

## Apoio a Decisão na Gestão de Recursos Hídricos Usando Modelo Econômico-Hidrológico Integrado para Alocação Ótima de Água: Uma Aplicação na Bacia do Rio Pirapama

Márcia M<sup>a</sup>. G. Alcoforado de Moraes, Yony Sampaio

Departamento de Economia - UFPE

www.marciagamoraes@aol.com, ysampaio@elogica.com.br

José Almir Cirilo

Departamento de Engenharia Civil - UFPE

jac@ufpe.br

Ximing Cai

University of Illinois, Laboratory of Hydrosystems, Illinois, US

xmai@uiuc.edu

Recebido: 03/03/06 – revisado: 05/10/06 – aceito: 14/03/08

---

### RESUMO

O modelo econômico-hidrológico integrado para apoio à gestão de recursos hídricos apresentado neste artigo integra grande número de relações físicas, econômicas, institucionais e agrônomicas. O objetivo é subsidiar decisões sobre a alocação ótima de água entre os usos alternativos e a utilização de vinhoto para fertirrigar as áreas plantadas de cana. A aplicação é feita para a bacia do rio Pirapama, Estado de Pernambuco. O modelo obtido envolve grau de não-linearidade significativo e inclui mais de 10.000 variáveis e restrições, podendo ser classificado dentro da categoria de sistemas não-lineares grandes e complexos. O sistema formulado tem múltiplos objetivos: sociais, econômicos, ambientais e a alocação da água é condicionada pelo balanço hídrico e pelas restrições de qualidade. A plataforma descrita tem o propósito de servir como ferramenta de auxílio na avaliação de políticas de água e como sistema de apoio a decisão para a alocação desse recurso.

**Palavras-chave:** Modelo econômico-hidrológico; vinhoto; cana.

---

### INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta as principais formulações de um modelo econômico-hidrológico integrado desenvolvido na UFPE [Moraes (2003)], numa parceria entre o Laboratório de Hidráulica e o Departamento de Economia, com recursos do CT-HIDRO/ FINEP. Usa os mesmos fundamentos teóricos da modelagem desenvolvida no *International Food Policy Research Institute* (Rosegrant et al, 2000) e já utilizada em algumas bacias do mundo, como Maipo, no Chile e Mekong, no Sudeste Asiático.

Inicialmente descreve-se a fundamentação teórica do modelo, tratando a questão da alocação de recursos escassos com as peculiaridades do recurso água. São apresentados alguns aspectos referentes à integração dos componentes econômico e hidrológico na modelagem, com aplicação à bacia do

Pirapama, caracterizada por claros conflitos de uso da água. O modelo de otimização é descrito pela explicitação da função-objetivo e todas as restrições. Finalmente, apresentam-se resultados obtidos com o modelo.

### ASPECTOS DA INTEGRAÇÃO DOS COMPONENTES ECONÔMICO E HIDROLÓGICO NA MODELAGEM

Em nível de bacia, mesmo os primeiros modelos de gestão dos recursos hídricos, praticamente restritos a planejamento e projeto, já reconheciam a necessidade de combinar considerações econômicas e hidrológicas a este nível de análise. Apesar do reconhecimento da importância da integração desses aspectos, especialmente nos estudos voltados a

avaliar alternativas e políticas de alocação de água, não se têm verificado grandes progressos (McKinney *et al.*, 1999). Normalmente o que ocorre é que os dois aspectos são tratados em separado, com pouca integração.

O desafio de contribuir para essa integração é o objetivo principal da pesquisa em desenvolvimento, unindo na formulação do modelo os aspectos hidrológicos, econômicos, sociais, ambientais, operacionais e de qualidade da água.

O processo de integrar essas diferentes visões envolve duas possíveis abordagens: a “modelagem compartimentada” e a “modelagem holística”. Na primeira, tratam-se os componentes hidrológico e econômico como sub-modelos, cujas soluções individuais são modificadas por algum método de coordenação que una as mesmas. Na modelagem holística, ao contrário, os sub-modelos são combinados em um único, que em geral é resolvido de uma só vez [Cai *et al.* (2001)].

Cai *et al.* (2001) acrescentam que a abordagem da “modelagem segmentada” é mais largamente usada para sistemas grandes e complexos, devido ao fato de que resolver cada segmento é muito mais fácil do que resolver o modelo inteiro. Entretanto, em geral é difícil encontrar um método de coordenação destas soluções compartimentadas para produzir a solução do modelo inteiro. Na modelagem holística os componentes do modelo são estreitamente conectados em um único modelo, de forma que a informação entre os mesmos ocorre endogenamente. A desvantagem aqui é que grandes modelos nesta abordagem nem sempre possuem solução nos softwares existentes. Assim, a princípio o grau de detalhe e complexidade deveria ser reduzido para se adotar esta última abordagem.

A utilização de métodos de decomposição para “modelagem holística” oferece em geral a saída para este dilema. Estes métodos operam de uma forma similar a “modelagem compartimentada”, decompondo o “modelo holístico” em sub-modelos, resolvendo estes sub-modelos individualmente e encontrando uma solução para o modelo primário através de modificações das soluções de cada sub-modelo iterativamente. Assim, por exemplo, obter-se-ia a solução do primeiro sub-modelo, que seria modificada ao se resolver o segundo e assim por diante. Salienta-se que a vantagem da técnica de decomposição em relação à “modelagem compartimentada” é que a primeira implementa as conexões entre os componentes do modelo endogenamente, enquanto a última trata as conexões exogenamente.

## ÁREA DE ESTUDO DE CASO E PRINCÍPIOS BÁSICOS DA MODELAGEM

A bacia hidrográfica do Rio Pirapama localiza-se nas mesorregiões metropolitana do Recife - RMR e Mata Pernambucana. Ocupa uma área de cerca de 600km<sup>2</sup> e tem no curso d'água principal uma extensão aproximada de 80km. O Pirapama é o manancial para suprimento de água mais importante em um raio de 40km da cidade do Recife. Os problemas mais sérios relacionados com os recursos hídricos da região são: insuficiente produção de água tratada, elevadas perdas e altos desperdícios, precário atendimento dos sistemas de esgotamento sanitário e de limpeza pública e altos índices de poluentes (Ribeiro, 2000). A questão da qualidade no Rio Pirapama é crítica. Todo o trecho do rio atualmente monitorado apresenta-se em desacordo com os objetivos de qualidade da água, ou seja, a maioria dos parâmetros utilizados na classificação do rio está fora dos padrões estabelecidos pela legislação.

O reservatório Pirapama, manancial estratégico para o complemento da oferta de água tratada para a RMR, antes de iniciar sua operação, pela inexistência de adutoras, já está em situação de risco com relação a uma possível eutrofização. O principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo. O primeiro trecho da bacia (ver Figura 1), onde o modelo é aplicado, vai da nascente até o reservatório Pirapama, ou seja, se constitui em todo o trecho a montante da barragem.<sup>1</sup> Localizam-se no trecho modelado três destilarias de álcool: a JB, a Sibéria e a Liberdade. A produção das mesmas à época da elaboração do Diagnóstico Integrado equivalia a um contingente populacional de 4.2 milhões de habitantes.

A única prática atualmente adotada para disposição final deste vinhoto é o aproveitamento na fertirrigação. A questão que vem sendo colocada decorre das observações feitas em campo e principalmente da avaliação dos dados de monitoramento da qualidade da água do rio Pirapama: é que parte deste vinhoto lançado no solo atinge os cursos d'água.

---

<sup>1</sup> Este é um trecho de crucial importância, pois nele está concentrada a maioria das agroindústrias localizadas na bacia, cuja produção de efluentes é a principal fonte de carga orgânica nesta área. Além disso, o segmento é responsável por todo o aporte de água afluente ao reservatório Pirapama. Dentre os fatores que levam à ocorrência de poluição no trecho modelado por este estudo, os mais significativos provêm da presença do vinhoto.

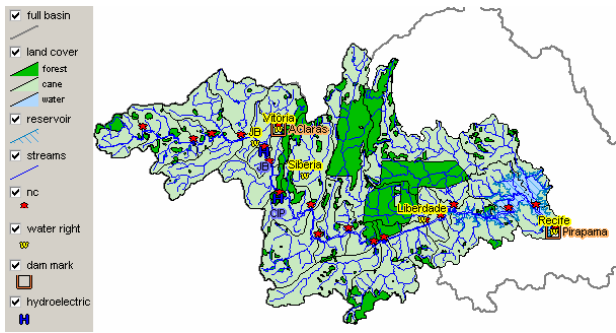


Figura 1- Trecho modelado da bacia do Pirapama

Assim, o modelo não só trata a questão da alocação da água como também a questão da qualidade - crítica para o Pirapama, especialmente depois que foi construído o reservatório - considerando o uso da fertirrigação. Busca-se definir a alocação ideal do vinhoto nas áreas plantadas de cana ao longo da bacia, de forma a garantir níveis de qualidade adequados aos usos. Ao mesmo tempo, na medida em que se inclui o benefício da fertirrigação na função-objetivo e as questões da qualidade e quantidade de água são tratadas como restrições, o processo está considerando diluição de cargas orgânicas como um outro uso, e a disponibilidade será certamente afetada. Em síntese, outros usos deverão ser restringidos para que o rio possa se recuperar através do processo de autodepuração.

A idéia para obter a alocação ótima através da maximização do benefício social líquido, bem como avaliar estratégias de implementação da referida meta, foi partir de um modelo hidrológico-agronômico-econômico-institucional integrado desenvolvido por um grupo de pesquisa conjunta encabeçado pelo International Food Policy Research Institute (IFPRI) [Rosegrant *et al* (2000)]

Uma importante característica do modelo do IFPRI é a abordagem utilizada para combinar os diversos componentes do modelo integrado. Utiliza-se a “modelagem holística” e o método de decomposição a partir de temas, para obter dois sub-modelos que são resolvidos iterativamente. A decomposição de temas neste caso foi usada para integrar modelagem de quantidade e de qualidade.

Na realidade, o modelo do IFPRI simula um constituinte de qualidade, que é muito importante para a questão da irrigação e impacta na produção de várias culturas que é a salinidade. O modelo desenvolvido para o Pirapama, como o do IFPRI, inclui constituintes de qualidade, sendo que diferentes de

salinidade. No caso da bacia do Pirapama, o problema maior está relacionado com compostos orgânicos usados para fertirrigar as áreas de cana que existem em toda a bacia, o que vem acarretando níveis de Oxigênio Dissolvido, em vários trechos do rio, abaixo do valor estabelecido para as classes a que pertencem. Assim, os constituintes considerados são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD). O desafio maior aqui é que esses constituintes, ao contrário da salinidade, sofrem um decaimento ao longo do rio através do processo de autodepuração, e as equações que governam este processo são altamente não-lineares. A abordagem que foi usada para conseguir obter uma solução, da mesma forma que no modelo do IFPRI, utilizou a “modelagem holística” e o método de decomposição por temas com dois sub-modelos: o de quantidade e o de qualidade.

## A MODELAGEM

O modelo elaborado na UFPE representa a bacia hidrográfica como um todo, através de uma rede de nós e links [Rosegrant *et al* (2000)], nos quais os nós representam entidades físicas e os links, as conexões entre estas entidades. Os nós podem ser de dois tipos: os nós-fonte, que representam entidades físicas tais como: rios, reservatórios, águas subterrâneas, etc; e os nós-demanda, que podem ser: agroindústrias, cidades, pequenas centrais hidrelétricas-PCHs, etc. (Figura 1) Há também os nós de demanda por efluentes, que são as áreas plantadas de cana ao longo do curso d’água em que se lançam efluentes do processo industrial das destilarias, na chamada fertirrigação.

Os links entre os nós podem representar captações e lançamentos. Os lançamentos representam tanto a contribuição da drenagem pluvial natural (lançamentos naturais médios), no que se refere à quantidade e à qualidade de água dos trechos e dos afluentes, como os fluxos de retorno diretos e indiretos de alguns nós-demanda.

Na Figura 2 pode-se verificar que o trecho modelado se constitui num sistema em que são agregados: 8 principais afluentes, 2 reservatórios, 2 PCHs (PCHJB e PCHCIP), 25 fontes superficiais de água e 25 áreas plantadas de cana (FIR0 a FIR24) que demandam lançamentos de efluentes agroindustriais como fertilizante. As categorias de uso consideradas foram: abastecimento humano (AH), agroindustrial (AI), geração de energia (GE) e fertirrigação (FIR).

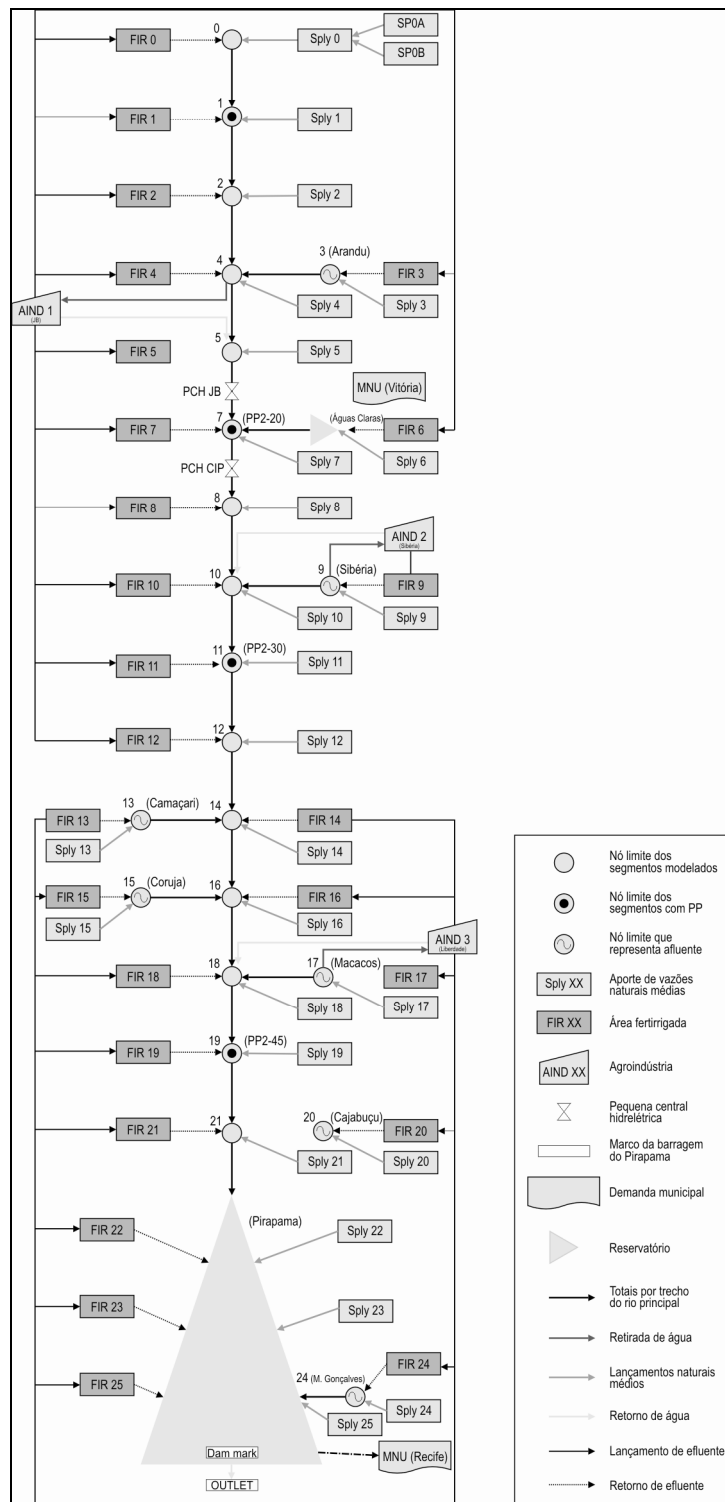


Figura 2 - Rede de Nós e Links representativa da área estudada

Este último, como explicado, não emprega nem compromete a água no que se refere à disponibilidade hídrica (pois usa-se na fertirrigação o vinhoto, que é um efluente da produção das destilarias) e sim impacta na qualidade da mesma.

O modelo contém um grande número de relações físicas e econômicas, além de incluir algumas institucionais e outras agrônômicas. Os seguintes componentes são incluídos: (1) *Componentes de Hidrologia*: levam em conta o balanço hídrico com respeito à quantidade, nos nós que representam os diversos trechos do rio, bem como nos seus afluentes e reservatórios. Não foi levada em consideração nenhuma contribuição de águas subterrâneas por não se dispor de dados, mas estas fontes podem ser facilmente incluídas no modelo.

(2) *Componentes de Qualidade das Águas* - inclui o balanço, bem como o processo de decaimento e transporte ao longo do rio, de dois constituintes básicos utilizados para avaliar a qualidade da água: o Oxigênio Dissolvido (OD) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

São consideradas apenas as principais fontes poluidoras, que são os efluentes lançados pelas agro-indústrias nas áreas plantadas de cana e demais fertilizantes/ pesticidas usados na referida lavoura. Além disso, avalia-se também indiretamente a questão do aporte de fósforo aos reservatórios, de forma a analisar a potencial eutrofização dos mesmos; (3) *Componentes Econômicos* - funções de benefício líquido para os usos consuntivo e não-consuntivo, bem como simulação de funções de produção para os principais produtos industriais da bacia levando em conta a água alocada como insumo; (4) *Componentes Institucionais* - regras e políticas institucionais tais como outorga, níveis mínimos de constituintes de qualidade permitidos, fluxos mínimos exigidos por demandas ecológicas, etc; (5) *Componentes Agrônômicos* - são consideradas diferentes produtividades da cana-de-açúcar em função do efluente aplicado no terreno como fertilizante, no processo de fertirrigação.

O modelo é de curto prazo, no específico horizonte de tempo de 1 ano, determinando alocações de água e vinhoto a cada mês, assumindo que as condições de oferta e demanda são relativamente estáveis. As equações do modelo incluem várias formas de não-linearidade, em especial aquelas que tratam a questão da qualidade.

Para se ter uma idéia do tamanho e do grau de não-linearidade do modelo, algumas medidas fornecidas pelo software utilizado para buscar a solução são dadas a seguir:

- Número de Restrições: 22295

- Número de Variáveis: 18885
- Número de elementos no Jacobiano não-nulos: 44636
- Número de elementos no Jacobiano não-constantes: 10828

O número de elementos da matriz Jacobiana não-nulos, bem como o número destes que não são constantes, fornece uma medida da não-linearidade do modelo. Neste caso, em torno de 25% os elementos não-nulos no Jacobiano são não-constantes, denotando-se um grau razoável de não-linearidade. Além disso, tendo-se mais de 10.000 variáveis e restrições, pode-se considerar o modelo dentro da categoria de sistemas não-lineares grandes e complexos. Cai *et al* (2000) relatam que, a despeito de grandes melhorias nos softwares de modelagem e solução, bem como na evolução do hardware, resolver grandes modelos de otimização não-lineares continua difícil. As dificuldades crescem muito à medida que o tamanho e o grau de não-linearidade aumentam. Até o melhor software pode falhar com grandes modelos não-lineares, especialmente nas primeiras tentativas do processo de modelagem quando “boas” condições iniciais não são conhecidas.

A abordagem utilizada para buscar uma solução viável com os softwares de Programação Não-Linear disponíveis para tão complexo sistema foi a “modelagem holística” com método de decomposição por temas. Para implementar a referida abordagem utilizou-se o método *piece-by-piece* apresentado em Cai *et al* (2001). A mesma utiliza o *General Algebraic Modeling System* (GAMS), software de alto nível utilizado para resolução de problemas de programação matemática, e sua capacidade de reiniciar arquivos.

Assim, a solução de um sub-modelo é escrita num arquivo e usada como ponto de partida para o próximo sub-modelo. Cada sub-modelo é composto de restrições adicionais que vão sendo adicionadas nas novas etapas às restrições dos modelos anteriores, podendo agregar novas variáveis que não existiam nos passos anteriores. No caso em estudo, tem-se dois sub-modelos e a decomposição foi feita por temas: quantidade(sub-modelo1) e qualidade de água(sub-modelo2). A estrutura do modelo pode ser mostrada de forma genérica, através da seguinte formulação:

$$\text{Max } f(x, y) \quad (1)$$

Sujeita às seguintes restrições:

$$g_1(x, y) = 0 \quad (2)$$

$$g_2(x, y) = 0 \quad (3)$$

E aos limites:

$$x^l \leq x \leq x^u \quad (4)$$

$$y^l \leq y \leq y^u \quad (5)$$

Onde  $x$  e  $y$  são vetores de variáveis de decisão, algumas das quais podendo ser variáveis de folga. As funções  $g_1(x)$  e  $g_2(x,y)$  são vetores de equações lineares e não-lineares, diferenciáveis nos retângulos definidos pelos limites estabelecidos nas equações (4) e (5). Os termos  $x^l$  e  $x^u$  significam os limites inferiores e superiores das variáveis com definição similar para a variável  $y$ . As restrições  $g_1(x)$  são representativas do sub-modelo 1, e envolvem apenas as variáveis  $x$ . Assim, a idéia é num primeiro *step* resolver este primeiro sub-modelo sem levar em conta as variáveis  $y$ , ainda não definidas. A solução, denotada por  $x^*$ , é então utilizada como condição inicial para o segundo sub-modelo, que inclui as restrições  $g_2(x,y)$ . A solução do sub-modelo 2 é assim a solução do modelo completo, já descrito nas equações (1) a (5).

No sub-modelo 1 ressalta-se o balanço hídrico, sendo as restrições envolvidas chamadas de *restrições de disponibilidade hídrica*. Além disso, considera-se o balanço de massa dos reservatórios, fluxos mínimos para demandas ecológicas institucionais e as restrições relativas à quantidade de efluentes lançados e conseqüentes valores de áreas de fertirrigação recomendadas, o que permite cálculo de estimativas de cargas provenientes do processo. No segundo sub-modelo, que inclui as *restrições de qualidade de águas*, calcula-se a concentração e o transporte dos constituintes de qualidade modelados e a estimação a partir de um deles da quantidade de fósforo associada que será levada aos reservatórios.

### A função-objetivo

A função-objetivo representa o benefício líquido para todos os usos considerados no modelo. Dessa forma, mensuram-se os benefícios sociais líquidos através da agregação dos benefícios e custos individuais líquidos agrupados por categorias de uso. Na aplicação da bacia do Pirapama, realizada

em todo o trecho a montante do reservatório de mesmo nome, consideraram-se as funções benefício de quatro usos e respectivos usuários, a saber: *abastecimento humano* (municípios de Recife e Vitória), *abastecimento industrial* (agroindústrias JB, Sibéria e Liberdade), *geração de energia elétrica* ( PCHJB, da Distilaria JB, e PCHCIP, da Companhia Industrial Pirapama ) e *fertirrigação*. A estratégia utilizada para obtenção de funções de demanda inversa para cada um dos usuários foi usar valores de elasticidades-preço da demanda por água, relativas aos respectivos pontos previstos de demanda, para cada modalidade de uso [Carrera-Fernandez (1999)]. A partir dos valores de elasticidade e do pressuposto de que os valores das mesmas são constantes ao longo da curva de demanda, obtém-se a expressão de uma função de demanda inversa através da resolução de uma equação diferencial simples.

A elasticidade-preço da demanda  $\eta$  é definida por:

$$\eta = (dQ/Q)/(dP/P) \quad (6)$$

Onde  $P$  é o preço no qual a quantidade observada  $Q$  é a demandada. Assumindo a elasticidade constante, a equação acima pode ser rearranjada e integrada, resultando na seguinte função de demanda inversa:

$$|P| = \exp\{\{\ln|Q|/\eta\} + C\} \quad (7)$$

Esta função, dado que as elasticidades-preço são negativas, é uma função exponencial no primeiro quadrante do eixo  $(P,Q)$ , que assintota os eixos  $P$  e  $Q$  em direção ao infinito. Assim, quando  $Q$  tende a zero o valor de  $P$  tende a infinito e por outro lado tende a zero quando  $Q$  aumenta indefinidamente. Isto representa a realidade teoricamente, dado que para pequenas quantidades de água, o valor da água seria muito alto, enquanto para maiores quantidades o valor tende a diminuir.

Na prática é importante que se possa mensurar e limitar estes valores. Uma função com as mesmas características da função teórica, sendo que deslocada horizontalmente e na qual se possa usar os valores absolutos das elasticidades-preço é dada por:

$$|P| = \exp[\ln|Q - C_2|^{1/\eta} + C_1] \quad (8)$$

Tal função traria para valores finitos o valor da água para quantidades alocadas nulas (a curva assim deslocada passaria a interceptar o eixo dos

Preços – no ponto  $(0, P_1)$  ) além da quantidade alocada a partir da qual o valor (preço) tenderia a zero. Além disso, no ponto  $(C_2, 0)$  a função não é definida, mas a partir dela os valores de alocação passariam a assumir novamente valores positivos, já que se trata de uma função-módulo.

Na realidade, espera-se que a quantidade alocada associada a um valor nulo, ou muito próximo disso - consumo autônomo  $(C_2)$  - seja tal que, ao atender as necessidades do usuário plenamente, faça com que uma quantidade maior de água entregue leve a uma redução dos benefícios.

Para determinar completamente a função de demanda inversa, descrita pela Equação (8), são necessárias duas condições de contorno para que as duas constantes  $(C_2$  e  $C_1)$  sejam definidas. Toma-se para o caso dos usos consuntivos (AH e AI) a primeira condição de contorno como sendo o ponto de operação de cada usuário em valores atuais (Figura 3).

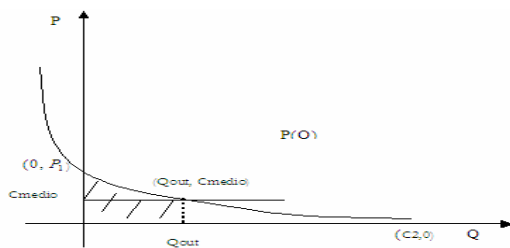


Figura 3 - Ponto de operação para os usos consuntivos

Os pontos de operação considerados para cada usuário consuntivo foram as outorgas cedidas pela SECTMA (Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente) e os custos operacionais foram obtidos com a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) e as agroindústrias. A segunda condição de contorno vem de estimativas do benefício bruto obtidas com os valores outorgados, que deve corresponder à área sob a curva que aparece hachurada na Figura 5. Estas estimativas de benefícios foram calculadas e consideraram-se perdas no processo de captação do abastecimento humano e das agroindústrias na região [Carrera-Fernandez (1999)].

A idéia é estimar a constante  $C_2$  e a partir daí o valor de  $P_1$  (já relacionado a  $C_2$  e  $C_1$  através da primeira condição de contorno), através da aproximação dos valores estimados com os valores calculados como a área sob a curva de demanda inversa até o valor outorgado.

O benefício calculado, obtido com a integração da função de demanda inversa (ver Equação 8) para qualquer valor alocado, é dado por:

$$\text{Benefício}(R\$/\text{seg}) = e^{C_1} \left[ \frac{C_2^{(1/\eta)+1}}{(1/\eta)+1} - \frac{|C_2 - Q_{aloc}|^{(1/\eta)+1}}{(1/\eta)+1} \right] \quad (9)$$

onde:

$$C_1 = \ln \left\{ \frac{P_1}{| -C_2 |^{1/\eta}} \right\} \quad \text{ou} \quad e^{C_1} = \frac{P_1}{| -C_2 |^{1/\eta}}$$

obtido do fato de que o valor na equação (8) associado à quantidade nula é  $P_1$ ;

$Q_{aloc}$  = Para o cálculo do benefício em questão, este valor será o valor outorgado.

Deve-se atentar para o fato de que a formulação em (9) já dá a área líquida sob a função de demanda inversa no intervalo de integração que vai de  $Q = 0$  até  $Q = Q_{alocado}$ , considerando áreas após o valor de indefinição da função ( $Q=C_2$ ) como áreas negativas, pois representarão redução no benefício total bruto.

Para determinar a função de demanda para o uso não-consuntivo (geração de energia elétrica) bem como para a fertirrigação a estratégia é diferente, pois não há valores outorgados. Na verdade, o que existe nesses casos são os valores máximos que vamos considerar como sendo os próprios valores de consumo autônomo  $(C_2)$ . No caso do uso para geração de energia, as duas PCH's são a fio d'água. Isto quer dizer que o aproveitamento é feito sem regularização, não se considerando nenhuma variação na queda líquida utilizada para a geração.

Para este uso pode-se considerar o consumo autônomo como sendo a capacidade máxima instalada, na realidade a vazão correspondente a essa capacidade máxima. Com este valor e estimativas do benefício obtido com o mesmo, determina-se o valor de  $P_1$  que mais aproxime a área calculada sob a curva das referidas estimativas. A formulação que expressa a área sob a curva até o ponto de indefinição é mais simples, pois é dada apenas pela primeira parte da Equação (9), a saber:

$$\text{Benefício}(R\$/\text{seg}) = e^{C_1} \left[ \frac{C_2^{(1/\eta)+1}}{(1/\eta)+1} \right], \quad (10)$$

$$\text{Com } e^{C_1} = \frac{P_1}{|-C_2|^{1/\eta}}$$

Com os valores de  $C_2$  e  $P_1$ , fica assim completamente especificada a função de demanda inversa a ser usada para os cálculos do benefício bruto desses usuários. O valor do custo médio de geração de energia não foi necessário para este cálculo, mas será na determinação do benefício líquido. Além disso, com o mesmo pode-se ter uma idéia do ponto de operação das PCH's, já que não há solicitação de outorga. Este será o valor de vazão associado a esse custo médio na curva de demanda inversa.

Finalmente no caso da fertirrigação, os valores autônomos ( $C_2$ ) serão iguais para os "nós fertirrigados" pela mesma agroindústria e dados pela máxima área plantada de cana que atende à referida indústria, e que demanda efluentes durante cada mês de safra (duração de 5 meses).

Com as funções de demanda inversa totalmente identificadas para cada usuário, o modelo obtém valores de benefício bruto para cada um deles e a cada mês, dependendo do valor alocado, através da formulação dada pela Equação (9) ou (10), dependendo do uso. O benefício líquido é resultante da subtração dos valores de custo incorridos com a obtenção deste mesmo valor alocado.

Assim, no caso do abastecimento humano e geração de energia elétrica, para cada usuário e a cada mês, o valor do benefício líquido resultante da alocação correspondente, é obtido por meio da Equação (11).

$$B.Liq(usuário, t) = e^{C_1} \left[ \frac{C_2^{(1/\eta)+1}}{(1/\eta)+1} - \frac{|C_2 - Q_{aloc}(usuário, t)|^{(1/\eta)+1}}{(1/\eta)+1} \right] - C_{medio} * Q_{aloc}(usuário, t) \quad (11)$$

Onde  $e^{C_1}$ ,  $C_2$ ,  $\eta$  e  $C_{medio}$  assumem valores dependendo do usuário, de acordo com os valores já mostrados. O valor  $Q_{aloc}(usuário, t)$  deverá ser tal que atenda a todas as restrições físicas, de controle e institucionais e ainda maximize a soma de todos esses benefícios. No caso do abastecimento industrial, além do custo médio que aparece na Equação (11) o modelo debitará do valor do benefício bruto, um custo adicional, se houver sobra de efluentes. Ocorre que o modelo considera que, caso não seja possível a alocação nas áreas fertirrigadas de todo o efluente pro-

duzido pela agroindústria, a mesma deverá arcar com os custos do tratamento desta sobra. Na fertirrigação, há custos com o processo de aspersão do vinhoto, mas há também economia com os fertilizantes que não precisam ser usados. Além disso, dependendo do nó representativo do ponto de demanda para fertirrigação, haverá ou não custo de transporte por carros-pipa, já que os sistemas de bombeamento atualmente existentes atingem apenas as proximidades das agroindústrias. O custo de transporte foi considerado apenas para os nós de demanda por efluentes distantes mais de 2 km da agroindústria cuja produção de vinhoto se utiliza no processo. Considerou-se que no caso de fertirrigação de áreas nestes nós, seria necessária a utilização de carros-pipa para o transporte do efluente. O custo então foi computado como tendo um valor por metro cúbico associado ao aluguel do carro e a um custo em função da distância em km, resultando na expressão:

$$C\_transp(usuário, t) = C_{carro\_pipa} * Q_{aloc\_vinh}(usuário, t) + 0.25 * dist\_Km(usuário) \quad (12)$$

Sendo que  $C_{carro\_pipa}$  é o custo do carro-pipa em R\$/m<sup>3</sup>,  $Q_{aloc\_vinh}(usuário, t)$  é a quantidade de vinhoto alocada no nó de demanda no mês, e  $dist\_Km(usuário)$  é a distância em quilômetros do nó de demanda para a agroindústria, cujo efluente se utiliza.

$$B.Liq(usuário, t) = e^{C_1} \left[ \frac{C_2^{(1/\eta)+1}}{(1/\eta)+1} - \frac{|C_2 - Area_{firrig}(usuário, t)|^{(1/\eta)+1}}{(1/\eta)+1} \right] - C_{medio} * Area_{firrig}(usuário, t) + G_{mediol} * Area_{firrig}(usuário, t) - C\_transp(usuário, t) \quad (13)$$

Onde o último termo só aparece se os nós de demanda estiverem a mais de 2km da agroindústria associada. Ademais  $e^{C_1}$  e  $C_2$  assumem valores para cada nó de demanda por efluentes,  $\eta$  assume o mesmo valor para todos os nós e todos os meses conforme já mostrado, e a  $Area_{firrig}(usuário, t)$  é a área de cana a ser fertirrigada, que tem que ser tal que



atenda às restrições de disponibilidade (quantidade de vinhoto disponível, quantidade de cana plantada e dose de aplicação utilizada), as de qualidade da água (níveis de OD ao longo do rio resultantes da decisão de alocar vinhoto) e ao mesmo tempo maximize os benefícios. Observar que, para aplicar as restrições de qualidade de água, necessita-se da relação entre o vinhoto lançado e a carga alocada resultante. Esta depende da dosagem de aplicação (utilizou-se para as três agroindústrias o valor de 300m<sup>3</sup>/ha), da vazão específica média, que varia com o nó de demanda e com o mês, e do pressuposto de que 1% da concentração de matéria orgânica do vinhoto está presente nos lançamentos naturais médios proporcionais a áreas fertirrigadas.

Ainda,  $C_{medio}$  é o custo com aspersão por hectare fertirrigado e  $G_{medio}$  representa a economia com os fertilizantes, relativa à mesma área onde se utilizou o vinhoto. Da mesma forma que no uso para geração de energia elétrica, onde não há valores outorgados, pode-se partir dos custos médios para estimar os pontos de operação de cada nó de demanda por efluentes. Ou seja, os valores de área fertirrigada de cada nó, a partir do qual o benefício marginal é menor do que o custo marginal, ou o valor de área fertirrigada correspondente ao custo médio na curva de demanda inversa. O ponto de operação encontrado, ao se levar este valor de custo médio, na curva de demanda inversa de cada nó FIR, leva a valores de área fertirrigada que fazem máximo o benefício líquido para cada nó e a cada mês. Observa-se que as áreas são diferentes para cada nó, porém constantes entre os meses. Ademais, embora as áreas sejam diferentes em valor absoluto, elas representam o mesmo percentual em relação a área máxima (C2) ou seja o ponto de operação de todos os FIR, igual em todos os meses, é 67,65% de C2.

Finalmente, agregando os valores dos benefícios líquidos ao longo dos meses, obtém-se no horizonte de tempo do modelo (1 ano) o benefício líquido de cada usuário. A Função-objetivo será a soma dos benefícios líquidos de todos os usuários individuais, o que representa o benefício social líquido a ser maximizado.

$$F - OBJ = \sum_{mun} B.Liq_{AH}(usuario_{mun}) + \sum_{aind} B.Liq_{AI}(usuario_{aind}) + \sum_{pch} B.Liq_{GE}(usuario_{pch}) + \sum_{firrig} BL_{fir}(usuario_{firrig}) \quad (14)$$

Assim, o  $B.Liq_{AH}(usuario_{mun})$  é a soma dos benefícios líquidos anuais dos municípios, o que leva ao benefício resultante do uso da água para abastecimento humano (AH), e da mesma forma para as agroindústrias(AIND) no abastecimento industrial(AI), pequenas centrais hidroelétricas(PCH's) na geração de energia(GE) e nós de demanda por efluentes(firrig) na fertirrigação(FIR).

### Restrições do modelo

#### Restrições de disponibilidade hídrica (sub-modelo 1)

#### Equação de Balanço nas Junções Principais e nas Junções Afluentes:

Representam o equilíbrio quantitativo em cada um dos *nós-junção* — que iniciam trechos no rio principal e nos seus afluentes — e em cada unidade de tempo (mês) e traduzem o fato de que o fluxo de água que entra em cada junção em qualquer mês deve ser igual ao fluxo de água que a deixa.

#### Balanço de massa para os reservatórios:

esta restrição diz respeito ao balanço hídrico para um *nó-reservatório* e não para um *nó-junção*. Sendo assim, o balanço hídrico passa a ser de que a variação de volume no reservatório é dada pela diferença entre o volume afluente ao mesmo e o volume efluente.

#### Fluxo mínimo para atender demandas ecológicas:

o valor do volume efluente a cada um dos reservatórios, que chegar ao nó seguinte, deve atender a um limite mínimo, quando houver, que se constitui numa demanda ecológica para o trecho seguinte ao lago. No caso da aplicação em questão, havia sido estabelecida pela então Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), para o reservatório Pirapama, uma demanda ecológica de 1,2 m<sup>3</sup>/s, o que significa um volume mínimo de 3,1104 milhões de m<sup>3</sup> em qualquer mês que tem que ser respeitado.

#### Vazão de Restrição a jusante dos barramentos:

Para assegurar que as liberações dos barramentos não irão alagar a região a jusante do reservatório, também é acrescentado um limite máximo ao valor efluente de cada barragem que chega ao nó seguinte. Foram estabelecidos como vazões limites para a

calha fluvial o dobro do valor das vazões médias afluentes aos reservatórios que constam nos respectivos projetos básicos de cada uma das barragens.

#### **Capacidades Máxima e Mínima do Reservatório:**

estas restrições são estabelecidas para as variáveis que representam o volume de cada reservatório em cada mês. Como já foi visto, a abordagem utilizada para o balanço de massas considera uma aproximação linear para a relação área/ volume do reservatório. Esta linearidade só é adequada para um intervalo de volume que vai do “volume morto” (*dead storage*) até o volume associado à lâmina máxima.

#### **Conservação do Volume Armazenado ao fim do período de análise:**

tal restrição garante que não há perdas nem ganhos de água armazenada ao fim de um ano típico adotado na modelagem. Isto é implementado igualando-se o volume do reservatório no último mês modelado, ou seja, ao fim do período de análise (1 ano), à condição inicial, que como já visto é o volume de acumulação do reservatório, já que o modelo inicia a simulação no último mês da estação chuvosa.

#### **Capacidade máxima instalada de Pequenas Centrais Hidroelétricas-PCH's:**

o uso da água para geração de energia elétrica no trecho estudado da aplicação em questão, é feito através das duas PCH's a fio d'água citadas. O volume de água efetivamente usado para geração durante o mês num determinado trecho será limitado de um lado pela disponibilidade de água no trecho, por outro lado pela capacidade máxima da planta instalada.

#### **Quantidades limite para aplicação de efluentes:**

a quantidade de vinhoto a ser aplicada por cada agroindústria nas áreas plantadas de cana é limitada inicialmente de duas formas. Uma delas diz respeito ao tamanho da área plantada de cana em cada mês de safra e em cada trecho, e a dosagem em que o vinhoto deve ser aplicado. A outra limita a quantidade de aplicação do efluente em cada trecho, considerando a soma dessas alocações em todas as áreas que são fertirrigadas por uma dada indústria. Obviamente, esta soma não poderá ser maior do que a produção de vinhoto total da agroindústria. Nos meses de entressafra a produção é nula e a alocação também.

#### **Restrições de qualidade de águas (sub-modelo 2)**

Von Sperling (1996) relata que, em termos ecológicos, a repercussão mais nociva da poluição de um corpo d'água por matéria orgânica é a queda nos níveis de oxigênio dissolvido, causada pela respiração dos microrganismos envolvidos na depuração de carga orgânica. Os níveis de oxigênio dissolvido têm sido utilizados tradicionalmente para a determinação do grau de poluição e de autodepuração em cursos d'água.

Para representar e simular a curva de oxigênio dissolvido no modelo, utilizaram-se as equações representativas do clássico modelo da Engenharia Ambiental, o modelo dos pesquisadores Streeter e Phelps [Streeter e Phelps (1925)]. Nele, considera-se a situação relativamente simples em que apenas a desoxigenação e a reaeração atmosférica influem no balanço do oxigênio dissolvido.

Assim, basicamente as restrições de qualidade de águas do modelo visam assegurar que a escolha das variáveis de decisão (alocações por uso) sejam tais que o oxigênio calculado ao longo de cada um dos trechos em cada mês esteja sempre acima do valor permissível pela legislação. Deve-se atentar para o fato de que, ao se limitar níveis de oxigênio ao longo de cada trecho, limita-se também a carga orgânica permissível de se lançar na área associada. Isto porque o nível de oxigênio ao longo do trecho é função da carga lançada no início do mesmo, além dos valores iniciais de oxigênio e da capacidade de depuração do rio.

Para os reservatórios, aos quais não se aplicam as equações de Streeter-Phelps, procurou-se estabelecer uma outra restrição para limitar a carga poluente. No caso, a preocupação maior é a questão da eutrofização. Como o principal fator de estímulo deste processo é o nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo, utilizou-se uma relação para determinar o fósforo a partir da DBO. Limita-se assim a carga orgânica lançada nos reservatórios de forma que a carga máxima admissível de fósforo associada não resulte numa concentração superior ao limite de eutrofia.

### **RESULTADOS DO SUB-MODELO 1**

Neste artigo são mostrados os resultados do sub-modelo 1, ou seja, os valores ótimos sob a hipótese apenas das restrições de disponibilidade hídrica. Os valores dos benefícios líquidos por uso, obti-

dos na solução ótima do sub-modelo1, são apresentados na Figura 4.

Estes valores de benefícios líquidos resultam de alocações praticamente iguais aos valores outorgados no caso dos usos consuntivos considerados (AH e AI). Isto significa que os valores de benefícios líquidos obtidos nestes dois casos foram muito próximos dos máximos possíveis. Isto ocorreu em todos os meses, mesmo nos meses mais secos – dezembro e janeiro.

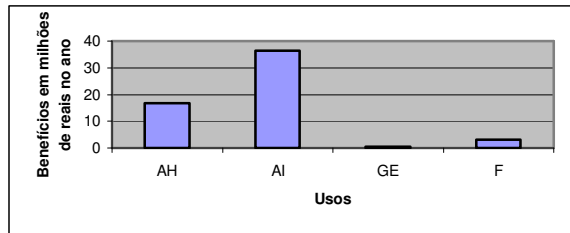


Figura 4 - Benefícios Líquidos em milhões de reais por uso resultantes da alocação ótima dada pelo sub-modelo 1

Analisando-se os valores de alocação por usuário e por mês, percebeu-se que nos meses mais secos, que coincidem com a safra e onde portanto os dois usos consuntivos demandam água simultaneamente, os usuários que resultam em benefícios líquidos menores começam a não ser atendidos totalmente com o seu valor de outorga, agindo para assegurar que os usuários que levam a benefícios maiores sejam atendidos. O modelo então começa a resolver conflitos baseado no critério de maximizar o bem-estar de toda a sociedade.

Nos meses de outubro a abril, à cidade de Vitória deixa de ser alocado a cada mês em torno de 1% do valor outorgado, sendo o mês de dezembro – mês mais seco - onde aconteceu a maior redução. Isto ocorre entre os meses de outubro a janeiro para que todos os demais usuários consuntivos – nestes meses as agroindústrias também demandam – tenham os seus valores de outorga totalmente assegurados, já que os valores de benefício resultantes de todas as agroindústrias bem como os de Recife são maiores que os de Vitória.

No que se refere aos meses de fevereiro a abril, apesar de não haver mais a demanda pelas agroindústrias, a redução na alocação de Vitória se mantém. Isto pode ser explicado pela operação da PCHCIP. Apesar da PCH não ser um uso consuntivo, é necessário um valor de vazão fluindo no trecho associado à mesma, que está a jusante de Vitória. Isto implica num conflito entre os dois usos, pois o

atendimento pleno a Vitória reduzirá a geração a jusante. Analisando-se a alocação aos diversos usuários que disputam a água – exceto a fertirrigação, pois a mesma usa vinhoto e afeta a qualidade das águas, que não é considerada no sub-modelo 1 – todos obtêm benefícios líquidos anuais que são os maiores possíveis, a menos de Vitória e da PCHCIP. Mesmo assim, a perda de benefícios anuais de Vitória é desprezível, enquanto que a da PCHCIP é muito pequena, em torno de 1,5% do máximo possível. A Figura 5 mostra os benefícios líquidos anuais resultantes da alocação ótima por usuário, que, como acaba de ser dito, são praticamente os valores máximos de benefícios líquidos anuais. Observa-se, como esperado, que os usuários que não são plenamente atendidos (PCHCIP e Vitória, o primeiro perdendo mais) são os que levam a menores valores de benefícios líquidos, a menos da PCHJB.

Na realidade, o pleno atendimento do usuário PCHJB não se deve aos benefícios resultantes do mesmo, e sim ao seu caráter não-consuntivo, além de sua posição, a jusante de usuários plenamente atendidos e a montante de usuários a se atender. Na verdade, caso o não atendimento pleno da PCHJB de alguma forma disponibilizasse mais água para os outros usuários, o modelo certamente o faria. Com relação ao uso para fertirrigação, como já dito, o resultado do sub-modelo 1 aloca os efluentes sem considerar restrições de qualidade de águas. O que se verifica é que todo o efluente é alocado, ou seja, não há sobras. A distribuição das áreas nos nós de demanda que recebem os efluentes na safra toda é representada na Figura 6.

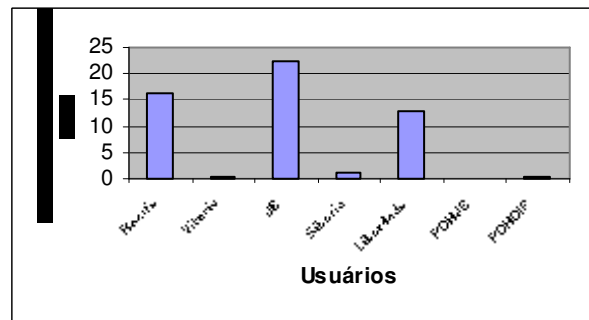


Figura 5 - Benefícios líquidos resultantes da alocação dada pelo sub-modelo 1 por usuário

Deve-se salientar que a configuração citada como atual é na realidade uma estimativa simplista baseada nas entrevistas feitas com os responsáveis pelas agroindústrias, de localizações de áreas de

cana ao longo do rio, em que hoje se usa o vinhoto como fertilizante. Portanto, a informação mais confiável que se pode extrair desta configuração não são as quantidades por nó e sim a distribuição entre os mesmos, ou seja, quais nós de demanda estão recebendo efluentes, e não quanto.

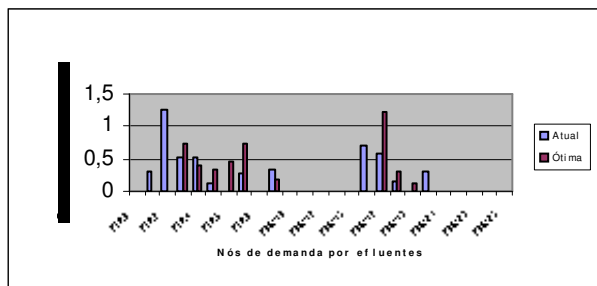


Figura 6 - Áreas fertirrigadas atualmente e resultantes da alocação ótima do sub-modelo 1

Já a alocação ótima é obtida distribuindo-se o vinhoto produzido pelas agroindústrias (resultante de uma alocação ótima de água para as mesmas) de forma a maximizar os benefícios com a fertirrigação e considerando-se fixa a dosagem de aplicação (300 m<sup>3</sup>/ha). A maximização dos benefícios líquidos com a fertirrigação é tal que, ao mesmo tempo em que eleva ao máximo os benefícios brutos - função da carga resultante da alocação do vinhoto (proporcional ao ganho de produtividade na cana), economia com fertilizantes e com o não tratamento do vinhoto alocado - leva ao mínimo os custos com aspersão e o transporte dos efluentes.

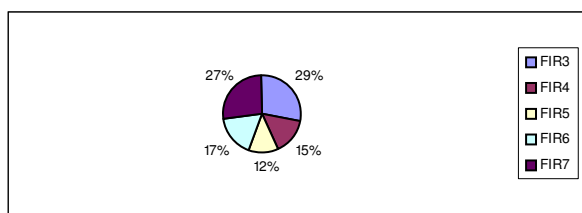


Figura 7 - Distribuição dos efluentes produzidos pela JB nos nós de demanda por efluentes associados

Assim é que são fertirrigados na alocação ótima resultante do sub-modelo 1 apenas os nós de demanda por efluentes que não configuram custos de transporte no processo de fertirrigação. Os efluentes produzidos pela JB são alocados em FIR3, 4, 5, 6 e 7. Os de Sibéria no FIR9 e os de Liberdade em

FIR17, 18 e 19. Observe-se que esta configuração, no que se refere a quais nós recebem efluentes, é bem similar a atual. No caso da JB a diferença aparece apenas nos nós FIR1 e FIR2 que recebem efluentes segundo informações atuais, e para Liberdade, que realiza fertirrigação atualmente em FIR16 e FIR20 e não aloca vinhoto em FIR19.

Com relação à distribuição dos efluentes entre os nós de demanda, as Figuras 7 e 8 apresentam a forma como o total de efluentes produzido pelas agroindústrias JB e Liberdade é distribuído entre os nós de demanda. Os efluentes da agroindústria Sibéria só fertirrigam o nó de demanda FIR9, e como todo o efluente foi alocado é o referido nó que recebe todo o efluente produzido.

No caso da JB, como já foi dito, todo o efluente foi alocado nos nós de demanda que não configuram custos de transporte. A distribuição entre os nós mostrada na Figura 7, através dos percentuais diferentes do total de efluente produzido, resulta em áreas fertirrigadas também diferentes, mas que se constituem em um mesmo percentual da área máxima naquele nó. Assim, em todos os nós onde a JB alocou efluentes: FIR3 a FIR7, a área fertirrigada pela alocação ótima representou aproximadamente 64,6% da área máxima possível de ser fertirrigada daquele nó. Entre os meses, a divisão foi idêntica. No caso de Liberdade, os nós de demanda onde os efluentes foram alocados são FIR17, 18 e 19. A Figura 8 mostra a distribuição entre os três, que resulta em áreas fertirrigadas diferentes, mas que percentualmente todos se constituem em 65,6% da área máxima de cada nó. Entre os meses não houve diferenças. Finalmente no caso de Sibéria, o único nó de demanda FIR9 recebe todo o efluente, o que resulta numa área fertirrigada, que se constitui em 12% da área total. Entre os meses a divisão permaneceu igual.

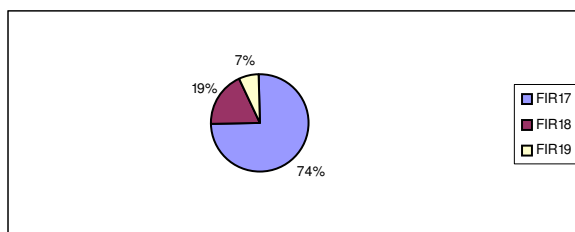


Figura 8 - Distribuição dos efluentes produzidos pela agroindústria Liberdade

Para explicar estes valores deve-se lembrar que o ponto de operação calculado para todos os

nós de demanda foi de 67,65% da área total. Este ponto de operação era justamente o valor associado ao custo médio sem considerar custos de transporte, que maximizaria o benefício líquido de cada um dos nós. Assim, a alocação ótima busca alcançar este valor, mas esbarra na limitação da quantidade de efluentes produzida pelas agroindústrias. A agroindústria Liberdade é que consegue chegar mais perto do referido ponto, por produzir uma quantidade de efluentes similar à JB, e ter menos áreas a fertirrigar sem custos de transporte. A agroindústria Sibéria é a que consegue menos, por ter menor produção de efluentes, e uma área a fertirrigar razoável. Com relação à igualdade entre os meses, o que poderia diferenciar a alocação de um mês para o outro seria a carga resultante, que é calculada em função da vazão específica de cada mês. Mas o sub-modelo 1 não restringe as cargas, ou seja, não considera as restrições de qualidade de águas.

Em síntese, para o uso da fertirrigação, os benefícios líquidos máximos não são alcançados por uma limitação na quantidade de efluentes, que não é suficiente para atingir o ponto de operação.

## CONCLUSÕES

O modelo respondeu com clareza à lógica da distribuição, considerando a maximização dos benefícios globais. O critério Custo-Benefício usado não considerou a questão distributiva, de modo que os que ganham compensem os que perdem. Restrições de qualidade de água foram introduzidas no modelo final, apresentado em outro artigo, e mostram mudanças significativas na distribuição espacial e temporal da alocação da água e do vinhoto para fertirrigação.

A multiplicidade das interações existentes entre os diversos usos da água, tanto sob os aspectos técnicos de quantidade e qualidade do recurso, quanto aos aspectos econômicos e sociais, podem ser modelados de forma integrada, permitindo aos tomadores de decisão promover a alocação da água da forma mais justa.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CTHIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos, e à FINEP – Fi-

nanciadora de Estudos e Projetos, agência executora, pelo apoio à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- CAI, X.; MCKINNEY, D.C.; LASDON, L.S. 2001, Piece-by-piece approach to solving large nonlinear water resources management models, *Journal of Water Resources Planning and Management*, p.363-368.
- CAI, X.; MCKINNEY, D.C.; LASDON, L.S.; WATKINS, D., 2000, Solving large nonconvex water resources management models using generalized benders decomposition, *Operations Research*, p.235-245, V.II.
- CARRERA-FERNANDEZ, J. 1999, Estudo de Cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do Rio Pirapama, Relatório de Consultoria, CPRH, Agosto de 1999.
- MORAES, M.M.G.A, 2003, Modelo Econômico-Hidrológico Integrado para Alocação Ótima de Água em Diferentes Usos e Vinhoto em Áreas Plantadas de Cana na Bacia do Rio Pirapama, Tese de doutoramento, UFPE, Julho de 2003.
- RIBEIRO, M.M.R. 2000, Alternativas para a outorga e cobrança pelo uso da água, Tese de doutoramento, UFRGS, Janeiro de 2000.
- ROSEGRANT, M.W.; RINGLER, C.; MCKINNEY, D.C.; CAI, X.; KELLER, A.; DONOSO, G. 2000, Integrated Economic-Hydrologic Water Modeling at the basin scale: The Maipo River Basin, *Agricultural Economics*, p.33-46.
- STREETER, H. W. AND PHELPS, E. B.(1925), *A Study of the pollution and natural purification of the Ohio River*. Public Health Bulletin, no. 146.
- VON SPERLING, M. 1996, Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Segunda Edição, V. I.

### *Decision Support in Water Resources Management Using an Integrated Economic-Hydrologic Model for the Optimal Allocation of Water: an Application in the Pirapama River Basin*

#### ABSTRACT

*The integrated economic-hydrologic model to support water resources management presented in this article integrates a great number of physical, economic, institutional and agronomic relations. The objective is to provide information to help decisions on the optimal allocation of water among alternative uses, and the use of vinasse to fertirrigate sugarcane crops. It is applied to the Pirapama river basin, in the state of Pernambuco. The model ob-*

*tained involves a significant degree of non-linearity and includes more than 10,000 variables and restrictions, and can be classified in the category of large and complex non-linear systems. The system formulated has multiple objectives: social, economic, environmental and the allocation of water is conditioned by the water balance and quality restrictions. The platform described is to serve as a tool to help evaluate water policies as a system to support the decision to allocate these resources.*

*Key-words: Management, economic –hydrologic model .*