga, baseado na divisão de grandes bacias hidrográficas em sub-bacias de gerenciamento. Este é o caso da divisão da bacia do rio Jacuí, no Rio Grande do Sul. Essa bacia está dividida em *Alto Jacuí, Médio Jacuí, Vacacaí, Pardo e Pardinho, Taquari-Antas e Baixo-Jacuí*. Nesse caso, como ficam as possibilidades de outorga em cada sub-bacia, já que o limite dos volumes é ditado pelo volume outorgado na bacia inteira do rio Jacuí?

Para avaliar esse aspecto, a bacia do Baixo-Jacuí foi sub-dividida em dois sub-sistemas: usuários dos afluentes e usuários do rio principal. A simulação com prioridade para os usuários de afluentes (cenários 9 e 10) otimiza primeiro para esses e, somente depois, procede-se a outorga para os usuários do rio principal, com o volume restante. O inverso é contemplado com os cenários 7 e 8. As diferenças obtidas entre os valores outorgados são significativas. Sempre que se prioriza os usuários do rio Jacuí, a distribuição do volume disponível fica, praticamente, entre esses usuários, em conseqüência da elevada demanda nesse subsistema, não restando volume para distribuir entre os usuários dos afluentes. Tais diferenças podem ser vistas no exemplo da Figura 8, na qual o cenário 7 não

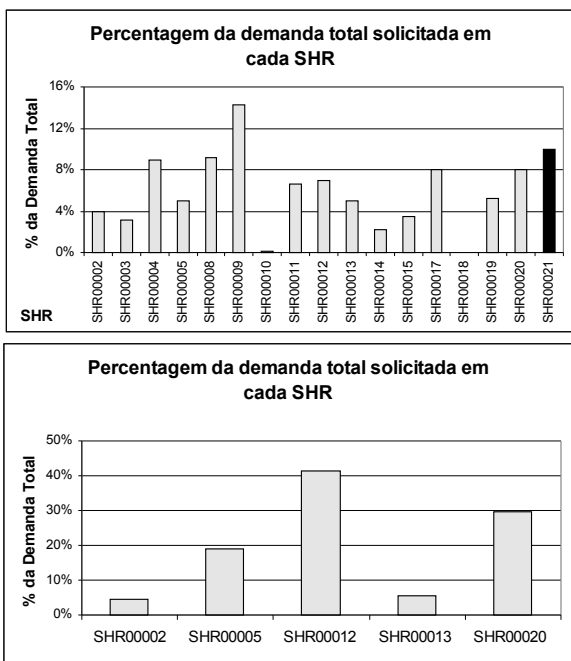


Figura 7 - Distribuição da demanda solicitada em cada seção: (i) sistema com 17 seções; (ii) sistema com cinco seções

contempla vazões para as SHRs 3, 4, 8, 10, 11, 14 e 18, todas estas localizadas em afluentes.

No entanto, se o critério prioriza os afluentes, em virtude da pequena demanda destes, sempre resta um volume significativo para otimizar entre os usuários do rio Jacuí, após a outorga neste subsistema. Os cenários 9 e 10 concederam vazões de outorga para todas as SHRs, menos para SHR9, que pertence ao grupo das SHRs do eixo do rio Jacuí. Apesar de a percentagem da demanda dos afluentes no Baixo-Jacuí representar apenas 30% da demanda de todo Baixo-Jacuí, não foi possível outorgar todos os usos solicitados pelos afluentes, quando esses são os prioritários, por causa das restrições impostas pela disponibilidade das próprias SHRs e não pela disponibilidade do rio Jacuí.

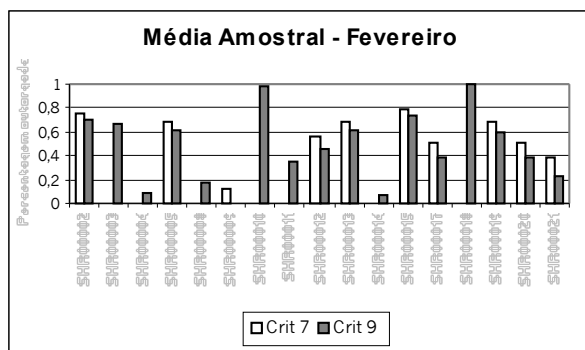


Figura 8 - Demanda outorgada nas SHRs: cenários 7 e 9

Os resultados ilustram o que pode acontecer, quando um sistema de outorga de uma sub-bacia não estiver integrado ao da bacia hidrográfica que o contém. Fica evidente que o órgão gestor, se decidir separar grandes sistemas hídricos em sub-bacias de gerenciamento de outorga, deve estabelecer critérios restritivos de uso para cada subsistema, sob pena de ocorrer situações em que alguns dos subsistemas não sejam contemplados com outorga, semelhante ao que ocorreu para os afluentes do Jacuí, após a outorga dos usuários do eixo.

Nesse caso, o órgão gestor poderia tratar os subsistemas como seções de outorga e proceder a uma alocação de volumes por otimização entre os subsistemas. A partir dessa restrição, o órgão gestor poderia aplicar os critérios de outorga para cada subsistema. Tal procedimento pode ser aplicado às macro-bacias federais.

Efeito da forma de cálculo da disponibilidade hídrica

A utilização de uma vazão limite, para a disponibilidade hídrica, envolve vários critérios. Alguns deles são baseados na curva de permanência, classificados aqui em: (a) *método da série toda*: utiliza uma curva de permanência para toda a série histórica e adota um dos valores dela; (b) *método anual*: utiliza uma curva média para a série e seus intervalos de confiança. Assim, a curva correspondente à média representa o valor esperado da oferta hídrica em um ano qualquer. A curva relativa ao limite superior do intervalo de confiança representa a oferta em anos úmidos e a relativa ao limite inferior, a em anos de estiagem (Cruz, 2001).

A questão passa a ser: qual o melhor critério a ser adotado? Para responder a esta questão, o modelo de balanço hídrico, com otimização, foi utilizado com os diferentes valores de vazão calculados pelos métodos *da série toda* e *anual*, obtendo-se as respostas otimizadas. A verificação da real probabilidade de atendimento das demandas otimizadas com base na série histórica foi feita com o modelo de simulação. Essa análise foi realizada para cada mês do ano. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da simulação realizada para o período de dezembro, janeiro, fevereiro e março, para cada critério de estimativa da vazão com 95% de permanência.

Tabela 2 - Percentual de falhas obtido pela simulação da série histórica com vazão de 95% de permanência

Vazão de referência	Menor %	Maior %	Médio %
Q _{95%} da série toda	3	11	4
Q _{95%} média da série anual	9	13	11
Limite superior do intervalo de confiança de 95% para a Q _{95%} da série anual	13	20	17
Limite inferior do intervalo de confiança de 95% para a Q _{95%} da série anual	0	4	2

Para a vazão $Q_{95\%}$, calculada pelo *método ano a ano*, esperava-se uma quantidade de falhas de atendimento ao usuário maior que 5%, dado que as vazões seriam maiores do que a disponibilidade adotada, em somente 50% do tempo (por ser média). Os resultados mostram o que, de certa forma, poderia ser esperado, ou seja: o uso de curvas de permanências anuais somente aumenta o risco de falhas, uma vez que admite valores maiores de vazões outorgáveis. A novidade é a determinação do percentual de falhas relativas ao período da série histórica para valores da curva anual (9 a 13%).

A vazão obtida pelo *método da série toda*, teoricamente, possui 5% de risco de falhas, relativo ao percentil 95% da curva de permanência. No global da bacia, para o período mais crítico, o verão, as falhas foram estimadas em torno de 4%, estimativa menor que os 5% referentes ao percentil selecionado, o que pode ser atribuído ao fato de que o método de cálculo da curva de permanência desconsidera a autocorrelação dos dados.

A escolha da probabilidade é decorrente de uma negociação entre os usos da água e a conservação ambiental; já que, nos anos com falhas, dificilmente o órgão gestor conseguirá restringir a retirada para irrigação ou para abastecimento de água. Uma probabilidade de 5% da série completa (n anos) indica que as vazões serão menores que $Q_{95\%}$ em $6n$ dias, no período, ou em média 6 dias por ano (5% dos 4 meses analisados). A utilização de $Q_{95\%}$ anual, com cerca de 12% de falhas no período, representa, em média, 14,4 dias de falhas por ano.

Contudo, para a tomada de decisão, é importante analisar, conjuntamente, outras estatísticas importantes, como o número máximo de dias consecutivos com falhas e o volume de falha. Tal número é importante para avaliar as condições de diferentes usos da água e seus riscos de prejuízos. Se as falhas se distribuem entremeadas de dias com suficiência de água, não sendo freqüente a concentração das falhas, o usuário pode estudar a segurança, que deverá ser mais elevada, caso exista tendência de concentrar as falhas em seqüências de dias. Isso é particularmente importante no caso da agricultura; uma vez que, dependendo dos dias de seca, ela pode perder irreversivelmente seu cultivo, ao contrário da ocorrência de falhas entremeadas com dias de suprimento da demanda. Analisando-se a evolução das falhas, percebe-se que o segundo maior número de dias consecutivos com falhas fornece uma informação importante, isto é, permite verificar se as falhas constituem ocorrências

concentradas (eventos de grandes tempos de retorno) ou ocorrências recorrentes.

O volume das falhas, também, é uma informação importante, pois indica a extensão da crise, vale entender, se o racionamento será muito rigoroso ou mais suave. Pode-se perceber um decréscimo no volume muito acentuado para as bandas menores que a média. Esse fato indica que, apesar da freqüência de falha ser maior, não necessariamente implica maiores volumes de falhas, podendo-se escolher um percentual maior de falhas, para selecionar a banda de referência de outorga.

Na tomada de decisão, devem-se utilizar algumas das alternativas de acordo com a bacia e seus condicionantes. Numa bacia em que a crise de disponibilidade é mais significativa, o critério pode ser o de escalonar a distribuição de acordo com o ano, baseando-se em previsão de vazão, ou seja: utilizar como vazão de referência valores do intervalo de confiança superior, para anos úmidos, e do intervalo inferior, para anos secos.

Efeito da sazonalidade

Como conseqüência da grande variabilidade intra-anual das disponibilidades hídricas, no planejamento da outorga, deve-se procurar utilizar valores de referência mensais, para o sistema de gestão de recursos hídricos.

Considerando-se a oferta hídrica para os meses de outubro a março, observou-se que, para outubro e novembro, a oferta é superior aos meses de verão, correspondentes também aos meses mais críticos, por causa da demanda sazonal elevada da agricultura. Isso significa que, em virtude da pequena demanda, nos meses de outubro e novembro, combinada à maior oferta, existe um superávit de disponibilidade hídrica, a qual poderia, mediante reservação, ser útil nos meses subsequentes. Na Figura 9, são apresentados: (a) os volumes acumulados remanescentes de outubro, já descontadas as reservas ambientais e as outorgas para a população, o rebanho e a indústria, dos meses de outubro e novembro; (b) os volumes acumulados dos valores outorgados em dezembro e janeiro.

Esses volumes foram somados, a fim de ilustrar o quanto é possível incrementar a alocação de água em um programa de outorga sazonal (Figura 9). O volume restante, dos meses que antecedem ao período de irrigação, poderia ser armazenado pelo usuário que tivesse interesse, para uso nos meses que vão de dezembro em diante, uma vez que, nesses, a disponibilidade natural é menor.

No exemplo da bacia do Baixo-Jacuí, Figura 10, são mostradas as demandas sazonais atendidas pelo cenário 1. Observa-se que, em geral, os meses de dezembro e janeiro são os mais críticos com relação ao cotejo disponibilidade/demanda. Em fevereiro, ocorre leve recuperação da capacidade de outorga e, em março (último mês de irrigação), a recuperação é bem significativa.

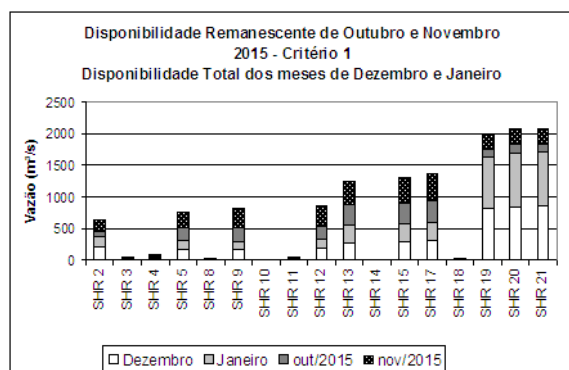


Figura 9 - Acréscimo na alocação de vazão no período de dezembro e janeiro, aproveitando-se as sobras de outubro e novembro

Esse exemplo mostra uma das vantagens da outorga sazonal em relação à outorga baseada em um valor anual, que engessa o planejamento e a otimização da produção. Portanto, pode-se concluir que é recomendável adotar a metodologia cujo procedimento é o de utilizar valores mensais de disponibilidade hídrica para outorga.

Impactos sobre o meio ambiente pela aplicação do sistema de outorga

A conservação ambiental do sistema hídrico está vinculada à manutenção do padrão dos pulsos hidrológicos e à mitigação de impactos nos períodos secos. No período seco, aparecem cenários críticos relacionados com a falta de água; em alguns rios, surge um excesso de carga poluente. Muitas vezes, a vazão ambiental é confundida com a chamada *vazão sanitária*, que tem como objetivo apenas manter a qualidade da água, para que haja condições de vida para a fauna do rio.

Para analisar o efeito da retirada de água do rio e a sua conservação ambiental, utiliza-se a curva de permanência entre os dois cenários, pois tal curva é um indicativo da variabilidade à qual a fauna e flora do rio estão sujeitas, ou seja, sujeitas a seus *hidroperíodos*. (Milhous, 1998; Stalnaker et al., 1995; Hughes, 2001).

Na Figura 11, são apresentados os hidrogramas dos cenários atual (sem outorga) e do cenário 1 (Tabela 1), que mostram a redução da vazão ao longo de um período dos dados. Na Figura 12, são apresentadas as curvas de permanência média, obtidas antes e depois da outorga, com os dados da simulação diária, para o mesmo cenário acima.

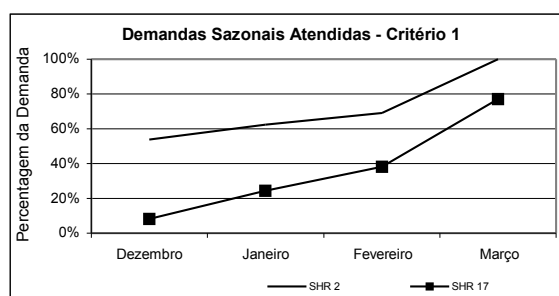


Figura 10 - Outorga concedida para as SHRs 2 e 17, cenário 1, dezembro a março

Pode-se observar que as curvas apresentam a mesma forma, porém deslocadas no eixo vertical, o que era de se esperar. Na realidade, a outorga apenas retira uma fatia horizontal da curva de permanência, da largura da vazão referencial, mas não implica alteração no padrão de pulsos. Essa defasagem só é perceptível nos meses com irrigação, de modo que, de abril a novembro, praticamente não há alteração, não interferindo, assim, na conservação ambiental. Nos meses críticos, observa-se um impacto maior. Na Figura 11, observa-se um maior rebaixamento da curva de permanência no ramo inferior, representado pelos anos mais críticos da série.

A preservação dos pulsos de cheia (*hidroperíodo*) constitui importante recomendação, para a manutenção de sistemas reprodutivos de determinadas espécies aquáticas, não só para promover a remoção de partículas depositadas no leito do rio - que tamponam espaços de desova -, mas também para a conservação das zonas ripárias. A vazão mínima adotada, $Q_{7,10}$ de cada mês, foi mantida no rio para a conservação ambiental nos períodos secos.

Os valores de $Q_{7,10}$, utilizados para a reserva ambiental (Figura 13), muitas vezes podem ser menores, iguais ou superiores à vazão de *marco zero*, definida como a $Q_{95\%}$; ou seja, para alguns trechos simulados, dependendo do referencial de disponibilidade hídrica adotado, observa-se que a capacidade de utilização do rio já se encontra esgotada.

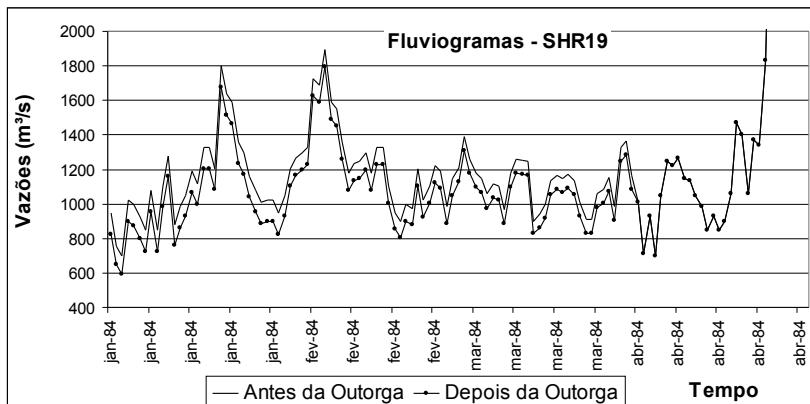


Figura 11 - Fluviogramas antes e depois da outorga – preservação dos pulsos hidrológicos

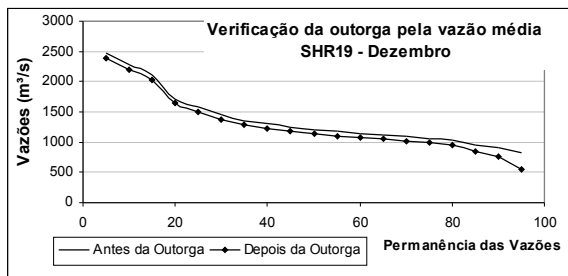
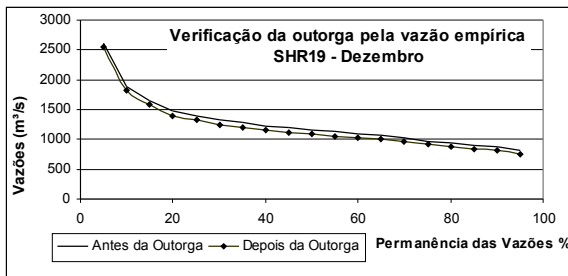


Figura 12 - Curvas de permanência antes e depois da outorga – com vazões de referência da série toda (empírica) e da série anual (média)

procedimento resguarda mínimos para cada período do ano ou para períodos típicos, mais úmidos e mais secos, à semelhança dos “blocos” australianos e sul-africanos (Hughes, 2001; Karim et al., 1995) e, também, dos métodos como o IFIM. Nesse, as vazões mínimas são fixadas iguais às vazões ótimas para cada período correspondente ao ciclo de vida dos peixes alvo (por exemplo, o estudo para Kalama River, citado em Lanna e Benetti, 2000).

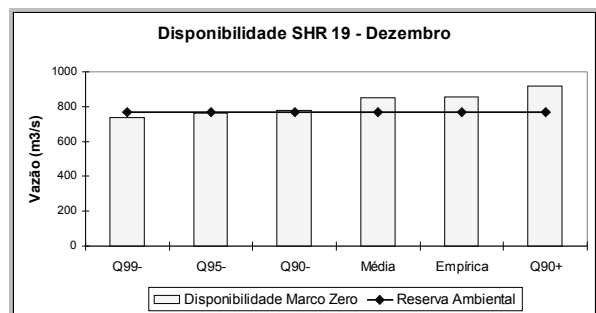


Figura 13 - Disponibilidade remanescente após reserva ambiental em função da referência de disponibilidade

A Figura 13 apresenta, para a SHR19, as vazões *marco zero* e a reserva ambiental $Q_{7,10}$, em função da referência da disponibilidade no eixo das abscissas. Dessa figura, é possível quantificar o risco da necessidade de racionamento pela demanda atual, a qual necessita de um estudo de revisão para traçar estratégias de adequação dos usos às disponibilidades hídricas locais.

Apesar das ressalvas feitas à utilização (opção adotada neste estudo) da vazão $Q_{7,10}$, para a conservação ambiental, a metodologia empregada se coaduna perfeitamente a outros métodos de definição das vazões ambientais, já que o

CONCLUSÃO

A instrução de um processo de outorga é uma atividade complexa que envolve o balanço entre a disponibilidade hídrica e as demandas de uso das águas, compatibilizada ante as necessidades de conservação ambiental. O processo está sujeito a restrições de ordem econômica, social e legal. A metodologia empregada, neste trabalho, incluiu vários aspectos relativos a critérios de alocação dos

recursos hídricos disponíveis. Ela está baseada na opção de caracterizar a disponibilidade pelo critério de vazão de referência e está associada a diferentes patamares de risco.

Dentre os aspectos analisados, pode-se destacar os freqüentes casos em que o órgão gestor precisa gerenciar a distribuição justa dos recursos hídricos entre unidades de gerenciamento constituídas de sub-bacias de um sistema maior. Propõe-se, neste caso, a realização de um balanço prévio (com otimização) da bacia maior, considerando, como trechos de gerenciamento, cada sub-bacia com suas respectivas demandas totais. A questão gerencial passa, portanto, pelas análises dos estudos de diagnóstico e prognóstico de cada sub-bacia, que são etapas necessárias para a elaboração dos planos de bacia e do Plano Estadual de recursos hídricos.

Depois de efetuada a locação global, o processo de otimização passa a ser realizado para cada sub-bacia, considerando seus trechos de gerenciamento e respectivas demandas. Nesse caso, o balanço otimizado deverá usar, como valor de restrição de outorga, na seção de exutório, o máximo valor outorgável correspondente ao limite obtido na fase de otimização global da bacia maior. Isso significa que uma bacia de jusante deve preservar, isto é, não pode utilizar o valor destinado à bacia de montante pelo balanço hídrico entre sub-bacias. Da mesma forma, no equacionamento para a bacia de montante, a restrição é a vazão máxima reservada para ela, considerada no ponto do exutório. Os resultados dessas simulações podem modificar as expectativas dos planos de bacia; em vista disso, nova iteração global pode ser requerida.

Como na fase de planejamento são estudadas demandas futuras, condicionadas ao desenvolvimento projetado pela comunidade de cada bacia, os critérios de priorização dos diversos usos devem estar vinculados às políticas e aos planos de bacia, bem como servir de base para a elaboração ou para a complementação dos planos de bacia. Neste sentido, o estudo pode considerar a evolução projetada, para os cenários de demanda, em etapas de cinco anos, por exemplo.

A escolha de uma vazão mínima, para fins de conservação ambiental, constitui passo inicial para a análise do complexo processo de consideração das variáveis ambientais, na gestão da outorga. Nessa perspectiva, tendo em vista o estado atual da arte, no que se refere ao estabelecimento de critérios condicionantes para a conservação dos recursos hídricos, recomenda-se a implementação de estudos referentes a tal tema.

A metodologia de planejamento da outorga, implementada neste estudo, foi equacionada em planilha eletrônica, pela facilidade de acesso ao software, por parte dos usuários interessados em aplicar a metodologia. Essa opção foi possível dada à estruturação simples do problema de outorga proposto.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. N.; ALBUQUERQUE, D. J. S.; PAIVA, A. E. D. B.; et al. (1999). SAPO - Um Sistema de Apoio ao Planejamento e Gerenciamento dos Recursos Hídricos. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. *Anais...* Belo Horizonte, MG, 28/nov a 01/dez/1999, CD-ROM.
- AZEVEDO, L. G. T; PORTO, R. L.; ZAHED F°, K. (1997). Cap.4: Modelos de simulação e de rede de fluxo. In: PORTO, R. L. L. (Org.) *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS / ABRH.
- BARBOSA, P. S. F. (1997). Modelos de programação linear em recursos hídricos. In: PORTO, R. L. L. (Org.) *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS / ABRH.
- BRAGA, B.; BARBOSA, P. S. F.; NAKAYAMA, P. T. (1998). Sistemas de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 3, n° 3, Jul/Set., 1998, p. 73-95.
- BRASIL (1997). *Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997*, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.
- CIRILO, J. A. (1997). Programação não linear aplicada a recursos hídricos. In: PORTO, R.L.L. (Org.) *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Ed. da Universidade – UFRGS / ABRH.
- CORDEIRO NETTO, O. M.; BALTAR, A. M.; PIMENTEL, C. E. B. (1999). Critérios para Outorga de uso da água para irrigação: o caso da bacia do Rio Preto no Distrito Federal – Brasil. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (4.: Coimbra), 1999, Coimbra. *Comunicações...* Coimbra:

- Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 1999, 1 CD-ROM.
- CRH – Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (1999). *Avaliação quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água na bacia hidrográfica do Baixo Jacuí*. Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (SOPSH), Fundo de Investimentos em Recursos Hídricos. Porto Alegre. RS. (Relatório técnico)
- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L.; SILVEIRA, A. L. L.; CRUZ, R. C. (1999). Avaliação de Disponibilidades Hídricas para Outorga: Sistemática Modular de Avaliação. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (4.: Coimbra), 1999, Coimbra. *Comunicações...* Coimbra: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 1999, 1 CD-ROM.
- CRUZ, J.C. (2001) *Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais*. Tese de doutorado do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH/UFRGS. 205p Porto Alegre, RS.
- EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; RUBERT, O. A. V. (1999). Sistema de Apoio ao Gerenciamento de Recursos Hídricos: Metodologia e Estudo de Caso. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABRH, 28/nov a 01/dez/1999, CD-ROM.
- FIGUEIREDO, L. C. de C. (1999). Sistema georeferenciado de cadastro e análise de pedidos de outorga do direito de uso de águas superficiais. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABRH, 28/nov a 01/dez/1999, CD-ROM.
- GALVAO, C.O.; RÉGO, J.C.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J.P.T. (2001). Sustainability characterization and modeling of water supply management practices. In: *Regional management of water resources*. Proceedings... Maastricht, The Netherlands, july. IAHS Publ. n° 268.
- JACOBS, J. M.; VOGUEL, R. M. (1998). Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 124, n° 6, p. 357-363. Nov/Dec., 1998.
- KELMAN, J. (1997). Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997, Vitória. *Anais...* Vitória: ABRH, 16 a 20/nov/1997, CD-ROM.
- LANNA, A. E. L. (1997). Cap 1: Introdução. In: PORTO, R.L.L. (Org.) *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS / ABRH.
- PEREIRA, J. (1996). *Análise de Critérios de Outorga e de Cobrança pelo Uso da Água na Bacia do Rio dos Sinos, RS*. Porto Alegre, IPH/UFRGS, 1996. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1996.
- PORTO, R. L.; BOMBONATO NETO, C.; LISBOA NETO, H.; et al. (1999). Sistema de Suporte a Decisões para a Operação dos Grandes Sistemas Produtores da Sabesp. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABRH, 28/nov a 01/dez/1999, CD-ROM.
- SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. (1998). Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 3, n° 3, Jul/Set., 1998, p. 5-16.
- SOUZA FILHO, F. de A. (1999). Aplicação de um sistema de suporte à decisão à alocação de água: o SSD da COGERH-Ce. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABRH, 28/nov a 01/dez/1999, CD-ROM.
- TNRCC - Texas Natural Resource Conservation Commission (1998). *Evaluation of Existing Water Availability Models*. Technical Paper # 2. Dec. 10, 1998.
- TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- VIEGAS F0, J. S.; LANNA, A. E. L. (1999). *Manual do Usuário. PROPAGAR 2000*. IPH/UFRGS, FEA/NIA-UFPEL.

WURBS, R. A.; DUNN, D. D. (1996). Water Rights Analysis Package (WRAP) Model Description and users manual. In: Texas Water Resources Institute. Project nº 6. Oct., 1996.

Optimization and Comparative Simulation of Water Grant Scenarios

ABSTRACT

The implementation of a sustainable water resources grant system requires a basin-wide water balance study taking into account water availability and demands. This paper presents a water balance formula whose main characteristics are simplicity and consideration of seasonal and interannual variability of water resources available in the basin. Different grant criteria are simulated and presented in this paper using the proposed model. The aspects evaluated are: priorities among different users; allocation criteria of water between the sections; criteria to define the number of management stretches; effect of interannual variability of water availability; effect of the seasonal water availability and environmental effects of the grant.

Key-words: water balance, grant criteria, water availability, demand