

MODELO DOS RECURSOS HÍDRICOS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ: UMA PERSPECTIVA DE DINÂMICA DE SISTEMAS

Rodrigo M. Sánchez-Román¹; Marcos Vinicius Folegatti²; Alba M. G. Orellana González³

RESUMO --- Foi desenvolvido um modelo usando dinâmica de sistemas para estimar as ofertas e demandas de água, e a geração de águas residuárias dos diversos consumidores existentes nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ). Este modelo visa ser uma ferramenta para auxiliar aos formuladores de políticas e aos tomadores de decisões sob as diversas alternativas no manejo dos recursos hídricos no Comitê da BH-PCJ. O modelo foi calibrado e validado com informação disponível para a década de 90. Realizou-se uma corrida de 30 anos mantendo as taxas de consumo e de oferta existentes. Sob estas premissas foi encontrado que as demandas de água aumentarão um 32% respeito das demandas do ano 2004, e que 37% do volume de água disponível terá origem no reuso das águas residuárias, sendo que a carga contaminante aumentará em um 14%.

ABSTRACT --- A model was developed using dynamic systems to estimate water supply and demand, as well as wastewater generation from the consumers at Piracicaba, Capivari and Jundiaí River Water Basins (PCJ-RWB). The model developed is intended to be used as a tool to help to analyze water resources management alternatives for policy makers and decision takers at PCJ-RWB Committee. The model was calibrated and validated using available information from the 90s. A run was performed using a 30 years time frame and keeping the actual water supply and demand rates. Under these considerations, it is expected an increment of about 32% on water demand with respect to 2004, that 37% of available water volume will be from wastewater reuse, and that the waste load will increase 14%.

Palavras-chave: recursos hídricos, modelagem, dinâmica de sistemas.

1) Bolsista CNPq, CT-HIDRO PDJ, Pós-Doutorando no Departamento de Engenharia Rural na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias 11, Agronomia, Piracicaba, SP 13418-900. Telefone: (19)3447-8569 Fax: (19) 3435-1840, e-mail: rsanchezr@asabe.org

2) Professor Titular no Departamento de Engenharia Rural na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, e-mail: mvfolega@esalq.usp.br

3) Doutoranda no Departamento de Ecologia na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/CENA, Universidade de São Paulo, email: albamaría.orellana@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

A problemática da água é extremamente complexa. Segundo Ribeiro e Galizoni (2000), tem diferentes dimensões: **a)** A dificuldade na obtenção da água é um problema vivido e manifesto principalmente pelas populações rurais que são consumidores diretos; a população urbana consome esse recurso através de empresas distribuidoras; **b)** A problemática da água é visualizada de forma diferenciada de acordo com o nível de renda das pessoas; **c)** A escassez da água é percebida de forma diferente, de acordo com a escala de consumo; **d)** Os problemas de água manifestam-se de forma qualitativa e quantitativa numa mesma região ou localidade; **e)** A água é um recurso essencial para a vida; de aí a preocupação crescente da sociedade por sua conservação e uso adequado. São muitas as perspectivas, interesses, percepções e alternativas de uso dos recursos hídricos, dada às diversidades de agentes, posições, rendas, prioridades e localizações.

Faz-se necessário então criar ferramentas de toma de decisão nas estruturas de gerenciamento dos recursos hídricos para garantir a sustentabilidade do uso da água. Objetivando estabelecer um sistema de deveres e direitos de uso desse recurso, a fim de evidenciar seu valor econômico e, assim, estimular seu uso racional e promover a responsabilidade dos usuários, o Brasil vem implementando mecanismos inovadores para o uso e a gestão dos recursos hídricos. Em 1997, foi aprovado o Código das Águas (Lei 9.433), considerando o recurso hídrico um item “vulnerável, finito, escasso em quantidade e qualidade” e um bem econômico que deve ser pago (Freire, 2001; Petrella, 2001; Gesualdi, 2001). Na década de 80, no Brasil, começaram a se manifestar problemas localizados de escassez de água. A falta deste recurso torna-se mais crítica nas regiões metropolitanas. O Estado de São Paulo tem regiões em situações precárias: na bacia do Alto Tietê, são apenas 240 m³/habitante/ano; na bacia do Piracicaba, Capivari e Jundiaí, são apenas 400 m³/habitante/ano; sendo que o mínimo é 2.900 m³/habitante/ano (PERH, 2004, HDR, 2006). Para satisfazer essa demanda é necessário recorrer à água da bacia do Piracicaba (PERH, 2004), visando-se assim, importantes desafios para a população desta região.

A área objeto do estudo foram as Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ). Essas bacias fazem parte da atual Política de Recursos Hídricos que no Brasil instituiu a Agência Nacional de Águas (ANA) com a competência para implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH), o manejo e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União.

A importância da irrigação na gestão da água está diretamente ligada com a questão da sustentabilidade ambiental, já que este setor é responsável pela produção de alimentos e é um dos maiores consumidores de recursos hídricos; igualmente, outras atividades agrícolas, tais como a criação de animais demanda da água. Além do anterior, o aumento nas rendas da população das

idades e do campo, possibilitará uma melhoria no padrão de vida. Dessa forma, a demanda de água também crescerá. Adicionalmente, o aumento natural da população implica um crescimento substancial na demanda d'água.

Tudo isso nos leva ao seguinte questionamento: até onde é possível manter o crescimento das atividades produtivas nos diversos setores da economia, e ainda satisfazer as demandas crescentes da população sem prejudicar a sustentabilidade dos recursos hídricos? Sem dúvida, esse é um aspecto importante a ser respondido com o Modelo de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari, e Jundiaí (MRH-PCJ) desenvolvido nesta pesquisa.

O MRH-PCJ visa constituir-se num instrumento de avaliação do sistema de recursos hídricos, nas bacias objeto de estudo utilizando uma perspectiva de dinâmica de sistemas procurando interconectar os elementos ambientais, físicos, sociais e econômicos que explicam a dinâmica de comportamento, tanto da oferta como da demanda de recursos hídricos das BH-PCJ.

Os resultados apresentados se derivam de uma análise preliminar das simulações realizadas com o MRH-CPJ. O período escolhido como horizonte temporal foi de 30 anos. Esse período se enquadra dentro do espaço do tempo (25-30 anos) que é normalmente empregado para a implantação da maioria dos planos de desenvolvimento sócio-econômico (Orellana González, 2006). No período referido foram estimadas as mudanças, tanto nas demandas de água dos diferentes atores, como no fornecimento deste recurso. Neste cenário as demandas e a oferta do recurso estão determinadas de acordo as suas tendências atuais de desenvolvimento.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Recursos Hídricos e Enfoque Sistêmico

Existe relação direta entre os recursos hídricos e o enfoque sistêmico, pois os recursos hídricos são sistêmicos. A teoria dos sistemas é a base para os estudos sistêmicos. O estudo dos sistemas foi introduzido nas ciências sociais por Chorley, em 1962 (Gomes, 2005). Neste sentido precursor, Christofolletti (1987) cita como pioneiros: Straler, em 1950, Culling, em 1957, e Hack, em 1960.

O princípio elementar do estudo sistêmico é o da conectividade. Entende-se sistema como um conjunto de elementos com ligações entre si e o ambiente. Cada sistema se compõe de subsistemas, e todos formam parte de um sistema maior, cada um é autônomo e simultaneamente aberto e integrado ao meio, tendo inter-relação direta com este (Santos, 1982).

O sistema aberto permite relação constante de intercâmbios com sua circunvizinhança, pois se modifica constantemente. De acordo com Cristofolletti (1979), o sistema deve ter elementos, relações, atributos, variáveis, entrada e saída. Os elementos, atributos e variáveis significam a

composição do sistema; a qualidade destes elementos e as variáveis significam as medidas. A entrada é constituída por aquilo que o sistema recebe para o seu funcionamento. A saída está constituída pelos produtos que o sistema fornece. As relações e interações se expressam por meio de fluxos que mostram a dinâmica do sistema.

Utiliza-se no manejo dos recursos hídricos o enfoque sistêmico na análise e no aperfeiçoamento dos sistemas. Compreendo-se que as unidades que conformam o sistema de recursos hídricos de uma bacia são um sistema dinâmico e complexo, dentro dos limites físicos de uma bacia, onde podem co-existir múltiplas atividades e explorações que interagem com insumos tais como trabalho, energia, capital, adubos, defensivos, e produzindo produtos agrícolas, energia, resíduos e contaminantes de origem agrícolas, etc. (Costa, 1993).

Mas, a sustentabilidade dos recursos hídricos deve estar vinculada à capacidade dos usuários destes recursos de conservarem ou aumentarem sua qualidade de vida, mantendo e garantindo estes recursos para as próximas gerações.

2.2 - Dinâmica de Sistemas: Simulação e Análise

A metodologia *System Dynamics*, denominada aqui como Dinâmica de Sistemas (DS), é fundamentada e derivada da Teoria de Controle de Servomecanismos, que foi desenvolvida e utilizada na engenharia militar durante a Segunda Guerra Mundial (Forrester, 1961).

O professor J. W. Forrester, do *Massachusetts Institute of Technology*, desenvolveu originalmente o conceito. A proposta inicial foi desenvolver baseado na retroalimentação de informação, círculos de causalidade e simulação por computador, uma metodologia para entender a dinâmica de complexos problemas sociais e de negócios.

O princípio fundamental dessa metodologia é que todo comportamento dinâmico é consequência da estrutura do sistema (POWERSIM, 1996). Este se caracteriza por apresentar mudanças ao longo do tempo. Podem ser incluídos sistemas econômicos, biológicos, sociais, psicológicos, gerenciais, ecológicos e todos aqueles que manifestam processos de retroalimentação.

Segundo Richardson (1991), as principais características que envolvem a metodologia de DS são: **a)** Definição dos problemas dinamicamente; **b)** Enfoque nas características intrínsecas dos sistemas; **c)** Conceituação dos sistemas reais através da interconexão contínua de círculos de retroalimentação e de casualidade; **d)** Identificação de estoques; e fluxos de entrada e saída; **e)** Formulação de um modelo comportamental, capaz de reproduzir a dinâmica do problema; **f)** Entendimentos e esclarecimentos derivados de mudanças políticas efetuadas no modelo e seus consequentes resultados; e, **g)** Implementação de mudanças e novas políticas com base nesses entendimentos.

2.3 – O que é um modelo de simulação dinâmica e qual é o seu uso?

Os modelos de simulação dinâmica são descrições abstratas do mundo real que permitem representar problemas complexos caracterizados por sua dinâmica, não-linearidade, relações de retroalimentação e defasagens em tempo e espaço (Wiazowski *et al.*, 1999). Um modelo de simulação dinâmica deve capturar somente os fatores essenciais de um sistema real e deve abstrair-se dos demais fatores. O uso principal dos modelos é o de comunicar um ponto de vista do mundo, não procuram ser a realidade, mas procuram se aproximar a ela. Esta característica dos modelos permite compreender um problema específico, e visa prever o comportamento do sistema (Pérez Maqueo *et al.*, 2006). O usuário deve estar sempre consciente das limitações do modelo que está utilizando.

Na pesquisa científica, os modelos são utilizados para tentar compreender o mundo real e a estrutura lógica dos sistemas. Tenta-se prever o estado futuro ao que poderia levar um processo dinâmico qualquer. Outra aplicação é para “controlar”, em outras palavras, para intervir, manipular, o criar restrições guiadas do comportamento de um sistema para obter uma condição desejada no final. Mas para isto, a informação disponível é um insumo muito importante.

Existem diversas formas de utilizar modelos de simulação para focar um problema, já que podem se construir modelos para tomadores de decisões ou para pesquisadores, as funções deles são diferentes. Existem situações onde não existe modelo e é preciso criá-lo, gerando as equações que o representam. Contudo, quando se participa desde a concepção até a construção do modelo, a compreensão do problema particular que está sendo modelado é maior.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O pensamento sistêmico envolve mudanças de paradigmas sobre como as coisas funcionam. Esta metodologia facilita a visualização das inter-relações entre os elementos dos sistemas; identifica soluções ao longo prazo para os problemas; procura pontos onde pequenas mudanças trarão efeitos positivos ao sistema; e evita soluções que tratam apenas dos sintomas dos problemas (POWERSIM, 1996).

3.1 - Desenvolvimento de um Modelo de Dinâmica de Sistemas

Através da teoria da realimentação de informação, do conhecimento do processo de tomada de decisão do problema em questão, de uma ferramenta que permita representar o comportamento de sistemas complexos e de um computador para simular modelos matemáticos, é possível ter, controlar e explorar um laboratório gerencial.

As etapas em que se descreve o desenvolvimento de um modelo de DS são (Forrester, 1961):

1. Definição do problema (ou metas): identificar claramente o problema a ser explorado, bem como as questões a serem respondidas.

2. Descrição da situação: devem se investigar os fatores que interagem para criar os sintomas observados, visualizando-os, relacionando-os e descrevendo-os.

3. Modelagem (modelo matemático): a arte da modelagem é subjetiva, e no final nunca se pode dizer que o modelo está correto ou terminado. Pode-se, sim, defini-lo como uma percepção subjetiva para representar a realidade, e explicar um problema específico.

4. Simulação do modelo: permite analisar e operar sistemas complexos, propondo determinar qual o desempenho de um sistema real e seu comportamento em uma variedade de condições ao longo do tempo; levando em consideração: horizonte de tempo, passo de tempo (*step*), e o método de integração.

5. Interpretação: é nesta etapa que se aprende mais, porque as condições experimentais são completamente conhecidas, controláveis e reproduzíveis; então, as mudanças no comportamento do sistema podem ser traçadas diretamente para suas causas. Embora esta metodologia seja útil para verificar possíveis resultados de estratégias específicas, ela não tem por objetivo fazer previsões.

6. Revisão do sistema e repetição do experimento: quando os resultados representam adequadamente as características importantes de comportamento do passado, o próximo passo para a busca de melhoria é redesenhar a estrutura e a política do sistema.

A utilidade dos modelos decorre da impossibilidade de se realizar experimentos com o sistema real.

3.2 - Demanda de água dos diversos setores

A metodologia para a definição dos parâmetros da demanda de água, tem com base o estudo *in situ* dos consumos de água pelos principais consumidores e produtores da região de estudo realizados e apresentados nos diversos Planos Estaduais, e fontes de informação secundária da agências vinculadas aos setores produtivos, e de administração do recurso hídrico.

Para ser efetiva e apurada, a modelagem da agricultura irrigada e da criação de animais na BH-PCJ, é necessário o conhecimento detalhado das condições de uso dos recursos hídricos, que por sua vez depende do cadastro dos usuários para todas as atividades e da utilização que os mesmos fazem da água. Assim, poderiam ser levantados dados nas sub-bacias críticas no tocante à disponibilidade de água, cadastro de irrigantes, qualidade das águas superficiais e vazão correspondentes ao Q_7^{10} , mas existem lacunas na informação o que criou algumas incertezas nos consumos e índices usados durante a modelagem.

Finalmente, para analisar o impacto na sustentabilidade dos recursos hídricos, os diversos setores componentes da oferta e demanda da água foram relacionados ao Índice de Sustentabilidade,

proposto por Xu *et al.* (2002) para avaliar a situação existente ao longo do tempo na BH-PCJ. Este aspecto será motivo de outros trabalhos a ser desenvolvidos posteriormente.

3.3 - Software STELLA 9.0 e suas estruturas básicas

O *software* utilizado foi o *STELLA* 9.0. Esta ferramenta permitiu a construção e a simulação do modelo dinâmico, considerando estoques, fluxos e relações circulares de retroalimentação. Neste software as variáveis de estado são aquelas que se acumulam no sistema. As variáveis de controle, conhecidas como fluxos ou taxas, modificam os estoques em cada unidade de tempo. Estoques e fluxos coexistem, é a estrutura pela qual se descreve a ação. Os transformadores são os modificadores dos fluxos dentro do sistema. Os conectores são as últimas peças para a construção dos modelos, através dessa ligação se indica qual a direção de influência entre uma estrutura e outra (STELLA, 2001) (Figura 1).

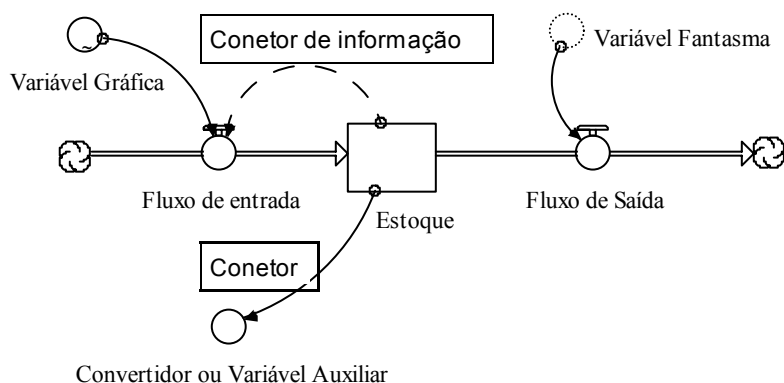


Figura 1 - Símbolos usados pelo *software* *STELLA* 9.0 na representação de: a) estoque; b) fluxos com taxa de entrada y de saída; c) conetor de informação inicial; d) conetor; e) convertidor ou variável auxiliar; f) variável gráfica; e g) variável fantasma (Orellana González, 2006).

A sua escolha foi devido ao fato deste ser frequentemente usado por pesquisadores que trabalham com o enfoque de dinâmica de sistemas na modelagem de problemas complexos que integram variáveis físicas, sociais e econômicas, como é o caso dos recursos hídricos.

3.4 - Validação do Modelo de Simulação Dinâmica

A validação do modelo de simulação dinâmica deve ter em consideração à consistência ou à lógica de sua estrutura interna (Ruth e Hannon, 1994). Para estudar o comportamento real de um sistema, é necessário que o modelo consiga reproduzi-lo (Forrester, 1961; ITHINK ANALYST, 1997; Grcic e Munitic, 2005; Sterman, 2005). A validação dos modelos de simulação é julgada pela sua conveniência e utilidade (Forrester, 1980). A validação de um modelo é a demonstração de que seu formalismo está correto; em outras palavras, que o código do programa e a matemática são mecanicamente corretos. A calibração é a avaliação e o ajuste dos parâmetros e constantes do

modelo para assim melhorar a concordância entre os resultados a serem obtidos e o conjunto de dados iniciais (Rykiel, 1996).

Através da utilização de procedimentos de comparação do comportamento do sistema de recursos hídricos na BH-PCJ na década dos anos 90, foi validado, calibrado, e avaliado o modelo de simulação dinâmica proposto neste trabalho; sendo confiável e caracterizando adequadamente o sistema hídrico das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

3.5 - Caracterização da Região de Estudo

As três bacias componentes do sistema BH-PCJ têm uma área de 15.414 km². Abarcando 64 municípios; destes 60 pertencem ao estado de São Paulo e, quatro a Minas Gerais (PERH, 2005). Os três rios (Figura 2) são afluentes do rio Tietê e pertencem a BH-Rio Tietê.

A população estimada na Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos 5 (UGRHI-5), pelo PERH (2005), para o ano 2004 é de 4.434.937 habitantes na área urbana, e de 223.998 habitantes na área rural. As atividades econômicas principais são de caráter industrial, agropecuário, agroindustrial, de mineração, de recreação e paisagismo, e, de comércio e serviços.



Figura 2 - Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí (fonte: Lopes, s/d).

3.6 - Estrutura do Sistema de Recursos Hídricos

A Figura 3 representa a estrutura do sistema dos recursos hídricos a modelar, para analisar a sustentabilidade do recurso água na região de estudo.

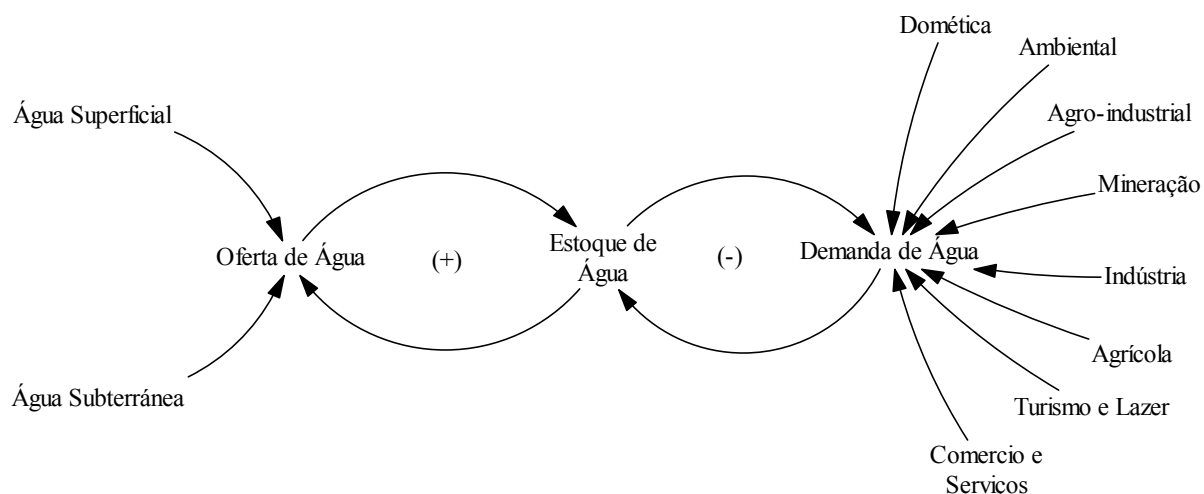


Figura 3 - Diagrama Causal do Sistema de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

Onde as variáveis que representam à oferta de recursos hídricos são: as águas subterrâneas e as águas superficiais. A demanda de água, esta constituída pela demanda dos setores agrícola, agroindústria, indústria, consumo doméstico, turismo e lazer, comercio e serviços, mineração, e a demanda ambiental.

A equação do balance hídrico (1) e a equação da demanda total na BH-PCJ (2), expressas como equação diferencial no MRH-PCJ são:

$$\text{BalanHidric}(t) = \text{BalanHidric}(t - dt) + (\text{OFERTA} - \text{Salida_agua_BHPCJ} - \text{Demanda_Total_PCJ}) * dt \quad (1)$$

$$\text{Demanda_Total_PCJ} = \text{VTRAG} + \text{VTRAI} + \text{VTRamb} + \text{VTRInd} + \text{VTRpop} + \text{VTRPEC} + (\text{Demanda_RMSP} * 86400 * 365) \quad (2)$$

Em que,

BalanHidric(t) – Balance Hídrico no ano t (m^3 / ano);

OFERTA – Oferta de água no ano t (m^3 / ano);

Salida_agua_BHPCJ – Volume de água descarregado a jusante da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (m^3 / ano);

Demanda_Total_PCJ – Volume de água total demandado pelas diversas atividades econômicas na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (m^3 / ano);

VTRAG – Volume Total de Água requerido pela agricultura (m^3 / ano);

VTRAI – Volume Total de Água requerido pela agro-industria (m^3 / ano);

VTRamb – Volume Total de Água requerido para garantir a vazão ecológica (m^3 / ano);

VTRInd – Volume Total de Água requerido pela industria (m^3 / ano);

VTRpop – Volume Total de Água requerido pela população rural e urbana (m^3 / ano);

VTRPEC – Volume Total de Água requerido pela pecuária (m^3 / ano);

Demanda_RMSP - Volume Total de Água requerido pela região metropolitana de São Paulo (m^3 / ano).

A Figura 4 representa a estrutura do sistema de recursos hídricos vinculados ao setor agrícola na região de estudo e proposta no MRH-PCJ.

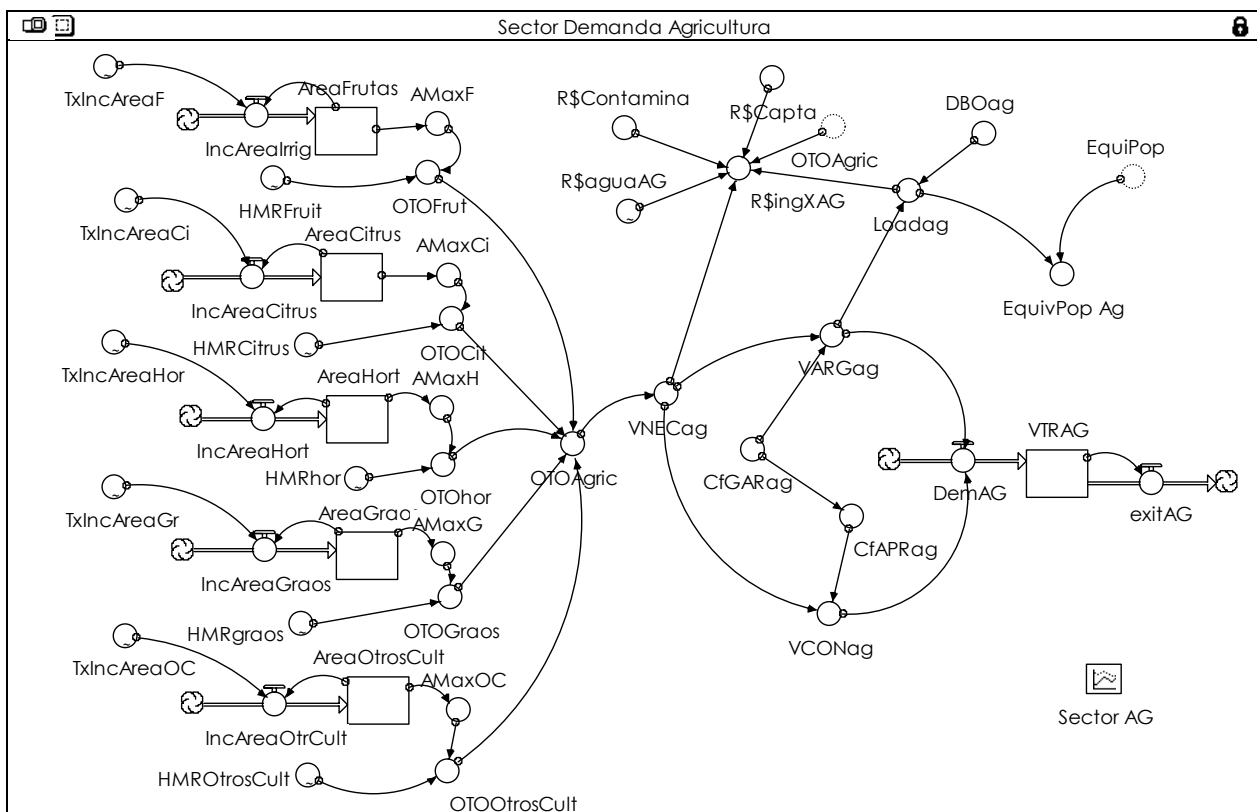


Figura 4 – Sector Demanda Agrícola do Modelo de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari, e Jundiá (MRH-PCJ).

Onde a variável que representam à irrigação é HMR_{xi} ($L s^{-1} ha^{-1}$), as áreas por cultivo é $Area_{xi}$ (ha), e o Volume Total Requerido pela Agricultura é $VTRAG_i$ ($m^3 ano^{-1}$); onde i representa cada ano analisado e x o valor particular da variável (cultivo) para cada ano. O volume de água necessária tem em consideração a demanda neta do cultivo mais as ineficiências dos sistemas de irrigação. Esta sendo considerado, em quatro agrupações, um total de 60 cultivos produzidos na BH-PCJ.

3.7 - Fontes de Informações e Dados

Muitos dos dados utilizados para desenvolver este trabalho são de ordem primaria, originados de entrevistas e coleta de informações de pessoas especializadas no tema e organizações vinculadas à agricultura nos municípios.

Outra parte dos dados é de natureza secundaria provenientes de arquivos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, das Prefeituras dos 64 municípios envolvidos, do Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari, e Jundiá (CBH-PCJ), da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, estadual e municipais, do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, do Departamento de Águas e Energia Elétrica, e da Secretaria de Agricultura e

Abastecimento do Estado de São Paulo. Também se utilizaram: estimações médias de requerimentos de água para diferentes culturas agrícolas e espécies animais; informações meteorológicas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e do Departamento Nacional de Meteorologia.

4 - RESULTADOS E CONCLUSÕES

Construiu-se um modelo de simulação explícito do sistema de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (MRH-PCJ). Os processos de validação e de calibração mostraram que a mecânica e a matemática do modelo estão em correspondência com a realidade. Na Tabela 1, e na Figura 5, pode-se observar que num período de simulação de 30 anos e mantendo as tendências de consumo e de oferta de água na BH-PCJ, a precipitação anual média igual a 1.460 mm, e um *time step* de um ano deve-se esperar um incremento ao longo do tempo de 32% na demanda total de água nas bacias.

Tabela 1 - Oferta e Demanda na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari, e Jundiá simulada para 30 anos usando o Modelo de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari, e Jundiá (MRH-PCJ)

Ano	Oferta	Demanda Total (MMC/ano)*	Diferencia
2004	6,576	3,881	2,695
2007	6,918	4,326	2,592
2010	6,955	4,402	2,553
2015	6,987	4,485	2,502
2020	7,371	5,007	2,364
2025	7,562	5,287	2,275
2030	7,218	4,899	2,319
2034	7,360	5,112	2,248

(*): valores em milhões de metros cúbicos (MMC) por ano.

A fim de garantir os aumentos na demanda de água pelos diferentes sectores é necessário aumentar em um 25% o reuso das águas residuárias. Este aumento no reuso das águas residuárias vai incrementar a oferta de água em um 12%, o que equivalerá a um 37% do volume total de água disponível.

Novas estações de tratamento de esgoto e de águas residuárias deverão ser construídas. Isto visará diminuir a carga contaminante que será despejada nos corpos de água, já que se estima que está aumentando em um 14% ao longo do período de simulação.

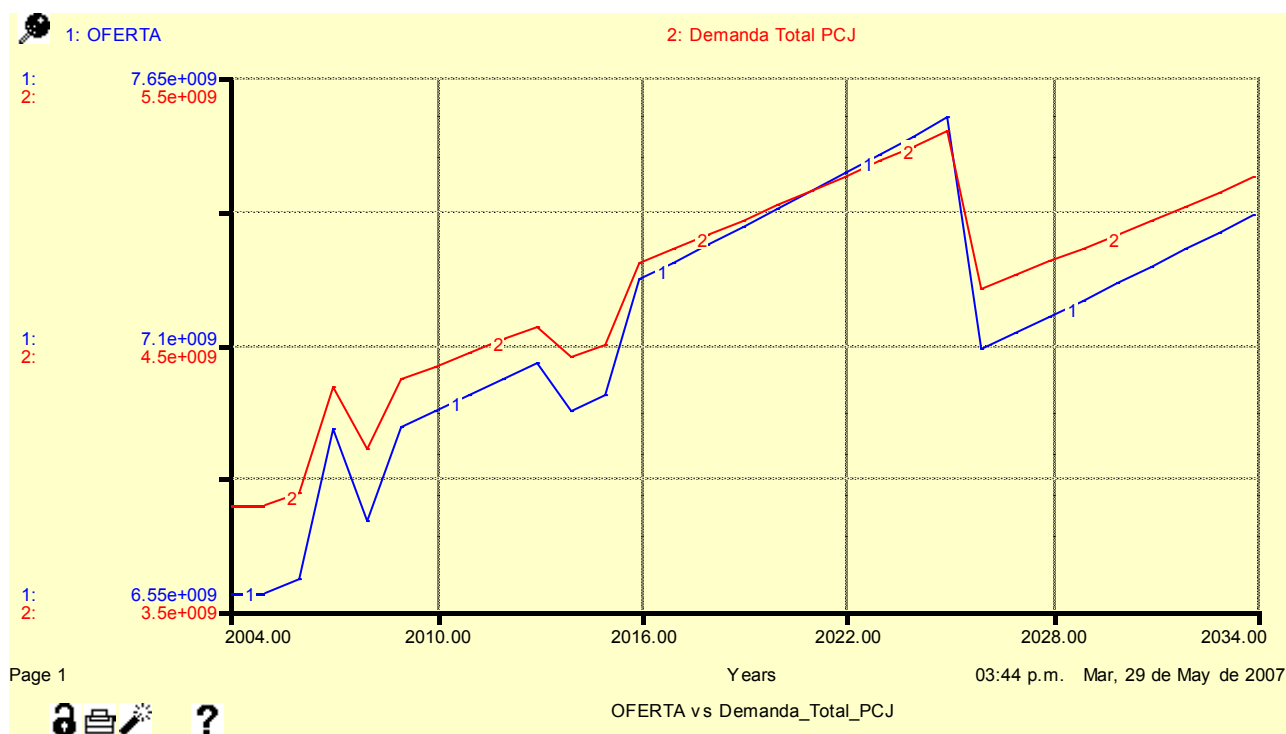


Figura 5 – Oferta versus Demanda Total (em metros cúbicos) na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari, e Jundiá calculados com o Modelo de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Piracaicaba, Capivari, e Jundiá (MRH-PCJ).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pelo apoio financeiro.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. *LEI No 9.433, 08 DE JANEIRO DE 1997.* Disponível em URL: https://www.planalto.gov.br/CCivil_03/Leis/L9433.htm

CHRISTOFOLETTI, A. (1987) *Significância da teoria de sistemas em geografia física. Boletim de geografia teórica.* São Paulo, p.119-127.

----- (1979). *Análise de Sistemas em Geografia.* São Paulo, HUCITEC: Ed. da Universidade de São Paulo, 144 p.

[CBH-PCJ] Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. *Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004. Relatório 1 - Síntese* [on-line]. Disponível em <URL: http://www.comitepcj.sp.gov.br/CT-PB/PERH-Rel1-Sintese_Capitulo-03.pdf

[CNRH] Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resoluções CNRH [on-line]. 2000. Disponível em: <http://www.cnrh-srh.gov.br/>

- COSTA, M. P. B. (jan/abr.1993) “*Agroecologia: uma alternativa viável às áreas reformadas e à produção familiar*”. Revista Reforma Agrária, v. 23, n. 1, p. 53-69.
- FORRESTER, J. W. (1980). “*Information sources for modeling the national economy*”. Journal of the American Statistical Association, v. 75, n. 371, p. 555-566.
- (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge, MA: M.I.T. Press. 464 p.
- FREIRE, A. G. (2001). *Águas do Jequitinhonha*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- GESUALDI, F. (2001) “*Giù lê mani dai servize pubblici: Il caso dell acqua privatizzata*”, in *Acqua bene comune dell umanità: probleme e prospettive*. CIPSI (org), Udine: CeVI.
- GOMES, I. (2005). *Características dos sistemas naturais da área sul da regional Barreiro (dentro dos grupos Itabira e Piracicaba) e possibilidades de uso*. Disponível em: <http://members.tripod.com> . Acesso em: agosto 2006.
- GRCIC, B.; MUNITIC, A. (2005). *System dynamics approach to validation*. Disponível em: <http://www.efst.hr/~grcic/b2.html> . Acesso em: julho 2006.
- HDR – HUMAN DEVELOPMENT REPORT 2006. (2006). *Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis*. United Nations Development Program: Hoechstetter Printing Co., New York, NY, USA. 440 p.
- ITHINK ANALYST. (1997). *An introduction to systems thinking*. High Performance Systems, Inc. 186p.
- LOPES, P. D. *Projeto Marca D'Água* [on-line]. Disponível em <URL: <http://www.marcadagua.org.br/bacia15.htm>
- ORELLANA GONZÁLEZ, A. M. G. (2006). *Sostenibilidad De Los Recursos Hídricos En São Miguel Do Anta, Minas Gerais: Un Enfoque De Dinámica De Sistemas*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa. 128 p.
- PETRELLA, R. “*Per salvare l acqua viva*” in *Acqua bene comune dell umanità: probleme e prospettive*. CIPSI (org), Udine, CeVI, 2001.
- PEREZ MAQUEO, O.; DELFÍN, C.; FREGOSO, A.; COTLER, H. (2006). “*Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos*”. Gaceta Ecológica, No. 78, pp. 65-84.
- PLANO ESTADUAL DOS RECURSOS HIDRICOS 2004-2007 DO ESTADO DE SÃO PAULO (PERH). (2005). *Relatório Síntese do Plano*. Consórcio JMR Engecorps. 189 p.
- PLANO ESTADUAL DOS RECURSOS HIDRICOS 2004-2007 DO ESTADO DE SÃO PAULO (PERH). (2004). *Sumario Executivo*. Consórcio JMR Engecorps. 25 p.
- POWERSIM Co. (1996). *Introduction to system dynamics*. Reston: Powersim Press, 44 p.

- RIBEIRO, A. e GALIZONI, F. (2000) “*Sistemas agrários, recursos naturais e migrações no alto Jequitinhonha, Minas Gerais*” in *População e meio ambiente: debates e desafios*. Org. por Torres, H. e Costa, H., São Paulo: SENAC.
- RICHARDSON, G. P. (1991). “*System dynamics: simulation for policy analysis from a feedback perspective*”. In: *Modeling for Management I: Qualitative Simulation Modeling and Analysis*. New York: Springer Verlag. p. 144-169.
- RUTH, M.; HANNON, B. (1994). *Modeling dynamic economic systems*. New York: Springer-Verlag 339 p.
- RYKIEL, E. J. (1996). “*Testing ecological models. The meaning of validation*”. *Ecological Modelling* 90, pp. 229-244.
- SANTOS, M. (1982). “*O espaço e os seus elementos: questões de método*”. *Revista Geografia e Ensino*. Belo Horizonte, MG, v. 1, n. 1, p. 19-30.
- STELLA. (2001). *Introduction to systems thinking*. NH: High Performance Systems, 165 p.
- STERMAN, J. D. (2005). *Systems dynamics modeling for project management*. Disponível em: <http://www.systemdynamics.org> . Acesso em: agosto 2006.
- WIAZOWSKI, B. A.; SILVA, C. A. B.; LOURENZANI, W. L. (1999). “*O uso de sistemas dinâmicos como ferramenta de aprendizagem*”, in *Economia Rural* . Coord. por SILVA JUNIOR, A.G., Viçosa: UFV, v. 3, n. 10, p. 29-33.
- XU, Z.X., TAKEUCHI, K., ISHIDARA, H., ZHANG, X.W. (2002). “*Sustainability Analysis for Yellow River Water Resources Using the System Dynamics Approach*”. *Water Resources Management*, 16: 239-261.