

# METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA ESTIMAR O APORTE DE CARGAS E SIMULAR A QUALIDADE DE ÁGUA EM PEQUENAS BACIAS RURAIS

*Luis Gustavo de Moura Reis<sup>1</sup>; Adriano Rolim da Paz<sup>2</sup> & Henrique Vieira Costa Lima<sup>3</sup>*

**RESUMO** Atividades agropecuárias geram cargas de nutrientes e outros compostos que, ao atingir os cursos d'água, podem prejudicar substancialmente a qualidade da água nos mesmos, interferindo nos processos físicos, químicos e biológicos e comprometendo a biota aquática e o uso da água para outros fins. Entretanto, há uma certa dificuldade em quantificar os efluentes gerados no meio rural, em virtude da falta de informações (número de rebanhos e local de pastagem, localização das áreas de cultivo e estimativa do volume irrigado, carga de poluentes gerados em cada atividade, etc), o que constitui um empecilho à simulação da qualidade de água em pequenas bacias rurais. Neste artigo apresenta-se uma metodologia simplificada para estimar o aporte de cargas e simular a qualidade de água, elaborada para as sub-bacias da margem direita do Lago Guaíba (RS). Embora poucos dados de qualidade de água tenham sido coletados nos rios, para servir como validação das simulações, a metodologia adotada permitiu inferir sobre como o uso e ocupação do solo podem alterar a qualidade de água – informação preciosa para o processo de planejamento e gestão das águas, em particular à efetivação da outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

**ABSTRACT** *Rural activities produce nutrients and other composite loads that may disturb water resources and cause water quality degradation. As these pollutant loads may alter chemical, physical and biological processes it has potential detrimental effects on aquatic biota and others water uses. However it remains to be very difficult to quantify effluent water because of information lacks, such as animal quantities, cultivation areas localization, irrigation volumes and also the pollutant loads generated by each activity. That information lack makes water quality simulation in small rural basins very difficult. This paper shows a simplified methodology of estimating pollutant loads and simulating water quality, which was developed and applied to basins located on the right margin of Lake Guaíba (RS). Although few river water quality data had been collected to validate simulation results, the methodology adopted improved the analysis of how land use may alter water quality. This information is valuable to water resources planning and management, including to introduce water right use and payment.*

**Palavras-chave:** bacias rurais, cargas difusas, simulação de qualidade de água

---

<sup>1</sup> CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A. Rua Furriel L.A. Vargas, 380/202. Porto Alegre (RS). Email: [luis.gustavo@concremat.com.br](mailto:luis.gustavo@concremat.com.br).

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre (RS). Email: [adrianorpaz@yahoo.com.br](mailto:adrianorpaz@yahoo.com.br).

<sup>3</sup> CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A, Eng. Civil, doutorando PPGRHSA-IPH-UFRGS Av. Santos Dumont, 1789/203. Fortaleza (CE). E-mail: [henriquelim@terra.com.br](mailto:henriquelim@terra.com.br).

## INTRODUÇÃO

Embora seja mais usual comentar a respeito da poluição decorrente das atividades urbanas e industriais, convém ressaltar que as atividades agropecuárias também têm um grande potencial degradante do meio ambiente. A ocupação e uso do solo em bacias rurais, como lavouras agrícolas permanentes ou temporárias, criação de rebanhos, aquicultura, desmatamento e outras acarretam na geração de cargas de nutrientes e outros compostos que, seja no próprio solo como no aporte aos cursos d'água, podem prejudicar substancialmente todo o ecossistema, na medida que interferem nos processos físicos, químicos e biológicos que norteiam o funcionamento dos sistemas naturais (Merten e Minella, 2002). Dependendo das técnicas de manejo agrícola e de rebanhos praticadas, o impacto sobre o ambiente em termos de poluição/ degradação do solo e dos recursos hídricos pode ser mais ou menos intenso. Apesar do referido potencial poluidor das atividades antrópicas no meio rural, ainda constitui uma dificuldade a quantificação dos efluentes e cargas geradas por cada atividade, em virtude da falta de informações. Isso ocorre principalmente devido à escassez de dados quanto à: área cultivada para cada lavoura; manejo da irrigação (época, volume de água etc); preparo do solo e adubagem (época, processo, cargas de adubo); número e manejo de rebanhos (área de criação, volume de água para dessedentação).

As atividades agropecuárias constituem fontes difusas de poluição, na medida em que o aporte das cargas geradas ocorre de forma distribuída ao longo da bacia, em função da técnica de manejo praticada, da ocorrência de escoamento superficial devido à precipitação e lixiviação. A água que esco superficialmente é responsável pelo arraste de parte do material sólido erodido e material dissolvido, carregando-os para a rede de drenagem (Eiger *et al.*, 1999), sendo as cargas de nutrientes e outras substâncias geradas função da disponibilidade delas no solo. Isso dificulta o monitoramento e, conseqüentemente, a quantificação das cargas difusas em bacias rurais. O conhecimento ou a estimativa do aporte de cargas das lavouras agrícolas e das atividades pecuárias constitui um instrumento importante para o processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos nas bacias rurais, em particular à efetivação da outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Neste artigo, é descrita uma metodologia simplificada de estimativa do aporte de cargas difusas em pequenas bacias rurais, considerando principalmente as lavouras de arroz e a atividade pecuária, e de simulação de qualidade de água. Tal metodologia foi aplicada para as sub-bacias da margem direita do Lago Guaíba (RS). Como exemplificações, são apresentados brevemente alguns resultados da aplicação da referida metodologia à sub-bacia do Arroio Araçá, uma das bacias contribuintes ao Lago Guaíba. Apesar das hipóteses simplificadoras, entende-se que a metodologia apresentada tem um potencial de aplicação prática para pequenas bacias rurais, principalmente para

os casos onde não há monitoramento contínuo da qualidade de água nos rios (o que é bastante comum), mas, convém ressaltar, sem almejar obter uma representação dos processos envolvidos.

## **METODOLOGIA**

### **Unidades de Balanço e Pontos de Controle**

Visando realizar uma abordagem sistêmica dos recursos hídricos, pela qual são extraídas as informações mínimas para a representação e modelagem dos sistemas, propiciando uma análise sem interferências dos fenômenos irrelevantes para o objetivo do estudo, foram estabelecidas Unidades de Balanço (UB) como subdivisões de cada bacia, além de Pontos de Controle (PC) ao longo dos cursos d'água principais. A divisão em UBs foi realizada de acordo com a topografia, a hidrografia e o uso e ocupação do solo, como a presença de núcleos urbanos e a disposição das lavouras de arroz. O cultivo de arroz irrigado por inundação constitui a principal cultura na Bacia do Lago Guaíba, com cerca de 14.000 ha, o que justificou sua consideração no estabelecimento das UBs.

Assim, no caso das sub-bacias contribuintes ao Lago Guaíba, a representação em UBs e PCs propicia ao analista: (i) entendimento do fluxo de águas na sub-bacia, cuja compreensão se torna bastante confusa em virtude da existência de canais artificiais em áreas planas, derivando água para irrigação de arroz; (ii) conhecimento sobre a contribuição (cargas e vazões) em cada UB sendo possível detectar aquelas que necessitam de intervenções; (iii) acompanhamento da qualidade e quantidade de água na bacia através dos Pontos de Controle.

### **Estimativa da geração e aporte de cargas aos corpos d'água**

A estimativa da geração de cargas efluentes foi baseada em coeficientes de exportação ou cargas unitárias, característicos de determinados tipos de uso do solo, com base na bibliografia especializada. Como ressaltado por Eiger *et al.*(1999), o uso de coeficientes ou cargas unitárias tem sido empregado em um grande número de estudos e constitui procedimento aceitável quando o objetivo é a estimativa de cargas visando fornecer subsídios para o planejamento dos recursos hídricos. Entretanto, ainda há algumas atividades cujas cargas unitárias não foram bem estabelecidas na literatura especializada, como ocorre para a lavoura de arroz irrigado por inundação, por exemplo. Embora muitas pesquisas tenham monitorado o impacto de diferentes práticas de manejo sobre a qualidade da água dentro das lavouras de arroz, não há estimativas quanto às cargas oriundas de tal atividade que aportam aos corpos d'água da bacia, seja por percolação, drenagem ou vertimento das quadras de arroz. A seguir são apresentados os procedimentos adotados na estimativa das cargas para simulação da qualidade de água.

### *Cargas geradas pelas lavouras de arroz*

O cultivo de arroz, principalmente o irrigado por inundação, tem grande potencial gerador de efluentes contendo nutrientes que, nos corpos d'águas, podem comprometer sua qualidade e conseqüentemente seus usos, incluindo a própria conservação da biota aquática e de todo o ecossistema. Em particular, merecem destaque as cargas geradas de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), resultantes principalmente da adubação com fertilizantes. Apesar do grande potencial poluidor e das grandes áreas ocupadas pela cultura do arroz, de acordo com o verificado na bibliografia consultada, conclui-se que para a quantificação das cargas de nutrientes perdidas pela lavoura de arroz irrigado por inundação, seja por lixiviação ou por percolação no solo, não há ainda uma metodologia estabelecida, nem dados de vazões efluentes ou percoladas ou de cargas de nutrientes que subsidiem uma estimativa melhor fundamentada.

Diversas pesquisas foram desenvolvidas no sentido de monitorar as concentrações de nutrientes na água dentro das quadras de arroz, avaliando tais parâmetros em função de variações no manejo da lavoura, como época e quantidade de adubação, época e processo de semeadura, intensidade do preparo do solo, época de drenagem inicial (no sistema pré-germinado) etc. Entretanto, não foram encontrados estudos indicando estimativas de perdas de nutrientes ao longo do ciclo do arroz devido ao vertimento da água nas quadras ou por percolação no solo. Alguns autores apenas comentam valores de cargas de nutrientes perdidos por unidade de área, mas superficialmente e sem apresentar ou discutir como foram obtidos, como Macedo *et al.* (2001) e Marchezan *et al.* (2001), por exemplo. Muitas das pesquisas tiveram como foco analisar a perda de nutrientes pela água de drenagem inicial no sistema de cultivo pré-germinado (Weber *et al.*, 2003; Marchezan *et al.*, 2001; Macedo *et al.*, 2001; Camargo *et al.*, 2001). Em tal sistema de cultivo, a semeadura ocorre em solo inundado com sementes previamente germinadas, sendo feita a drenagem das quadras de 3 a 5 dias depois da semeadura e, em seguida, procede-se a nova inundação progressivamente.

Ao contrário dos estudos anteriormente citados, a pesquisa desenvolvida por Furtado e De Luca (2003) analisou a evolução da qualidade da água no interior das quadras de arroz ao longo do ciclo da cultura, para os sistemas de cultivo convencional, pré-germinado e plantio direto (Tabela 1). Mesmo no sistema pré-germinado, as quadras foram mantidas inundadas até a colheita, sem ocorrer drenagem após a semeadura.

A despeito dos resultados obtidos nos diversos estudos realizados, entre eles os apresentados anteriormente, permanece a dificuldade em quantificar o aporte de nutrientes aos corpos d'água provenientes das lavouras de arroz, visto que:

- as informações referentes à qualidade da água efluente do arroz se referem especificamente à água de drenagem inicial do sistema pré-germinado. Como ressaltam

Weber *et al.* (2003) e Macedo *et al.* (2001), para evitar a perda de nutrientes, que reduz a rentabilidade da cultura do arroz e pode causar problemas ambientais, é recomendada a manutenção da lâmina de água, sem a realização da drenagem;

- não há estimativas ou dados referentes ao volume de água efluente da lavoura, devido ao vertimento, principalmente quando ocorre precipitação;
- não há estimativas ou dados referentes ao volume de água da lavoura percolado no solo, que escoar sub-superficialmente e conduz nutrientes até os corpos d'água;
- o próprio ciclo do cultivo do arroz, em função do tipo de sistema (convencional, pré-germinado etc), acarreta a variação temporal das cargas de nutrientes perdidas, conforme a fase de preparo do solo, adubação, inundação, colheita etc;
- há uma grande variação de formas de manejo da lavoura do arroz, principalmente em termos de quantidade, época e forma de aplicação de adubos, intensidade de preparo do solo e tempo entre preparo do solo e semeadura.

Tabela 1 – Concentrações de nutrientes (N, P, K) na água de dois sistemas de cultivo de arroz irrigado medidas por Furtado e De Luca (2003).

Data	Concentrações em mg/L					
	Nitrogênio Total (N)		Fósforo (P)		Potássio (K)	
	PC	PG	PC	PG	PC	PG
15/12/2000	3,9	5,1	1,23	1,64	2,25	2,33
18/12/2000	15,8	17,9	1,02	1,17	1,87	1,7
21/12/2000	8,6	14,9	0,88	0,91	1,62	1,62
28/12/2000	4,2	2,3	0,62	0,75	1,47	0,69
08/01/2001	6	4	0,42	0,63	0,87	0,21
23/01/2001	2,4	6,2	0,24	0,29	0,14	0,17
07/02/2001	2,4	2,5	0,15	0,03	0,12	0,11
20/02/2001	3,8	2,6	nd	nd	0,19	0,13
29/03/2001	-	-	nd	nd	1,83	0,25

PC – plantio convencional; PG – pré-germinado. (nd = não detectado).

Com base nas bibliografias consultadas, nos resultados correspondentes obtidos, nos dados disponíveis e nas características do cultivo do arroz irrigado por inundação na Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, estabeleceu-se uma metodologia para estimar o aporte de nutrientes nos corpos d'água decorrentes do uso do solo para a lavoura de arroz. O fundamento principal consiste em estimar a carga específica, ou seja, a carga de nutrientes por unidade de área, que multiplicada pela área de cultivo de arroz fornece a estimativa da carga gerada.

O volume de efluentes gerados, por vertimento nas quadras ou por percolação, foi estimado considerando-o como um percentual do volume de água irrigado (15%). Esse percentual foi aplicado a todo o ciclo, por não se ter conhecimento dos volumes vertidos e percolados em cada fase do cultivo, o que varia inclusive conforme os diferentes manejos agrícolas praticados, como

comentado anteriormente. As demandas específicas ao longo do ciclo do arroz também foram estimadas (CONCREMAT, 2004), sendo diferenciadas as lavouras que são irrigadas a partir de captações a fio d'água dos arroios e aquelas irrigadas por açudes. A partir da adoção de concentrações médias na água das quadras de arroz ao longo do ciclo de cultivo, baseadas naquelas medidas por Furtado e De Luca (2003) (Tabela 1), obteve-se as cargas específicas usando as expressões:

$$[\text{vol. efluentes}] = [\text{vol. água irrigação}] \times [\text{coef. retorno}] \quad (1)$$

(m<sup>3</sup>/ha)                      (m<sup>3</sup>/ha)                      (15%)

$$[\text{carga específica do nutriente Y}] = [\text{vol. efluentes}] \times [\text{concentr. média Y}] \times 0,001^* \quad (2)$$

(kg/ha)                      (m<sup>3</sup>/ha)                      (mg/l)

\* 0,001 é um fator de correção de unidades

As cargas de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) geradas em cada UB foram obtidas multiplicando as áreas de lavoura de arroz pelas cargas específicas (Tabelas 2 e 3), conforme o sistema de cultivo, aplicando a Equação (3). Convém frisar que, por indisponibilidade de informações, as áreas de lavoura de arroz cultivadas na Bacia do Lago Guaíba foram estimadas a partir de classificação supervisionada do uso do solo usando imagens de satélite, sendo diferenciados as lavouras referentes aos sistemas de cultivo plantio convencional (PC) e pré-germinado (PG) (CONCREMAT, 2004).

$$[\text{carga do nutriente Y gerada pela lavoura A}] = [\text{carga específica do nutriente Y}] \times [\text{área da lavoura A}] \quad (3)$$

(kg)    (kg/ha)    (ha)

Tabela 2 – Efluentes da lavoura de arroz no sistema de plantio convencional (PC).

Mês	Duração (dias)	Demanda no período (m <sup>3</sup> /ha)	Volume efluente no período (m <sup>3</sup> /ha)	Concentração de nutrientes <sup>(1)</sup> (mg/L)			Cargas nutrientes no período (kg/ha)		
				N	P	K	N	P	K
nov	15	2.592	389	3,90	1,23	2,25	1,52	0,48	0,87
dez	15	2.592	389	3,90	1,23	2,25	1,52	0,48	0,87
dez	15	1.944	292	9,53	0,84	1,65	2,78	0,24	0,48
jan	15	1.944	292	6,00	0,42	0,87	1,75	0,12	0,25
jan	15	1.296	194	2,40	0,24	0,14	0,47	0,05	0,03
fev	20	1.728	259	3,10	0,15	0,16	0,80	0,04	0,04
total	95	12.096	1.814	-	-	-	8,83	1,41	2,55

<sup>(1)</sup> Concentrações médias de nitrogênio total (N), fósforo (P) e potássio (K) medidas por Furtado e De Luca (2003).

#### *Demais cargas de origem difusa*

Além das lavouras de arroz, tratadas especificamente no item anterior, considerou-se a geração de cargas difusas tomando a população rural e os rebanhos ovino, suíno e bovino em cada

Unidade de Balanço. Foram consideradas ainda como fontes difusas rurais as cargas devido ao escoamento superficial e lixiviação sobre as demais áreas rurais, como campos e outras culturas.

Tabela 3 – Efluentes da lavoura de arroz no sistema pré-germinado (PG).

Mês	Duração (dias)	Demanda no período (m <sup>3</sup> /ha)	Volume efluente no período (m <sup>3</sup> /ha)	Concentr. nutrientes <sup>(1)</sup> (mg/L)			Cargas nutrientes no período (kg/ha)		
				N	P	K	N	P	K
out	15	2.592	389	5,10	1,64	2,33	1,98	0,64	0,91
nov	15	2.592	389	5,10	1,64	2,33	1,98	0,64	0,91
nov	15	1.944	292	5,10	1,64	2,33	1,49	0,48	0,68
dez	15	1.944	292	5,10	1,64	2,33	1,49	0,48	0,68
dez	15	1.296	194	11,70	0,94	1,34	2,27	0,18	0,26
jan	20	1.728	259	5,10	0,46	0,19	1,32	0,12	0,05
total	95	12.096	1.814	-	-	-	10,54	2,53	3,48

<sup>(1)</sup> Concentrações médias de nitrogênio total (N), fósforo (P) e potássio (K) medidas por Furtado e De Luca (2003).

Para a estimativa das cargas de poluentes de origem difusa geradas em cada UB, foram adotadas as cargas específicas apresentadas na Tabela 4, estabelecidas com base nos valores citados por Pereira *et al.* (2003), e que correspondem ao potencial de geração. Os parâmetros considerados foram: coliformes fecais, DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio), nitrogênio total e fósforo total. Entretanto, tais cargas sofrem algum tipo de redução entre a fonte e o corpo d'água receptor, como ressaltado por IPH (2002). No referido estudo foram estimados coeficientes de atenuação a partir da medição das concentrações dos parâmetros e comparação com as cargas potenciais correspondentes, na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (RS). Baseado em tais valores, foram adotados os coeficientes de atenuação apresentados na Tabela 5, para estimativa das cargas reais de origem difusa nas UBs, onde  $[carga\ real] = [carga\ potencial] \times [coeficiente\ de\ atenuação]$ . A partir do emprego das cargas específicas e dos coeficientes de atenuação, foram estimadas as cargas difusas conforme o número de indivíduos da população rural, dos rebanhos bovino, suíno e ovino e das áreas das UBs, descontadas as áreas de lavouras de arroz, cujos efluentes foram quantificados separadamente.

Tabela 4 – Cargas específicas potenciais de origem difusa.

Parâmetros	População rural	Rebanhos ovino e suíno	Rebanho bovino	Fontes difusas rurais*
Colif. fecais (NMP/ind.mês)	6,10 x 10 <sup>10</sup>	7,30 x 10 <sup>9</sup>	2,19 x 10 <sup>11</sup>	2,09 x 10 <sup>9</sup>
DBO5 (kg/ind.mês)	1,647	0,164	12,653	0,453
Nitrogênio total (kg/ind.mês)	0,158	0,016	1,241	0,215
Fósforo total (kg/ind.mês)	0,021	0,004	0,313	0,070

Fonte: baseado em Pereira *et al.* (2003); "ind" = indivíduo. \* Cargas por ha.

Tabela 5 – Coeficientes de atenuação para estimativa do aporte real de cargas de origem difusa.

Parâmetro	Coliformes fecais	DBO5	Nitrogênio total	Fósforo total	SST
Coefficiente de atenuação	0,030	0,301	0,107	0,254	1

Fonte: baseado em IPH (2002).

### *Cargas pontuais*

Como cargas pontuais, foram considerados os lançamentos de esgotos domésticos, referentes à população urbana, e os efluentes industriais. Conforme a identificação de pequenos núcleos urbanos na bacia, foram estimados os efluentes domésticos correspondentes, adotando um coeficiente de consumo de água (150 L/hab/dia) e de geração de cargas per capita (Tabela 6), além de um coeficiente de retorno de 0,8. Também foi considerado o tipo de disposição dos efluentes e a parcela de população atendida por cada um, segundo informações do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

A distribuição das cargas por Unidade de Balanço foi realizada de acordo com a distribuição populacional dos núcleos urbanos nas bacias hidrossanitárias dos municípios e na localização das mesmas relativamente às UBs. Para os efluentes industriais, por indisponibilidade de informações a respeito da localização exata, as cargas estimadas foram distribuídas proporcionalmente às áreas urbanas identificadas em cada UB, por imagem de satélite. A metodologia de estimativa dos efluentes domésticos e de origem industrial é detalhada em CONCREMAT (2004).

Tabela 6 – Contribuições per capita de alguns parâmetros considerados para estimativa das cargas efluentes domésticas nas sub-bacias da margem direita do Lago Guaíba.

Parâmetros	Contribuições per capita
DBO	54 g/hab/dia
Nitrogênio total	8 g/hab/dia
Fósforo total	2,5 g/hab/dia
Coliformes fecais	$2,0 \times 10^{10}$ NMP/hab/dia

Fonte: Von Sperling (1996).

### **Balanço de qualidade de água**

Enquanto as captações para atender às diversas demandas ocorrem na calha principal dos arroios, o mesmo não acontece para o aporte de boa parte dos efluentes e cargas geradas nas UBs, cuja origem é difusa (lavouras de arroz, pecuária, população rural, etc). Desse modo, não convém tentar estimar a qualidade da água no interior das UBs, mas sim a jusante de suas contribuições, nos Pontos de Controle. Os PCs devem ser estabelecidos conforme a disposição das UBs ao longo de cada sub-bacia, de tal forma que a estimativa da qualidade de água nos mesmos possibilite inferir

sobre as cargas geradas nas UBs contribuintes e proporcione uma idéia da evolução da qualidade da água enquanto se percorre a sub-bacia da cabeceira ao exutório.

Como princípio geral, o balanço de qualidade de água em cada Ponto de Controle foi realizado “misturando-se” as vazões contribuintes ao mesmo, isto é, calculando a concentração de cada parâmetro segundo uma média ponderada das vazões afluentes e efluentes ao PC e de suas respectivas concentrações, mas com algumas considerações:

(i) para um PC que recebe apenas a contribuição de uma UB de cabeceira, as concentrações são dadas pela diluição do total de cargas geradas na UB pela sua vazão remanescente;

(ii) na situação anterior, caso exista mais de uma UB contribuinte, todas de cabeceira, as concentrações são determinadas pela mistura (ponderação) entre as vazões remanescentes com as respectivas concentrações;

(iii) entre dois PCs, as concentrações de DBO e coliformes fecais do PC de montante sofrem decaimento ao longo do trecho correspondente até o PC de jusante. Foram adotados os valores de  $k_{DBO} = 0,2 \text{ dia}^{-1}$  e  $k_{colif.fec.} = 1,0 \text{ dia}^{-1}$ , para as taxas de decaimento de DBO e coliformes fecais, respectivamente, segundo Von Sperling (1996). Para os demais parâmetros, não foi realizado decaimento. Para o cálculo do decaimento, adotou-se uma equação de primeira ordem, do tipo  $C' = C \cdot e^{-k \cdot t}$ , onde  $C'$  é a concentração  $C$  decaída ao longo de um determinado trecho, cujo tempo de percurso da água tem duração  $t$ . Para as sub-bacias da bacia do Lago Guaíba, tal período de tempo de descolamento do escoamento foi determinado dividindo a distância de cada trecho pela velocidade constante de  $0,4 \text{ m/s}$ .

(iv) para UBs situadas entre dois PCs, as demandas superficiais são atendidas com água de concentrações iguais àquelas do PC de montante decaídas ou não ao longo do trecho até o PC de jusante, conforme o parâmetro. A exceção ocorre para as demandas das lavouras de arroz atendidas por açudagem;

(v) na situação anterior, os efluentes gerados em uma UB situada entre dois PCs são computados somando-se as vazões e diluindo-se as cargas totais (excluídas as cargas difusas) pela vazão efluente total, para o balanço no PC de jusante;

(vi) ainda na mesma situação, as cargas difusas da UB são diluídas na sua disponibilidade superficial média;

(vii) quando uma UB que não recebe contribuições de montante contribui de forma difusa ao longo do rio principal em mais de um trecho, considera-se uma contribuição pontual no PC de jusante de cada trecho. Nesse caso, as cargas totais da UB são diluídas na vazão remanescente, que é distribuída proporcionalmente ao comprimento de cada trecho.

Cabe fazer uma ressalva quanto à simplificação da metodologia empregada para o balanço de qualidade de água, a qual foi adotada tendo em vista o objetivo do estudo e, principalmente, a

quantidade e a qualidade das informações disponíveis. Por isso, não foram adotados procedimentos mais “complexos” ou que procurassem melhor representar os processos hidrológicos e os que envolvem o transporte, sedimentação e decaimento dos constituintes. Embora estejam implícitas nas considerações enumeradas anteriormente, convém elucidar a existência de diversas simplificações adotadas, tais como:

(a) considerou-se a completa diluição das cargas geradas em uma UB pela sua vazão remanescente, a qual contribui para um PC específico, quando na verdade o aporte ocorre ao longo do curso d’água, de forma espacialmente e temporalmente variável;

(b) o princípio da mistura completa, adotado para calcular as concentrações no arroio (em um determinado PC) após receber novas contribuições, seja de outros arroios (PCs) ou de UBs, também é uma simplificação;

(c) a realização de decaimento das concentrações apenas para os parâmetros DBO e Coliformes Fecais foi motivada por estes apresentarem taxas de decaimento (conforme cita a literatura especializada) que proporcionam um decaimento significativo nas concentrações ao longo dos arroios, tendo em vista o tempo de deslocamento da água ao longo dos arroios analisados;

(d) para o cálculo do decaimento, estimou-se o tempo de percurso do escoamento em cada trecho considerando a adoção de uma velocidade de 0,4 m/s, adotada arbitrariamente com base em observações locais e no porte dos arroios analisados, mas sem realização de medições. Obviamente, a velocidade do escoamento varia ao longo do comprimento do arroio, dentro de cada seção transversal, ao longo do tempo e também entre cada arroio. Mas, face às demais simplificações, à própria qualidade das informações disponíveis e ao objetivo do estudo, a adoção de uma velocidade única e constante constitui simplificação aceitável;

(e) nos PCs situados na foz dos arroios (que deságuam no Lago Guaíba) foi desprezado o efeito de remanso provocado pela elevação do nível de água no Lago Guaíba sobre a cinética das reações de decaimento;

(f) as simplificações quanto à estimativa e aporte de cargas das diversas fontes são motivadas pela qualidade/quantidade das informações disponíveis;

(g) todas as considerações anteriores ainda estão inseridas dentro da simplificação temporal (balanço de qualidade foi efetuado mensalmente), na medida que se considera o aporte das cargas geradas durante todo o mês ao mesmo instante (no final do mês), sendo diluídas na vazão mensal. Obviamente, tanto a vazão quanto a geração/aporte de cargas varia substancialmente durante o mês (de acordo com a fonte), podendo haver diversas situações, como períodos de pouca vazão e grande aporte ou grande vazão e pequeno aporte de cargas, etc.

Para apresentar o equacionamento matemático empregado para o balanço de qualidade de água nos Pontos de Controle, abordando as diversas situações, conforme a disposição do PC e das UBs, será utilizado o diagrama de fluxo da Figura 1 como exemplo.

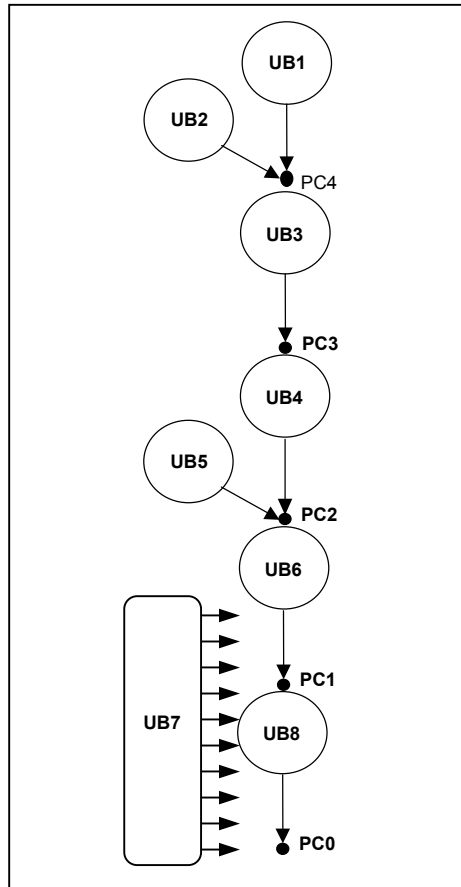


Figura 1 – Diagrama de fluxo de uma sub-bacia fictícia para exemplificar o balanço de qualidade de água.

*PC recebendo contribuição apenas de UBs de cabeceira (Exemplo: PC4)*

No diagrama de fluxo da Figura 1, as Unidades de Balanço 1 e 2 estão na cabeceira da bacia, sendo o balanço hídrico quantitativo função apenas das disponibilidades e demandas específicas em cada uma, da seguinte forma (tomando a UB1 como exemplo):

$$Q_R^{UB1} = Di_M^{UB1} - De^{UB1} + Ef^{UB1} \quad (4)$$

onde:  $Q_R^{UB1}$  é a vazão remanescente superficial na UB1, onde se realiza o balanço hídrico;  $Di_M^{UB1}$  é a disponibilidade média superficial da UB1;  $De^{UB1}$  é o somatório das demandas superficiais na UB1 e  $Ef^{UB1}$  é o somatório dos efluentes lançados nos arroios da UB1.

A vazão superficial remanescente no PC4 ( $Q_R^{PC4}$ ) é dada pela soma das vazões remanescentes dos balanços hídricos na UB1 e UB2:

$$Q_R^{PC4} = Q_R^{UB1} + Q_R^{UB2} \quad (5)$$

Para um parâmetro qualquer W, as vazões remanescentes da UB1 e da UB2 têm concentrações  $C_W^{UB1}$  e  $C_W^{UB2}$ , determinadas por:

$$C_W^{UB1} = \frac{\sum K_W^{UB1}}{Q_R^{UB1}} \text{ e } C_W^{UB2} = \frac{\sum K_W^{UB2}}{Q_R^{UB2}} \quad (6)$$

onde  $\sum K_W^{UB1}$  e  $\sum K_W^{UB2}$  são as cargas totais de W geradas na UB1 e na UB2, respectivamente.

A concentração de W no PC4 ( $C_W^{PC4}$ ) é calculada pela expressão:

$$C_W^{PC4} = \frac{C_W^{UB1} \cdot Q_R^{UB1} + C_W^{UB2} \cdot Q_R^{UB2}}{Q_R^{PC4}} \quad (7)$$

*PC situado ao longo do rio principal, sem contribuição de UBs de cabeceira (Exemplo: PC3)*

A vazão remanescente no PC3 ( $Q_R^{PC3}$ ) é a vazão remanescente da UB3, cuja determinação é feita analogamente à Equação (4) para a UB1, mas considerando a vazão remanescente de montante (vazões remanescentes da UB1 e da UB2):

$$Q_R^{PC3} = Q_R^{UB3} = Q_R^{UB1} + Q_R^{UB2} + Di_M^{UB3} - De^{UB3} + Ef^{UB3} \quad (8)$$

onde:  $Q_R^{UB1}$ ,  $Q_R^{UB2}$  e  $Q_R^{UB3}$  são as vazões remanescentes na UB1, UB2 e UB3, respectivamente;  $Di_M^{UB3}$  é a disponibilidade média incremental da UB3;  $De^{UB3}$  é o somatório das demandas superficiais na UB3 e  $Ef^{UB3}$  é o somatório dos efluentes lançados nos arroios da UB3.

A concentração do parâmetro W no PC4 sofre decaimento no trecho PC4-PC3 (apenas para DBO e Coliforme Fecais), “chegando” ao PC3 com concentração  $C_W'^{PC4}$ , dada por:

$$C_W'^{PC4} = C_W^{PC4} \cdot e^{-k_w t} \quad (9)$$

onde  $k_w$  é o coeficiente de decaimento de W e  $t$  é o tempo de percurso do trecho em questão.

Como uma das considerações feitas, a vazão captada para atender às demandas superficiais na UB3 ( $De^{UB3}$ ) tem concentração de W igual a  $C_W'^{PC4}$ , à exceção da demanda para as lavouras de arroz atendidas por açudagem, que não capta água dos arroios.

A vazão efluente total lançada na UB3 ( $Ef^{UB3}$ ) tem uma concentração de W estimada pela diluição da carga total efluente ( $\sum K_{Ef,W}^{UB3}$ ) (cargas de esgoto doméstico, industrial e das lavouras de arroz, exceto as demais cargas difusas) na mesma:

$$C_{Ef,W}^{UB3} = \frac{\sum K_{Ef,W}^{UB3}}{Ef^{UB3}} \quad (10)$$

A disponibilidade gerada na própria UB3 (disponibilidade média incremental  $Di_M^{UB3}$ ) é computada diluindo a carga difusa de W gerada na UB ( $\sum K_{Dif,W}^{UB3}$ ), resultando em uma concentração  $C_{Di,W}^{UB3}$ :

$$C_{Di,W}^{UB3} = \frac{\sum K_{Dif,W}^{UB3}}{Di_{M,SUP}^{UB3}} \quad (11)$$

Com base nos cálculos anteriores, a concentração do parâmetro W no PC3 é determinada pela expressão:

$$C_W^{PC3} = \frac{C_W^{PC4} \cdot Q_R^{PC4} - C_W^{PC4} \cdot De^{UB3} + Ef^{UB3} \cdot C_{Ef,W}^{UB3} + Di_M^{UB3} \cdot C_{Di,W}^{UB3}}{Q_R^{PC3}} \quad (12)$$

*PC situado ao longo do rio principal, com contribuição de UBs de cabeceira (Exemplo: PC2)*

O balanço de qualidade no ponto PC2 é análogo ao apresentado para o PC3, acrescentando a contribuição pontual da UB5. A vazão remanescente no PC2 é a soma das contribuições (vazões remanescentes) da UB4 e da UB5 (cujo cálculo é feito empregando de forma análoga às Equações 8 e 4):

$$Q_R^{PC2} = Q_R^{UB4} + Q_R^{UB5} \quad (13)$$

Para o parâmetro W, a vazão remanescente da UB5 tem concentração  $C_W^{UB5}$ , tal qual empregado para uma UB de cabeceira (Equação 6), determinada por:

$$C_W^{UB5} = \frac{\sum K_W^{UB5}}{Q_R^{UB5}} \quad (14)$$

A determinação da concentração de W no PC2 segue o mesmo procedimento descrito para o PC3: decaimento da concentração no PC3 ao longo do trecho PC3-PC2; captação na UB4 com tal concentração; lançamento de efluente da UB4 com a respectiva carga; acréscimo da disponibilidade média da UB4 com carga difusa; e balanço final. A diferença consiste em adicionar um novo termo ao cálculo da concentração, representando a contribuição da vazão remanescente da UB5, conforme expressão a seguir:

$$C_W^{PC2} = \frac{C_W^{PC3} \cdot Q_R^{PC3} - C_W^{PC3} \cdot De^{UB4} + Ef^{UB4} \cdot C_{Ef,W}^{UB4} + Di_M^{UB4} \cdot C_{Di,W}^{UB4} + C_W^{UB5} \cdot Q_R^{UB5}}{Q_R^{PC2}} \quad (15)$$

*PC situado no rio principal, com contribuição difusa no trecho de montante (Exemplo: PC1)*

No PC1, o balanço de qualidade é realizado de forma análoga ao apresentado para o PC2, considerando a contribuição pontual da UB7 tal qual a UB5. A distinção entre os dois casos é que a

vazão remanescente da UB7 ( $Q_R^{UB7}$ ) é dividida em duas partes ( $Q_{R,a}^{UB7}$  e  $Q_{R,b}^{UB7}$ ), proporcionais aos comprimentos dos trechos PC2-PC1 e PC1-PC0. A vazão remanescente da UB7 (de cabeceira) tem concentração  $C_W^{UB7}$ , determinada por:

$$C_W^{UB7} = \frac{\sum K_W^{UB7}}{Q_R^{UB7}} \quad (16)$$

A parcela da vazão  $Q_R^{UB7}$  que contribui para o trecho PC2-PC1 é calculada por:

$$Q_{R,a}^{UB7} = \frac{L_{PC2-PC1}}{L_{PC2-PC0}} \cdot Q_R^{UB7} \quad (17)$$

onde  $L_{PC2-PC1}$  é o comprimento do trecho em questão (PC2-PC1) e  $L_{PC2-PC0}$  é o comprimento total do trecho que recebe contribuição da UB7 (PC2-PC0).

Assim, analogamente ao caso anterior, tem-se a concentração de W no ponto PC1 determinada por:

$$C_W^{PC1} = \frac{C_W^{PC2} \cdot Q_R^{PC2} - C_W^{PC2} \cdot De^{UB6} + Ef^{UB6} \cdot C_{Ef,W}^{UB6} + Di_M^{UB6} \cdot C_{Di,W}^{UB6} + C_W^{UB7} \cdot Q_{R,a}^{UB7}}{Q_R^{PC1}} \quad (18)$$

## EXEMPLO DE APLICAÇÃO: SUB-BACIA DO ARROIO ARAÇÁ

Para exemplificar o emprego da metodologia de estimativa de cargas e de balanço de qualidade de água apresentada nos itens anteriores, é descrita a aplicação a uma das sub-bacias contribuintes ao Lago Guaíba – a sub-bacia do Arroio Araçá (Figura 2). Tal sub-bacia (área aproximada de 552,5 km<sup>2</sup>) é praticamente toda rural, à exceção de uma parcela do núcleo urbano do município de Barra do Ribeiro, localizada próximo à foz do referido arroio (Figura 3). Nesta sub-bacia está a maior parte da área dos municípios de Barra do Ribeiro, Sentinela do Sul e Tapes, além de uma pequena parte de Sertão Santana e Cerro Grande do Sul.

Na sub-bacia em questão, predomina o cultivo de arroz (pré-germinado e convencional) irrigado por reservatórios ou por captação a fio d'água dos arroios (Tabela 7). Face às características descritas, a divisão em UBs da sub-bacia do Arroio Araçá foi baseada na hidrografia, topografia e nas áreas de cultivo de arroz irrigadas a partir de reservatórios ou por captação a fio d'água, totalizando oito UBs (Figuras 3 e 4). Por exemplo, na margem direita do Arroio Araçá foi estabelecida a UB3, que engloba uma extensa área com cultivo de arroz irrigada por reservatórios, completamente interligada por uma rede de canais. Já a UB8 representa a área de cabeceira do Arroio Araçá, com algumas lavouras de arroz irrigadas por captação a fio d'água.

Tabela 7 – Total de áreas cultivadas de arroz na sub-bacia do Arroio Araçá, nos sistemas de cultivo Pré-Germinado (PG) e Plantio Convencional (PC), por Unidade de Balanço.

UB	Área (km <sup>2</sup> )	Arroz PG – Açudagem (ha)	Arroz PG - Fio d'água (ha)	Arroz PC - Açudagem (ha)	Arroz PC – Fio d'água (ha)
UB1	68,45	-	-	1.252	96
UB2	15,39	-	-	-	-
UB3	137,26	574	-	2.052	20
UB4	82,42	669	-	900	158
UB5	73,47	-	651	-	236
UB6	56,37	400	136	183	17
UB7	26,98	-	72	-	145
UB8	92,19	-	-	-	352
total	552,53	1.643	859	4.387	1.024

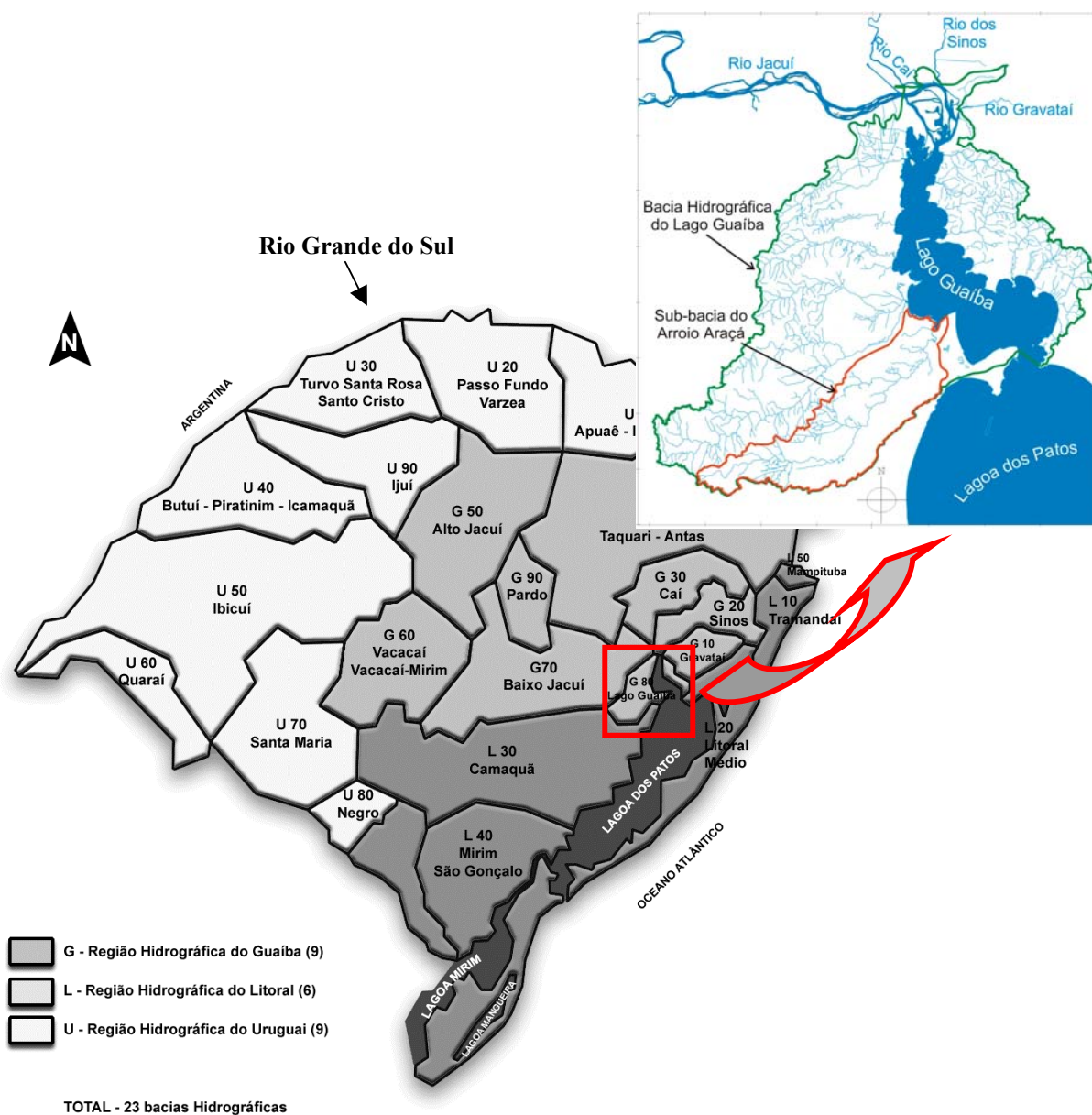


Figura 2 – Divisão hidrográfica do Estado do Rio Grande do Sul, com detalhe da Bacia do Lago Guaíba e da sub-bacia do Arroio Araçá.

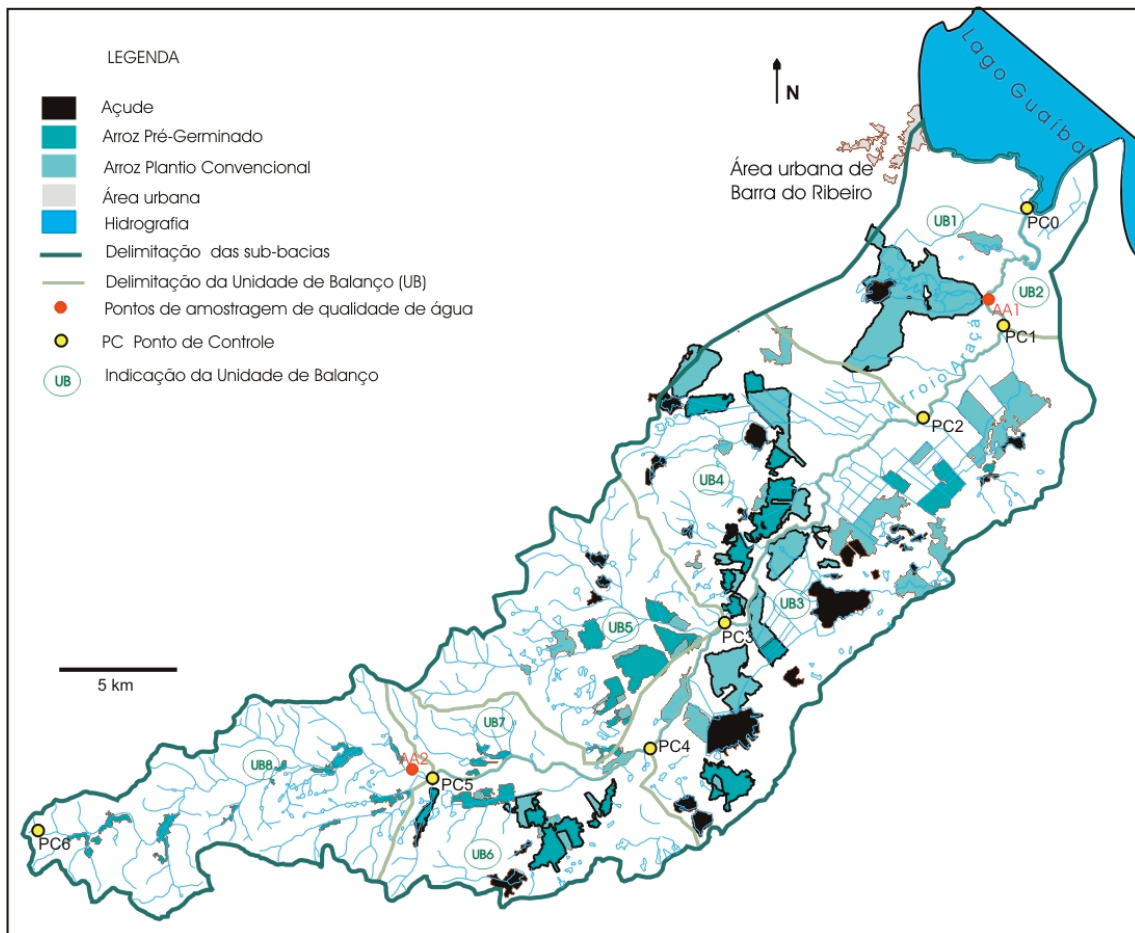


Figura 3 – Uso do solo e indicação das Unidades de Balanço e Pontos de Controle na Sub-bacia do Arroio Araçá.

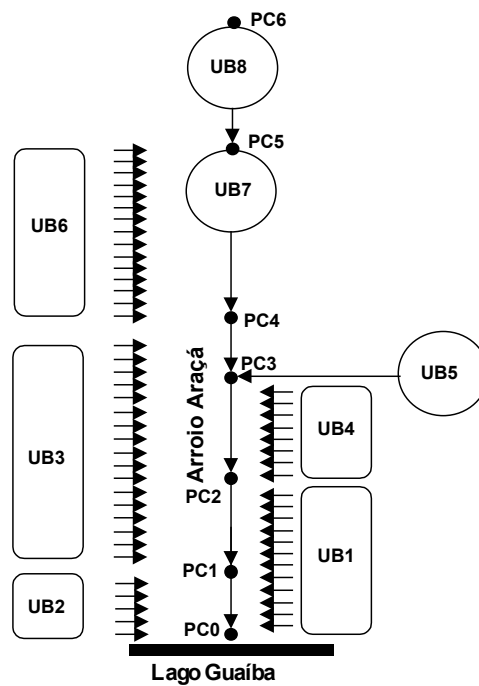


Figura 4 – Diagrama de fluxo da sub-bacia do Arroio Araçá, para balanço de qualidade de água.

Para a realização do balanço de qualidade de água na sub-bacia em questão, foram estimadas todas as demandas existentes, como abastecimento da população rural, dessedentação animal e irrigação de arroz, não sendo consideradas as demandas para abastecimento urbano e industrial, atendidas pela captação da CORSAN (Companhia Rio Grandense de Saneamento) no Lago Guaíba. As disponibilidades, as demandas levantadas e também o total de cargas estimadas não são apresentados nesse texto, para torná-lo mais objetivo, constando em CONCREMAT (2004). Ressalta-se que no período de março a setembro não foi estimado o aporte de cargas oriundas das lavouras de arroz, considerando que o ciclo de tal cultura é de outubro a fevereiro (Tabelas 2 e 3).

Aplicando, portanto, a metodologia de balanço de qualidade de água para os Pontos de Controle da sub-bacia do Arroio Araçá, obteve-se as vazões e concentrações apresentadas na Tabela 8. No trabalho completo (CONCREMAT, 2004), foram simulados dez parâmetros (fósforo, nitrogênio total, potássio, sólidos suspensos totais, DBO, DQO, ferro, cromo, níquel e coliformes fecais), sendo mostrados neste artigo apenas os resultados referentes aos nutrientes (N, P, K), DBO e coliformes fecais.

De modo geral, observa-se que a qualidade de água é inferior no período de outubro a fevereiro em relação aos demais meses do ano (Figura 5), principalmente devido às cargas efluentes das lavouras de arroz – principal uso dos recursos hídricos na sub-bacia do Arroio Araçá –. Contribuem para isso as menores vazões nos referidos meses, em parte provocadas pelas captações para o cultivo de arroz e em parte por constituir um período de menor disponibilidade incremental (menores precipitações).

As fontes difusas contribuem com parcela considerável das cargas de fósforo e nitrogênio ao longo de todo o ano e, à exceção do PC0 (para o qual contribui também uma área urbana), são responsáveis pelas concentrações estimadas de DBO e coliformes fecais no Arroio Araçá. As cargas de potássio e grande parcela das cargas de fósforo e nitrogênio são geradas pelas lavouras de arroz.

Quanto à variação da qualidade de água entre os PCs, ou seja, ao longo da sub-bacia, verificou-se um relativo pequeno decréscimo da qualidade no sentido cabeceira-exutório. Tomando o fósforo como exemplo, em alguns meses (julho a outubro) obteve-se concentrações inferiores a 0,08 mg/L no PC mais a montante da sub-bacia (PC5), sendo que nos demais meses os teores de fósforo foram mais elevados, alcançando uma concentração máxima de 0,30 mg/L em janeiro. À medida que se percorre o Arroio Araçá até o exutório, gradativamente a presença de fósforo aumentou, chegando a atingir concentrações de 0,55 mg/L em janeiro e dezembro. Quanto às concentrações de nitrogênio total, no PC mais a montante (PC5), a concentração de nitrogênio total variou entre 0,10 mg/L nos meses de julho, agosto e setembro a 0,96 mg/L em janeiro. Mais a jusante no Arroio Araçá, as concentrações aumentam, com um mínimo de 0,14 mg/L e máximo de 2,94 mg/L.

Tabela 8 – Balanço de qualidade de água por Ponto de Controle (PC) na sub-bacia do Arroio Araçá.

PC	Parâm.	unidade	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
PC5	Vazão	m <sup>3</sup> /s	0,53	0,81	1,22	1,21	1,44	1,68	2,16	2,18	2,02	1,93	1,38	0,94
	Fósforo	mg/L	0,30	0,17	0,11	0,11	0,09	0,08	0,06	0,06	0,07	0,07	0,14	0,25
	Nitrog. total	mg/L	0,96	0,39	0,17	0,17	0,14	0,12	0,10	0,10	0,10	0,11	0,30	0,83
	Potássio	mg/L	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,19
	DBO	mg/L	8,01	5,21	3,45	3,47	2,92	2,51	1,95	1,93	2,08	2,19	3,05	4,48
	Colif. fecais	NMP/100mL	1388	903	597	602	506	435	337	334	361	379	528	776
PC4	Vazão	m <sup>3</sup> /s	0,90	1,42	2,10	2,09	2,52	2,97	3,90	3,94	3,63	3,33	2,37	1,70
	Fósforo	mg/L	0,31	0,19	0,13	0,13	0,11	0,09	0,07	0,07	0,08	0,12	0,26	0,31
	Nitrog. total	mg/L	1,23	0,42	0,20	0,20	0,17	0,14	0,11	0,11	0,12	0,26	0,65	1,26
	Potássio	mg/L	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,24	0,30
	DBO	mg/L	7,84	5,83	4,16	4,19	3,47	2,94	2,24	2,22	2,41	2,58	3,37	4,30
	Colif. fecais	NMP/100mL	1223	890	631	636	526	447	340	337	366	392	517	668
PC3	Vazão	m <sup>3</sup> /s	1,18	2,25	3,27	3,24	3,94	4,66	6,15	6,21	5,72	4,79	3,01	2,26
	Fósforo	mg/L	0,46	0,20	0,14	0,14	0,11	0,10	0,07	0,07	0,08	0,16	0,42	0,49
	Nitrog. total	mg/L	2,03	0,49	0,22	0,22	0,18	0,15	0,12	0,11	0,12	0,37	1,09	2,10
	Potássio	mg/L	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,43	0,52
	DBO	mg/L	11,07	6,32	4,49	4,52	3,72	3,15	2,39	2,36	2,57	3,04	4,63	5,90
	Colif. fecais	NMP/100mL	1651	924	652	658	541	457	347	343	373	442	680	875
PC2	Vazão	m <sup>3</sup> /s	1,85	2,92	4,21	4,17	5,26	6,38	8,70	8,80	8,03	7,08	5,14	4,05
	Fósforo	mg/L	0,53	0,25	0,17	0,17	0,13	0,11	0,08	0,08	0,09	0,18	0,45	0,54
	Nitrog. total	mg/L	2,78	0,75	0,26	0,27	0,21	0,17	0,13	0,13	0,14	0,41	1,22	2,50
	Potássio	mg/L	0,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,51	0,65
	DBO	mg/L	11,39	7,58	5,36	5,41	4,29	3,54	2,59	2,56	2,81	3,17	4,26	5,26
	Colif. fecais	NMP/100mL	1496	977	686	693	549	453	332	328	360	407	551	688
PC1	Vazão	m <sup>3</sup> /s	2,18	3,25	4,61	4,56	5,82	7,11	9,77	9,89	9,00	8,00	6,02	4,85
	Fósforo	mg/L	0,54	0,27	0,18	0,18	0,14	0,12	0,08	0,08	0,09	0,18	0,45	0,55
	Nitrog. total	mg/L	2,94	0,85	0,29	0,29	0,23	0,19	0,14	0,14	0,15	0,40	1,21	2,56
	Potássio	mg/L	0,25	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,51	0,68
	DBO	mg/L	11,27	7,87	5,63	5,69	4,46	3,65	2,66	2,63	2,89	3,23	4,21	5,11
	Colif. fecais	NMP/100mL	1552	1063	754	763	598	490	356	352	387	434	571	700
PC0	Vazão	m <sup>3</sup> /s	2,47	3,58	5,02	4,96	6,34	7,75	10,66	10,79	9,82	8,77	6,71	5,46
	Fósforo	mg/L	0,53	0,27	0,18	0,18	0,14	0,12	0,09	0,08	0,09	0,17	0,43	0,53
	Nitrog. total	mg/L	2,87	0,88	0,30	0,31	0,24	0,20	0,14	0,14	0,15	0,39	1,17	2,50
	Potássio	mg/L	0,25	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,49	0,66
	DBO	mg/L	10,85	7,79	5,63	5,69	4,46	3,64	2,65	2,62	2,88	3,21	4,12	4,96
	Colif. fecais	NMP/100mL	1504	1058	759	767	601	492	357	353	388	433	562	684

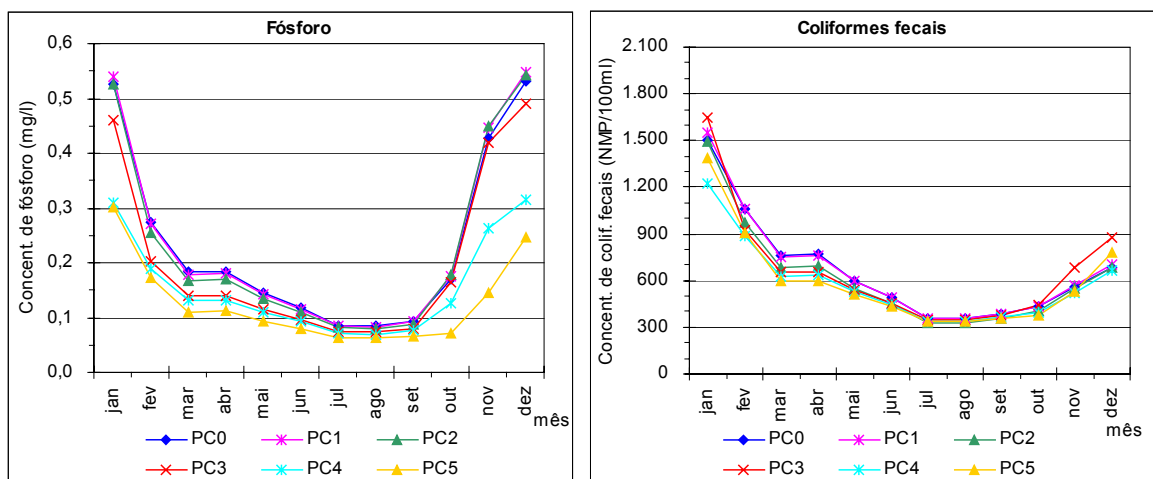


Figura 5 – Concentrações de fósforo e de coliformes fecais ao longo do ano nos PCs da sub-bacia do Arroio Araçá.

Foram estimadas concentrações de potássio apenas para o período onde há efluentes das lavouras de arroz, variando de 0,07 mg/L no PC5 (em janeiro) a 0,68 mg/L no PC1 (em dezembro).

As concentrações de DBO estimadas em cada PC seguem a variação sazonal da disponibilidade hídrica e das captações do cultivo de arroz, variando de 1,9 a 11,4 mg/L, conforme o mês, como acontece para o PC3 por exemplo. Como comentado, as concentrações de DBO estimadas são resultantes das cargas geradas pelas fontes difusas, única fonte geradora considerada na sub-bacia em questão, além dos esgotos domésticos e efluentes industriais da área urbana situada próxima à foz do Arroio Araçá, considerada contribuindo apenas para o PC0.

Quanto à concentração de coliformes fecais, obteve-se maior variação mensal em um mesmo PC do que entre dois PCs. No mês de janeiro, foram estimadas as maiores concentrações, em torno de 1.500 NMP/100 mL, que decrescem até a metade do ano, atingindo 300 NMP/100 mL, retornando a crescer até dezembro (Figura 5). Como à fonte geradora (fontes difusas) foi atribuída uma carga constante ao longo do ano, a variação da concentração de coliformes fecais foi devido à variação da vazão remanescente, função por sua vez das captações para irrigação do arroz e das disponibilidades incrementais.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O uso e ocupação do solo no meio rural geram efluentes e degradam o ambiente, em particular através do aporte de cargas de nutrientes e de outras substâncias aos recursos hídricos. Entretanto, a estimativa do aporte de cargas e a simulação de qualidade de água em pequenas bacias rurais é dificultada pela falta de informações e de monitoramento.

Dessa forma, a metodologia apresentada constitui uma forma simples e prática de estimar o aporte de cargas e de simular a qualidade de água em pequenas bacias rurais, de forma a proporcionar informações valiosas para o processo de gerenciamento dos recursos hídricos. Isso é bem notório principalmente para a aplicação dos instrumentos de outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos, diretamente relacionados aos volumes de água captados e às cargas de efluentes gerados por cada atividade.

Convém ressaltar que a aplicação de metodologias simplificadas como a descrita nesse artigo vem preencher uma lacuna originada da falta de cadastro das atividades agropecuárias, de pesquisas e de monitoramento dos efluentes gerados pelas atividades humanas no meio rural. Na medida que estejam disponibilizadas informações mais substanciais para cada bacia (como área e localização de cada lavoura, consumo e manejo da irrigação, adubagem e preparo do solo, número de rebanhos e consumo de água correspondente, etc), procedimentos mais elaborados podem ser aplicados, levando em conta os processos de transporte, sedimentação e decaimento dos constituintes. Isso

permitiria uma inferência sobre o impacto de cada atividade sobre a qualidade de água de forma muito mais fundamentada, tornando a outorga e a cobrança de uso dos recursos hídricos estabelecidas em uma base mais sólida, o que minimizaria conflitos e otimizaria o próprio uso dos recursos hídricos na bacia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A. pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

- CAMARGO, E. R. *et al.* (2001). “*Manejo dos fertilizantes fosfatados e potássicos no sistema pré-germinado de cultivo de arroz*” in Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Porto Alegre (RS).
- CONCREMAT (2004). “*Relatório A3 – Confronto entre disponibilidades e demandas hídricas no Cenário Tendencial, Capítulo 2 – Balanço quali-quantitativo da margem direita do Lago Guaíba*”. Estudos preliminares para subsídio ao Plano de Bacia do Lago Guaíba. CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A.
- EIGER, S. *et al.* (1999). “*Modelagem de cargas de nutrientes para a bacia hidrográfica do rio do Peixe (SP)*” in XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte (MG).
- FURTADO, R. D.; DE LUCA, S. J. (2003). “*Técnicas de cultivo de arroz irrigado: relação com a qualidade de água, protozoários e diversidade fitoplanctônica*.” Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, n. 1, pp. 165-172.
- IPH (2002). “*Identificação das alternativas possíveis e prováveis para regularização das vazões do Rio Gravataí*”. Relatório Final. Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH/CPRM: Porto Alegre, 207 p.
- MACEDO, V. R. *et al.* (2001). “*Perdas de nutrientes e solo em diferentes manejos da água no sistema pré-germinado*” in Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Porto Alegre (RS).
- MARCHEZAN, E. *et al.* (2001). “*Manejo da adubação do arroz irrigado em sistema pré-germinado na produtividade e perda de nutrientes através da água de drenagem inicial*”. Ciência Rural, Santa Maria (RS), v. 31, n. 5, pp. 877-879.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. (2002). “*Qualidade de água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura*”. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre (RS), v. 3, n. 4.
- PEREIRA, D. *et al.* (2003). “*Cargas de contaminantes em sub-bacia rural/urbana e industrializada para a simulação de qualidade de água*” in XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba (PR).

VON SPERLING, M. (1996). *“Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos”*. DESA-UFMG, vol. 1, 2ª ed., Belo Horizonte (MG).

WEBER, L. *et al.* (2003). *“Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes sistemas de cultivo”*. Ciência Rural, Santa Maria, v. 33, n. 1, pp. 27-33.