

# COBRANÇA PELA DILUIÇÃO DE EFLUENTES - PARTE II: APLICAÇÃO NO RIO PARAÍBA DO SUL

*Luciano Meneses Cardoso da Silva<sup>1</sup>, Giordano Bruno Bomtempo de Carvalho<sup>2</sup> & Patrick Thadeu Thomas<sup>3</sup>*

**RESUMO** --- Este artigo apresenta uma aplicação teórica com informações reais da metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos baseada na diluição de efluentes no rio Paraíba do Sul. Essa metodologia ainda não foi utilizada no Brasil. Esse tipo de cobrança pelo uso de recursos hídricos pode melhorar a harmonização entre todos os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

**ABSTRACT** --- This paper presents an theoretical application with real data of a water use charges methodology based on dilution of effluents in the Paraíba do Sul River. This methodology has not been applied in Brazil. This kind of water charges can improve the harmonization among all National Water Policy instruments.

**Palavras-chave:** Cobrança, Diluição de efluentes, Enquadramento.

---

<sup>1</sup> Especialista em Recursos Hídricos e Gerente de Outorga da Superintendência de Outorga e Fiscalização da Agência Nacional de Águas – ANA. Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco L, Brasília – DF. CEP 70.610-200. PABX: 2109-5278. E-mail: [lmenezes@ana.gov.br](mailto:lmenezes@ana.gov.br)

<sup>2</sup> Especialista em Recursos Hídricos da Superintendência de Apoio à Gestão da Agência Nacional de Águas – ANA. Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco L, Brasília – DF. CEP 70.610-200. PABX: 2109-5226. E-mail: [giordanobruno@ana.gov.br](mailto:giordanobruno@ana.gov.br)

<sup>3</sup> Especialista em Recursos Hídricos e Gerente de Cobrança da Superintendência de Apoio à Gestão da Agência Nacional de Águas – ANA. Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco L, Brasília – DF. CEP 70.610-200. PABX: 2109-5400. E-mail: [patrick@ana.gov.br](mailto:patrick@ana.gov.br)

## **1 – HISTÓRICO**

No XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, realizado em 2007 em São Paulo, foi publicado o artigo *Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos para Diluição de Efluentes* de autoria do primeiro autor do presente artigo (ver Cardoso da Silva, 2007).

No referido artigo foi apresentada uma metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos baseada em vazões de diluição geradas por lançamentos de efluentes, bem como o embasamento legal e a fundamentação teórica do “artifício matemático” da outorga para diluição de efluentes.

O artigo propôs um Pacto para Redução da Poluição o qual sinaliza passos bastante concretos para induzir o tratamento de efluentes e o uso racional dos recursos hídricos em dado manancial. Nesse sentido, foi proposta a cobrança pela diluição de efluentes com metas individuais e coletivas de alcance de objetivos de qualidade, incluindo mecanismos de premiação e punição dos usuários.

Ao final, concluiu-se que a cobrança pelo uso de recursos hídricos para fins de diluição de efluentes pode ser o elemento que faltava para articular e harmonizar, naturalmente, os instrumentos da PNRH, pois, ao contrário do que acontece atualmente, será cobrada uma vazão outorgada, baseada em um pacto progressivo de enquadramento, ao longo de um planejamento estruturado, voltado à melhoria da qualidade de água, onde há mecanismos de premiação e punição coletivos e individuais, promovendo um ambiente de discussão mais pró-ativo e compromissado com os objetivos de qualidade da água que a sociedade deseja.

O presente artigo utiliza informações reais de um trecho da bacia do rio Paraíba do Sul para fazer uma aplicação teórica da metodologia de cobrança pela diluição de efluentes proposta no artigo mencionado anteriormente.

## **2 – RESUMO DA OUTORGA PARA DILUIÇÃO DE EFLUENTES**

Quando um usuário lança efluentes líquidos em um corpo de água, é possível que esteja agregando uma série de substâncias com características físico-químicas e biológicas distintas das originalmente presentes no corpo hídrico.

Porém, dependendo da quantidade de efluente lançado, bem como da concentração dos diversos constituintes (poluentes), o lançamento poderá ser incompatível com os demais usos antrópicos da água, ou com os objetivos de qualidade que a sociedade determinou por meio do enquadramento dos corpos de água.

É necessário, portanto, que se conheçam os impactos quali-quantitativos que cada usuário causará ao manancial ao longo do tempo e dos trechos, considerando cada parâmetro de qualidade

(poluente). Após o conhecimento dos impactos individuais, é fundamental estimar e entender como se dará o impacto cumulativo desses usos nos corpos de água.

O que está apresentado adiante, no que concerne à quantificação dos impactos qualitativos do lançamento de efluentes, está apoiado em conceitos propostos por Kelman (1997) e desenvolvidos por Cardoso da Silva e Monteiro (2004), onde as interferências qualitativas no corpo hídrico são “transformadas” em equivalentes quantitativos. Esse procedimento facilita, significativamente, as análises dos pleitos de outorga que realizam lançamento de efluentes, unificando, dessa forma, as análises quantitativas e qualitativas pertinentes.

Além disso, é um procedimento que poderá abrir possibilidades para aprimorar as atuais estruturas de cobrança pelo uso de recursos hídricos para fins de diluição de efluentes, incorporando conceitos de metas de qualidade, as quais, hoje, não são contempladas.

## 2.1 – Formulação matemática

A equação em que se baseia o balanço qualitativo é chamada de Equação de Diluição, proposta por Kelman (1997):

$$Q_{dil} = Q_{ef} \cdot \frac{(C_{ef} - C_{perm})}{(C_{perm} - C_{nat})} \quad (1)$$

onde,

- $Q_{dil}$  = vazão de diluição para determinado parâmetro de qualidade;
- $Q_{ef}$  = vazão do efluente que contém o parâmetro de qualidade analisado;
- $C_{ef}$  = concentração do parâmetro de qualidade no efluente;
- $C_{perm}$  = concentração permitida para o parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento;
- $C_{nat}$  = concentração natural do parâmetro de qualidade no manancial onde é realizado o lançamento.

A **Vazão de Diluição** ( $Q_{dil}$ ) é a vazão necessária para diluir determinada concentração ( $C_{ef}$ ) de dado parâmetro de qualidade, de modo que a concentração resultante seja igual à concentração permitida ( $C_{perm}$ ) para o manancial.

Admite-se, sempre, que o manancial receptor do efluente está na condição natural de concentração do parâmetro de qualidade ( $C_{nat}$ ) em estudo. Por exemplo, segundo Klein (1962) *apud* von Sperling (1998), um rio bastante limpo possui uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) natural de, aproximadamente, 1,0 mg/L, decorrente da matéria orgânica oriunda de folhas e galhos de árvore, peixes mortos, fezes de animais, etc. Para os parâmetros fenol, mercúrio e arsênio, por exemplo, é esperado que a concentração natural seja nula.

As razões para adoção da concentração natural ( $C_{nat}$ ), em lugar da concentração atual, estão expressas em Cardoso da Silva (2007).

O resultado da equação de diluição é uma vazão, denominada Vazão de Diluição ( $Q_{dil}$ ), da qual o usuário se “apropria virtualmente” para diluir determinado parâmetro de qualidade presente em seu efluente. Essa vazão se propaga para jusante, podendo o seu valor aumentar, diminuir, ou mesmo se manter constante, dependendo das seguintes condições:

- a) Se o parâmetro de qualidade que está sendo diluído é conservativo ou não-conservativo;
- b) Se as concentrações permitidas ( $C_{perm}$ ) do parâmetro de qualidade nos trechos de jusante ao do lançamento sofrem mudanças.

A Vazão de Diluição somada à vazão do próprio efluente resulta em uma Vazão de Mistura cuja concentração final é igual à concentração permitida –  $C_{perm}$  para o manancial (classe de enquadramento, ou meta intermediária).

Na Vazão de Mistura de um determinado parâmetro de qualidade não poderá ser diluída mais nenhuma carga desse mesmo parâmetro, sendo possível, porém, a sua utilização para diluição de outros parâmetros de qualidade, bem como para captação. Ou seja, dentro de um mesmo metro cúbico de água poderão ser diluídos vários parâmetros de qualidade, além de ser possível a sua captação, observando a necessidade de novas diluições a jusante.

No caso de lançamento de efluentes que possuam poluentes não-conservativos, como a matéria orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO), por exemplo, a carga resultante na vazão de mistura sofrerá um decaimento natural ao longo do tempo e dos diferentes trechos do manancial, decorrente da possibilidade de autodepuração do corpo hídrico por processos naturais.

A vazão de mistura que este usuário torna indisponível no manancial para outras diluições do mesmo parâmetro de qualidade é aqui chamada de **Vazão Indisponível** ( $Q_{indisp}$ ). É importante lembrar que a indisponibilidade hídrica mencionada é virtual, ou seja, é uma vazão que permanece no manancial e nela não poderá ser diluído mais do mesmo parâmetro de qualidade, pois essa vazão já se encontra na concentração máxima permitida ( $C_{perm}$ ).

A vazão indisponível no ponto de lançamento ( $Q_{indisp_1}$ ) é dada pela equação abaixo:

$$Q_{indisp_1} = Q_{dil_1} + Q_{ef} \quad (2)$$

O índice ( $_1$ ) refere-se sempre ao que acontece no ponto de lançamento de efluentes, enquanto o índice ( $_n$ ) a um ponto qualquer a jusante do lançamento de efluentes, como será visto adiante.

Caso o parâmetro de qualidade for não-conservativo, o decaimento natural que a carga de poluente sofrerá será refletido, também, em uma redução da  $Q_{indisp_1}$ .

O balanço qualitativo deve ser realizado quantificando-se, mensalmente, em todos os trechos, a vazão indisponível total de cada parâmetro de qualidade, com ou sem decaimento, proveniente dos diversos lançamentos realizados pelos diferentes usuários.

A verificação de atendimento ao balanço qualitativo deve ser realizada comparando-se a vazão indisponível total de determinado parâmetro de qualidade (soma de todas as vazões indisponíveis que ocorrem em cada trecho, mês a mês), com a vazão remanescente no manancial (*Qreman*). A vazão remanescente é a vazão que resta no manancial após todas as interferências quantitativas (captações, lançamentos e alterações de regime de vazão promovidas por reservatórios de regularização).

Dessa forma, se a vazão indisponível total de determinado parâmetro de qualidade, em qualquer mês, ou qualquer trecho, for maior que a vazão remanescente (se  $Q_{indisp} > Q_{reman}$ ), significa que não haverá vazão suficiente para diluir aquele parâmetro de qualidade e manter o manancial dentro da qualidade desejada, ou permitida, seja ela fruto de enquadramento em classes ou de um pacto de comitê para redução de poluição (visto adiante).

Cardoso da Silva e Monteiro (2004) propuseram formulações para o cálculo das vazões de diluição (*Qdil*) e das vazões indisponíveis (*Qindisp*) para parâmetros de qualidade não-conservativos e conservativos em qualquer ponto do manancial, considerando os correspondentes decaimentos (reduções). Para o presente artigo, há interesse apenas no parâmetro DBO.

- **DBO:** O cálculo da vazão indisponível ( $Q_{indisp_n}$ ) para DBO em qualquer trecho a jusante do lançamento ( $Q_{indisp_n}$ ) é dado pela equação 3.

$$Q_{indisp_n} = \frac{(Q_{ef} + Q_{dil_1}) \cdot C_{perm_1} \cdot e^{-K_1 \cdot T}}{C_{perm_n}} \quad (3)$$

onde,

- $Q_{dil_1}$  = vazão de diluição no trecho onde ocorre o lançamento (em m<sup>3</sup>/s);
- $Q_{ef}$  = vazão do efluente (em m<sup>3</sup>/s);
- $K_1$  = coeficiente de desoxigenação (dia<sup>-1</sup>);
- $T$  = tempo de percurso (em dias) do trecho onde ocorre o lançamento até o trecho onde se deseja calcular a vazão indisponível;
- $C_{perm_1}$  = concentração permitida de DBO para o manancial no trecho onde ocorre o lançamento;
- $C_{perm_n}$  = concentração permitida de DBO para o manancial no trecho onde se deseja calcular a vazão indisponível.

### 3 – RESUMO DO PACTO PARA REDUÇÃO DE POLUIÇÃO

Suponha um trecho hipotético de rio onde, originalmente, a concentração de DBO era de 1,0 mg/L. Ao longo dos anos, até os dias atuais, os usos das suas águas foram se tornando mais intensos (cidades, indústrias, etc.) a ponto de, atualmente, a concentração de DBO estar em torno de 25,0 mg/L.

Porém, esse trecho de rio havia sido enquadrado na classe II, onde o limite permitido de concentração de DBO é de 5,0 mg/L (Resolução Conama n.º 357/2005). Ou seja, a concentração atual de DBO não deveria ter ultrapassado esse limite (5,0 mg/L). Cabe lembrar que como o rio continua enquadrado na classe II, é mantido o compromisso da sociedade de atingir, em algum momento futuro, esse objetivo de qualidade (concentração máxima de DBO de 5,0 mg/L). Ressalta-se que esses objetivos abrangem diversos parâmetros de qualidade, não só a DBO.

Com base nos instrumentos disponíveis na legislação, uma possibilidade (complexa) de solução desse tipo de problema passa, resumidamente, pelos seguintes passos (já descritos em Cardoso da Silva, 2007):

- Sejam aceitas (reconhecidas) as condições atuais de poluição;
- Sejam regularizados (outorgados) os usos existentes (todos) e registradas as respectivas vazões indisponíveis (*Q<sub>indisp</sub>*) de cada usuário.
  - Uma vez flexibilizada, oficialmente, a concentração máxima permitida, a autoridade outorgante poderá outorgar a todos os usuários sem ferir o artigo 13 da Lei n. 9.433/97 que determina que **toda outorga deverá respeitar a classe em que o corpo hídrico estiver enquadrado**.
- Seja estabelecida uma agenda de compromissos de abatimento progressivo de carga poluidora com cada usuário, ou cada setor usuário.
- Seja realizada cobrança pelo uso de recursos hídricos para diluição de efluentes.
  - Nesse exemplo, a cobrança deve ser realizada sobre a vazão (ou volume) indisponível (*Q<sub>indisp</sub>*) referente à DBO de cada usuário.
  - A redução gradativa da concentração máxima permitida (*C<sub>perm</sub>*), segundo a Equação 1, tem interferência direta sobre o cálculo da vazão indisponível, Equação 2 (*Q<sub>indisp</sub>*).
  - Se, ao longo do tempo, o usuário (ou setor usuário) descumprir a sua agenda de compromissos quanto à redução da vazão ou da concentração de poluente no seu efluente, a vazão indisponível originalmente calculada irá aumentar a cada vez que a concentração máxima permitida diminuir (oficialmente). Isso resultará em pagamentos pelo uso dos recursos hídricos para fins de diluição cada vez maiores.
  - Dependendo dos valores unitários cobrados pela vazão ou volume indisponível, pode-se chegar ao ponto em que o usuário perceberá que é mais

vantajoso financeiramente tratar os seus efluentes do que continuar pagando os valores a eles atribuídos por este mecanismo de cobrança.

A Figura 1 representa, esquematicamente, um pacto para redução da poluição para o parâmetro DBO, onde são estabelecidos patamares de poluição admissíveis (metas progressivas, intermediárias e final), por determinados períodos de tempo, gradativa e oficialmente decrescidos até a meta de qualidade desejada (enquadramento).

Obviamente, deve-se ter cautela ao se aplicar metodologias como esta para evitar impactos econômicos negativamente excessivos sobre determinado setor usuário e a consequente repercussão social. Todavia, como os valores são sugeridos pelos comitês de bacia, dos quais participam os usuários pagadores, considera-se que os preços unitários por metro cúbico de vazão alocada para diluição serão compatíveis com a capacidade de pagamento dos usuários.

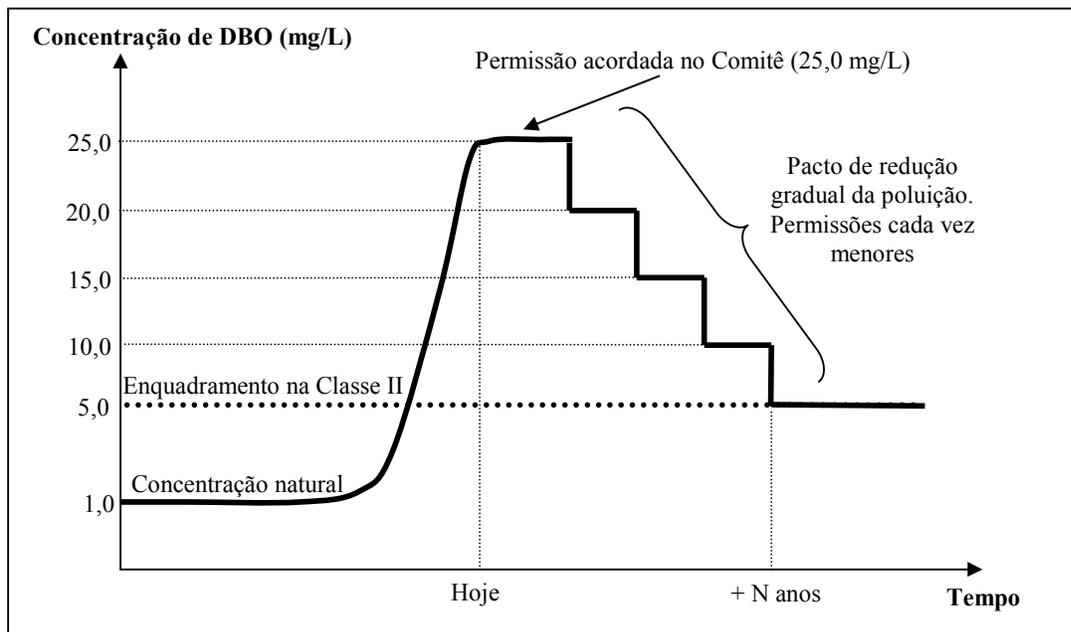


Figura 1. Pacto de Comitê para redução da poluição. Fonte: Cardoso da Silva e Monteiro (2004).

#### 4 – RESUMO DA COBRANÇA PELA DILUIÇÃO DE EFLUENTES

Neste capítulo resume-se a estrutura de cobrança pelo uso de recursos hídricos para fins de diluição de efluentes proposta em Cardoso da Silva (2007).

A estrutura de cobrança proposta possui as seguintes características:

- Deve haver metas individuais e coletivas de alcance dos objetivos de qualidade.
- O valor da cobrança (C\$) será função: de um Volume Indisponível ( $VOL_{indisp}$ , em  $m^3$ ) para determinado parâmetro de qualidade (DBO, neste exemplo), de um Preço

Público Unitário – PPU e de um fator de alcance de metas de qualidade do corpo hídrico (F), tudo para dado parâmetro de qualidade.

- O Preço Público Unitário – PPU é dado em unidades monetárias por metro cúbico de volume indisponível (R\$/m<sup>3</sup>) e é definido pelo Comitê de Bacia Hidrográfica;
- O Fator de alcance de metas de qualidade do corpo hídrico (F) é um fator que avalia o desempenho do conjunto dos usuários na redução das cargas de poluentes. Esse fator é adimensional e é função da Concentração observada (*Cobs*) no corpo hídrico do parâmetro de qualidade analisado, da sua concentração natural (*Cnat*) e da concentração permitida desse parâmetro no manancial (*Cperm*). A Equação 4 apresenta o referido Fator de alcance de metas de qualidade do corpo hídrico.

$$F = \frac{(Cobs - Cnat)}{(Cperm - Cnat)} \quad (4)$$

- O valor cobrado (C\$, em R\$) pela diluição de efluentes é dado pelas Equações 5 e 6.

$$C\$ = PPU * VOLindisp * F \quad (5)$$

$$\text{ou } C\$ = PPU * VOLindisp * \frac{(Cobs - Cnat)}{(Cperm - Cnat)} \quad (6)$$

A Equação 6 traz alguns aspectos que merecem ser discutidos:

- O fator de alcance de metas (F) poderá variar de zero a um valor maior que a unidade, dependendo apenas das concentrações observadas e permitidas do poluente no manancial.
  - Se F=1, significa que as metas intermediárias e final de qualidade estabelecidas estão sendo rigorosamente cumpridas pelo conjunto dos usuários.
  - Se F>1, significa que as metas não estão sendo cumpridas.
  - Se F<1, significa que as concentrações de poluentes no manancial estão menores que as metas (melhor que o esperado!).
- Essa possibilidade de variação do Fator de alcance de metas (F > 1,0; F = 1; F < 1,0), que depende da efetivação do alcance dessas metas de qualidade, é que penalizará ou premiará todos os usuários, pois ele multiplica diretamente o PPU e o VOLindisp.

- No início do pacto de comitê para redução da poluição, a concentração permitida ( $C_{perm}$ ) deve ser igual à concentração observada ( $C_{obs}$ ). Isso faz com que o fator  $F$  seja igual a 1,0, não penalizando nem premiando usuários.
- Se ao longo do tempo (do pacto) os usuários, de forma geral, não estiverem cumprindo seus compromissos de abatimento de carga de poluente, as concentrações observadas ( $C_{obs}$ ) permanecerão no mesmo patamar (ou até aumentarão), mas as concentrações permitidas ( $C_{perm}$ ) continuarão sendo oficialmente reduzidas. Isso fará com que o fator ( $F$ ) se torne maior que 1,0, pois as metas não estarão sendo efetivamente cumpridas. Esse fato irá majorar o valor da cobrança e, conseqüentemente, penalizar todos usuários.
- Por outro lado, aqueles usuários que cumprirem seus compromissos de abatimento de carga não serão tão penalizados quanto os outros, pois seus valores de vazão indisponível ( $VOL_{indisp}$ ) serão cada vez menores, havendo, com isso, uma compensação, a menor, dos valores cobrados.

## 5 – APLICAÇÃO EM TRECHO DO RIO PARAÍBA DO SUL

Segundo ANA (2008), no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH existem, atualmente, 920 cadastros de captações de água na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, que representam uma vazão total de 191,25 m<sup>3</sup>/s. Desses usos, 595 estão em cursos d'água de domínio estadual e os outros 325 sob domínio da União. Entre esses últimos, 55 são captações com vazões máximas inferiores a 1,0 L/s, as quais podem ser dispensadas de outorga por serem consideradas insignificantes, conforme Deliberação nº 15 do CEIVAP, de 4 de novembro de 2002, e Resolução ANA nº 707/2004.

Existem, ainda, 600 cadastros de usos referentes a lançamentos de efluentes na bacia, sendo 345 em corpos d'água de domínio estadual e 255 em corpos d'água de domínio da União. Entre os lançamentos de domínio da União, 155 estão localizados no rio Paraíba do Sul.

Na quantificação das demandas para lançamento de efluentes realizadas em ANA (2008), adotou-se a vazão média mensal de lançamento para os esgotos domésticos e a vazão máxima instantânea de lançamento para os demais usos, como as indústrias. Quanto à DBO, admitindo-se o cenário mais crítico, decidiu-se por usar o valor da DBO máxima, tanto para os efluentes com ou sem tratamento.

Caracterizadas as demandas e a disponibilidade hídrica da bacia, o cotejo desses dois aspectos resultou no balanço hídrico da bacia do rio Paraíba do Sul. A análise foi realizada considerando o

efeito cumulativo dos usos e, no caso dos lançamentos de efluentes, o decaimento da matéria orgânica ao longo dos trechos de rio (ANA, 2008).

O resultado do balanço hídrico quantitativo (Figura 2) foi positivo e mostrou que as vazões de captação acumuladas, nos cursos d'água de domínio da União são, geralmente, inferiores a 40% da disponibilidade hídrica.

O balanço hídrico sob o aspecto qualitativo foi avaliado pela relação entre a vazão de diluição dos lançamentos e a vazão  $Q_{7,10}$  (vazão de referência adotada na bacia). A Figura 3 mostra o comprometimento qualitativo da disponibilidade hídrica dos rios de domínio da União na bacia.

Na Figura 3, observa-se que os trechos do rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Jacareí e Queluz (ambos no estado de São Paulo), tiveram índices de comprometimento da disponibilidade hídrica, em termos qualitativos, acima de 100%, atingindo os piores índices nos municípios de São José dos Campos (221%) e em Tremembé (232%). Nesses trechos a disponibilidade hídrica, caracterizada pela  $Q_{7,10}$ , está em trono de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto a necessidade de água para diluição dos lançamentos acumulados, após decaimento da carga orgânica ao longo dos cursos d'água, supera  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  (ANA, 2008).

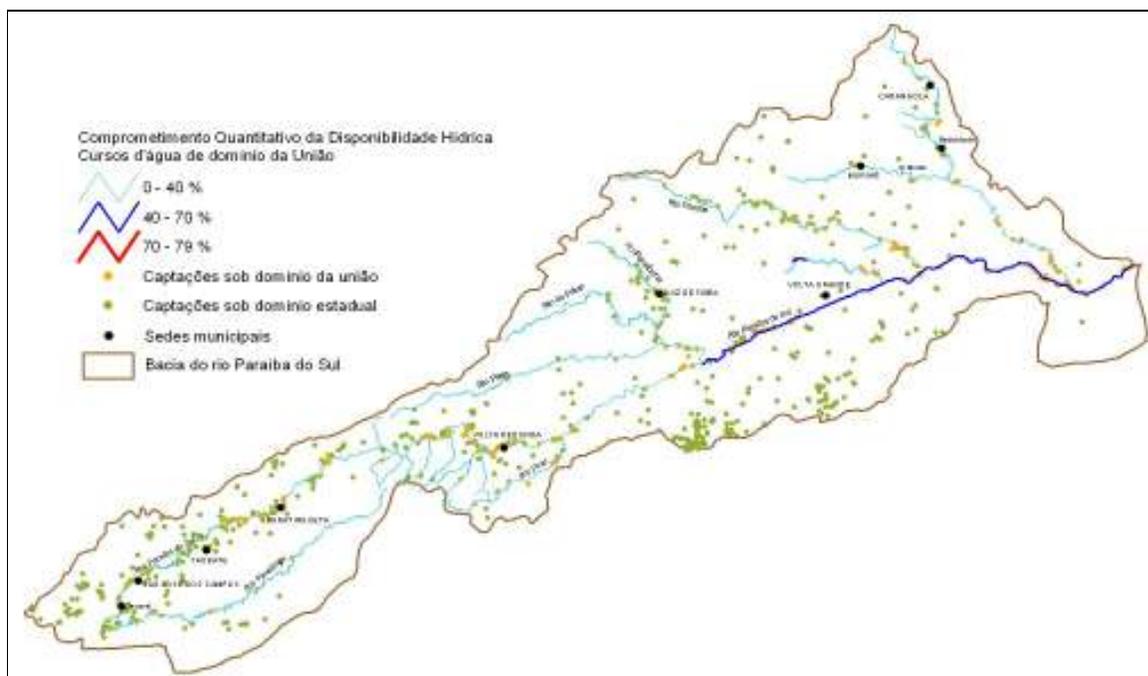


Figura 2. Balanço hídrico quantitativo da bacia do rio Paraíba do Sul. (Fonte: ANA, 2008)

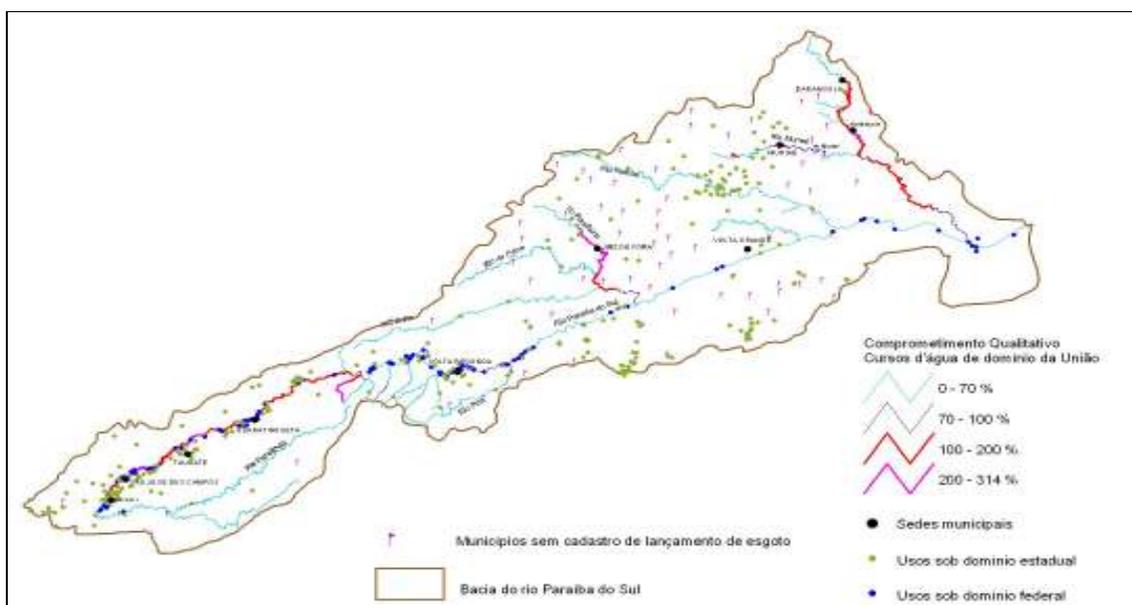


Figura 3. Balanço hídrico qualitativo da bacia do rio Paraíba do Sul. (Fonte: ANA, 2008)

Tendo em vista os resultados desfavoráveis do balanço hídrico qualitativo e as observações quanto aos usos e vazões de diluição, foram testados níveis de eficiência de remoção da carga orgânica dos lançamentos existentes de forma a identificar alternativas para equilibrar o balanço hídrico qualitativo de modo a respeitar a classe de enquadramento (Classe II).

Como resultado, de forma geral, concluiu-se que é necessário um nível de remoção de DBO de, aproximadamente, 80%.

Em lugar de se trabalhar com todos os usuários, optou-se, no presente artigo, por trabalhar com 5 (cinco) Usuários Típicos (escolhidos dentre os usuários existentes) dos setores de saneamento e indústria, os quais representariam o conjunto dos usuários. A Tabela 1 apresenta esses usuários típicos, suas características de lançamento de efluentes, bem como uma estimativa dos custos de remoção de DBO para se atingir o nível de eficiência desejado (80%).

Tabela 1 – Características de lançamento, eficiência e custo de remoção de DBO dos usuários típicos selecionados.

Usuário	Q <sub>efluente</sub> (m <sup>3</sup> /s)	DBO <sub>média</sub> lançada (mg/L)	Eficiência atual de remoção de DBO	Eficiência desejada de remoção de DBO	Custo estimado para atingir a eficiência desejada (R\$)
Saneamento 1	0,3	321,8	16 %	80 %	16.900.000
Saneamento 2	1,4	172,0	38 %	80 %	33.200.000
Saneamento 3	0,7	300,0	0 %	80 %	26.900.000
Indústria 1	0,03	400,0	0 %	80 %	1.750.000
Indústria 2	0,09	154,0	74 %	80 %	600.000

### 5.1 – Pacto e Cenários de redução de DBO no rio

Considerando que os índices de comprometimento atingiram 232% (relativa à classe de enquadramento II, 5,0 mg/L), a DBO estimada para o trecho em estudo do rio Paraíba do Sul é de 11,6 mg/L.

Admite-se que se deseja atingir a classe II (5,0 mg/L) entre 15 e 17 anos, de modo que haja tempo suficiente para que os usuários promovam os níveis de tratamento desejados.

Dessa forma, propõe-se o seguinte Pacto de Redução da DBO no rio: do ano 1 ao ano 5, permite-se a DBO atual (11,6 mg/L); do ano 6 ao 10, DBO 9,0 mg/L; do ano 11 ao 14, DBO 6,5 mg/L; e do ano 15 ao 17, DBO 5,0 mg/L.

Admitem-se, agora, três Cenários de Redução da DBO no rio: no cenário I, todos os usuários não fazem qualquer esforço para tratar seus efluentes, resultando numa DBO no rio constante de 11,6 mg/L ao longo dos anos; no cenário II, os usuários cumprem à risca as determinações de redução da carga lançada, resultando no cumprimento rigoroso do pacto de redução da DBO no rio; e no cenário III, os usuários vão além do estipulado para redução da DBO dos seus efluentes, resultando, no rio, numa DBO inferior ao estabelecido no Pacto.

A Tabela 2 e a Figura 4 apresentam o pacto de redução da DBO no rio, bem como os três cenários de redução da DBO no rio.

Tabela 2. Pacto de Redução da DBO no rio e Cenários de Redução.

ANOS	Pacto	DBO(mg/L)		
		Cenário I	Cenário II	Cenário III
1	11,6	11,6	11,6	11,6
2	11,6	11,6	11,6	11,6
3	11,6	11,6	11,6	11,6
4	11,6	11,6	11,6	11,6
5	11,6	11,6	11,6	11,6
6	9,0	11,6	9,0	7,0
7	9,0	11,6	9,0	7,0
8	9,0	11,6	9,0	7,0
9	9,0	11,6	9,0	7,0
10	9,0	11,6	9,0	7,0
11	6,5	11,6	6,5	5,0
12	6,5	11,6	6,5	5,0
13	6,5	11,6	6,5	5,0
14	6,5	11,6	6,5	5,0
15	5,0	11,6	5,0	3,0
16	5,0	11,6	5,0	3,0
17	5,0	11,6	5,0	3,0

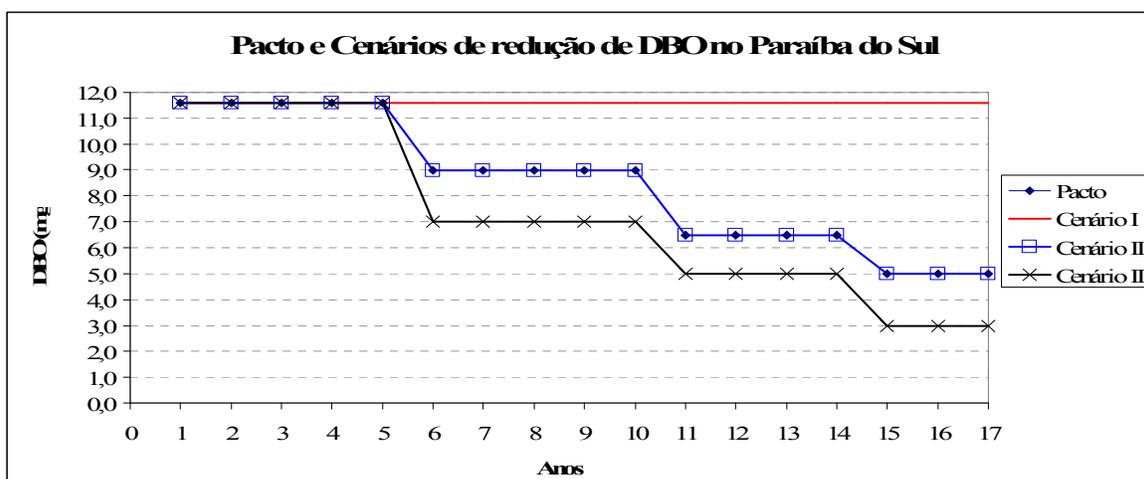


Figura 4. Pacto de Redução da DBO no rio e Cenários de Redução.

Observa-se que os anos de verificação dos resultados do Pacto são o 6, o 11 e o 15. Esses marcos temporais também serão utilizados como marcos para investimento em tratamento de efluentes por parte dos usuários típicos selecionados.

## 5.2 – Simulação de comportamento dos usuários

Neste item, avalia-se qual seria o comportamento dos usuários típicos frente ao comportamento dos demais usuários da região. Como mencionado, o comportamento geral dos usuários está expresso nos 3 (três) cenários de redução de DBO no rio.

Para cada cenário de redução de DBO no rio (cenários I, II e III), foram simuladas quatro situações de comportamento dos usuários: não tratando os efluentes, tratando os efluentes no ano 1, tratando os efluentes no ano 5 e tratando os efluentes no ano 10. Todas essas três situações de tratamento consideram a redução de DBO dos efluentes até o nível desejado explicitado na Tabela 1. Além disso, foram testados vários níveis de preço do metro cúbico de vazão indisponível para a DBO (PPU).

Atualmente, de acordo com a Deliberação nº 065, de 28 de setembro de 2006 do CEIVAP, o valor cobrado pelo lançamento de 1,0 kg de matéria orgânica (DBO) no rio Paraíba do Sul é de R\$ 0,07 (7 centavos de Real), independentemente da qualidade de água do rio ou de um pacto para melhoria de qualidade.

Os valores de cobrança testados neste artigo são aplicados sobre os volumes indisponíveis para diluição de DBO. Foram testados valores de PPU de R\$ 0,00075/m<sup>3</sup>, R\$ 0,00645 e R\$ 0,009/m<sup>3</sup> e avaliados os comportamentos dos usuários típicos de modo a “prever” quando estes tomariam a decisão de tratar seus efluentes, a partir de uma análise puramente financeira, para cada um dos cenários de redução de DBO no rio. A taxa de desconto utilizada foi de 12% ao ano. O valor

inicial de R\$ 0,00075 corresponde, aproximadamente, ao que os usuários pagam atualmente nos rios federais da bacia do rio Paraíba do Sul pela carga lançada, considerando o preços de R\$ 0,07/Kg.

A Figura 5 mostra qual seria o comportamento dos usuários típicos frente ao cenário I e a um valor de cobrança de R\$ 0,00075/m<sup>3</sup>. Observa-se que no cenário I (desrespeito ao pacto), com o preço estipulado, não valerá a pena para esses usuários tratar em nenhum momento os seus efluentes.



Figura 5. Comportamento dos usuários típicos.

Nas Figuras 6 e 7, com o aumento do valor da cobrança para R\$ 0,00645/m<sup>3</sup> é possível notar uma tendência desses usuários de iniciarem seus tratamentos no ano 5.

Premissas:  
 1- Passo de tempo anual  
 2- Características do pacto de redução de poluição

Cnat= 1,0 mg/L (concentração natural)  
 Cobs no início do pacto= 11,6 mg/L  
 Cperm no início do pacto= 11,6 mg/L  
 Meta de final de pacto = 5,0 mg/L  
 Duração do pacto = 17,0 anos

PPU = 0,00645 R\$/m<sup>3</sup> indisponível  
 Taxa de desconto = 12%

Cenário simulado (1, 2 ou 3) 1 Pior que o Pacto

Comportamento dos usuários					
	Saneamento1	Saneamento2	Saneamento3	Indústria1	Indústria2
Custo total estimado de tratamento (R\$):					
	16.900.000,00	33.200.000,00	26.900.000,00	1.750.000,00	600.000,00
	Tratar?	Tratar?	Tratar?	Tratar?	Tratar?
	tratar no ano 5	não tratar			

ANOS	Pacto	
	Cperm(mg/L)	Cobs(mg/L)
1	11,6	11,6
2	11,6	11,6
3	11,6	11,6
4	11,6	11,6
5	11,6	11,6
6	9,0	11,6
7	9,0	11,6
8	9,0	11,6
9	9,0	11,6
10	9,0	11,6
11	6,5	11,6
12	6,5	11,6
13	6,5	11,6
14	6,5	11,6
15	5,0	11,6
16	5,0	11,6
17	5,0	11,6

Figura 6. Comportamento dos usuários típicos.

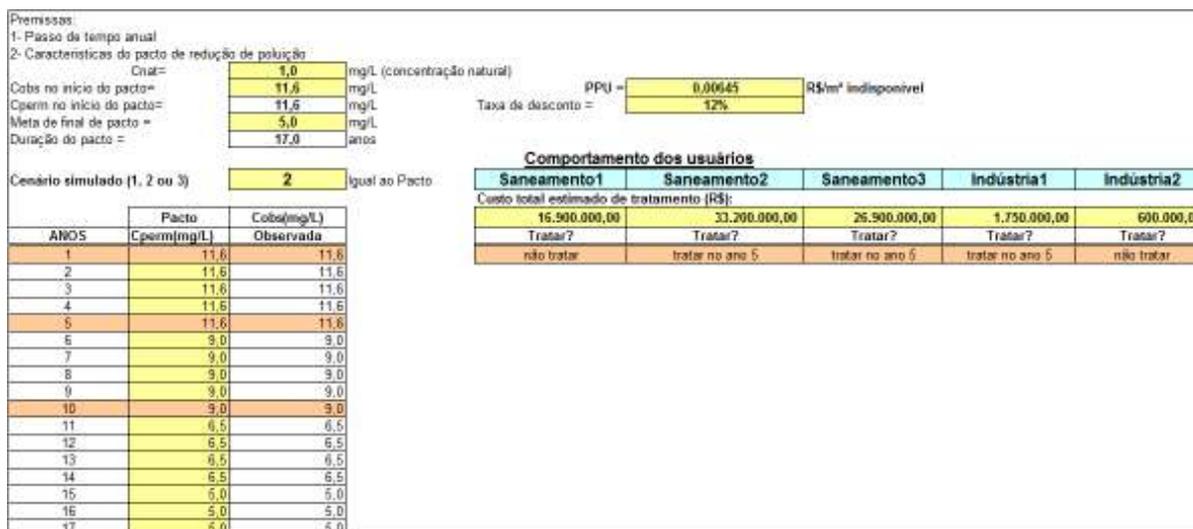


Figura 7. Comportamento dos usuários típicos.

Mantendo-se o valor do PPU em R\$ 0,00645/m<sup>3</sup>, mas considerando o cenário III, mantém-se a decisão de não tratar, uma vez que os valores de cobrança seriam ainda menores dada a situação da qualidade da água estar melhor que o pacto (Figura 8). Em outras palavras, esse valor de PPU não coibiria a ação de “caronas” considerando o cenário III.

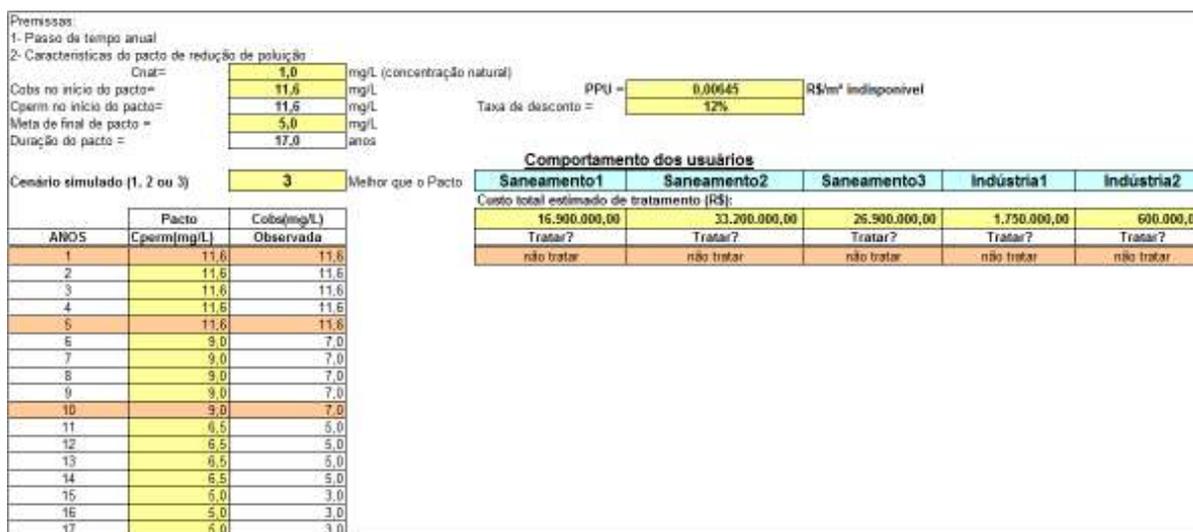


Figura 8. Comportamento dos usuários típicos.

Para o PPU de R\$ 0,009/m<sup>3</sup>, caso o cenário de comportamento do rio fosse o I (qualidade pior que o pacto), todos tratariam seus efluentes imediatamente (Figura 9). O mesmo ocorrendo caso o cenário fosse o II, com exceção do usuário Indústria 2, que optaria por não tratar (Figura 10).

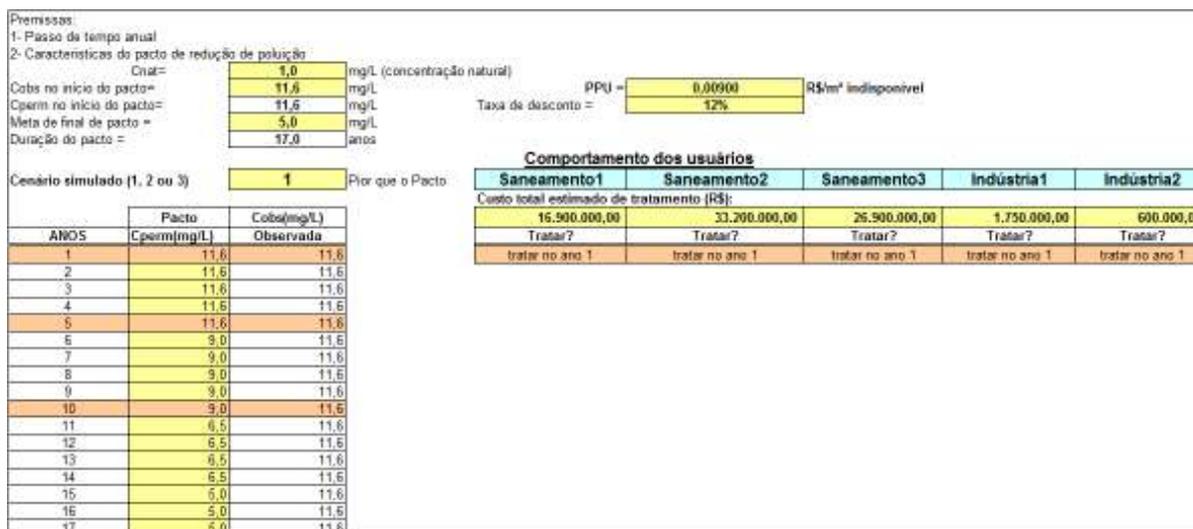


Figura 9. Comportamento dos usuários típicos.

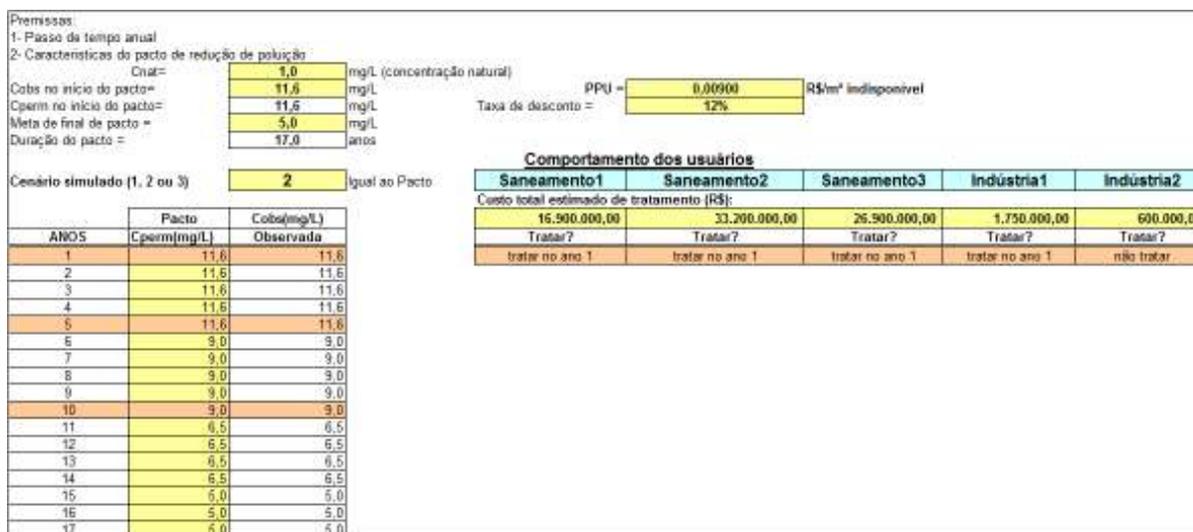


Figura 10. Comportamento dos usuários típicos.

O menor valor que induziria a todos os usuários, simultaneamente, a tratar seus efluentes já no ano 1 equivale a 21 vezes o valor atual de PPU, ou seja, R\$ 0,01575/m³ (ver Figura 11), considerando o cenário II. Já no cenário III, esse valor deveria ser 33 vezes maior (R\$ 0,02475/m³).

Premissas:		1- Passo de tempo anual		2- Características do pacto de redução de poluição			
Cnat=	1,0	mg/L (concentração natural)	PPU =	0,01575	R\$/m³ indisponível		
Cobs no início do pacto=	11,6	mg/L	Taxa de desconto =	12%			
Cperm no início do pacto=	11,6	mg/L					
Meta de final de pacto =	5,0	mg/L					
Duração do pacto =	17,0	anos					
Cenário simulado (1, 2 ou 3)	2	Igual ao Pacto	<b>Comportamento dos usuários</b>				
			<b>Saneamento1</b>	<b>Saneamento2</b>	<b>Saneamento3</b>	<b>Indústria1</b>	<b>Indústria2</b>
Custo total estimado de tratamento (R\$):							
			16.900.000,00	33.200.000,00	26.900.000,00	1.750.000,00	600.000,00
			Tratar?	Tratar?	Tratar?	Tratar?	Tratar?
			tratar no ano 1	tratar no ano 1	tratar no ano 1	tratar no ano 1	tratar no ano 1

ANOS	Pacto	Cobs(mg/L)
	Cperm(mg/L)	Observada
1	11,6	11,6
2	11,6	11,6
3	11,6	11,6
4	11,6	11,6
5	11,6	11,6
6	9,0	9,0
7	9,0	9,0
8	9,0	9,0
9	9,0	9,0
10	9,0	9,0
11	6,5	6,5
12	6,5	6,5
13	6,5	6,5
14	6,5	6,5
15	5,0	5,0
16	5,0	5,0
17	5,0	5,0

Figura 11. Comportamento dos usuários típicos.

A Figura 12 mostra os cálculos dos valores a serem pagos pelo usuário Saneamento1, utilizando um PPU de R\$ 0,00645/m<sup>3</sup>, no cenário I. Como o usuário não trata seus efluentes, observa-se que a partir do ano 6 o valor da cobrança começa a ser majorado pelo fator (F) de forma punitiva, indo de 1,33 a 2,65 vezes o valor normal esperado, caso o Pacto fosse cumprido (cenário II).

Caso o usuário não faça tratamento algum de efluentes no âmbito de um pacto de redução de poluição									
PPU =		0,00645		R\$/m³ indisponível		Operação do lançamento			
						h/dia			
						Dias/mês			
						Meses/ano			
Qef =		0,3		m³/s (constante ao longo do tempo)					
Cef =		321,8		mg/L (constante ao longo do tempo)					
ANOS	Cperm(mg/L)	Qdii (m³/s)	Qindisp(m³/s)	VOLindisp (m³/ano)	Cobs(mg/L)	Fator (F)	C\$(R\$/ano)		
					Observada		Esperado	Cobrado(n-trat)	
1	11,6	10,155	10,502	326 643 644	11,6	1,00	2 106 852	2 106 852	
2	11,6	10,155	10,502	326 643 644	11,6	1,00	2 106 852	2 106 852	
3	11,6	10,155	10,502	326 643 644	11,6	1,00	2 106 852	2 106 852	
4	11,6	10,155	10,502	326 643 644	11,6	1,00	2 106 852	2 106 852	
5	11,6	10,155	10,502	326 643 644	11,6	1,00	2 106 852	2 106 852	
6	9,0	13,568	13,915	432 802 829	11,6	1,33	2 791 578	3 698 841	
7	9,0	13,568	13,915	432 802 829	11,6	1,33	2 791 578	3 698 841	
8	9,0	13,568	13,915	432 802 829	11,6	1,33	2 791 578	3 698 841	
9	9,0	13,568	13,915	432 802 829	11,6	1,33	2 791 578	3 698 841	
10	9,0	13,568	13,915	432 802 829	11,6	1,33	2 791 578	3 698 841	
11	6,5	19,893	20,240	629 531 387	11,6	1,93	4 060 477	7 825 647	
12	6,5	19,893	20,240	629 531 387	11,6	1,93	4 060 477	7 825 647	
13	6,5	19,893	20,240	629 531 387	11,6	1,93	4 060 477	7 825 647	
14	6,5	19,893	20,240	629 531 387	11,6	1,93	4 060 477	7 825 647	
15	5,0	27,482	27,829	865 605 658	11,6	2,65	5 583 156	14 795 365	
16	5,0	27,482	27,829	865 605 658	11,6	2,65	5 583 156	14 795 365	
17	5,0	27,482	27,829	865 605 658	11,6	2,65	5 583 156	14 795 365	
<b>Total:</b>							<b>57.483.528</b>	<b>104.717.147</b>	

Figura 12. Planilha de cálculo com PPU de R\$ 0,00645/m<sup>3</sup>, no cenário I.

O inverso também ocorre se a simulação for realizada no cenário III (qualidade do rio melhor que a do Pacto). Ver a Figura 13. A cobrança sobre seu lançamento chega a reduzir para a metade nos últimos anos, pois o rio está com a qualidade melhor que a pactuada, fato que termina incentivando o não tratamento de efluentes pelo usuário típico.

Caso o usuário não faça tratamento algum de efluentes no âmbito de um pacto de redução de poluição									
PPU = 0,00645 R\$/m³ indisponível		Operação do lançamento							
Def = 0,3 m³/s (constante ao longo do tempo)		h/dia = 24		Dias/mês = 30		Meses/ano = 12			
Cef = 321,8 mg/L (constante ao longo do tempo)									
ANOS	Cperm(mg/L)	Qdii (m³/s)	Qindisp(m³/s)	VOLindisp (m³/ano)	Cobs(mg/L) Observada	Fator (F)	C\$(R\$/ano) Esperado	C\$(R\$/ano) Cobrado(n-trat)	
1	11,6	10,155	10,502	326.643.644	11,6	1,00	2.106.852	2.106.852	
2	11,6	10,155	10,502	326.643.644	11,6	1,00	2.106.852	2.106.852	
3	11,6	10,155	10,502	326.643.644	11,6	1,00	2.106.852	2.106.852	
4	11,6	10,155	10,502	326.643.644	11,6	1,00	2.106.852	2.106.852	
5	11,6	10,155	10,502	326.643.644	11,6	1,00	2.106.852	2.106.852	
6	9,0	13,568	13,915	432.802.829	7,0	0,75	2.791.578	2.093.684	
7	9,0	13,568	13,915	432.802.829	7,0	0,75	2.791.578	2.093.684	
8	9,0	13,568	13,915	432.802.829	7,0	0,75	2.791.578	2.093.684	
9	9,0	13,568	13,915	432.802.829	7,0	0,75	2.791.578	2.093.684	
10	9,0	13,568	13,915	432.802.829	7,0	0,75	2.791.578	2.093.684	
11	6,5	19,893	20,240	629.531.387	5,0	0,73	4.060.477	2.953.075	
12	6,5	19,893	20,240	629.531.387	5,0	0,73	4.060.477	2.953.075	
13	6,5	19,893	20,240	629.531.387	5,0	0,73	4.060.477	2.953.075	
14	6,5	19,893	20,240	629.531.387	5,0	0,73	4.060.477	2.953.075	
15	5,0	27,482	27,829	866.605.658	3,0	0,50	5.583.156	2.791.578	
16	5,0	27,482	27,829	866.605.658	3,0	0,50	5.583.156	2.791.578	
17	5,0	27,482	27,829	866.605.658	3,0	0,50	5.583.156	2.791.578	
Total:							57.483.528	41.189.709	

Figura 13. Planilha de cálculo com PPU de R\$ 0,00645/m³, no cenário III.

Nos quadros 1, 2 e 3, são apresentados, respectivamente para os cenários I, II e III, os resultados das decisões sobre tratamento de efluentes sob os três preços unitários simulados. Os símbolos S1, S2 e S3 representam os usuários típicos Saneamento 1, 2 e 3, enquanto o I1 e o I2, as Indústrias 1 e 2.

Quadro 1 – Resultados das simulações para o Cenário I.

PPU (R\$/m³)	0,00900														S1	S2	S3	I1	I2	
	0,00645														S1	S2	S3	I1		
	0,00075	S1	S2	S3	I1	I2														
Quando tratar?	Não tratar					Tratar no ano 10					Tratar no ano 5					Tratar no ano 1				

Quadro 2 – Resultados das simulações para o Cenário II.

PPU (R\$/m³)	0,00900														S1	S2	S3	I1		
	0,00645	S1													S2	S3	I1			
	0,00075	S1	S2	S3	I1	I2														
Quando tratar?	Não tratar					Tratar no ano 10					Tratar no ano 5					Tratar no ano 1				

Quadro 3 – Resultados das simulações para o Cenário III.

PPU (R\$/m³)	0,00900														S1	S2	S3	I1		
	0,00645	S1	S2	S3	I1	I2														
	0,00075	S1	S2	S3	I1	I2														
Quando tratar?	Não tratar					Tratar no ano 10					Tratar no ano 5					Tratar no ano 1				

Observa-se que, no caso do cenário I, cuja qualidade da água seria pior que o pacto, em função do Fator F, haveria a tendência de tratamento dos efluentes, mas, ainda assim, considerando o PPU de R\$ 0,00645, que é 8,6 vezes maior que o preço correspondente aos valores praticados atualmente.

Nos cenários II e III, que resulta num Fator F igual e menor que 1, observa-se a tendência dos usuários típicos adotarem o comportamento de “caronas” dos investimentos realizados pelos demais usuários da bacia. Nesses cenários, somente com preços maiores é que os usuários típicos optariam por tratar seus efluentes (a partir de R\$ 0,00645/m<sup>3</sup>), conforme já mencionado.

Assim, por meio desses resultados, embora se saiba que o presente estudo deva ter continuidade para se prestar a conclusões mais definitivas, percebe-se que há um indicativo de que os preços públicos unitários para o lançamento/diluição de efluentes devam aumentar, com o objetivo de incentivar o tratamento de efluentes por parte dos usuários e inibir a ação de caronas. Sem de deixar de avaliar, contudo, o correspondente aumento dos impactos sobre suas receitas e custos operacionais.

## 6 – CONCLUSÃO

O ensaio realizado neste artigo mostra que é possível avaliar o comportamento de determinados usuários diante da decisão de tratar ou não seus efluentes, utilizando a metodologia de vazão de diluição, uma análise financeira e cenários de comportamento da DBO no manancial frente a um pacto de redução de poluição.

Observa-se que a cobrança pela diluição de efluentes, atrelada a um pacto de redução da poluição ao longo dos anos, enseja análises bastante ricas sob o ponto de vista da indução de usuários a tratar seus efluentes e a identificação de potenciais “usuários-carona”.

Para este ensaio, chegou-se à conclusão de que para evitar a ação de “caronas”, a cobrança pela diluição de efluentes no rio Paraíba do Sul deveria ser, pelo menos, quase dez vezes maior que os valores atualmente praticados.

Os comitês de bacia que já promovem a cobrança pelo lançamento de efluentes, ou que estão em fase de discussão, poderiam discutir o aprimoramento de suas metodologias de cobrança de modo a harmonizá-las com os demais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, notadamente o enquadramento dos corpos de água e suas metas intermediárias e final de melhoria da qualidade.

A metodologia proposta aqui contempla tudo isso e é baseada em um pacto progressivo de enquadramento, ao longo de um planejamento estruturado, voltado à melhoria da qualidade de água,

onde há mecanismos de premiação e punição coletivos e individuais, de modo a promover um ambiente de discussão mais proativo e aderente aos objetivos de qualidade da água que a sociedade deseja.

Aproveita-se a oportunidade para também abrir a discussão sobre a eventual criação de um “**Mercado de Poluentes**” em que os direitos de lançamento de cargas de matéria orgânica, por exemplo, poderiam ser negociados entre os agentes poluidores, observando limites temporais e espaciais, dentre outros, previamente definidos.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. 2008. Nota Técnica nº 165/GEREG/SOF-ANA.
- CARDOSO da Silva, L. M. 2007. Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos para Diluição de Efluentes. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo.
- CARDOSO da Silva, L. M e MONTEIRO, R. A. Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: uma das possíveis abordagens. Gestão de Águas Doces/Carlos José Saldanha Machado (Organizador). Capítulo V, p. 135-178. - Rio de Janeiro: Interciência. 2004.
- KELMAN, J. 1997. *Gerenciamento de Recursos Hídricos: Outorga e Cobrança*. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória – ES.
- von SPERLING. M. 1998. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2. ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 243 p.

**Nota:** As opiniões apresentadas neste artigo são de exclusiva responsabilidade de seus autores, não significando, necessariamente, posicionamento ou entendimento da Agência Nacional de Águas – ANA.