

I-037 - AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO ARROIO DA CHÁCARA PARA RECEBER EFLUENTES, VACARIA – RS/BRASIL

Paulo César Cardoso Germano⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.

Maria de Fatima Neves Warth

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Pós-graduada em Física e Matemática pela URI.

Ricardo José de Souza Almeida

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Pós-graduado em Literatura Brasileira pela UFRGS.

Camila Dutra Chaiben

Pedagoga pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo IFRS.

Ivanir Medeiro de Avila

Técnico em Hidrologia pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS – IPH.

Endereço⁽¹⁾: CORSAN – Rua Caldas Júnior, 120, 18º andar – Centro – Porto Alegre/RS – CEP 90.010-260 – Brasil – Tel: +55(51) 3215 5654, email: paulo.germano@corsan.com.br.

RESUMO

A partir da necessidade de implementação da coleta, transporte e tratamento dos esgotos domésticos na cidade de Vacaria/RS, surge também a preocupação com a destinação final dos efluentes tratados. Neste trabalho, os autores aplicam a modelagem de Streeter-Pelphs para o decaimento da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, com algumas características locais. De acordo com os dois cenários propostos, onde variaram as condições de contorno, os resultados se apresentaram promissores.

PALAVRAS-CHAVE: Demanda bioquímica de oxigênio, modelagem e tratamento de efluentes.

1 – INTRODUÇÃO

Vacaria é uma cidade do estado do Rio Grande do Sul que tem aproximadamente 62 mil habitantes, que atualmente não conta com nenhum sistema de tratamento de seus efluentes domésticos. Com a necessidade de tratar os efluentes domésticos desse município, também surgiu a preocupação com o lançamento dos mesmos. Para tanto, além dos recursos financeiros, é de suma importância o atendimento à boa prática de engenharia e às questões ambientais.

Na cidade, o Bairro Montes Claros lança os seus efluentes diretamente no manancial denominado Arroio Dez. Como o município está localizado em um divisor de águas não possui curso de água com caudal expressivo que possa dar condições tão claras para receber os efluentes.

Embora a poluição do Arroio seja visível e notória, foi necessário que se fizesse uma avaliação técnica mais profunda do comportamento heterodinâmico e de qualidade da água para estabelecer uma condição melhor para a tomada de decisão e, principalmente para o licenciamento ambiental do órgão gestor.

2 – OBJETIVO

Caracterizar o comportamento hidráulico e qualidade, ao longo de um manancial, após o lançamento de efluentes tratados, avaliando se há comprometimento dos usos a jusante.

3 – METODOLOGIA E ATIVIDADES

3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A demanda pelo tratamento de efluentes domésticos do Bairro Monte Claro surge da necessidade de despoluição desse arroio que recebe os dejetos, denominado Arroio Dez. O mesmo é contribuinte de outro tributário do Arroio da Chácara, que por sua vez, aflui à barragem de captação e abastecimento da Cidade.

Primeiramente foi localizado o ponto de lançamento dos efluentes, identificado como o de coordenadas UTM: 508.866E; 6.847.468N; Fuso 22J. Esse ponto está localizado a cerca de 300 metros do final do bairro Monte Claro.

O território do Município de Vacaria está subdividido da seguinte forma: 65,86% do Município na Bacia dos Rios Apuaê – Inhandava (U 010); e 34,14% do Município na Bacia dos Rios Taquari – Antas (G 040);

A captação de água para abastecimento e o lançamento de efluentes tratados projetado, localizam-se na Bacia do Apuaê – Inhandava. Segundo o Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul (2007-2008), a principal demanda hídrica dessa bacia é a dessedentação de animais e a irrigação, utilizando cerca de 57% dos recursos hídricos, depois vem o abastecimento público, utilizando cerca de 38% e a indústria, que utiliza cerca de 5%. Segundo o mesmo relatório, essa bacia disponibiliza, em média, uma vazão específica de 26,59L/s/km².

É uma bacia que já tem seu comitê instalado há diversos anos, entretanto não tem nenhuma etapa do plano em andamento ou contratada, sendo assim, não há enquadramento e por força de legislação, suas águas estão enquadradas na classe 2 (dois).

O corpo receptor está inserido na sub-bacia do arroio da Chácara, que por sua vez faz parte da Bacia do Apuaê – Inhandava. É uma região com baixa densidade populacional, com 28,89 hab./km² (IBGE, 2010) onde Vacaria é a principal cidade da região. Além disso, o solo tem baixa cobertura vegetal original e a maior faixa de vegetação faz parte da mata ciliar, ao longo dos arroios e rios dessa sub-bacia.

A seguir, nas tabelas 1 e 2, é apresentada uma caracterização hidrofisiográfica e alguns índices hidrofisiográficos das sub-bacias do arroio da Chácara e do corpo hídrico receptor dos efluentes da ETE Monte Claro.

Tabela 1 - Caracterização hidrofisiográfica da sub-bacia do arroio da Chácara e da sub-bacia do corpo receptor.

Características	Corpo receptor	Confluência 1	Arr. Chácara
Área (km ²)	1,12	3,73	11,32
Perímetro (km)	5,933	11,372	14,093
Comprimento do talvegue (km)	0,825	1,10	1,475
Declividade (m/m)	0,013	0,010	0,014
Nº de afluentes	0	2	5
Comprimento total de drenagem (km)	0,865	2,937	12,626

Tabela 2 - Índices hidrofisiográficos da sub-bacia do arroio da Chácara e da sub-bacia do corpo receptor.

Índices	Corpo receptor	Confluência 1	Arr. Chácara
Coefficiente de compactidade (k _c)	1,569	1,648	1,172
Fator de forma (k _f)	1,645	3,082	4,059
Índice de circularidade	0,399	0,362	0,716
Densidade de drenagem em km	0,736	0,787	1,115
Tempo de concentração (h)	16,091	34,243	36,334
Densidade hidrográfica (Dh)	0	0,536	0,441

3.2 – CARACTERIZAÇÃO FLUVIAL

Com base na quantificação hídrica fluvial da região da cidade de Vacaria, determinaram-se, através de uma regressão linear e do ajuste de uma função analítica. Na tabela 3, são apresentadas algumas vazões de referência da bacia.

Tabela 3 - Vazões médias e mínimas diárias anuais nas sub-bacias e na sub-bacia do corpo receptor.

Vazões (m³/s)	Corpo receptor	Confluência 1	Arroio da Chácara
Q _{MLT}	0,028	0,093	0,282
Q ₉₇	0,005	0,016	0,048
Q ₉₅	0,006	0,019	0,058
Q ₉₀	0,008	0,027	0,082
Q ₈₅	0,010	0,035	0,105
Q _{7,10}	0,008*	0,003	0,009

*Regressão linear com dados de inspeção visual

3.3 – GEOGRAFIA

Na Figura 1 é apresentada uma imagem de satélite que identifica a cidade de Vacaria, com a locação do ponto de lançamento de efluentes tratados, e das sub-bacias que serão modeladas de acordo com sua área e vazão de referência. A primeira confluência é entre o corpo receptor e outro arroio, a segunda confluência é entre o arroio do corpo receptor e o arroio da Chácara e o ponto de captação para abastecimento da cidade. O polígono colorido representa a delimitação das sub-bacias do corpo receptor e as linhas azuis são os cursos d'água.

3.4 – MODELAGEM

Foi utilizado o modelo de Streeter-Phelps (1996) para descrever a degradação de matéria orgânica através do consumo de oxigênio. As potencialidades desse modelo estão na facilidade de aplicação, haja vista já estar consagrada na literatura a utilização e disponibilidade de dados para as entradas, entretanto tem-se como limitações a descrição do fenômeno natural através de um decaimento de primeira ordem. Além disso, consideram-se exclusivamente as condições de fluxo pistão, na qual não há efeitos de dispersão ao longo do curso de água.

Foram estipulados três pontos onde as condições iniciais foram reinseridas: ponto de emissão de efluentes (mistura do efluente da ETE com o manancial); a primeira confluência e a segunda confluência (encontro com o arroio da Chácara). Na Figura 1, é apresentada a região e a referência das duas sub-bacias: Arroio Dez e Arroio da Chácara e corpo hídrico receptor, e parte de sua rede hídrica, com alguns detalhes considerados nessa modelagem.

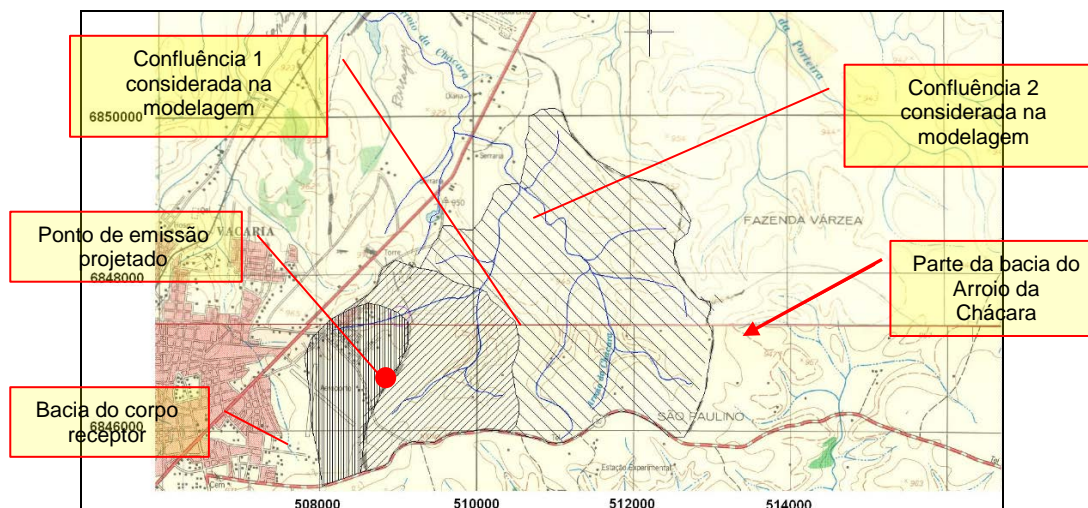


Figura 1: Representação das áreas de entorno da Cidade de Vacaria: no ponto vermelho o emissário projetado; na área hachurada maior, a sub-bacia da Sanga do Peixe e na área hachurada menor a delimitação da sub-bacia de contribuição na seção do ponto de lançamento.

Fonte: Exército Brasileiro (modificado).

3.4.1 – MODELO CINÉTICO DA REAÇÃO DE DBO OU DESOXIGENAÇÃO E DE REOXIGENAÇÃO.

A oxidação bioquímica é um processo lento e teoricamente leva um tempo infinito para ser completada. Em um período de 20 dias, ocorre, para esgotos sanitários, a oxidação em cerca de 95% a 99% dos compostos e, em um período de 5 dias, que é utilizado no teste de DBO_{5,20}, cerca de 60% a 70%.

A forma clássica diferencial, do modelo de Streeter-Phelps, descreve a troca da concentração de matéria orgânica e do déficit de oxigênio dissolvido, que é a diferença entre o oxigênio dissolvido em um lugar e o oxigênio de saturação nesse mesmo lugar, como segue:

$$\begin{cases} V \frac{dL}{dt} = -k_d V L \\ V \frac{dD}{dt} = -k_d V L + k_a V D \end{cases} \quad (\text{sistema de equações 1})$$

Onde:

V é a velocidade em [m/s];

k_d é a taxa de consumo de oxigênio (desoxigenação) por degradação em [d⁻¹];

k_a é a taxa de aeração (reoxigenação) de oxigênio no corpo hídrico em [d⁻¹];

L é a Demanda Bioquímica de Oxigênio na água em [mg*L⁻¹];

D é o déficit de oxigênio em [mg*L⁻¹];

t é o tempo em [d¹].

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.

4.1 – CENÁRIO 1: Considerou-se nessa proposta uma situação mais restritiva, onde a concentração de OD no efluente é dois e o coeficiente de desoxigenação igual a 3,25 (valor indicado na bibliografia para efluentes de tratamento primário). São apresentados nas tabelas 5 e 6 os dados utilizados neste primeiro cenário.

Tabela 5: dados de campo obtidos no corpo hídrico receptor no ponto proposto para o lançamento do efluente tratado.

OD (mg/L)	T _{AR} (°C)	T _{ÁGUA} (°C)
1,4	24	19

Tabela 6: características do corpo hídrico e do efluente tratado no 1º, 2º e 3º trechos do primeiro cenário.

Trecho 1: lançamento	Rio	Efluente tratado	k ₁	k ₂
Q (m³/s)	0,006*	0,0083	0,3	3,25
OD (mg/L – O ₂)	1,45	2	-	-
DBO _{5,20} (mg/L – O ₂)	42	38	-	-
Trecho 2: 1ª confluência do arroio Dez e tributário	Rio	Efluente + rio a montante	k ₁	k ₂
Q (m³/s)	0,019*	0,0143**	0,3	3,25
OD (mg/L – O ₂)	6,6***	0,251**	-	-
DBO _{5,20} (mg/L – O ₂)	1,7***	37,93**	-	-
Trecho 3: 2ª confluência com arroio da Chácara	Rio	Efluente + rio a montante	k ₁	k ₂
Q (m³/s)	0,058*	0,0333**	0,3	3,25
OD (mg/L – O ₂)	6,6***	4,99**	-	-
DBO _{5,20} (mg/L – O ₂)	1,7***	15,08**	-	-

* Vazão de referência Q₉₅. ** dados combinados com o trecho de montante. *** dados de qualidade da barragem de abastecimento da cidade.

Na tabela 7, são apresentados os parâmetros de OD saturado a campo, corrigido pela altitude; a concentração de oxigênio no instante da mistura – OD₀; o déficit de oxigênio e a DBO_{5,20} no instante da mistura – DBO₀.

Tabela 7: dados estimados para o corpo hídrico receptor no ponto proposto para a emissão do efluente tratado (início da zona de mistura), na primeira confluência e na segunda confluência com o arroio da Chácara.

	OD _{SAT} (mg/L)	OD ₀ (mg/L)	OD _{SAT} - OD ₀ (mg/L)	DBO ₀ (mg/L)
Ponto de lançamento	1,442	1,748	-0,36	39,68
1ª confluência	6,978	3,873	2,295	17,26
2ª confluência	6,798	6,014	0,784	6,58

Substituindo as constantes na forma analítica da modelagem, obtêm para o primeiro trecho:

$$C = 1,442 - [3,943 \cdot (e^{-0,3 \cdot t} - e^{-3,25_2 \cdot t}) + (-0,441) \cdot e^{-3,25 \cdot t}] \quad \text{Equação 2}$$

Para o segundo trecho:

$$C = 6,978 - [1,437 \cdot (e^{-0,3 \cdot t} - e^{-3,25_2 \cdot t}) + (2,39) \cdot e^{-3,25 \cdot t}] \quad \text{Equação 3}$$

E para o terceiro trecho:

$$C = 6,978 - [0,378 \cdot (e^{-0,3 \cdot t} - e^{-3,25_2 \cdot t}) + (3,948) \cdot e^{-3,25 \cdot t}] \quad \text{Equação 4}$$

A partir dos resultados da tabela 8, onde a recuperação do OD e remoção de DBO atingem os padrões para classe 2, nos tempos de 0,46 e 0,5 dias consecutivamente, elaborou-se a tabela 9, a seguir, que indica que para a recuperação do oxigênio é necessária uma distância de 3,11km de percurso do rio, para atingir novamente 5mg/L de OD. Para a DBO o percurso necessário é de 3,46km.

Tabela 9: resumo dos resultados para o primeiro cenário.

	t ₀ (dias)	t ₁ (dias)	t (dias)	t (s)	Dist. (m)	Dist. (km)
OD	0,0	0,45	0,45	38.880	3.110	3,11
DBO	0	0,5	0,5	43.200	3.456	3,46

A figura 3 ilustra graficamente as tabelas 8 e 9, identificando a DBO do corpo hídrico, a DBO removida – DBO_r e o oxigênio dissolvido, identificando os limites de OD e DBO para a classe 2 (linhas tracejadas), a confluência do corpo receptor com o arroio da Chácara e a zona de déficit de oxigênio, ilustrada com uma área vermelha semitransparente.

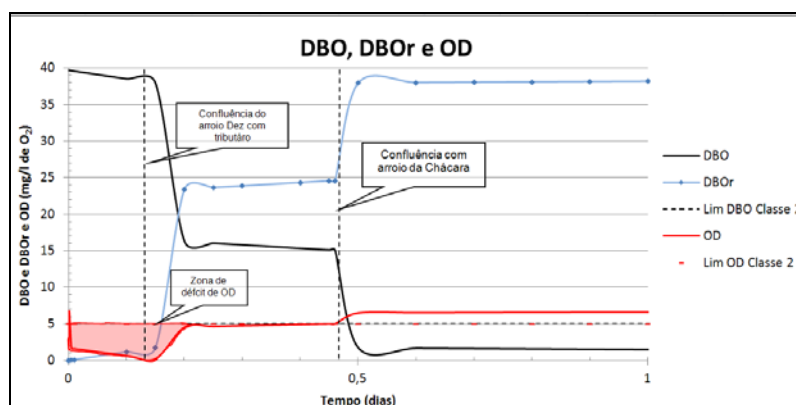


Figura 3: ilustração dos resultados obtidos no primeiro cenário.

4.2 – CENÁRIO 2: A partir de dados bibliográficos e considerando as características do manancial optou-se pela formulação de Owens et al, para a faixa de aplicação: $0,1\text{m} < H < 0,6\text{m}$, e $0,05\text{m/s} < V < 1,5\text{m/s}$.

$$K_2 = 5,3 \cdot V^{0,67} \cdot H^{-1,85}$$

Também será utilizada uma concentração de oxigênio dissolvido de 2mg/L de O₂ para o efluente tratado. Resolvendo a equação de Owens para os valores encontrados de $v = 0,08\text{m/s}$ e a altura média = 0,17m, tem-se $K_2 = 25,88$. A tabela 10 abaixo mostra as condições iniciais para o segundo cenário.

Tabela 10: características do corpo hídrico e do efluente tratado no primeiro, segundo e terceiro trechos.

Trecho 1: lançamento	Rio	Efluente tratado	k_1	k_2
Q (m ³ /s)	0,006*	0,0083	0,3	25,88
OD (mg/L – O ₂)	1,45	2	-	-
DBO _{5,20} (mg/L – O ₂)	42	38	-	-
Trecho 2: 1ª. confluência do arroio Dez e tributário	Rio	Efluente + rio a montante	k_1	k_2
Q (m ³ /s)	0,019*	0,0143**	0,3	25,88
OD (mg/L – O ₂)	6,6***	6,259**	-	-
DBO _{5,20} (mg/L – O ₂)	1,7***	36,81**	-	-
Trecho 3: 2ª confluência com arroio da Chácara	Rio	Efluente + rio a montante	k_1	k_2
Q (m ³ /s)	0,058*	0,0333**	0,3	3,25
OD (mg/L – O ₂)	6,6***	6,626**	-	-
DBO _{5,20} (mg/L – O ₂)	1,7***	14,56**	-	-

* Vazão de referência Q₉₅. ** dados combinados com o trecho de montante. *** dados de qualidade da barragem de abastecimento da cidade.

Resultando na tabela 12, que indica que nessas condições não há déficit de oxigênio para a classificação das águas na classe 2.

Tabela 12: resumo dos resultados para o segundo cenário.

	t ₀ (dias)	t ₁ (dias)	t (dias)	t (s)	Dist. (m)	Dist. (km)
OD	0	0,05	0,05	4320	346	0,346
DBO	0	1,25	1,25	108.000	8.640	8,64

A figura 4, ilustra graficamente as tabelas 11 e 12, identificando a DBO, a DBO removida – DBO_r, e o oxigênio dissolvido, identificando também a confluência do corpo receptor com um tributário e posteriormente com o arroio da Chácara.

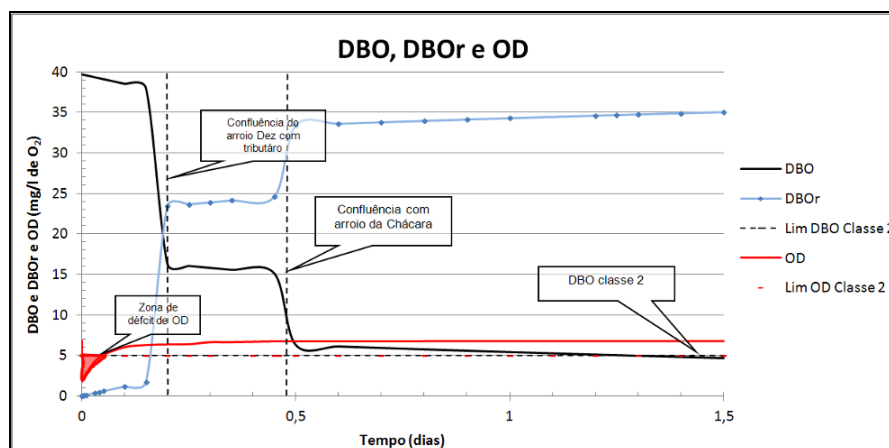


Figura 4: ilustração dos resultados obtidos para o segundo cenário.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Verificou-se que o manancial já está bastante comprometido em sua qualidade, haja vista os lançamentos de efluentes domésticos in natura, constatados com a vistoria, também com odor característico.
- Nas simplificações para os dois cenários, não foram consideradas as diluições e contribuições laterais no trecho entre a foz da bacia do corpo hídrico receptor até a primeira confluência, e entre essa e a segunda confluência, a do arroio da Chácara. Apesar de se aplicar dois valores de k_2 , mesmo diferentes, ambos são aplicáveis porque estão previstos na bibliografia, e vale ressaltar que foram apenas propostos por pesquisadores diferentes.
- No primeiro cenário, mais conservador, a recuperação para o oxigênio dissolvido se enquadrar novamente em classe 2 atinge uma distância de aproximadamente 3,11km e o re-enquadramento da DBO para classe 2 se dá após 3,5km. Já no segundo cenário, não há comprometimento de OD e o atendimento da classe 2 pela DBO se mantém a uma distância de 76km.
- Um dos benefícios ambientais que pode ser mensurado é a retirada da carga orgânica do ambiente, lançando-se efluentes tratados ao invés de bruto. Essa carga é estimada através das 54g/pessoa/dia – DBO multiplicada por 1900 pessoas, que serão potencialmente atendidas pela instalação do Sistema de Esgotamento Sanitário – SES, e multiplicado por 85% de eficiência do sistema, resulta em uma carga que deixará de ser lançada, de cerca de 32ton/ano de DBO.

6 – CONCLUSÕES

Foi verificada que, mesmo com o lançamento do efluente bruto no arroio Dez, a qualidade da água da barragem, utilizada para abastecimento público, ainda não está comprometida. Entretanto, se medidas corretivas não forem tomadas, o incremento de novos lançamentos poderá acarretar na perda da qualidade do manancial principal. Concluiu-se que as simplificações, de modo geral, foram conservadoras, pois a vazão utilizada foi a Q95, além de ser desconsiderado o efeito de diluição e contribuições laterais, ao longo do manancial, até a confluência com a Sanga do Peixe, situações que não comprometeram a modelagem. No primeiro cenário, manteve-se uma postura mais conservadora na escolha do coeficiente. Já no segundo cenário, a concentração de OD entrou em déficit para classe 2, por um tempo de 0,05 dias e que corresponde a uma distância de aproximadamente 350m. Como o arroio Dez já vem recebendo essa carga orgânica de todo o bairro Monte Claro e algumas adjacências, torna-se imprescindível o investimento em saneamento nesse município, uma vez que o tratamento oferece condições para a recuperação da qualidade das águas. Além disso, os usos dos recursos hídricos a jusante desse ponto estão baseados na atividade agropastoril (pastagens), não havendo comprometimento do mesmo em virtude do lançamento dos efluentes tratados proposto.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agudo, E.G. "Demanda Química de Oxigênio". Curso Fundamentos Químicos do Saneamento. Universidade Mackenzie, 1992.
2. Ricciardone, P. Et. alli. "Avaliação da Capacidade de Autodepuração do Rio Mortes no Município de Vassouras/RS" Revista Eletrônica TECCEN (2011).
3. SEMA/RS. (2007-2008). Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos do Estado do Rio Grande do Sul.
4. Streeter, H. W., Phelps, E. B. (2005) "a Study of natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin. Washington Public Health Service. (1925).
5. Von Sperling, M. (1996). Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – Volume 1, 3ª edição revidada, DESA-UFGM, Belo Horizonte, MG.