



# ESTUDO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE CORPO RECEPTOR DE EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS E DOMÉSTICOS

*Evaluation of quality water parameters on a stream subject  
to industrial and domestic effluents*

André Nagalli<sup>[a]</sup>, Priscila Duarte Nemes<sup>[b]</sup>

<sup>[a]</sup>Engenheiro Civil, Doutorando em Geologia Ambiental, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: nagalli@hotmail.com

<sup>[b]</sup>Tecnóloga em Química Ambiental, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: priscilanemes@hotmail.com

---

## Resumo

Foi realizada uma investigação ambiental de um corpo hídrico receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. Caracterizações físico-químicas e biológicas das águas residuárias e do curso hídrico permitiram inferir a autodepuração no córrego e os efeitos associados às poluições pontuais e difusas. Foram analisados parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos, e alguns metais pesados. O curso d'água analisado pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Barigüi, Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. Variações espaciais expressivas dos parâmetros monitorados foram observadas, atribuindo-as às fontes de poluição e aos processos de depuração. Por exemplo, foi constatada uma redução de 90% na concentração de DBO<sub>5</sub> e de 21% de DQO ao longo do córrego. Os resultados foram confrontados com os parâmetros de águas brutas, indicados na Resolução CONAMA 357/05, os quais demonstraram que, por vezes, os dos efluentes ultrapassaram o limite estabelecido. Os estudos de caracterização do regime hidráulico do corpo d'água favoreceram a compreensão dos processos de diluição e aeração e permitiram a quantificação das cargas poluidoras de cada elemento analisado. Conclui-se que a capacidade de autodepuração do corpo hídrico se faz presente, embora não seja capaz de degradar toda a carga de poluição afluente. Sugere-se que a legislação atual seja revista, a fim de considerar que indicadores de poluição sejam quantificados em termos de carga poluidora ao invés de suas concentrações.

**Palavras-chave:** Qualidade da Água. Poluição hídrica. Autodepuração.

### **Abstract**

*An environmental investigation was executed to a stream in Brazil which receives industrial and domestic effluents. The physic-chemical and biological parameters were determined to the river water and effluents. The results permit evaluates the auto depuration phenomena at the river. The spatial gap of the monitored parameters were pronounced, it caused by punctual pollution charges and diffuse pollution. For example, it was determined a reduction of 90% on the BOD<sub>5</sub> and 21% de COD trough the river. The results were evaluated under the requirements of the Brazilian Environmental Law. The hydraulic studies effectuated helped the global investigation, especially the dilution and the aeration process. The study concludes that the auto depuration process is significant, but it is insufficient to eliminate all the pollution charge.*

**Keywords:** *Water quality. Water pollution. Auto depuration.*

## **INTRODUÇÃO**

O crescimento das cidades nas últimas décadas tem sido responsável pelo aumento da pressão das atividades antrópicas sobre os recursos naturais. A poluição dos corpos d'água é causada pela introdução de matéria e/ou energia alterando as características da água e podendo afetar a biota. A resposta dos corpos hídricos ao lançamento de despejos industriais e domésticos varia em função de suas características físicas, químicas e biológicas e da natureza das substâncias lançadas.

Diversos pesquisadores vêm trabalhando com o tema, alguns com abordagens sistemáticas através de modelos matemáticos, como por exemplo, Santos (2008), Nunes (2007), Oppa (2007), Machado (2006) e outros, com abordagens mais holísticas e menos sistemáticas, como Nemes (2006) e Barros (2008), abordam as relações causa-efeito.

O processo de autodepuração em corpos d'água está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. Uma das etapas da avaliação do impacto que um despejo industrial causa em um corpo hídrico e da eficácia das medidas de controle é a quantificação das cargas poluidoras afluentes. Para tanto, são necessários levantamentos de campo na área em estudo, incluindo amostragem dos poluentes, análises de laboratório e medição de vazões (VON SPERLING, 2005).

Este trabalho visa à compreensão do processo de autodepuração em um corpo hídrico receptor de despejos industriais e domésticos. Subordinadamente constituem-se objetivos da investigação caracterizar amostras dos despejos identificados e sua distribuição, em termos de concentrações ao longo do curso d'água, além de identificar parâmetros relevantes sob o ponto de vista ambiental. O presente estudo pode fundamentar ações de gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica (outorga de direito de uso, por exemplo) além de direcionar eventuais ações corretivas. Para tal, um estudo de caso foi realizado utilizando-se um pequeno córrego sem nome, situado na Bacia Hidrográfica do Rio Barigüi, Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, que atua como corpo receptor de efluentes líquidos de uma lavanderia industrial e recebe também contribuições de esgotos sanitários domésticos.

## **METODOLOGIA**

Para avaliar a autodepuração do córrego, foram realizados estudos para identificar aspectos que tangem à hidráulica e à qualidade da água do corpo hídrico. Estudos preliminares, apresentados em Nagalli e Nemes (2006), revelaram a metodologia para a escolha dos pontos de amostragem, valendo-se principalmente dos parâmetros temperatura e oxigênio dissolvido. Nesta etapa, foram também

levantados aspectos relativos ao fluxo da água no córrego, como geometria da seção transversal e vazão. Nos levantamentos de campo, foram identificadas contribuições clandestinas de esgotos sanitários despejados no corpo hídrico, sob a forma de drenagem pluvial, as quais foram consideradas na avaliação da capacidade de autodepuração.

Após a realização dos estudos preliminares (NAGALLI; NEMES, 2006), foram realizados estudos para caracterização do efluente industrial, da contribuição clandestina de esgotos sanitários domésticos e da qualidade das águas do corpo hídrico em questão, a qual aconteceu por meio da coleta de amostras simples e da análise laboratorial. Os ensaios laboratoriais, realizados no laboratório particular Envlab Laboratórios atentaram à metodologia estabelecida em Apha (1992), e foram suficientes para o entendimento do fenômeno e assim permitiram que os resultados fossem comparados aos padrões-limite contidos na Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), sendo seus resultados apresentados em Nemes (2006).

A partir dos resultados obtidos, foi possível quantificar as cargas poluidoras afluentes ao corpo d'água e, por consequência, avaliar o processo da autodepuração no corpo hídrico em questão. Os resultados desta avaliação são aqui apresentados por intermédio de um croqui ilustrativo dos pontos de amostragem avaliados (Figura 1).

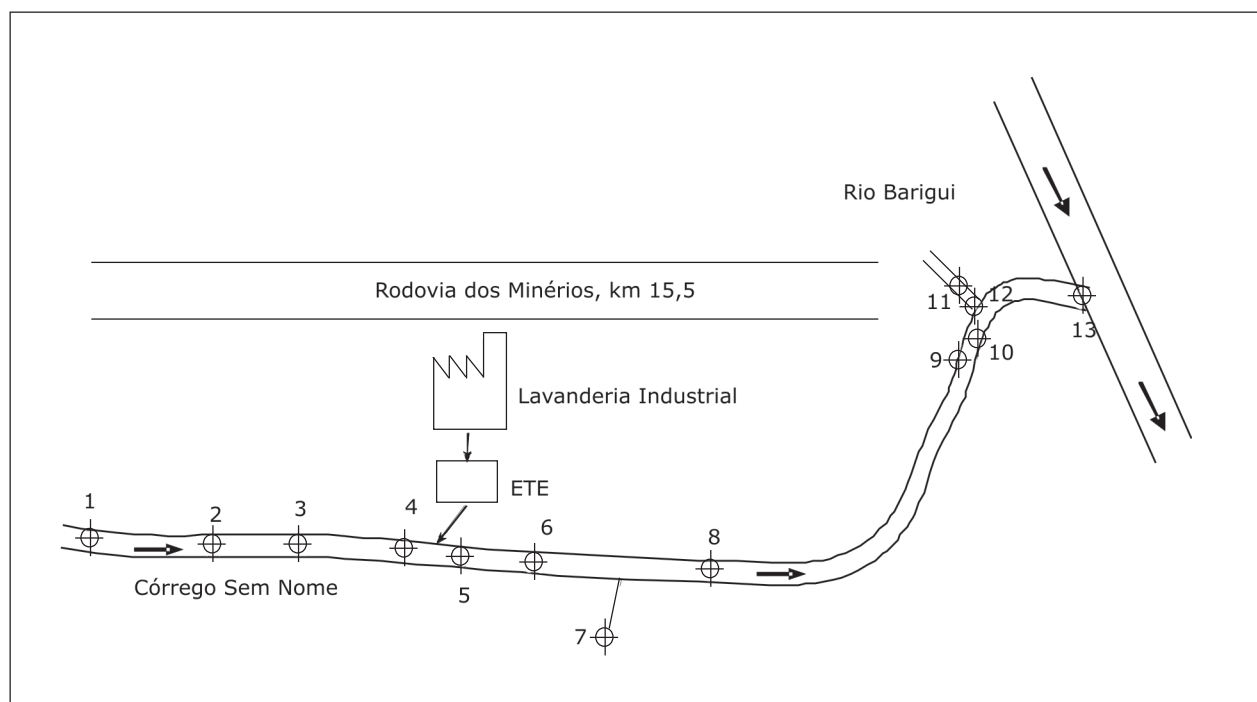


FIGURA 1 - Croqui de localização dos pontos de amostragem

A lavanderia industrial executa serviços de higienização, limpeza e locação de diversos materiais, entre eles: locações de toalhas industriais recicláveis; locação de toalhas contínuas recicláveis; locação e manutenção de uniformes; locação e higienização de tapetes; higienização e manutenção de *big bag's*; higienização de luvas de couro; higienização de caixas plásticas; higienização de EPIs. Os processos de lavagem e higienização destes materiais (utilizando detergentes e outros materiais) geram águas residuárias, as quais são lançadas pós-tratamento diretamente no Córrego Sem Nome. Esta contribuição pontual acontece por meio de um duto plástico, localizado sobre o curso d'água (Figura 2).



FIGURA 2 - Ponto de lançamento do efluente industrial no Córrego Sem Nome (nº 5)

O lançamento dos esgotos sanitários domésticos acontece por intermédio direto destes no sistema de drenagem pluvial local. Sua caracterização é representada pelos resultados obtidos para o ponto de amostragem de número 7. A região de estudo, contribuinte para a geração destes esgotos sanitários domésticos pode ser considerada medianamente urbanizada, como ilustra a Figura 3.



FIGURA 3 - Área contribuinte para a geração de esgotos sanitários domésticos na bacia hidrográfica do Córrego Sem Nome



A metodologia de quantificação da carga poluidora envolveu aspectos relacionados à vazão média dos efluentes/águas e as respectivas concentrações de poluentes. No que toca aos poluentes analisados, cumpre ressaltar que se julgaram significativos os seguintes parâmetros: pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, OG, ST, SF, SV, Chumbo, Ferro, Zinco, Temperatura, OD e Surfactantes.

A carga poluidora do efluente da lavanderia industrial é obtida através do produto entre os valores das concentrações, em mg/l, dos parâmetros analisados com o valor da vazão média, em m<sup>3</sup>/s, do lançamento. A carga poluidora do afluente do lançamento, no caso do córrego sem nome é obtida através do produto entre os valores das concentrações dos parâmetros de qualidade analisados, com o valor da vazão média do córrego, no ponto de coleta antes da desembocadura do afluente (montante), enquanto que a carga poluidora do córrego no ponto de coleta a jusante é obtida através do produto entre os valores das concentrações dos parâmetros de qualidade das águas analisados com o valor da vazão média total (vazão do rio receptor, mais a vazão do despejo da lavanderia, mais a vazão média do lançamento do esgoto sanitário clandestino).

Os resultados encontrados para a medição das vazões são descritos em Nemes (2006). Para a medição da vazão do córrego foi utilizado o método do flutuador, empregado nas diversas campanhas de campo, cujos resultados permitiram calcular as cargas poluidoras presentes no curso d'água.

Na apresentação dos resultados, ressalta-se que os pontos de amostragem 5, 7 e 12 não entraram nos gráficos na forma de variação da curva, uma vez que esses pontos não se tratam de amostras do rio e sim do efluente industrial, esgoto doméstico e afluente de uma nascente.

A forma de representação destes pontos acontece através de uma seta, a qual é colocada entre os pontos que estão sendo lançados, da seguinte forma:

EF: efluente final lançado pela lavanderia industrial;

ED: esgoto doméstico lançado pela população da região ao redor da lavanderia;

AN: contribuição de um afluente de uma nascente.

## RESULTADOS

Para facilitar a visualização e compreensão da influência dos despejos líquidos para os diferentes parâmetros analisados, estes são apresentados textualmente em subcapítulos específicos. Como apresentado na metodologia, os estudos abrangeram diversos parâmetros físico-químicos. São aqui apresentados e analisados apenas os parâmetros julgados mais importantes para o estudo de caso. Os parâmetros pH, surfactantes, ferro e zinco não apresentaram variações tão significativas, sendo seus resultados apresentados por Nemes (2006). Os resultados obtidos estão em acordo com os resultados do estudo de Santos (2008).

### Variação do oxigênio dissolvido – OD

De acordo com a Figura 4, nota-se que o parâmetro OD manteve-se aproximadamente constante até o ponto de lançamento do efluente da lavanderia. Após este ponto, o OD aumentou de valor, pois na saída da ETE existe um desnível na tubulação de descarte do efluente, o que proporciona a aeração e, conseqüentemente, aumento na quantidade de oxigênio dissolvido presente nas águas. Logo após, houve também o lançamento dos esgotos sanitários domésticos, uma fonte poluidora que se caracteriza como um despejo concentrado (pontual), o que fez cair drasticamente o valor da concentração do OD.

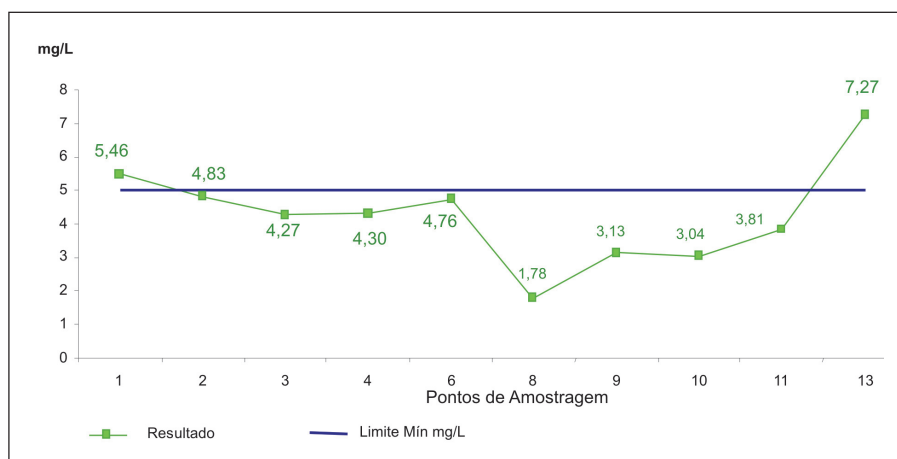


FIGURA 4 - Variação do Oxigênio Dissolvido - OD no Córrego Sem Nome

Essa redução drástica no valor do OD ocorreu porque os esgotos domésticos apresentam altas cargas orgânicas, isto é, valores significativos de  $DBO_5$ , o que imediatamente ao lançamento consomem o oxigênio livre disponível. Nesta fase observa-se uma suposta e intensa biodegradação da matéria orgânica, sendo que o ponto crítico de menor concentração de OD foi o ponto 8.

Depois dessa fase, a recuperação foi lenta, uma vez que o OD manteve-se abaixo do limite em três pontos consecutivos. Após grande parte da matéria orgânica estar estabilizada, houve o aumento dos teores de oxigênio dissolvido. Somente no Rio Barigüi, onde o córrego deságua, o OD estava dentro dos limites para rio Classe II, segundo Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005).

### Temperatura da água

A Figura 5 mostra os resultados para a variação da temperatura da água. À montante do lançamento, a temperatura encontrava-se estável (em torno de 17°C). O efluente da lavanderia industrial foi despejado a uma temperatura de 25,6°C, o que fez com que a temperatura do córrego aumentasse em 7,6°C na zona de mistura, o que não é permitido pela legislação ambiental. Pela Resolução CONAMA 357/05 é permitida uma variação de até 3°C.

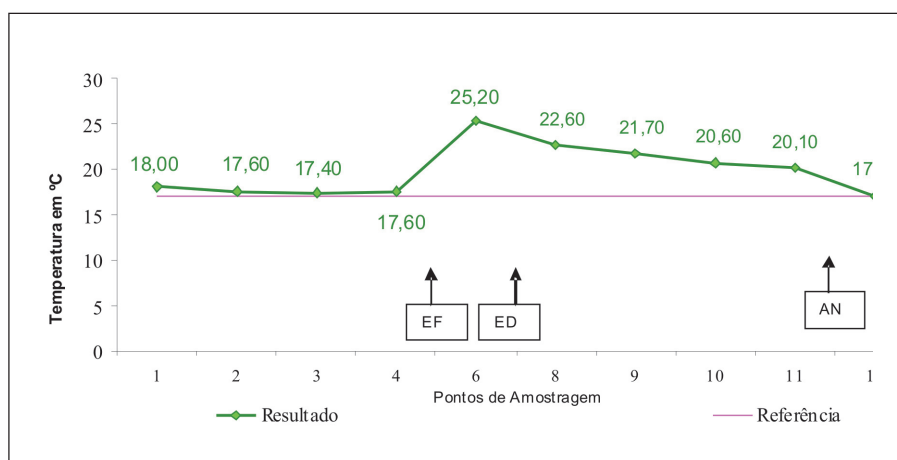


FIGURA 5 - Variação da Temperatura da Água no Córrego Sem Nome

Após a zona de mistura, a temperatura do corpo receptor em estudo foi diminuindo gradativamente até atingir 17,1°C no Rio Barigüi, que foi o último ponto amostrado. No gráfico da Figura 5 adotou-se como referência a temperatura de 17°C, por ser a temperatura inicial obtida nos pontos anteriores ao lançamento do efluente da lavanderia industrial.

### Demanda química de oxigênio – DQO

A Figura 6 mostra os resultados na forma gráfica do parâmetro DQO ao longo do percurso do córrego. Verifica-se que o córrego possui uma concentração de DQO elevada a montante, 1.550,0 mg/L. Com o lançamento do efluente da lavanderia industrial com uma DQO de 1.002,00 mg/L, essa concentração aumentou em torno de 15 %. Não há um parâmetro limite para DQO em rio Classe II, porém, para lançamento de efluentes, a lavanderia deveria atender o limite de DQO até 150 mg/L, conforme Licença de Operação emitida pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP). Tal fato demonstra que o lançamento do efluente industrial está em desacordo com o que estabelece o instrumento legal.

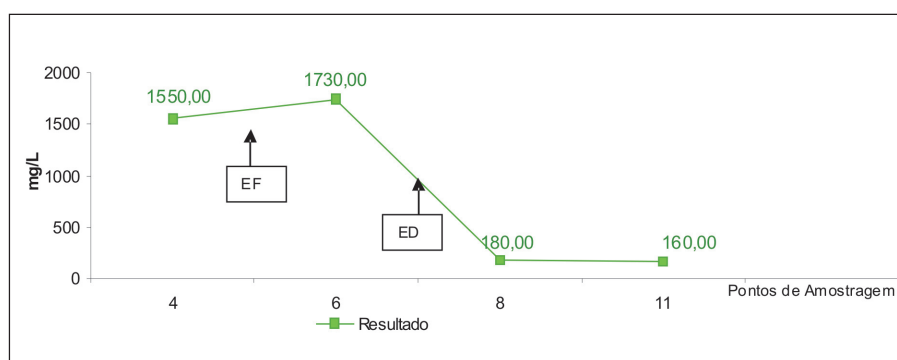


FIGURA 6 - Variação da DQO ao Longo Percurso do Córrego Sem Nome

Após a zona de mistura, houve diminuição na concentração da DQO, sendo que após o lançamento dos esgotos sanitários domésticos, o decréscimo continuou acontecendo. Entre os pontos de amostragem 8 e 11 não houve variações tão significativas da DQO, uma vez que estas já se apresentavam em baixa concentração. Porém, considerando que no início tinha-se uma DQO de 1.550,00 mg/L e no último ponto uma DQO de 160,00 mg/L, a queda da DQO foi em torno de 89%, um excelente resultado ao se considerar a pequena extensão do córrego, inferior a 1 km.

Cumprе salientar que a redução da DQO ao longo do comprimento do corpo hídrico não estabelece a relação direta causa-efeito da degradação dela pelo córrego. Podem estar associados outros fenômenos naturais como a sedimentação/decantação, imobilização/inertização destes poluentes representados pela DQO, o que, em primeira análise, indica que tais poluentes podem continuar presentes no meio ambiente em forma de sedimentos, bioacumulados na biota local, etc. Trata-se, portanto, de um indicativo da contribuição do córrego para a questão da degradação destes poluentes, todavia, não é plenamente conclusivo.

### Demanda bioquímica de oxigênio - DBO<sub>5</sub>

Com relação à DBO<sub>5</sub>, os resultados mostraram-se significativos, conforme ilustra a Figura 7. Após o lançamento do efluente industrial, com uma DBO<sub>5</sub> igual a 400,00 mg/L, houve um acréscimo em torno de 11% na DBO<sub>5</sub> do córrego.

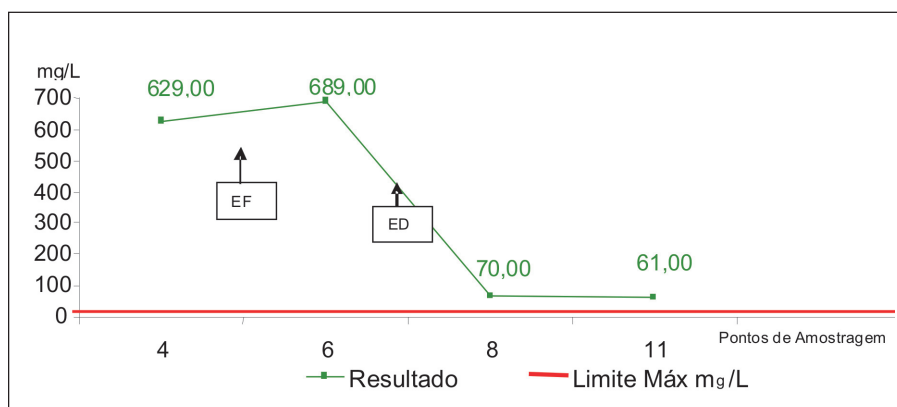


FIGURA 7 - Variação da DBO<sub>5</sub> ao Longo Percurso do Córrego Sem Nome

Logo depois da zona de mistura, houve a queda gradativa da DBO<sub>5</sub>, sendo que após a contribuição dos esgotos sanitários domésticos, o decréscimo continuou acontecendo. Nos pontos de amostragem 8 e 11 não se obteve grandes variações. Porém, ao avaliar que no início existia uma DBO<sub>5</sub> de 629,00 mg/L e no último ponto uma DBO<sub>5</sub> de 61,00 mg/L, nota-se que a eficiência na remoção da DBO<sub>5</sub> foi em torno de 90%.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), o limite para DBO<sub>5</sub> em rio Classe II é de 5,0 mg/L, portanto, os valores encontrados para o córrego em estudo estão bem acima da DBO<sub>5</sub> permitida, em todos os trechos analisados.

### Variação de Óleos e Graxas – OG

A Figura 8 demonstra graficamente os resultados encontrados para Óleos e Graxas ao longo do córrego em estudo. Pode-se observar a grande influência do efluente da lavanderia na qualidade da água do córrego quanto à concentração de OG, pois entre os pontos de amostragem 4 e 6 houve a introdução de OG no córrego, o qual se manteve constante em todos os outros pontos analisados. De acordo com Von Sperling (2005), os poluentes deste tipo são resistentes à degradação biológica pelos microrganismos (Figura 8).

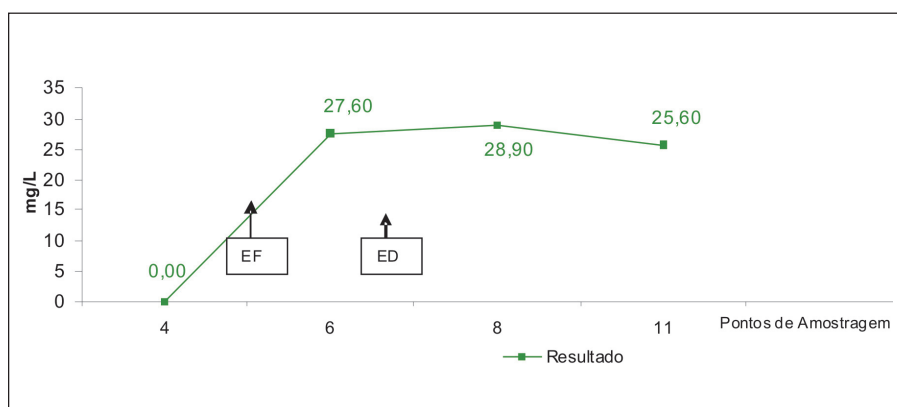


FIGURA 8 - Variação da OG ao Longo do Percurso do Córrego Sem Nome



Através do gráfico de variação de OG (Figura 8), pode-se concluir que os efluentes da lavanderia industrial contribuirão negativamente para a questão ambiental ao introduzir materiais de difícil biodegradação no corpo hídrico. Possivelmente, tais concentrações de óleos e graxas decorrem do emprego de detergentes e sabões no processo industrial da lavanderia em questão, que promovem a higienização de estopas, toalhas e outros materiais impregnados com óleo. O sistema de tratamento da lavanderia deveria reter tais materiais, a fim de que se evitasse o lançamento desta água residuária com concentrações de OG superiores ao estabelecido na legislação ambiental

### Variação de sólidos totais (ST), voláteis (SV) e fixos (SF)

A Figura 9 representa a variação dos sólidos no percurso do local em estudo. Os Sólidos Totais (ST) em águas caracterizam o seu teor da matéria seca, os Sólidos Voláteis (SV) indicam uma estimativa da matéria orgânica existente no resíduo, enquanto que os Sólidos Fixos (SF) representam a matéria inorgânica, ou seja, o teor dos sólidos minerais.

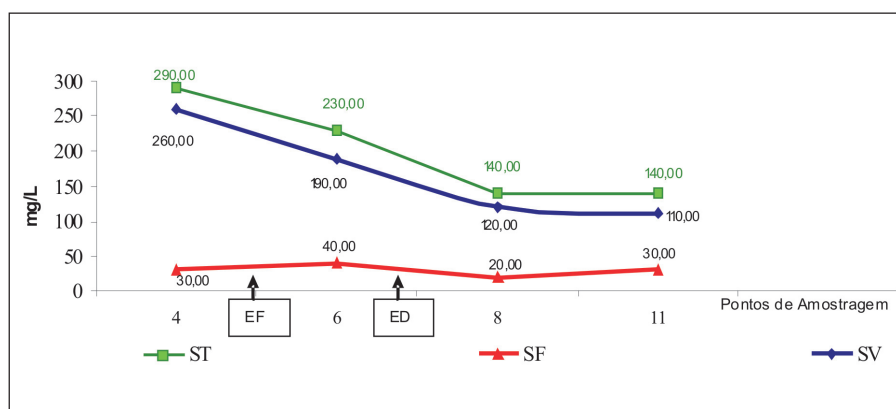


FIGURA 9 - Variação de (ST), (SF) e (SV) ao Longo do Percurso do Córrego Sem Nome

Analisando a variação dos (SV), observa-se a redução gradativa deste parâmetro, ou seja, ocorreu degradação gradativa da matéria orgânica. Quanto aos (SF), mantiveram-se constantes, uma vez que não há degradação microbiológica para a matéria inorgânica.

Nota-se que, em virtude das pequenas variações do parâmetro (SF), os processos associados à autodepuração, tais como sedimentação, diluição, etc., podem ser considerados de pequena magnitude, o que reforça a teoria de boa depuração (alta eficiência) dos parâmetros DBO<sub>5</sub> e DQO supracitados.

### Variação de chumbo (Pb)

De acordo com a Figura 10, no momento do lançamento do efluente da lavanderia industrial, houve a introdução do elemento chumbo (Pb) no Córrego Sem Nome, com uma concentração de 0,307 mg/L. Esse parâmetro não foi analisado para os esgotos sanitários domésticos, pois se considerou improvável a presença deste poluente, uma vez que esse metal não é característico de esgoto doméstico.

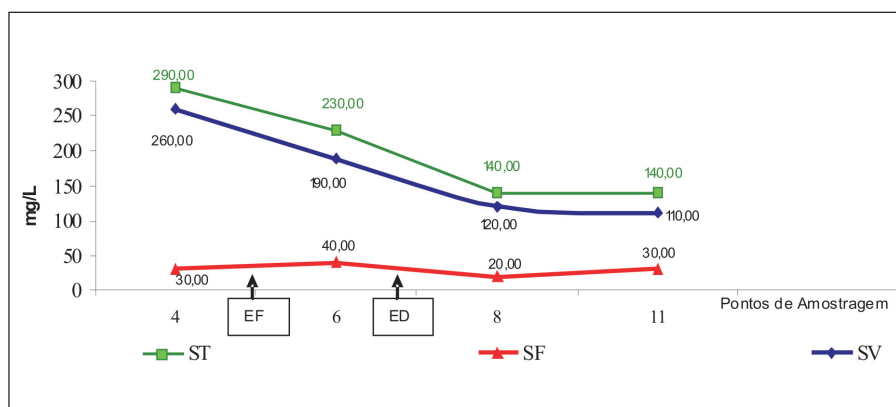


FIGURA 10 - Variação do Chumbo (Pb) ao longo do percurso do Córrego Sem Nome

A partir do lançamento, houve o decréscimo na concentração de chumbo. Contudo, em nenhum ponto analisado, a concentração de chumbo esteve dentro dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05 para rio Classe II, ou seja, nenhum esteve abaixo de 0,01 mg/L Pb.

Atribui-se a diminuição da concentração de chumbo à imobilização deste metal pesado no sedimento do rio, ou ainda, complexação em outros componentes químicos ou materiais. Depreende-se que o efluente industrial tem contribuído para a poluição ambiental local, no que toca ao parâmetro chumbo.

### Cálculo das cargas poluidoras

As cargas poluidoras foram calculadas, como explicitadas na metodologia, com base nos valores médios da vazão no córrego e concentrações dos poluentes. Assim, foram obtidos valores representativos da situação, a fim de avaliar o impacto dos despejos da lavanderia industrial e dos esgotos sanitários domésticos sobre a qualidade das águas do Córrego Sem Nome, através da expressão abaixo:

$$C_p = C \times Q \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $C_p$  = Carga Poluidora (g/s)

$C$  = Concentração do poluente (mg/L)

$Q$  = Vazão média no córrego ( $m^3/s$ )

Os cálculos das cargas poluidoras consideraram as seguintes vazões médias, medidas *in loco*: vazão de montante no córrego sem nome ( $0,023 m^3/s$ ), vazão do efluente líquido da lavanderia industrial ( $0,022 m^3/s$ ), vazão dos esgotos sanitários domésticos ( $0,002 m^3/s$ ), vazão de jusante no Córrego Sem Nome ( $0,047 m^3/s$ ). De posse dos resultados dos estudos preliminares, apresentados em trabalhos anteriores (NAGALLI; NEMES, 2006), utilizando-se a metodologia apresentada, pode-se concluir que as cargas poluidoras afluentes ao córrego sem nome são as apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 - Cargas Poluidoras Calculadas no Córrego Sem Nome

Parâmetros	Carga poluidora (g/s)				Variação das cargas poluidoras a montante e a jusante
	Montante – Córrego sem nome	Efluente Industrial Lavanderia	Esgoto Sanitário Doméstico	Jusante – Córrego sem nome	
DQO	35,65	22,044	2,068	7,52	28,13
DBO <sub>5</sub>	14,47	8,8	0,833	2,86	11,61
OG	-	0,44	0,14	1,20	- 1,20
ST	6,67	5,5	0,66	6,58	0,09
SF	0,69	0,88	0,154	1,41	- 0,72
SV	5,98	4,62	0,506	5,17	0,81
Chumbo	-	0,007	-	0,006	- 0,006
Ferro	0,012	0,026	-	0,009	0,003
Zinco	-	0,010	-	0,006	-
OD	0,11	0,01	0,006	0,20	-0,09
Surfactantes	0,005	0,004	0,0006	0,012	-0,007

Cumpra salientar que os valores negativos apresentados na Tabela 1, na variação das cargas poluidoras, a montante e a jusante, representam que houve um incremento na quantidade de poluente detectado a jusante do lançamento quando comparada aos valores detectados a montante, isto é, está havendo um aporte significativo de poluente entre os pontos de amostragem de montante e jusante, possivelmente advindos dos despejos industriais e domésticos. Por exemplo, cita-se o parâmetro Surfactantes, presente em pequena quantidade a montante do lançamento (0,005 g/s), tendo sua carga aumentada para 0,012 g/s a jusante, em decorrência dos lançamentos de 0,004 g/s e 0,0006 g/s dos despejos industriais e domésticos, respectivamente.

Por outro lado, considerando o parâmetro OD, nota-se que o valor negativo constatado na Tabela 1 de - 0,09 g/s significa um processo de recuperação do oxigênio dissolvido no curso d'água, o que é um benefício do ponto de vista ambiental.

Depreende-se da Tabela 1 que, em geral, os valores indicadores de poluição orgânica (DBO, DQO, SV) apresentaram significativa redução com o comprimento do rio/tempo, reforçando a ideia da autodepuração. Os indicadores de poluição inorgânica serviram para demonstrar que a lavanderia industrial tem contribuído para a poluição do corpo hídrico, uma vez que cargas inexistentes de poluição a montante do lançamento fizeram-se presentes após o lançamento. Pode-se citar o chumbo e o zinco como exemplos dessa situação. Ainda, analisando os resultados da Tabela 1, observa-se que a concentração relativa à DQO diminuiu, em termos de carga poluidora, em torno de 21% no ponto a jusante, o mesmo acontecendo com a DBO<sub>5</sub> e houve um decréscimo também na concentração de sólidos voláteis (SV). Tal fato indica uma sensível capacidade de depuração dos poluentes introduzidos no córrego.

Quanto aos metais pesados chumbo e zinco, que não haviam sido constatados no ponto a montante, estes ficaram evidentes no ponto a jusante, portanto, se observa, claramente, que foi uma contribuição da lavanderia industrial. Isso também ocorreu com o parâmetro óleos e graxas, porém há uma contribuição significativa em termos de carga poluidora, sendo lançada também pelos esgotos sanitários domésticos clandestinos da região.

Os sólidos totais (ST) e sólidos fixos (SF) tiveram um aumento significativo, ou seja, a matéria inorgânica aumentou no ponto a jusante. Já com os parâmetros ferro e surfactantes, a variação da carga poluidora do ponto a montante ao ponto a jusante não foi significativa.

### Cálculo do coeficiente de reaeração $K_2$

Diversos modelos têm sido desenvolvidos e aplicados na compreensão do processo de autodepuração. Gastaldini (1982 apud NUNES, 2008) apresenta um histórico das modificações e evoluções que parte dos modelos até a época desenvolvidos sofreu e conclui que, em sua maioria, os modelos estão fundamentados nos trabalhos de Streeter e Phelps (1925). Trata-se de um modelo determinístico e estático, que se utiliza da relação entre OD e DBO, apresentando como parâmetros principais do modelo o coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) e o coeficiente de reaeração ( $K_2$ ). Maiores detalhes sobre o modelo podem ser obtidos em Von Sperling (2005).

O consumo do oxigênio nos processos de estabilização da matéria orgânica faz com que as concentrações do meio líquido estejam abaixo da saturação. Em uma amostra de água, pode-se determinar o valor do coeficiente  $K_2$ , através de métodos estatísticos. O coeficiente de reaeração  $K_2$ , correlaciona a taxa de absorção de oxigênio ao déficit existente. Em um curso d'água, no entanto, a determinação de  $K_2$  é bastante complexa (VON SPERLING, 2005).

Conhecer o parâmetro  $K_2$  permite modelar as características da qualidade da água de um córrego, por exemplo, através de modelos matemáticos. Cita-se como exemplo o modelo de Streeter-Phelps. Pode-se determinar o coeficiente  $K_2$  através da fórmula de Owens et. al (1976), proposta em Von Sperling (2005). A fórmula permite o cálculo do coeficiente  $K_2$  em função das características hidráulicas do curso d'água, à temperatura de 20°C. A escolha da fórmula atentou às condições de aplicabilidade, uma vez que esta se aplica a profundidades que variam de 0,1 m a 0,6 m de profundidade e 0,05 m/s a 1,5 m/s de velocidade de fluxo. O cálculo pode ser promovido pela fórmula:

$$K_2 = 5,3 v^{0,67} H^{-1,85} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:  $K_2$  = Coeficiente de reaeração do curso d'água ( $\text{dia}^{-1}$ );

V = Velocidade de escoamento (m/s)

H = Altura da lâmina d'água (m)

Para o estudo de caso em questão, foram estabelecidas em Nemes (2006) a velocidade média no curso d'água de 0,162 m/s e a profundidade média de 0,17 m. Empregando-se a Equação (3.1), chega-se a um coeficiente  $K_2$  igual a 41,5  $\text{dia}^{-1}$ . Como ressaltado na literatura (VON SPERLING, 2005), valores bastante elevados de  $K_2$  são obtidos para condições de baixa vazão, como no estudo de caso em questão. Considerando-se que a temperatura da água durante os levantamentos de campo situou-se, em média, na faixa dos 17°C, o valor de  $K_2$  pode ser corrigido pela equação proposta em Von Sperling (2005):

$$K_{2T} = K_{2,20} \theta^{(t-20)} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:  $K_{2,T} = K_2$  a uma temperatura  $T$  qualquer ( $\text{dia}^{-1}$ )

$$\begin{aligned} K_{2,20} &= K_2 \text{ a uma temperatura } T = 20^\circ\text{C} \text{ (dia}^{-1}\text{)} \\ T &= \text{temperatura do líquido (}^\circ\text{C)} \\ \theta &= \text{coeficiente de temperatura (-)} \end{aligned}$$

Considerando o valor sugerido em Von Sperling (2005) de 1,024 para o coeficiente  $q$ , chega-se a um coeficiente  $K_{2,T}$  igual a 38,6  $\text{dia}^{-1}$ . Tal valor se mostra compatível com os resultados encontrados na literatura (OWENS et al. apud BRANCO, 1978; VON SPERLING, 2005).

## CONCLUSÕES

Os estudos levados a efeito contribuíram sobremaneira ao entendimento do processo de poluição de corpos hídricos pelo lançamento de despejos industriais e domésticos. Pôde-se evidenciar, para alguns dos parâmetros analisados, a capacidade de autodepuração do córrego sem nome. Os estudos de caracterização do regime hidráulico do corpo d'água favoreceram a compreensão dos processos de diluição e aeração e permitiram a quantificação das cargas poluidoras de cada elemento analisado.

O Oxigênio Dissolvido (OD) aumentou no ponto de amostragem a jusante (ponto 13), fato esse que reforça a autodepuração do corpo hídrico do Córrego Sem Nome, tributário da Bacia Hidrográfica do Rio Barigüi. Tendo em vista que o principal objetivo do trabalho foi verificar se um corpo d'água tem a capacidade de suportar a carga poluidora dos efluentes líquidos industriais e domésticos, através de sua capacidade de autodepuração, depreende-se que esta capacidade existe e é significativa. Pôde-se avaliar a resposta do córrego ao lançamento de despejos líquidos por meio de análises físico-químicas.

Observou-se através dos resultados obtidos, que a carga orgânica do córrego a jusante do lançamento do efluente da lavanderia industrial diminuiu significativamente, ou seja, houve a degradação da matéria orgânica ao longo do percurso estudado.

Quanto à carga inorgânica, a lavanderia contribuiu para que os metais pesados chumbo e zinco, mesmo em pequenas quantidades, fossem introduzidos no córrego. Esta carga não foi depurada, portanto está se acumulando no córrego. Contudo, vale a pena salientar que a amostragem de variáveis físicas e químicas fornece somente uma fotografia momentânea do que pode ser uma situação altamente dinâmica.

A contribuição dos poluentes lançados clandestinamente pela comunidade local também interfere negativamente na qualidade da água do córrego, principalmente no que diz respeito à concentração de oxigênio dissolvido, pois as altas cargas orgânicas lançadas pelos despejos domésticos consumiram o oxigênio livre disponível, desacelerando o processo de autodepuração do córrego.

Confrontando os resultados obtidos com a legislação ambiental, foi possível verificar que a lavanderia em questão não está atentando para o lançamento de efluentes dentro dos padrões exigidos pelo CONAMA 357/05 Art.34, nem os efluentes domésticos lançados clandestinamente pela comunidade local. Foi observado também que as águas do córrego em estudo estavam extremamente poluídas à montante, com os parâmetros bem superiores àqueles permitidos para rios Classe II. Com vistas a reduzir os problemas constatados, sugere-se fazer um controle maior do sistema de tratamento dos efluentes da lavanderia industrial para que tais elementos não venham a prejudicar o ambiente natural local.

Constata-se que a representação dos indicadores de poluição em termos de carga poluidora ( $\text{g/s}$ ) mostra-se mais eficiente que a análise em termos de concentrações ( $\text{mg/l}$ ), por exemplo, uma vez que essa permite a associação dos valores de concentração aos valores de vazão. Esta forma de analisar os impactos decorrentes de aportes de materiais e energia ao meio ambiente deve ser uma tendência quando da revisão dos atuais dispositivos legais associados à questão ambiental, por exemplo, a Resolução CONAMA 357/05.



Dessa forma, mais estudos poderiam ser realizados com os ecossistemas locais para estudar os efeitos nocivos da inclusão antrópica desses poluentes nos córregos e rios das bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Curitiba.

## REFERÊNCIAS

- APHA. **Standard methods for the examination of dairy products**. 16th ed. Washington: American Public Health Association, 1992.
- BARROS, A. M. L. **Modelagem da poluição pontual e difusa**: aplicação do modelo moneris à bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, Pernambuco. 2008. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. São Paulo: CETESB, 1978.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 53, 2005.
- MACHADO, M. B. **Modelagem tridimensional da dispersão de poluentes em rios**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2006.
- NAGALLI, A.; NEMES, P. D. Estudo da variação do Oxigênio Dissolvido em corpo hídrico pelo lançamento de efluentes líquidos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBEA, 2006. CD-ROM.
- NEMES, P. D. **Estudo de capacidade de suporte de carga de corpo receptor dos efluentes líquidos de uma lavanderia industrial**. 2006. 121 f. Monografia (Conclusão de Curso em Tecnologia em Química Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- NUNES, D. G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do Rio Sujo**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2007.
- OPPA, L. F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do Rio Vacacaí Mirim**. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.
- SANTOS, R. C. M. M. **Estudo de parâmetros relevantes da poluição da água por efluentes de lavanderia e tinturaria industriais em um rio não perene**. 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Industriais) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.
- STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. **A study of the natural purification of the Ohio River**. Washington: Public Health Service, 1925.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.

Recebido: 03/08/2008  
*Received:* 08/03/2008

Aprovado: 09/03/2009  
*Approved:* 03/09/2009

Revisado: 09/11/2009  
*Reviewed:* 11/09/2009