



## I-396 - DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO PRESERVAÇÃO COM QUALIDADE DA ÁGUA SOB ENFOQUE AMBIENTAL E ECONÔMICO

**Clarissa Sékula<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Mestranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná.

**Regina Tiemy Kishi**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutora em Engenharia Civil pela Universität Karlsruhe e PhD pela Universität Karlsruhe. Professor Adjunto da Universidade Federal do Paraná.

**Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Hidráulica pela Universidade Federal do Paraná. Doutor em Engenharia pelo Civil and Environmental Engineering Department da University of Toronto. Professor Adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Caixa Postal 19011 - Rua Francisco H. Dos Santos, 100 - Centro Politécnico-UFPR - Curitiba - PR-CEP: 81531-990 - Brasil - Tel: (41) 3361-3210 - e-mail: [c.sekula@gmail.com](mailto:c.sekula@gmail.com)

### RESUMO

A preocupação com os recursos hídricos não é atual e, todavia, cresce à medida que prognósticos mostram o aumento da demanda e a diminuição da oferta de água, especialmente, de boa qualidade. Há uma grande necessidade de proteção dos mananciais para garantir oferta de água para a população nos seus mais diversos usos. Estudos mostram a estreita relação entre a quantidade e qualidade das águas com a ocupação e cobertura vegetal da bacia hidrográfica, estes corpos de água começam a deteriorar à medida que a ocupação da bacia de drenagem fica mais intensa. Nesse sentido, a cobertura florestal desempenha um papel importante na proteção de mananciais e na economia da região, cuja proteção garantiria água de melhor qualidade e consequentemente custos de tratamento reduzidos. Esta pesquisa, portanto, tem o objetivo de avaliar econômica e ambientalmente a conservação de florestas em áreas de mananciais, como medida de preservação e despoluição hídrica. São 4 etapas propostas: (a) avaliação temporal do uso e cobertura do solo com a qualidade de água; (b) avaliação do custo de proteção e recuperação de matas nativas; (c) avaliação do ganho/perda de qualidade da água mediante modelagem matemática distribuída de cenários de uso e cobertura do solo; (d) análise econômica e ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manancial, gestão, qualidade da água.

### INTRODUÇÃO

A preocupação com os recursos hídricos não é atual e, todavia, cresce à medida que prognósticos mostram o aumento da demanda e a diminuição da oferta de água, especialmente, de boa qualidade.

As áreas de mananciais possuem restrições de uso do solo para desenvolvimento de atividades econômicas clássicas, no entanto, as ocupações urbanas tendem a crescer em direção a elas, inclusive por apresentarem melhores condições de qualidade ambiental. Além disso, os proprietários das terras com florestas muitas vezes não vêm incentivos para protegê-las. Consequentemente, por existir uma relação estreita entre a quantidade e qualidade das águas com a ocupação e cobertura vegetal da bacia hidrográfica, estes corpos de água começam a deteriorar à medida que a ocupação da bacia de drenagem fica mais intensa.

A deterioração de um manancial não significa somente perdas ambientais, como também perdas econômicas bastante significativas. O aumento da poluição leva a um aumento no custo de tratamento de água para abastecimento, quando não na falta de tecnologia para retirada de poluentes. Assim, os pontos de captação para abastecimento tendem a deixar de ser econômica e/ou tecnicamente viáveis e são abandonados. Novos pontos de captação devem ser implantados, elevando ainda mais os custos.



Uma perda de floresta natural significa ainda perda da biodiversidade e mudanças climáticas (Webb et al, 2005). A atribuição de valor econômico aos serviços prestados pelos ecossistemas está se tornando um caminho efetivo para se compreender os múltiplos benefícios desses ecossistemas e compensar financeiramente os donos de áreas com florestas pelos serviços ambientais daquela floresta para a comunidade. Segundo Reis (2004), WWF & IUCN (2003) estimaram em US\$ 2,3 trilhões os serviços dos ecossistemas com o objetivo de regularizar a vazão e garantir a qualidade de abastecimento público de água.

Há uma grande necessidade de proteção dos mananciais para garantir oferta de água para a população nos seus mais diversos usos, bem como ao desenvolvimento econômico, ao bem estar social e inclusive para proteção do ecossistema e conservação da biodiversidade.

O conhecimento dos efeitos adversos de uma perda florestal à economia e ao meio ambiente ainda é pequeno e requer mais investigação. Neste sentido esta pesquisa defende a hipótese de que as florestas em áreas de mananciais são econômica e ambientalmente atrativas.

## OBJETIVOS

A consideração de uma nova ordem de medidas de preservação, recuperação e proteção de mananciais faz-se necessária, considerando as contradições naturais entre as decisões de ocupação e a recuperação do impacto da alteração da qualidade da água em rios. Este pensamento não é convencional, justificando a abordagem acadêmica aqui inserida.

O objetivo principal é estudar a relação entre preservação de florestas e qualidade da água, avaliando o benefício econômico da preservação e considerando o potencial de florestas como medida de despoluição hídrica.

Os objetivos específicos incluem:

- Avaliar relação de uso e cobertura do solo com a qualidade da água.
- Avaliar o ganho econômico da preservação, considerando diminuição no custo de tratamento de água e continuidade de abastecimento de água.
- Avaliar o custo de proteção e recuperação de florestas nativas.
- Análise econômica para usos potenciais da região.
- Análise econômica e ambiental da inserção de floresta como medida de preservação e despoluição hídrica.

## ASPECTOS CONCEITUAIS

### • Áreas de Mananciais

Além dos instrumentos de comando e controle, nota-se uma evolução nos instrumentos legais que passou a incorporar conceitos e diretrizes de planejamento e gerenciamento de uso e ocupação do solo. No estado do Paraná, a Lei Estadual 12248 (31/07/98) cria o sistema integrado de gestão e proteção dos mananciais da RMC e o Decreto Estadual 6390 (05/04/2006) delimita as áreas de interesse de Mananciais de Abastecimento Público da Região Metropolitana de Curitiba. O Código Florestal Brasileiro (Lei 4771 de 15/09/65, com algumas modificações na Lei 7.803, de 18/07/89) estabelece como área de proteção permanente áreas adjacentes a cursos de água, nascentes e reservatórios. No entanto, o processo de ocupação irregular é freqüente e tem conseqüente alteração na qualidade das águas e no regime hídrico, sendo um dos principais problemas de abastecimento no Brasil.

A atividade de ocupação em mananciais de abastecimento público, quando ocorre de forma irregular, tem conseqüente impacto na disponibilidade hídrica. A perda de vegetação, junto à degradação estrutural do solo, reduz o potencial hídrico. Além disso, favorece a exposição dos corpos de água a agrotóxicos, nutrientes e dejetos, que são levados com os sedimentos no processo de erosão. A introdução de substâncias nas águas de abastecimento podem levar a perda considerável da qualidade, riscos à saúde pública e provocar necessidade de abandono de manancial por falta de tecnologia de tratamento disponível, onerando o processo de captação de água. Na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), devido perda de qualidade das águas, há casos de abandono de mananciais: Atuba, Palmital e do Meio (Sanepar, 2005).



A conservação de mananciais é de interesse para garantir água para o consumo humano e abastecimento dos setores produtivos. O potencial de exploração dos mananciais e a disponibilidade hídrica na região dependem das ações de controle da degradação. Se nenhum gerenciamento dentro de áreas de mananciais for desenvolvido, em alguns anos os mananciais estarão comprometidos.

- Cobertura florestal

A manutenção da cobertura florestal é primordial à preservação da qualidade e quantidade das águas de um manancial, mas também de vários outros aspectos relacionados ao clima, biodiversidade e bem-estar da população.

Webb et al (2005) mostram a relação entre vegetação e o clima. Não somente o clima influencia a vegetação a ser encontrada no local, como também esta influencia o clima local. Muitos cientistas durante o século 19 se expressaram sobre os efeitos no clima devido desflorestamento, do mesmo modo, os moradores da cidade responsabilizaram o afastamento da floresta em áreas rurais pelas secas e falta do alimento. Foi discutido o papel da vegetação na mitigação de extremos climáticos. No início do século 20 foram conduzidas análises mais rigorosas sobre este assunto, mas por dificuldades metodológicas, estas foram abandonadas. Nos últimos anos retornou o interesse intensificado nas consequências da mudança do uso da terra.

A vegetação desempenha um papel significativo nos ciclos biogeoquímicos e consequentemente no equilíbrio do ecossistema. Sua retirada pode ocasionar grandes perturbações, modificando fluxos de água e de substâncias dissolvidas e particuladas.

Conforme relatam Webbs et al. (2005) de outros estudos, na bacia amazônica, onde mais da metade da precipitação origina da evapotranspiração, concluem que a mudança de florestas para pastagens resultaria em um aquecimento regional de 1-3°C e uma redução da precipitação anual de 642 mm.

A cobertura vegetal é uma prática de controle da erosão e assegura maior infiltração de água no solo. Na prática, relata Reis (2004) que, no Estado de São Paulo, o SEMAE (Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba) em 1999 contratou a elaboração do Plano Diretor da Bacia do Rio Corumbataí para conservação dos recursos hídricos por meio da recuperação e conservação da cobertura florestal, atitude que também está sendo tomada em outros países.

A floresta ripariana em particular filtra e imobiliza sedimentos e compostos neles adsorvidos, absorve substâncias dissolvidas e regulam a temperatura da água (interação na ciclagem de nutrientes e interação direta com o ecossistema aquático), reduzindo chegada de agrotóxicos e fertilizantes aos corpos de água e formação de bancos de sedimentos. São regiões tampão que removem nitrogênio (por denitrificação) e fósforo (por precipitação e complexação no sedimento e agregado em partículas às raízes de macrófitas). Assim como tem servido como corredor ecológico, para movimento da fauna. A ausência de mata ciliar aumenta erosão de margens e diminui capacidade de armazenamento de água. Vários estudos abordam a floresta ripariana com a qualidade da água, dentre eles Sliva e Williams (2001), onde através da Análise Multivariada, a floresta aparece como um importante mitigador na degradação da qualidade da água.

Outros estudos ainda mostram que o acesso reduzido aos recursos florestais afetaria o bem-estar da população rural (Mamo, Sjaastad & Vedeld, 2007).

As florestas fornecem uma variedade de serviços ambientais que vão desde a regularização de vazão à conservação da biodiversidade e seqüestro de carbono. No entanto, há pouco incentivo para conservá-la. Todavia, à medida que se conhecem melhor as interações entre os meios bióticos e abióticos e os efeitos das interferências antrópicas, cresce a consciência entre os planejadores, da necessidade de informações sobre a biodiversidade e o ecossistema como subsídios para o manejo de bacias hidrográficas.

- Custos de tratamento de água

Há muitos benefícios de um manejo adequado de bacias hidrográficas dentre eles a qualidade e quantidade da água e a redução de custos de tratamento.

Além de empobrecer o solo e produtores, a erosão eleva o custo de tratamento da água com uso de substâncias químicas. Para remover sólidos suspensos das águas é usado normalmente sulfato de alumínio e como este aumenta a acidez da água, é preciso corrigir com uma base, por exemplo, hidróxido de cálcio. Bassi (2002)



relata uma diminuição em 69% de sólidos suspensos nos rios e economia mensal de US\$ 2445 (redução de 50% no custo mensal de tratamento da água) na cidade de Chapecó/SC como consequência de melhores práticas de manejo, reduzindo a erosão.

Reis (2004) mostra o custo de tratamento de água em várias bacias hidrográficas com diferentes percentuais de cobertura florestal. Para seis dos sete sistemas e ETAs estudadas, o custo específico com produtos químicos na ETA eleva-se com a redução do percentual de cobertura florestal da bacia de abastecimento.

## ÁREA DE ESTUDO

O estudo está sendo conduzido na bacia do rio Piraquara, Paraná, Brasil. A bacia do rio Piraquara compõe a bacia do iguaçu e é manancial da Região Metropolitana de Curitiba. Um breve histórico do sistema público de abastecimento da RMC pode ser acompanhado na Tabela 1. O reservatório Piraquara I foi construído em 1978 fazendo parte do Pólo de Produção P1 do sistema do Altíssimo Iguaçu (Tabela 2).

**Tabela 1: Breve histórico do sistema público de abastecimento de água da RMC (Fonte: adaptado de Sanepar, 2005)**

Ano	Mananciais	(L/s)
1908	Mananciais da Serra (cabeceiras do rio Piraquara). 150 L/s até o reservatório do Alto São Francisco	150
1945 (ETA Tarumã desativada em 2004)	Captação do Iraí e a ETA Tarumã (500 L/s), posteriormente ampliada para 800 L/s. (Desde então os “Mananciais da Serra” passaram a abastecer apenas a cidade de Piraquara)	800
1968	Captação Iguaçu, junto à BR-277 e a ETA respectiva	3000
1978	Construída a barragem do <b>reservatório Piraquara I</b>	
1982 1989	Barragem do rio Passaúna foi concluída em 1982, com sua captação e ETA de capacidade nominal 500 L/s, ampliada em 1989 para 2000 L/s. O sistema Passaúna não é interligado com os outros dois.	2000
2000	Entrou em operação o <b>reservatório do Iraí</b>	
2002	Inaugurada a nova ETA Iraí, ao lado da captação (ETA Tarumã foi desativada em agosto de 2004)	
	Aquífero Karst para contribuição ao sistema integrado, com previsão de se extrair até 600 L/s no município de Colombo, no entanto, somente são utilizados 120 L/s para o sistema integrado (Colombo-sede e Fervida).	120

**Tabela 2: Pólos de produção existentes e os respectivos mananciais na RMC (Fonte: adaptado de Sanepar, 2005)**

Sistema	Pólos de produção	Mananciais
Sistema do Altíssimo Iguaçu	Pólo de Produção P1	Captação Iraí, sendo alimentado pelo <b>reservatório Iraí</b> (formado pelos rios Cangüiri, Timbu, Curralinho e Cerrado) e pelos rios Iraizinho e <b>Piraquara</b> (margem esquerda).
	Pólo de Produção P2	O Pólo de Produção P2 é ligado à captação Iguaçu, que é alimentada pelas sobras da captação Iraí, mais os rios Itaqui e Pequeno (margem esquerda).
	Pólo de Produção P3	Reservatório do Passaúna, formado pelo rio Passaúna e seus afluentes, num ponto que delimita uma bacia de 145 km <sup>2</sup> , a montante do Distrito de Tomaz Coelho.
	Produção do Aquífero Karst	4 poços tubulares situados na sede municipal de Colombo e 4 poços tubulares na localidade de Fervida, no Município de Colombo, abastecendo sua sede e a região de São Gabriel.

A bacia do Piraquara apresenta área total de drenagem de aproximadamente 102 km<sup>2</sup> e extensão do rio principal de aproximadamente 34 km. O reservatório Piraquara I apresenta uma área de 27 km<sup>2</sup> e capacidade de 22 hm<sup>3</sup> (Sanepar, 2005), regularizando uma vazão de 600 L/s. Uma segunda barragem, forma o reservatório Piraquara II, regulariza uma vazão de 1140 L/s. Mas como a construção do reservatório significa perda de uma área incremental já computada, acrescentaria cerca de 600 L/s líquidos ao sistema (Sanepar, 2005).

Na Figura 1 é apresentado o uso e cobertura do solo da bacia onde se nota uma área mais preservada a montante do reservatório Piraquara I e a jusante deste, nota-se presença predominante de cultura temporária,



campo e vegetação. Na Tabela 3 encontra-se o percentual da área total para cada uso e cobertura do solo na bacia, onde se pode observar maiores percentuais para Vegetação arbórea natural e Campo.

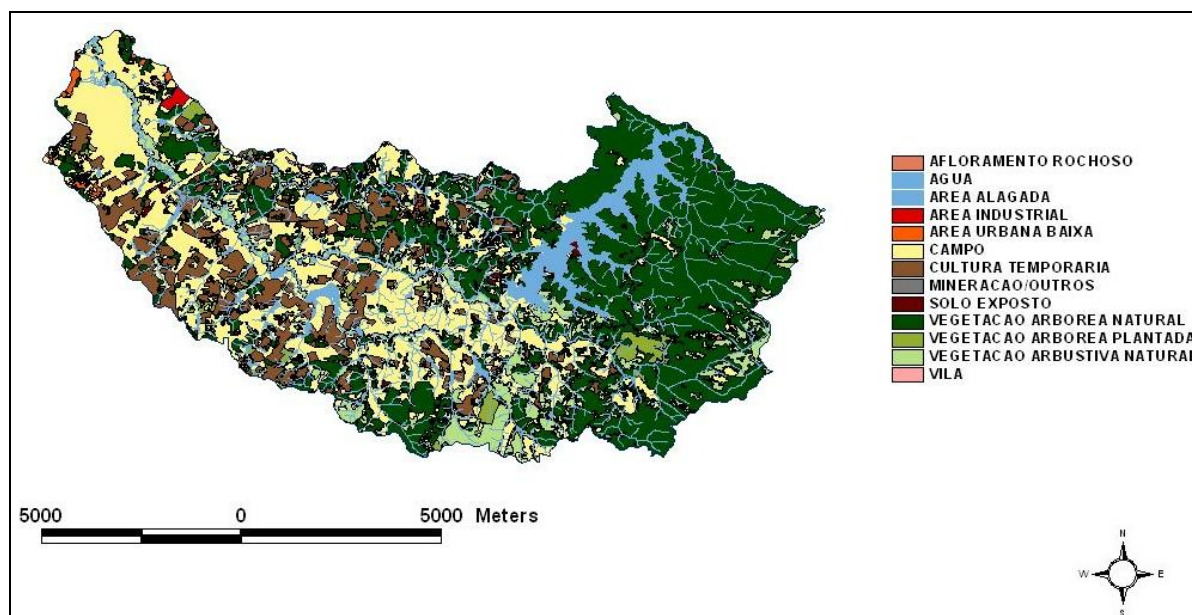


Figura 1: Uso e cobertura do solo na bacia do rio Piraquara (Fonte: Banco de dados da SUDERHSA)

Tabela 3: Percentual de uso e cobertura do solo nas áreas de estudo

Uso e cobertura	Bacia do Rio Piraquara	
	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual de uso
Afloramento Rochoso	0,05	0,04
Água	5,17	4,56
Área Alagada	0,03	0,02
Área Industrial	0,21	0,18
Área Urbana Baixa	0,48	0,42
Campo	35,81	31,57
Cultura Temporária	12,52	11,03
Mineração/Outros	0,05	0,04
Solo Exposto	0,44	0,39
Vegetação Arbórea Natural	45,86	40,43
Vegetação Arbórea Plantada	3,09	2,72
Vegetação Arbustiva Natural	9,40	8,29
Vila	0,35	0,31

## DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO PRESERVAÇÃO COM QUALIDADE DA ÁGUA SOB ENFOQUE AMBIENTAL E ECONÔMICO – UMA PROPOSTA

A abordagem conceitual proposta pode ser dividida em quatro etapas, diferenciadas por cores no fluxograma da Figura 1: a) avaliação do comportamento da qualidade e quantidade de água com base nos dados de monitoramento; b) criação de cenários de diferentes usos e cobertura do solo com respectiva análise econômica e ambiental; c) implantação de modelo distribuído e simulação dos cenários, com respectiva análise econômica e ambiental; e d) análise econômica e ambiental de florestas como medida de preservação e despoluição hídrica.





**Figura 2: Fluxograma das etapas da pesquisa**

- Levantamento de dados secundários

O levantamento de dados secundários referentes à bacia do Rio Piraquara é necessário para a implantação do modelo, bem como para a criação de cenários e análises econômicas e ambientais. Dentre eles destacam-se: dados de monitoramento da quantidade e qualidade das águas, de pluviometria, uso e cobertura do solo, custos de tratamento de água, divisão fundiária.

Em relação ao monitoramento fluviométrico e pluviométrico existente na bacia em estudo, foram levantadas as estações existentes, como indicado na Tabela 4 e na Tabela 5, mostrando 3 estações pluviométricas e 10 estações fluviométricas ativas.

**Tabela 4: Estações Pluviométricas**

Código ANEEL	Estação	Tipo	Entidade Responsável	Instalação	Desativação
2548041	Mananciais Da Serra	P	SUDERHSA	30/9/1916	
2549042	Quatro Barras	PPRT	SUDERHSA	26/6/1974	
2549113	Entremar	PPRT	SUDERHSA	17/7/1999	

P: Pluviométrica; PR: Pluviográfica; T: Telemétrica



Tabela 5: Estações Hidrométricas

Código ANEEL	Estação	Rio	Tipo	Entidade Responsável	Instalação	Desativação
65000900	Ponte Estrada Piraquara	Curralinho	FQDS	SANEPAR	4/12/1991	
65000920	Cerrado	Cerrado	FQDS	SANEPAR	18/3/2002	
65001000	Estrada da Graciosa	Timbó	FQDS	SANEPAR	14/4/1981	
65001150	Ponte Estrada da Graciosa	Canguiri	FQDS	SANEPAR	24/2/1992	
65001500	Barragem Iraí Telemétrica	Iraí	FQT	SUDERHSA	19/7/2002	
65002002	Colônia Santa Maria I	Piraquara	FD	SUDERHSA	21/12/1973	11/2/1978
65003950	Olaria do Estado	Iraí	FFRQDT	ANA	17/4/1984	
65004900	Estrada BR 277 - PR 415	Piraquara	FQ	SUDERHSA	11/9/1991	
65004990	Barragem PR-415	Piraquara	FD	ANA	1/4/1989	
65004995	Ponte PR 415	Piraquara	FQDS	ANA	23/3/1984	
65005000	Foz do Piraquara	Piraquara	FD	SUDERHSA	21/12/1973	31/12/1980
65006010	Eta - Iraí	Iraí	FQ	SUDERHSA	23/5/1996	

F: Fluviométrica; Q: Qualidade da água; D: Medição de descarga; S: Sedimentométrica; T: Telemétrica; FR: Fluviográfica

Foram avaliados dados existentes de qualidade da água, no período de 2006 a 2008, referentes a cinco pontos da bacia do Rio Piraquara monitorados pela Sanepar. Para o parâmetro Nitrogênio total percebeu-se que o ponto com maiores concentrações é o que se encontra mais a jusante dos reservatórios Piraquara I e II, apresentando valores na faixa de 0,50 a 7,00 mg/l (Figura 3). Enquanto para o parâmetro Fósforo total percebeu-se que o mesmo ponto apresenta um pico de 1,50 mg/l (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), o que traz a necessidade de verificação. Entretanto, em relação a variação sazonal não foi observado nenhum padrão.

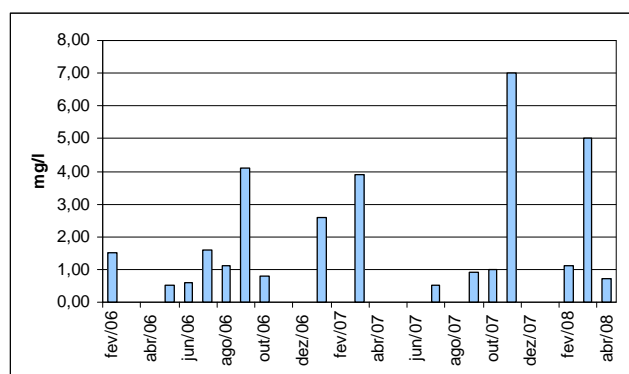


Figura 3: Concentrações de Fósforo Total

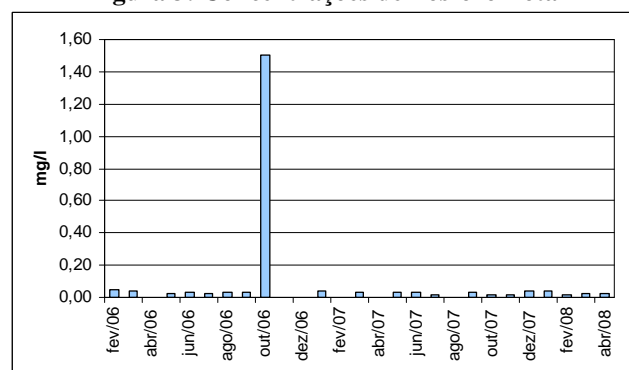


Figura 4: Concentrações de Nitrogênio Total



- **Implantação de estações de monitoramento**

Após verificar os dados disponíveis e confrontar com os necessários, é realizado o planejamento do monitoramento para complementar os dados existentes. São definidos os locais, a frequência e o tipo de variáveis de qualidade da água a serem monitoradas, incluindo dados de quantidade da água, que complementarão os dados secundários para a implantação do modelo SWAT. A princípio serão necessários dados em diferentes períodos (estiagem e chuvas) e em diferentes locais, cujas áreas de drenagem apresentem variações com relação ao uso e ocupação do solo.

- **Avaliação temporal do uso e ocupação do solo**

Será realizado um estudo temporal do uso e ocupação do solo com imagens de satélite de diferentes datas, confrontando com dados de qualidade e quantidade de mesmo período.

- **Criação de cenários e análise econômica e ambiental**

Para avaliação das alterações do uso e ocupação do solo nas áreas de estudo sobre a qualidade da água, será necessário a criação de cenários. Estes cenários devem apresentar previsões cabíveis, mais prováveis de acontecerem, abrangendo tendências de mudanças (NEVES, 2004; RUBERT e NEVES, 2005).

A princípio, serão construídos cenários com área coberta de vegetação nativa, com diferentes níveis de preservação da mata ciliar e supondo possíveis usos que poderiam substituir as florestas, como indústria e agricultura.

Nesta etapa ainda serão avaliados os cenários construídos com alternativas de proteção, reflorestamento e usos do solo (adequada para as características da região). Custos de proteção e produtividade para os usos considerados em cada cenário serão avaliados.

- **Implantação do modelo**

A proposta de utilizar o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), desenvolvido por Agricultural Research Service (ARS), tem como finalidade prever impactos na quantidade e qualidade da água, com a variação de usos da terra e condições de gerenciamento. O modelo será fundamental para o estudo de diferentes cenários de cobertura vegetal, relacionando com custos de preservação e qualidade da água.

O SWAT é um modelo semi-distribuído, baseado em processos físicos, que requer principalmente dados das propriedades do solo, topográficos, de uso e cobertura vegetal do solo, sobre manejo do solo, climáticos e da rede hidrográfica (Tabela 6).

O processo de implementação do modelo abrange, além das entradas de dados espaciais da área de estudo, sua calibração e verificação para diferentes situações de uso do solo, de acordo com os dados disponíveis.

**Tabela 6: Visão geral dos dados de entrada do modelo**

<b>Dado de entrada</b>	<b>Descrição</b>
Modelo Numérico do Terreno	Mapa digital com a elevação do terreno
Uso do solo e cobertura do solo	Mapa digital
Pedologia	Arquivo com dado espacial georreferenciado do tipo raster
Precipitação	Dado diário
Temperaturas máxima e mínima	Dado diário
Radiação solar	Dado diário
Velocidade do vento	Dado diário
Umidade relativa	Dado diário
Vazão	Dado diário
Evapotranspiração potencial	Dado pode ser calculado pelo modelo pelo método: Hargreaves, Priestley-Taylor ou Penman-Monteith
Dados de áreas inundáveis	Informações específicas da área superficial, fração da bacia que contribui para as áreas inundáveis ou barragens, o volume de escoamento necessário para enchimento até o vertedor, área superficial até o vertedor e volume inicial do reservatório e das áreas inundáveis.





A calibração é o ajuste dos parâmetros do modelo de forma que os resultados aproximem-se de dados observados dentro de uma faixa de erro aceitável. Na etapa de verificação, é utilizada uma nova série de dados observados para fazer uma comparação da resposta do modelo calibrado com valores observados, verificando assim a validade da resposta do modelo calibrado para outras situações.

- Aplicação do modelo e avaliação ambiental e econômica

Com o modelo devidamente calibrado, este pode ser aplicado, simulando os cenários criados. Desta forma, será analisada a resposta quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos para os diferentes cenários de uso e ocupação do solo.

Será realizada uma avaliação ambiental e econômica dos resultados das simulações, englobando custos de tratamento de água com relação a perda de qualidade, bem como diminuição da disponibilidade hídrica com a perda quantitativa devido mudanças de cobertura vegetal.

- Avaliação econômica e ambiental de florestas como medida de preservação e despoluição hídrica

Nesta etapa será realizada a avaliação final dos serviços ambientais prestados pela floresta. Através da quantificação da perda de qualidade da água com a diminuição da vegetação, obtendo o grau de alteração da qualidade em relação a diferentes cenários de ocupação do solo. Em relação à preservação da qualidade da água, pretende-se identificar os ganhos/perdas econômicos advindos da perda de vegetação.

## **CONSIDERAÇÕES**

A proposta desta pesquisa visa contribuir para o conhecimento científico dos efeitos das mudanças no uso e cobertura do solo para a quantidade e qualidade dos recursos hídricos numa visão econômica e ambiental, em especial, uma oportunidade para entendimento da gestão de recursos hídricos (estratégias técnicas, metodologias e monitoramento), relevantes para a compatibilização do crescimento econômico com a proteção ambiental.

Adicionalmente uma oportunidade para a comunidade envolvida no gerenciamento dos recursos hídricos e preservação do meio ambiente. Esta informação é valiosa e fundamental para o planejamento e gerenciamento de uma bacia com vistas ao desenvolvimento sustentável. Os resultados desta pesquisa poderão servir de subsídios para programas de compensação financeira (remuneração por serviços ambientais) de proprietários rurais que contribuem para a recuperação e conservação da cobertura florestal e a produção de água, sendo importante informação para Comitês de Bacias. Para as empresas de saneamento, toda pesquisa que visa a preservação de mananciais significa redução de custos de tratamento de abastecimento de água e garantia de manutenção do ponto de captação.

Finalmente, entende-se ser esta uma metodologia original no contexto da gestão de recursos hídricos, propondo estratégia de controle de poluição ambiental, que busca conciliar o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental e que terá um impacto estruturante que deve ser considerado em projetos de Engenharia Sanitária como parte de sua solução.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. AMARAL, S. B. Aspectos da relação entre uso-ocupação do solo e qualidade da água na bacia do rio Pequeno – São José dos Pinhais/PR. Curitiba, 2002.
2. ANDREOLI, C. V. Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão. Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu. Curitiba: Sanepar, Finep, 2003.
3. BASSI, Lauro. Valuation of land use and management impacts on water resources in the Lajeado São José micro-watershed. Chapecó, Santa Catarina State, Brazil. Land-Water Linkages in Rural Watersheds. Case Study Series. Roma: FAO. Abril 2002. 18p.
4. BOWER, B. T.; Kneese, A. V. Managing water quality: economics, technology, institutions. USA, 1971. BRASIL. Uso do solo. Leis e decretos complementares da legislação do uso do solo.
5. COELHO, A. C. P. Agregação de novas variáveis ao processo de planejamento urbano e regional sob a perspectiva de gestão dos Recursos Hídricos. Curitiba, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
6. GARCEZ, L. A. Curitiba – Evolução Urbana. Curitiba, Rio de Janeiro: 2006.



7. GARROD, G & K.W. Willis. Economic Valuation of the environment: methods and case studies, Edward Elgar, Northampton, Mass., 1999.
8. IPEA, USP, IPPUC. Gestão do uso do solo e disfunções do crescimento urbano: instrumentos de planejamento e gestão urbana: Curitiba. Brasília: IPEA, 2001.
9. KRAMER, R.A. & J.I. Eisen-Hecht. Estimating the economic value of water quality protection in the Catawba River Basin. *Water Resources Research*, Vol.38, No. 9, 1182, 21-1 a 21-10, 2002.
10. MAMO, G.; E. Sjaastad & P. Vedeld. Economic dependence on forest resources: A case from Dendi District, Ethiopia. In: *Forest Policy and Economics*, v 9, n 7, April, 2007 Pages 916-927.
11. MASCARO, L; Mascaro, J. Vegetação Urbana. FINEP, UFRGS. Porto Alegre, 2002.
12. MATTIKALLI, Nandish M. and Keith S. Richards. Estimation of Surface Water Quality Changes in Response to Land Use Change: Application of The Export Coefficient Model Using Remote Sensing and Geographical Information System. *Journal of Environmental Management* (1996) 48, 263–282.
13. MITCHELL, R.C. & R.T. Carson. Current issues in the design, administration, and analysis of contingent valuation surveys, in *Current Issues in Environmental Economics*, edited by P. Johansson, B. Kristom, and K. Maler, pp. 10-34, Manchester, N.Y., 1995.
14. MITCHELL, R.C. & R.T. Carson. The value of clean water: the public's willingness to pay for boatable, fishable, and swimmable quality water. *Water Resour. Res.* 29(7), 2445-2454, 1993.
15. MITCHELL, R.C. & R.T. Carson. Using surveys to value public goods: the contingent valuation method, *Resour. of the Future*, Washington, D.C., 1989.
16. RAO, Mahesh, Guoliang Fan, Johnson Thomas, Ginto Cherian, Varun Chudiwale, Muheeb Awawdeh. A web-based GIS Decision Support System for managing and planning USDA's Conservation Reserve Program (CRP). *Environmental Modelling & Software* 22 (2007) 1270 e 1280
17. REIS, Lúcia Vidro de Souza. Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba. Piracicaba, 2004. Tese (doutorado) em Recursos Florestais. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 215p.
18. SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Diagnóstico preliminar dos mananciais atuais e futuros do sistema integrado de abastecimento de água da Região Metropolitana de Curitiba. / Companhia de Saneamento do Paraná. -- Curitiba: Sanepar/USHI, 2005. 52p.
19. SLIVA, Lucie and D. Dudley Williams. Buffer zone versus whole catchment Approaches to studying land use impact on River water quality. *Wat. Res.* Vol. 35, No. 14, pp. 3462–3472, 2001.
20. SMITH, V.K. & W.H. Desvousges. *Measuring Water Quality Benefits*, Kluwer Acad. Norwell, Mass., 1986.
21. SMITH, V.K.. Pricing what is priceless: A status report on non-market valuation of environmental resources, in *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics: A Survey of Current Issues*, edited by H. Folmer and T. Tietenberg, pp. 156-203, Edward Elgar, Northampton Mass., 1997.
22. STROBEL, J., W.C. de Sousa Jr., R.S. da Motta, M.R. Amend, D.A. Gonçalves. Critérios econômicos para a aplicação do princípio do protetor-recebedor: estudo de caso do Parque Estadual dos Três Picos. *Megadiversidade*, Volume 2, Nº 1-2, Dezembro 2006.
23. WEBB, T.; F.I. Woodward; L. Hannah. & K.J. Gaston. Forest cover–rainfall relationships in a biodiversity hotspot: the Atlantic Forest of Brazil. *Ecological Applications*, 15(6), 2005, pp. 1968–1983.