

SIMULAÇÃO DA OFERTA E DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS NAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARÍ E JUNDIAÍ: UMA ANÁLISE EM DINÂMICA DE SISTEMAS

RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ-ROMÁN¹; CORNÉLIO ALBERTO ZOLIN²; ALBA MARÍA GUADALUPE ORELLANA GONZÁLEZ³ E MARCOS VINICIUS FOLEGATTI⁴

¹ FCA/UNESP. Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone: (14) 3811-7165. E-mail: rmsroman@fca.unesp.br

² EMBRAPA/AGROSSILVIPASTORIL. Av. Dos Jacarandás, 2639, CEP 78550-003, Sinop, MT. Fone: (66) 3532-7626. E-mail: cornelio.zolin@embrapa.br

³ D.Sc. Ecologia Aplicada; E-mail: amorellana@hotmail.com

⁴ LEB/ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone:(19) 3447-8553. E-mail: mvfolega@esalq.usp.br

1 RESUMO

Utilizando um modelo de simulação em Dinâmica de Sistemas desenvolvido como ferramenta para auxiliar na análise das alternativas para a gestão dos recursos hídricos, simulou-se o efeito de diferentes políticas de gestão ao longo de 40 anos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ). Através deste modelo foram simulados a disponibilidade e demanda de água, bem como as cargas contaminantes provindas dos diferentes setores usuários. Seis cenários foram simulados utilizando-se o valor da precipitação média anual, mudanças na disponibilidade e demanda de água e a vazão revertidas das BH-PCJ para a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BH-AT). Para o cenário *Business as Usual*, em 2010 o Índice de Sustentabilidade que era de 0,41 em 2010 diminuiu até 0,22 em 2050; o Índice de Falkenmark, que era de 1.302 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ em 2010, passou a ser de 774 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ em 2054; e o Índice de Uso da Água aumentou de 80,7% em 2010, para 125,5% em 2050. Observou-se que as questões relativas ao saneamento se afiguram como sendo as mais importantes para a gestão dos recursos hídricos nas BH-PCJ.

Palavras-Chave: recursos hídricos, modelagem, dinâmica de sistemas, sustentabilidade

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; ZOLIN, C. A.; GONZÁLEZ, A. M. G. O.; FOLEGATTI, M. V.

WATER BALANCE SIMULATION FOR THE PIRACICABA, CAPIVARÍ AND JUNDIAÍ RIVER BASINS: A SYSTEM DYNAMIC APPROACH

2 ABSTRACT

A dynamic systems water resources simulation model was developed as a tool to help to analyze water resources management alternatives for the Piracicaba, Capivari and Jundiaí River Water Basins (BH-PCJ). Different politics policy were simulated for 40-year. The model estimates water supply and demand, as well as contamination load from several consumers. Six runs were performed using average precipitation value, changing water supply

and demand, and different volumes diverted from BH-PCJ to BH-Alto Tietê. For the *Business as Usual*, the Sustainability Index went from 0.41 in 2010 to 0.22 by 2050; the Water Use Index changed from 80.7% in 2010, to 125.5% by 2050; and the Falkenmark Index changed from 1,302 m³ person⁻¹ year⁻¹ in 2010 to 774 m³ P⁻¹ year⁻¹ by 2050. It was noticed that sanitation is one of the biggest concerns in the near future at PCJ River Basin.

Keywords: water resources, modeling, systems dynamic, sustainability

3 INTRODUÇÃO

Com a preocupação crescente em relação aos recursos hídricos, este assunto assumiu importância destacada tanto na escala regional (e.g., European Union, 2000) quanto na global (United Nations, 2002, 2006; World Water Council, 2006; Shiklomanov, 1988; Constanza, 1997) e a gestão integrada dos recursos hídricos, correspondentemente, cada vez mais se torna um paradigma científico (Simonović, 2009; Kundzewicz et al., 2007).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), o Brasil é, reconhecidamente, possuidor de um dos patrimônios hídricos mais importantes da Terra. A magnitude desse patrimônio dá também a medida da responsabilidade dos brasileiros quanto a sua conservação e ao uso sustentável, benefício próprio, do equilíbrio ecológico planetário e da sobrevivência da humanidade.

Embora o Brasil seja o país mais bem dotado de reservas hídricas da Terra, estas por sua vez não estão distribuídas de acordo com a concentração regional da sua população. Nem sempre onde se localizam as maiores concentrações urbanas e altas demandas, estão presentes as maiores disponibilidades destas reservas hídricas, e isto causa uma grande dificuldade para a manutenção do abastecimento das regiões mais populosas (Zolin, 2011).

Um exemplo clássico dessa problemática é a bacia hidrográfica do Alto Tietê (BH-Alto Tietê), localizada no Estado de São Paulo e que se encontra em situação precária quanto à disponibilidade de água. Nesta bacia a oferta de água é de apenas 240 m³ hab⁻¹ ano⁻¹, sendo que o mínimo necessário, de acordo com a Human Development Report (HDR, 2006) é de 2.900 m³ hab⁻¹ ano⁻¹. Para satisfazer essa demanda tem sido necessário recorrer à transposição de água das bacias hidrográficas do Rio Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ) o que também compromete a disponibilidade hídrica dessa bacia.

Em condições críticas para a gestão dos recursos hídricos, como os das BH-PCJ, para a mitigação de tal situação requer a utilização de ferramentas que auxiliem na tomada de decisões dos formuladores de políticas, entidades governamentais e organizações da sociedade civil preocupados com a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Outro fator agravante nas BH-PCJ é a deterioração da qualidade da água pelo lançamento de esgotos, pois se estima que cerca de apenas 30% dos esgotos são tratados antes de serem lançado aos corpos hídricos. De acordo com o relatório sobre a conjuntura dos recursos hídricos do Brasil divulgado pela ANA (2012) a qualidade das águas das BH-PCJ está entre as piores do Brasil.

Segundo Folegatti et al. (2010), em casos como os das BH-PCJ, onde há um problema físico de disponibilidade de água (quando os recursos hídricos não são suficientes para atender as demandas dos diferentes setores usuários), a mitigação desse problema terá que se fundamentar basicamente em políticas de gestão, tanto econômicas quanto sociais e ambientais, que atendam esse propósito.

Nesse contexto de grande complexidade para a gestão das águas e correspondentemente importância econômica e social que a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e as BH-PCJ apresentam para o Brasil, surgem diversas indagações, tais como: qual será o impacto na sustentabilidade dos recursos hídricos nas BH-PCJ perante mudanças nos volumes de água revertidos para a BH-Alto Tietê? Qual seria o reflexo de uma política de redução do consumo de água pelo setor urbano na sustentabilidade dos recursos hídricos? Qual seria a perspectiva futura da sustentabilidade hídrica dessas bacias se fossem adotadas políticas que visassem estabilizar a quantidade de pessoas vivendo nas mesmas conjuntamente com o crescimento industrial? Qual política pública poderia ser mais promissora para a mitigação da problemática dos recursos hídricos nas BH-PCJ?

Tais perguntas em um sistema tão complexo como o apresentado não são de fácil resposta. A problemática que envolve a questão da água não se apresenta de forma linear no tempo e espaço e nem sempre as causas são proporcionais aos estímulos que tal sistema recebe. Para isso, é necessário que se utilizem ferramentas capazes de abordar de uma forma integrada as principais variáveis que afetam tal sistema, de modo a estudar quais políticas poderiam ser mais adequadas para mitigar os problemas relacionados aos recursos hídricos nas BH-PCJ.

Nesse sentido os modelos de gestão fundamentados na teoria dos sistemas apresentam-se como uma potencial ferramenta para o auxílio no estudo e compreensão de sistemas de recursos hídricos complexos como os das BH-PCJ.

Assim, baseados nas experiências de outros países e outras bacias hidrográficas, objetivou-se com o presente trabalho identificar possíveis alternativas de políticas de gestão, bem como seus prognósticos e consequências para a gestão dos recursos hídricos das BH-PCJ, utilizando-se para isso o Modelo de Gestão de Recursos Hídricos (MRH-PCJ) desenvolvido para essas bacias por Sánchez-Román & Folegatti (2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Pensamento sistêmico e modelagem

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 de longo prazo para os problemas; procura pontos onde pequenas mudanças trarão efeitos positivos ao sistema e evitam soluções que tratam apenas dos sintomas dos problemas (POWERSIM, 1996). A utilidade dos modelos em Dinâmica de Sistemas decorre da impossibilidade de se realizar experimentos com o sistema real.

A Dinâmica de Sistemas permite que seja possível observar e entender o comportamento e a resposta de um sistema modelado, aos estímulos que este recebe ao longo do tempo. Os modelos de simulação dinâmica consistem de equações que descrevem as mudanças dinâmicas dos sistemas. Se o estado inicial de um sistema é conhecido em um determinado intervalo de tempo, um novo estado desse mesmo sistema pode ser determinado em um intervalo posterior, fazendo com que as mudanças ao longo do horizonte de simulação possam ser determinadas para o intervalo de tempo desejado, ajudando nossa capacidade de fazer predições de estados futuros do sistema (Winz et al., 2009).

4.2 Fonte de informações e dados

Muitos dos dados utilizados para desenvolver este trabalho são de ordem primária, 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 secundária provenientes de arquivos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada; das Prefeituras dos 64 municípios envolvidos; do CBH-PCJ; da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, em nível estadual e municipal; 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: estimativas 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.

4.3 Descrição do sistema modelado

As três bacias componentes do sistema BH-PCJ (Figura 1) possuem uma área de 15.414 km², abrangendo 64 municípios, sendo que 60 destes pertencem ao estado de São Paulo e quatro ao estado de Minas Gerais (PERH, 2007). A população estimada na Unidade de Gestão dos Recursos Hídricos 5 (UGRHI-5) é de aproximadamente 5.000.000 de habitantes, segundo a Agência das Bacias PCJ (ABPCJ, 2012). As atividades econômicas principais são de caráter industrial, agropecuário, agroindustrial, mineração, comércio, serviços, recreação e paisagismo.



Figura 1. Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (fonte: PERH, 2005).

Seis diferentes cenários foram simulados utilizando o MRH-PCJ, contemplando variações na quantidade de água enviada das BH-PCJ para a BH-Alto Tietê, bem como a redução do consumo de água pela população e estabilização do desenvolvimento industrial e populacional, além do efeito de cada política na qualidade dos recursos hídricos dessas bacias.

O MRH-PCJ usa a dinâmica de sistemas na plataforma STELLA 9.0, este modelo interconecta os elementos ambientais, físicos, sociais e econômicos que explicam a dinâmica de comportamento, tanto da oferta como da demanda de recursos hídricos, e a geração de águas residuárias de diversos consumidores existentes nas BH-PCJ.

Este modelo foi desenvolvido visando seu uso como uma ferramenta para auxiliar os formuladores de políticas públicas e os tomadores de decisões sob as diversas alternativas de manejo dos recursos hídricos dentro do Comitê das BH-PCJ.

Foram realizadas nas BH-PCJ simulações para um período de 40 anos (2010-2050) onde variaram-se as taxas de consumo de água, crescimento populacional, desenvolvimento econômico e geração de águas residuais. A precipitação pluvial considerada nas simulações foi igual a $1.460 \text{ mm ano}^{-1}$, sendo esta a precipitação pluvial média anual de acordo com Irrigart (2004).

Os cenários considerados foram: a) o cenário “*Business as Usual*” – BaU, onde se manteve a quantidade de água revertida para a RMSP em $31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e as condições iniciais de desenvolvimento existentes nas BH-PCJ iguais às de 2010 ao longo dos 40 anos de simulação; b) o cenário 2 considerou variações das quantidades de água revertidas diminuindo em 2015 de 31 para $23,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ até 2025; de 2026 até 2036 para $15,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e de 2037 até 2054 para $7,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, mantendo-se constantes os demais parâmetros; c) o cenário 3 manteve de 2010 até 2014 os $31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, eliminando completamente a reversão de água para a RMSP de 2015 a 2050, e os outros parâmetros permaneceram sem alterações; d) o cenário 4 possui as mesmas considerações do cenário 3, mas considerando uma estabilização da população nas BH-PCJ a partir de 2015; e) o cenário 5 considerou o cenário 4 com uma redução no consumo de água pela população urbana de 450 para $250 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, de forma gradual, atingindo assim os padrões de consumo dos países mais desenvolvidos; f) o cenário 6 considerou o cenário 5 conjuntamente com a estabilização do crescimento industrial das BH-PCJ a partir de 2015.

Para analisar o impacto na sustentabilidade dos recursos hídricos o MRH-PCJ utiliza os Índices de Sustentabilidade dos Recursos Hídricos proposto por Xu et. al (2002) que define a relação entre a água disponível total e o consumo total por ano, o Índice de Uso da Água ou Índice de Vulnerabilidade dos recursos hídricos (Raskin et al. 1997) que define a relação entre o volume de água consumido e o volume de água total disponível por ano (sem incluir águas de reuso); e o Índice de Falkenmark que define a relação entre água disponível total e número de habitantes na bacia anualmente e a quantidade de pessoas por unidade de vazão (Falkenmark, 1989; Falkenmark, 2007).

Para estudar o efeito das políticas adotadas na diluição da carga contaminante lançada, calculou-se a concentração desta nos recursos hídricos das BH-PCJ, utilizando-se a equação 1.

$$C = \sum_{i=1}^N \frac{Load_i}{V_i} \quad (1)$$

Onde:

C - concentração da carga contaminante presente nos recursos hídricos das BH-PCJ (kg m^{-3});

$Load_i$ - Carga contaminante lançada por cada setor considerado no modelo (kg);

V_i - Volume lançado por cada setor (m^3).

O termo C da equação (1), que representa a relação entre as cargas contaminantes (Load) e os respectivos volumes lançados (V) por setor, pode ser estimado pela seguinte equação:

$$C = \frac{(\text{Load}_{\text{Ag}} + \text{Load}_{\text{AI}} + \text{Load}_{\text{Ind}} + \text{Load}_{\text{Amb}} + \text{Load}_{\text{Pec}} + \text{Load}_{\text{Pop}})}{(\text{V}_{\text{Ag}} + \text{V}_{\text{AI}} + \text{V}_{\text{Ind}} + \text{V}_{\text{Amb}} + \text{V}_{\text{Pec}} + \text{V}_{\text{Pop}})} \quad (2)$$

Onde:

- [] Ag - Setor Agrícola
- [] AI - Setor da Agroindústria
- [] Ind - Setor da Indústria
- [] Amb - Setor Ambiental
- [] Pec - Setor da Pecuária
- [] Pop - Setor da População

Os setores considerados para o cálculo da concentração da carga contaminante nos recursos hídricos bem como seus respectivos valores de carga lançada se encontram apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Carga contaminante (Load) lançada pelos diferentes setores produtivos (kg DBO dia⁻¹).

Indústrias	Alimentos	Papel e Celulose	Têxtil	Química	Metalúrgica
	500	500	500	500	500
Produção Animal	Bovino Carne	Bovino Leite	Suíno	Aves	
	15000	5000	20000	3500	
Agroindústria	Álcool	Açúcar			
	13,75	13,75			
Outros	Energético	Ambiental	População		
	500	5	300		

Adaptado de Sánchez-Román & Folegatti, 2008.

Na Figura 2 esta representada a estrutura de demanda de água pelo setor ambiental contida no MRH-PCJ, onde a concentração da carga contaminante dos recursos hídricos das BH-PCJ é função das cargas lançadas por cada setor, bem como os seus respectivos volumes lançados.

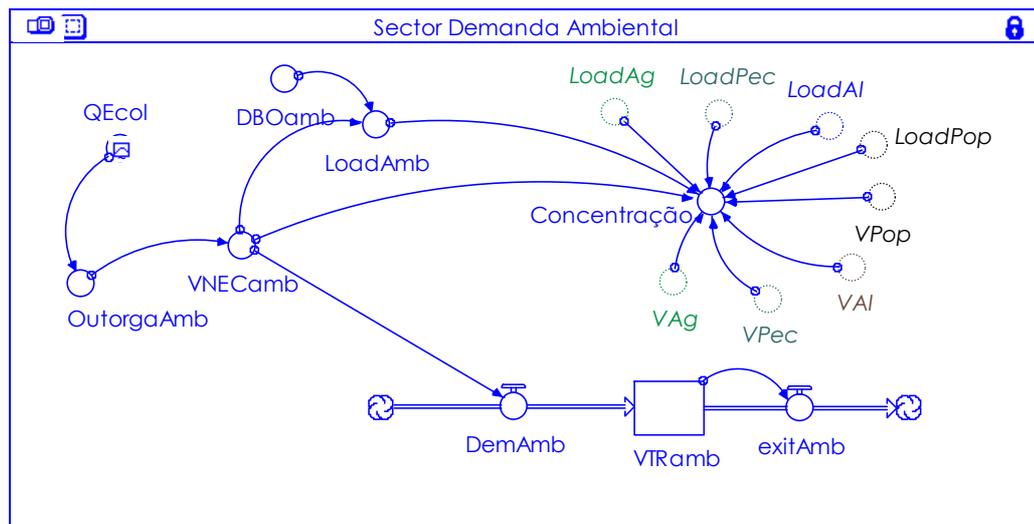


Figura 2. Setor de demanda ambiental representado pelo modelo de gestão de recursos hídricos das bacias PCJ (Sánchez-Román et al., 2011).

Em relação a estrutura do modelo de Dinâmica de Sistemas, é importante destacar que existem três tipos de variáveis: variáveis de nível ou estoque; variáveis de fluxo e os conversores ou variáveis auxiliares.

As variáveis de nível ou estoque são representadas por retângulos (VTRamb) e são variáveis de estado que expressam as principais acumulações no sistema. As variáveis de fluxo são indicadas por válvulas (DemAmb) e mostram as taxas de mudança nas variáveis de estoque que refletem as atividades que enchem ou esvaziam os estoques. Já os conversores, indicados por círculos (DBOamb e LoadAmb por exemplo), são variáveis intermediárias utilizadas para efetuar distintos cálculos. Além do mais, um modelo possui conectores representados por setas que sinalizam as relações de causa-efeito intrínsecas à estrutura do modelo (Sánchez-Román & Folegatti, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão apresentados os Índices de Sustentabilidade (IS) calculados pelo MRH-PCJ. Segundo Xu et. al (2002), quando o valor do IS é maior do que 0,2 existe baixo ou nenhum estresse na disponibilidade de água, se o valor do IS é menor que 0,2 ocorre condições de estresse hídrico e se esse valor for igual a zero, implica em uma oferta insustentável.

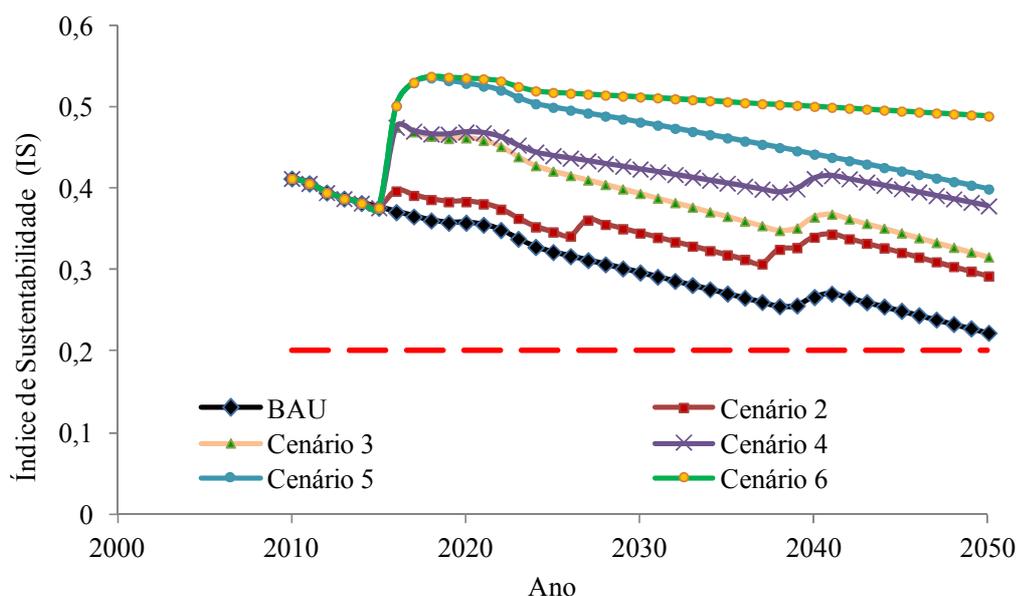


Figura 3. Índice de Sustentabilidade (Xu et al., 2002) para as BH-PCJ nos seis cenários estudados utilizando o MRH-PCJ (Sánchez-Román & Folegatti, 2008).

Com os resultados obtidos pode-se verificar que se permanecer a reversão das águas das BH-PCJ numa razão de $31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em 2050, praticamente, o IS atingirá o seu limite de 0,2, indicando que as BH-PCJ ficarão numa situação de estresse hídrico a partir desse ano. Já nos cenários 2 e 3 observa-se que a diminuição dos volumes revertidos a partir de 2015, implica em um IS sem estresse hídrico, mas com uma tendência de alcançar o limite de 0,2 em um prazo maior.

Nos cenários 4 e 5, onde se simularam respectivamente, um equilíbrio da população urbana e uma redução no consumo de água por este setor, pode-se observar uma significativa melhora do IS, mas que será difícil de ser mantida ao longo do tempo se não forem adotadas concomitantemente, além destas, outras políticas de gestão dos recursos hídricos nas BH-PCJ.

O cenário 6 que contemplou conjuntamente com o equilíbrio da população urbana e redução no consumo de água por este setor, a estabilização do crescimento industrial, foi o que se apresentou mais efetivo para uma sustentabilidade de uso da água a longo prazo. A curva que descreve esse cenário apresenta uma leve inclinação em relação ao eixo que representa o tempo, o que significa que se forem adotadas tais políticas de controle de uso da água poder-se-ia encontrar um ponto de equilíbrio entre a oferta e demanda dos recursos hídricos das BH-PCJ.

Ainda na figura 4, observa-se para todos os cenários estudados uma diminuição sistemática dos IS, sendo que o cenário 6 foi o único que apresentou uma melhora efetiva do IS das BH-PCJ, com um valor de 0,48 em 2050, indicando a importância da aplicação integrada de políticas que reduzam o uso da água nessa bacia.

Na figura 4 pode ser observado o índice de uso da água para as BH-PCJ, onde se verifica que no ano de 2010, para o cenário BaU, esse índice representava uma demanda total de 80% de todo o volume disponível de água, não considerando as águas de reuso. Espera-se que para 2050 as BH-PCJ sejam fechadas, alcançando 125% de uso da água, ou seja, em outras palavras o consumo excederá em 25% o volume total de água disponível.

Os cenários 2 e 3 apresentam tendências de aumento similares ao cenário BaU, excedendo em 2050 respectivamente 14,32% e 10,56% da oferta, porém indicando uma redução na pressão sobre a demanda dos recursos hídricos.

Para os cenários 4 e 5 observa-se uma melhora dos índices de uso da água, contudo, com uma tendência similar aos demais cenários, ou seja, ao longo do tempo o uso da água excederá os 100% e a bacia será considerada como fechada.

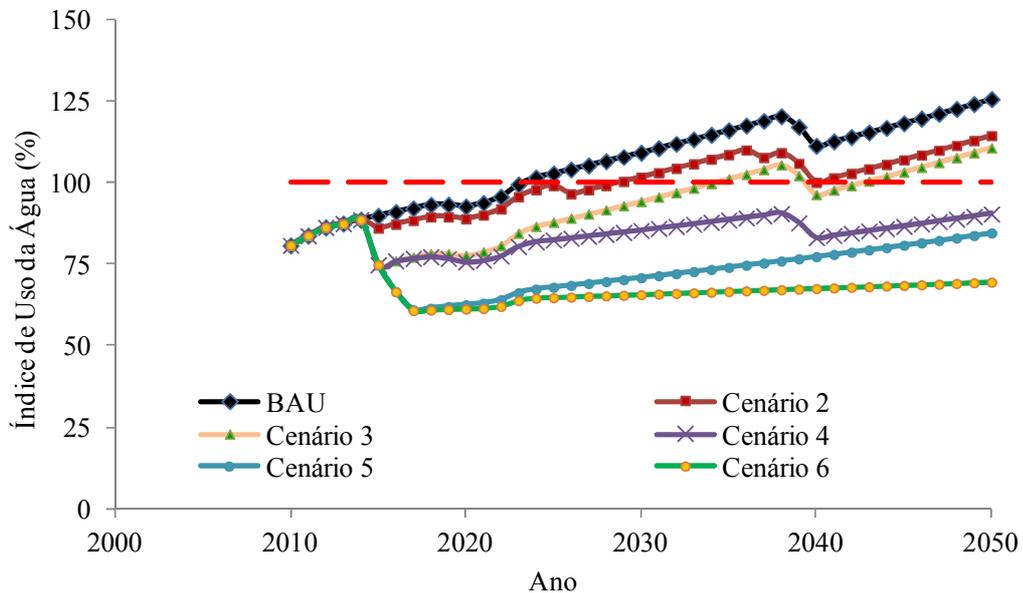


Figura 4. Índice de uso da água para as BH-PCJ nos seis cenários estudados utilizando o MRH-PCJ (Sánchez-Román & Folegatti, 2008).

O cenário 6, que propõe uma política de controle do crescimento da população conjuntamente com a estabilização da taxa de crescimento do setor industrial, foi o mais promissor em relação a melhoria do índice de uso da água nas BH-PCJ, indicando que a aplicação de políticas nesse sentido podem ser efetivas para a sustentabilidade econômica, social e ambiental das bacias.

Verifica-se ainda, que apenas os cenários 4, 5 e 6 não atingirão o limite de 100% em 2050. Mesmo assim, esse valor limite está muito próximo para o cenário 4 e relativamente próximo para o cenário 5.

Na Figura 5 pode ser observado o Índice de Falkenmark para todos os cenários estudados, onde se constata que para o cenário BaU, 2 e 3 o valor do Índice de Falkenmark que em 2010 era de $1.302 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ nas BH-PCJ; chegará a $1.008 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2030; e $774 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2050. Quando se compara os cenários 4, 5 e 6 com os cenários BAU, 2 e 3 verifica-se que houve uma melhora significativa da disponibilidade de água nas BH-PCJ. Para os três últimos cenários observa-se uma disponibilidade de água de $1.216 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2050.

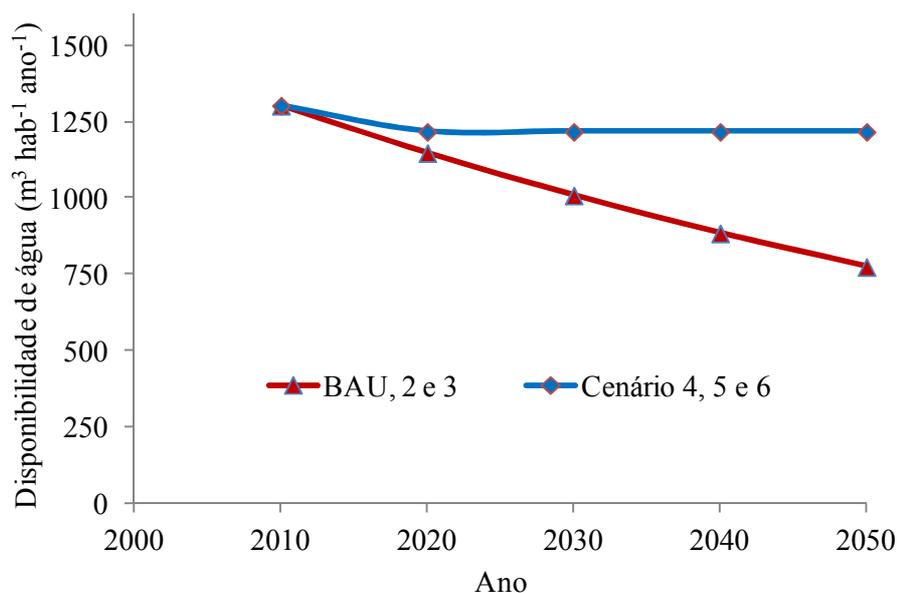


Figura 5. Índice de Falkenmark ou de stress hídrico calculado com o MRH-PCJ (Sánchez-Román & Folegatti, 2008).

De acordo com Falkenmark (1989) existe estresse hídrico quando numa bacia hidrográfica a relação é de 1.000 a 1.600 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ e escassez crônica de água quando estes valores estão entre 500 e 1.000 m³ hab⁻¹ ano⁻¹, para valores menores do que 500 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ se considera além do limite de capacidade de gestão dos recursos hídricos. Segundo o Índice de Falkenmark (1989), em 2050 os três primeiros cenários considerados indicam a existência de escassez crônica de água nas BH-PCJ enquanto que para os outros cenários essa situação seria menos crítica.

Na Figura 6, segundo a proposta de Sánchez-Román et al. (2011) para analisar a situação das BH-PCJ, estão resumidas as diferentes fases de desenvolvimento de uma bacia hidrográfica considerando os critérios de Keller et al. (1998) e a relação entre o uso e disponibilidade dos recursos hídricos proposto por Falkenmark et al. (2007). Os dados para elaborar a figura são provenientes dos diferentes cenários simulados com o MRH-PCJ (Sánchez-Román & Folegatti, 2008).

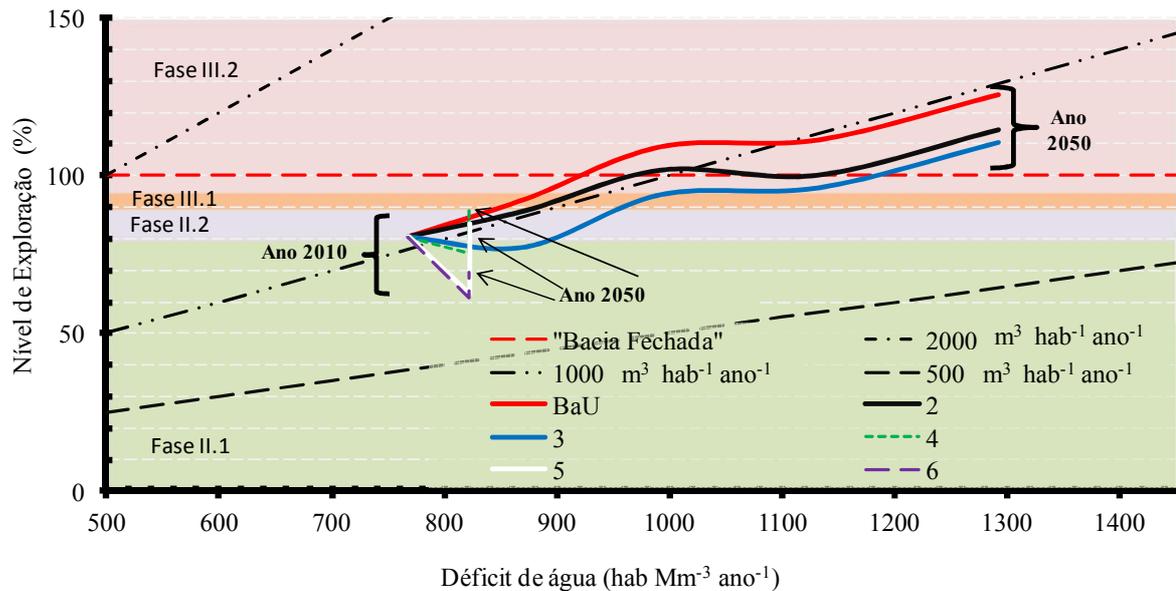


Figura 6. Fases de desenvolvimento das BH-PCJ de acordo com o a demanda total de água, eixo vertical, e a densidade de pessoas por unidade de vazão, eixo horizontal, calculados com o MRH-PCJ (Sánchez-Román & Folegatti, 2008).

Verifica-se que para o ano de 2010, todos os cenários estudados se encontram na fase II e estágio 2 de desenvolvimento, onde há a necessidade de um processo de gestão que vise a diminuição da demanda pelos recursos hídricos. A partir de 2015, verifica-se a efetividade de cada política adotada para o processo de gestão das BH-PCJ, onde nos três primeiros cenários (BAU, 2 e 3) nota-se que mesmo com reduções significativas dos volumes transpostos para a RMS, as BH-PCJ atingirão em 2050 a fase III de desenvolvimento, que é o último estágio de desenvolvimento de uma bacia e significa que a partir de então a demanda de água terá que ser suprida pela transposição de bacias ou outras fontes alternativas de água.

Para os cenários 4, 5 e 6 contata-se importantes avanços para a gestão das BH-PCJ, verificando-se que em 2050, apenas o cenário 4 estará no limiar entre as fases II e III, ou seja, em uma situação crítica de desenvolvimento para as bacias. O cenário 5 apresenta-se em uma situação um pouco mais confortável, contudo, igualmente preocupante pois está próximo a fase III de desenvolvimento das bacias, situação que é pouco animadora. O cenário 6 foi o único que se manteve na fase II e estágio 1 de desenvolvimento, ressaltando a efetividade destas políticas para a gestão das BH-PCJ.

Verifica-se ainda para os cenários 4 e 5 que com a estabilização da população e continuidade das taxas de incremento dos demais setores a demanda de água destes, no sistema hídrico das BH-PCJ, tem um impacto negativo na disponibilidade dos recursos hídricos.

Na Figura 7 estão apresentadas as concentrações de carga contaminante presentes nos recursos hídricos das BH-PCJ para os diferentes cenários estudados. Verifica-se que as concentrações da carga contaminante para os cenários BAU, 2 e 3 foram praticamente as mesmas, o mesmo aconteceu com os cenários 5 e 6.

Quando se compara os cenários BAU, 2 e 3 com os cenários 4, 5 e 6, constata-se que o cenário 4 apresentou um aumento importante na concentração da carga contaminante. Isso se deve ao fato de que, uma vez que a concentração dessa carga é inversamente proporcional ao volume lançado, a redução desse volume implica em um aumento da concentração da

mesma. Esse aumento expressivo que se verifica no cenário 4, demonstra o impacto da população no sistema hídrico das BH-PCJ e da falta de tratamento de esgotos.

Além disso, nota-se que embora se consiga avanços na disponibilidade total de água pela aplicação de políticas restritivas de consumo de água pela população, serão necessárias a aplicação de outras políticas complementares que visem questões relativas a qualidade da água.

A mesma analogia pode ser feita em relação aos cenários 5 e 6, onde se observa que a concentração da carga contaminante é maior do que os valores verificados no cenário 4. Tal situação é agravada, pois adicionalmente ao equilíbrio da população das bacias, os cenários 5 e 6 simulam uma redução do consumo de água pela população e uma redução da taxa de crescimento industrial, o que faz com que a concentração da carga contaminante se eleve ainda mais.

Nota-se ainda no cenário 5 e 6 que a representatividade do setor da população em relação a carga contaminante, quando comparado com o setor Industrial, é relativamente pequena. Nesses cenários fica evidente que mesmo com políticas que melhorem a eficiência de uso e reuso da água, a questão de tratamento de esgotos assume um papel preponderante para a questão dos recursos hídricos das BH-PCJ.

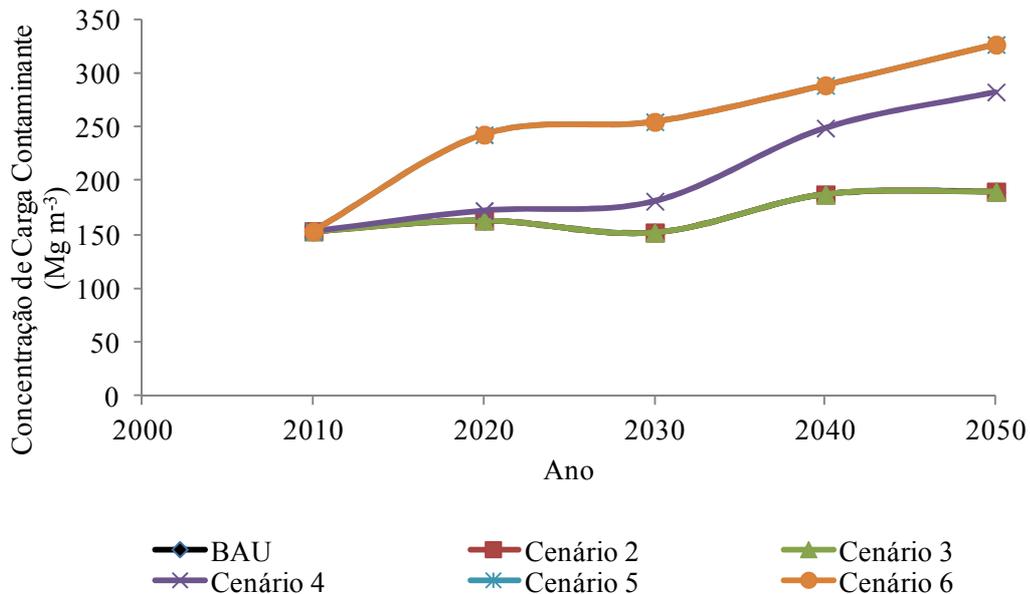


Figura 7. Concentração de carga contaminante nos recursos hídricos das BH-PCJ para os diferentes cenários estudados.

Neste sentido, quando se discute uma possível solução para a escassez de água das BH-PCJ logo se comenta sobre a redução do consumo pelos setores usuários, notadamente da população, no entanto, a utilização do MRH-PCJ (Sánchez-Román et al 2009) demonstra que isso resolveria apenas uma parcela do problema, ou seja, outras questões, como a contaminação, seriam agravadas. Essa perspectiva de análise, talvez não ficasse tão evidente se a programação em dinâmica de sistemas não tivesse sido empregada.

6 CONCLUSÕES

Em longo prazo, para os cenários Bau, 2 e 3 a tendência mostrada pelos índices utilizados é de que as BH-PCJ enfrentarão problemas de escassez crônica de água.

A diminuição paulatina do volume de água revertido à Bacia do Rio Tietê através do Sistema Cantareira e ainda a eliminação completa do volume revertido e redução do consumo pela população urbana bem como a estabilização do crescimento desta (cenários 4 e 5) amenizam o problema no final das simulações, não sendo no entanto a solução.

Um conjunto de medidas e projetos que levem à racionalização no uso dos recursos hídricos tanto a partir dos usuários, quanto da melhoria da eficiência dos sistemas públicos de distribuição de água se apresenta como uma possível solução no cenário 6.

Dentre os cenários estudados, o cenário 6 foi o que apresentou os melhores índices de sustentabilidade e de uso da água ao longo do tempo para as BH-PCJ, sendo estes de respectivamente 0,48 e 70%, possibilitando uma condição mais favorável para a sustentabilidade dos recursos hídricos nessa bacia.

A questão da diluição da carga orgânica lançada pelos diferentes setores nos corpos d'água das BH-PCJ se apresentou como um dos fatores mais impactantes dessas bacias. Mesmo com a melhora da sustentabilidade e uso da água fica evidente a extrema necessidade de investimento nos sistemas de saneamento das bacias PCJ.

A utilização da dinâmica de sistemas como uma ferramenta para a gestão dos recursos hídricos das BH-PCJ tem permitido uma abordagem diferenciada, onde se constata que não basta apenas implementar políticas que melhorem o uso da água, mas principalmente que contribuam para a melhoria de sua qualidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília, DF, 2012. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf> >. Acesso em: 06 set. 2012.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, Washington, D.C., v. 387, p.253-260, 1997.

EUROPEAN UNION. EU water framework directive: directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the council establishing a framework for the community action in the field of water policy. *EU Official Journal*, Iceland, v.3, p. 327, 2000.

FALKENMARK, M. The Massive Water Scarcity now threatening Africa-Why isn't it being addressed? *Ambio*, New York, v. 18, p.112-118, 1989.

FALKENMARK, M. et al. **On the verge of a new scarcity: call goes good governance and human ingenuity.** IWI Policy Brief. Stockholm: Stockholm International Water Institute, 2007.

FOLEGATTI, M.V. et al. Tranposição de água e disponibilidade hídrica das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (BH-PCJ). In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA - CLIA, 9.;

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 34., 2010, Vitória. Trabalho completo... Vitória: SBEA, 2010. p. 1-10.

HDR. Human Development Report 2006: beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis. New York: United Nations Development Program, 2006. 440 p. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2006/>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

IRRIGART. **Relatório da situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. 2004. Disponível em: <<http://www.agenciadeaguapcj.org.br/download/RSituacao-PCJ-Vol-1.pdf>> Acesso em: 15 jan. 2011.

KELLER, J.; KELLER, A.; DAVIDS, G. River basin development phases and implications of closure. **Journal of Applied Irrigation Science**, Mönchebergstraße, v.33, p.145-163, 1998.

KUNDZEWICZ, Z.W. et al. Freshwater resources and their management. In: **Assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, UK, 2007. p. 173-210.

PERH. Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: **State of São Paulo's Water Resources State Plan for 2004-2007**. Relatório Síntese do Plano. Consórcio JMR Engecorps, 2005.

POWERSIM. **Introduction to system dynamics**. Reston: Powersim Press, 1996. 44p.

RASKIN, P.; GLEICK, P.; KIRSHEN, P.; PONTIUS, G.; STRZEPEK, K. Water futures: assessment of long-range patterns and prospects. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 1997. 77p

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V. Sustentabilidade da agricultura irrigada nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí: uma análise em dinâmica de sistemas. Piracicaba, 2008. Relatório de pós-doutoramento apresentado para Universidade de São Paulo.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G.; ZOLIN, C.A. PCJ River Basins' Water Availability Caused by Water Diversion Scenarios to Supply Metropolitan Areas of São Paulo. *Water Resources Management*, Nova York, v. 25, p. 3371-3386, 2011.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. Water Resources Assessment at Piracicaba, Capivari and Jundiáí River Basin: A Dynamic Systems Approach. In: **CENTURY WATERSHED TECHNOLOGY: IMPROVING WATER QUALITY AND ENVIRONMENT CONFERENCE**, 21st, St. Joseph, 2008. Proceedings... ASABE, 2008. 1-10.

SHIKLOMANOV, I.A. **World water resource: a new appraisal and assessment for the 21st Century**. Paris: UNESCO, 1988. 37p.

SIMONOVIC, S. **Managing water resources: methods and tools for a systems approach**. London: UNESCO, 2009. 640p.

UNITED NATIONS. **Johannesburg plan of implementation of the world summit on sustainable development**. Johannesburg, 2002. 72 p. Disponível em: <www.un.org/esa/sustdev/documents/.../WSSD_PlanImpl.pdf> Acesso em: 17 jun. 2009.

UNITED NATIONS. **World water development report 2: water, a shared responsibility**. Paris: UNESCO, 2006. 601 p.

WINZ, I.; BRIERLEY, G.; TROWSDALE, S. The use of system dynamics simulation in water resources management. **Water Resources Management**, Nova York, n 23, p 1301–1323, 2009.

WORLD WATER COUNCIL. **Final Report of the 4th World Water Forum**. Mexico: National Water Commission of Mexico, 2006. 262 p.

XU, Z.X. et al. Sustainability Analysis for Yellow River Water Resources Using the System Dynamics Approach. **Water Resources Management**, Nova York, n.16, p.239-261, 2002.

ZOLIN, C.A. et al. Minimização da erosão em função do tamanho e localização das áreas de floresta no contexto do programa “conservador das águas”. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, n.6, v.35, 2011.