

**IV-264 - INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO E
MODELAGEM MATEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
DOS CORPOS RECEPTORES, A PARTIR DO CÁLCULO E
ESPACIALIZAÇÃO DAS CARGAS DOMÉSTICAS DOS ESGOTOS URBANOS
- PARTE 1**

Christian Taschelmayer⁽¹⁾

Engenheiro Cartógrafo pela Universidade Federal do Paraná. Engenheiro Cartógrafo da COBRAPE – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Rafael Fernando Tozzi⁽²⁾

Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná. Coordenador Técnica da COBRAPE – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos e professor da disciplina de Recursos Hídricos da Universidade Positivo.

Juliana Cristina Jansson Kissula⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Positivo. Engenheira Civil da COBRAPE – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

Grace Benfica Matos⁽⁴⁾

Engenheira Civil pela Universidade de Brasília e Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto de Tecnologia de Muroran, Hokkaido, Japão. Desde 2010, Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Água - ANA.

Celio Bartole Pereira⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora e Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Desde 2010, Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Água - ANA. Atualmente é Coordenador de Qualidade da Água e Enquadramento no âmbito da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos da ANA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Prof. Ângelo Ferrario Lopes, 1590 – Hugo Lange - Curitiba - PR - CEP: 80040-252 - Brasil - Tel: (41) 3094-2424 - e-mail: christiantaschelmayer@cobrape.com.br

RESUMO

Um dos maiores desafios para o setor de saneamento no país é o passivo significativo de cargas provenientes de esgotos em corpos hídricos, principalmente nos grandes aglomerados urbanos. A quantificação e alocação destas cargas se faz necessária para a realização do diagnóstico dos corpos receptores, que permite a avaliação de alternativas técnicas em função da eficiência de remoção de carga orgânica requerida para a amenização de tal impacto. Diante disto, o trabalho apresenta as ferramentas de geoprocessamento utilizadas para calcular e espacializar as cargas domésticas provenientes de esgotos urbanos. Primeiramente, com *softwares* como *ArcGIS* e *Google Earth*, foram consolidadas as manchas urbanas dos 5.570 municípios brasileiros. Estas áreas foram cruzadas com uma base hidrográfica otocodificada, sendo então subdivididas em novos polígonos denominados células de análise. A identificação da situação da infraestrutura de esgotamento sanitário em todas as sedes urbanas do País, incluindo o mapeamento de 2.657 ETEs existentes em 1.573 municípios, foi feita a partir do levantamento de dados primários, concedidos pelos prestadores de serviço de esgotamento sanitário, e de fontes secundárias. A população urbana do município foi espacializada proporcionalmente à área de cada célula, e dividida em quatro grupos conforme a destinação do esgoto. Foram, então, estimadas as cargas geradas e, com eficiências de remoção distintas para cada grupo, as cargas remanescentes para cada grupo em cada célula. As ETEs e suas cargas georreferenciadas permitiram a produção de um *input* para modelo matemático quali-quantitativo, o qual simula o impacto do lançamento de efluentes domésticos nos corpos d'água receptores.

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento, Cargas Domésticas, Corpos Receptores, Espacialização de Cargas, Otocodificação.

INTRODUÇÃO

A carga orgânica lançada em corpos hídricos, gerada principalmente em grandes centros urbanos, é um dos grandes desafios do setor de saneamento no Brasil. A inexistência ou precariedade de sistemas de esgotamento sanitário em muitos municípios, tem como consequência um aporte significativo de esgoto bruto lançado em seus rios, o que agrava os impactos ao meio ambiente e, principalmente, aos corpos hídricos superficiais.

Diante deste panorama, o presente trabalho apresenta as ferramentas de geoprocessamento empregadas para o cálculo e espacialização das cargas domésticas de esgotos urbanos dos 5.570 municípios brasileiros, resultando em uma base georreferenciada de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), associadas às suas cargas remanescentes, bem como ao corpo receptor destas.

A base produzida serviu de entrada (*input*) para um modelo matemático quali-quantitativo para a simulação do impacto das cargas remanescentes nos corpos receptores, a interação destas com as dos outros trechos de rios numa mesma bacia hidrográfica, além dos efeitos sobre os demais usos da água a jusante.

A quantificação e espacialização das ETEs e suas respectivas cargas associadas são uma importante ferramenta na geração de subsídios para priorização de investimentos no setor de saneamento, uma vez que permite a identificação e o dimensionamento de alternativas para compatibilizar a qualidade da água dos corpos receptores com os usos mais exigentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

As informações dos sistemas de esgotamento sanitário utilizadas no estudo envolveram dados primários, obtidos em visitas técnicas realizadas aos prestadores de serviço, e dados secundários, através de consultas à base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS). Tais informações foram manipuladas em ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), como os *softwares ArcGIS* da ESRI e *Google Earth*, utilizando suas respectivas funções para cruzamentos espaciais, desenhos de polígonos e demais cálculos.

A base otocodificada da rede hidrográfica do País, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA), com escalas variando de 1:1.000.000 até 1:250.000, também foi utilizada no desenvolvimento do estudo. Esta base contém as vazões de referência $Q_{95\%}$ e $Q_{média}$ para cada trecho de rio, sempre associadas a uma ottobacia ou bacia de contribuição, que utilizam o mesmo ottocódigo.

Nas etapas a seguir são detalhados os processos utilizados para associação das informações acerca dos municípios e dos sistemas de esgotamento sanitário à base da rede hidrográfica:

Determinação das áreas/manchas urbanas

Em função da necessidade da realização da espacialização das informações na área urbana dos 5.570 municípios brasileiros, o estudo desenvolveu uma metodologia de refinamento das manchas urbanas, a partir da priorização das seguintes informações: (i) Áreas Edificadas – IBGE (2013); (ii) Áreas Urbanizadas – IBGE (2005): Grandes Concentrações Urbanas, Municípios acima de 100 mil habitantes e Municípios Costeiros; (iii) Setores Censitários – IBGE (2010); e, (iv) Refinamento manual, através do *Google Earth*.

O resultado foi refinado e avaliado individualmente para os municípios que não possuíam áreas edificadas nos *shapefiles* do IBGE, ou ainda, para aqueles em que a população urbana ultrapassasse 50.000 habitantes.

Foram, então, calculadas as densidades urbanas dos municípios através da divisão da população urbana do município pela área edificada (hab/km^2), utilizando a população estimada do IBGE, disponibilizada na base de dados do SNIS (2013), e a função Calculate Geometry do ArcGIS. Foi realizada uma análise crítica dos resultados obtidos, de modo que os valores demasiadamente elevados ou muito pequenos fossem verificados com intuito de evitar incoerências.

Cruzamento da área urbana consolidada com a base hidrográfica

Com a consolidação das manchas urbanas, o *shapefile* foi cruzado com a base hidrográfica otocodificada multiescalas da ANA, através da ferramenta *Intersect* do *ArcToolbox*, no software *ArcGIS*. Desta forma, a área urbana do município foi subdividida em novos polígonos, em função das ottobacias que a intersectam, conforme é apresentado na Figura 1.

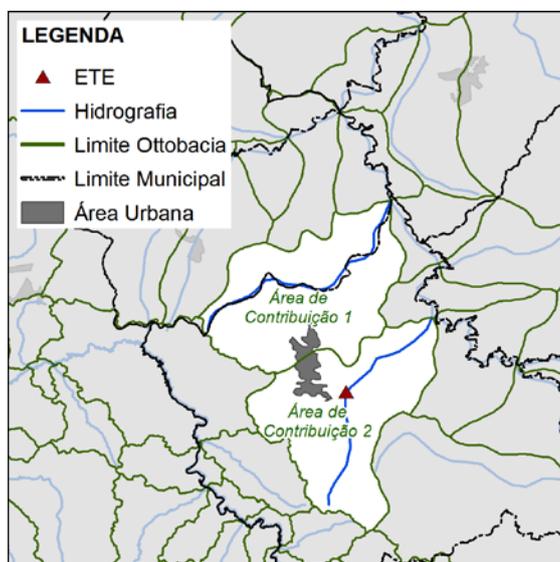


Figura 1: Exemplo de cruzamento de ottobacia com a área urbana.

Com o cruzamento realizado, verificou-se a necessidade de serem feitos alguns ajustes topológicos nas áreas urbanas subdivididas, a fim de corrigir erros geométricos; utilizando-se das ferramentas de cálculo *Calculate Geometry*, *Field Calculator* e *Select by Attributes* do *ArcGIS*, foram identificados e eliminados para os municípios com populações acima de 200 mil habitantes os polígonos com área menor que 5% da representação total da área urbana do município.

Finalizadas as subdivisões e ajustes das áreas urbanas, denominaram-se de células estes polígonos e, para cada uma, atribuiu-se um novo código formado pela concatenação do código dos municípios com o código da ottobacia em que a célula se encontra.

Levantamento das ETEs e cruzamento com a base hidrográfica

As informações das ETEs identificadas pelo estudo referiam-se aos índices de coleta e de tratamento, processos empregados, eficiências de remoção de DBO, vazões de operação e coordenadas geográficas. Com o intuito de facilitar a manipulação dos dados, estes foram planilhados e organizados no *software Microsoft Excel*, permitindo a verificação da existência de lacunas de informações. Para preenchê-las, foram pesquisados dados secundários do SNIS (2013), da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008) e em Planos Municipais de Saneamento Básico.

As estações com localização desconhecida foram inicialmente buscadas visualmente com auxílio do *Google Earth* e, caso não encontrada, foi atribuída à estação a coordenada do exutório da ottobacia com a maior vazão de referência que cruzava a área urbana do município onde estava localizada a ETE.

O cruzamento das estações com a base hidrográfica também foi feito com o *ArcGIS*, utilizando primeiramente a ferramenta *Display XY Data* para a espacialização das ETEs. A associação aos corpos receptores dos efluentes provenientes das ETEs (ottobacia) foi efetuada através da função *Identify* do *ArcToolbox*.

De forma semelhante às células das áreas urbanas, as ETEs também receberam um código com a concatenação do código do município da estação com o código da ottobacia. Nos casos em que mais de uma ETE, de um mesmo município, compartilhasse a mesma ottobacia, foi atrelada uma letra em sequência alfabética ao final do código (A, B, C, etc.).

Distribuição da população atual nas células e em função da destinação do esgoto domiciliar urbano

Com as células codificadas das áreas edificadas foi espacializada a população urbana (SNIS, 2013), de forma proporcional a área de cada célula em relação à área urbana consolidada total do município, com o intuito de facilitar o geoprocessamento das informações. A população rural não foi considerada no estudo.

Estas parcelas da população urbana também foram divididas em quatro grupos, conforme o encaminhamento do esgoto, para auxiliar na estimativa das cargas remanescente:

- Grupo 1: Coletado e tratado (encaminhado para ETE). Conforme índice do SNIS 2013 de coleta e de tratamento, o percentual coletado e tratado do município foi multiplicado pela população urbana para definir qual a população urbana associada a este grupo. Esta população foi associada à população com ETE do município e, caso houvesse mais de uma ETE por município, foi estipulada a população equivalente de cada ETE por proporção de vazões de operação das ETEs.
- Grupo 2: Solução individual (difuso). Este índice provém do levantamento feito no Censo do IBGE em 2010, apresentado através do percentual de atendimento por fossas sépticas, sendo que este estudo pressupõe “fossa séptica” uma estrutura com unidade de disposição final e adequada manutenção. Este índice do município, multiplicado pela população urbana forneceu a população urbana atendida por solução individual.
- Grupo 3: Coletado e não tratado (difuso). Esta porção da população foi obtida através dos índices de atendimento do SNIS que corresponde ao esgoto coletado não tratado. Este índice de coleta sem tratamento foi multiplicado pela população urbana do município.
- Grupo 4: Não coletado e não tratado. Parcela da população urbana que não está nos grupos anteriores, ou seja, sem atendimento, entrou nesta classificação. A soma destas quatro parcelas totaliza 100% da população urbana do município.

Estimativa das cargas geradas e remanescentes de cada grupo em cada célula

Para estimativa de cada parcela da carga orgânica associada ao esgoto, expressa na forma de Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, adotou-se o valor “per capita” de 54 g DBO/hab.dia (VON SPERLING, 2005) e utilizou-se os dados de população urbana distribuídos conforme metodologia já demonstrada.

A partir das cargas geradas e das eficiências de remoção de DBO associadas às formas de encaminhamento do esgoto, estimou-se as cargas remanescentes, empregando para cada grupo uma metodologia específica:

- Grupo 1: foi usada a eficiência de remoção de DBO da ETE existente, conforme informação obtida junto aos prestadores do serviço de saneamento responsáveis e, na ausência dessa, foram utilizados valores de literatura, obtidos de VON SPERLING (2005, 2007).
- Grupo 2: foi considerado que as soluções individuais funcionam com sua capacidade total e removem 60% da DBO, em todos os municípios.
- Grupos 3 e 4: para estes não foi considerada nenhuma remoção de carga pois não há tratamento do esgoto. Então os valores de carga gerada foram utilizados como a carga remanescente que alcança o corpo receptor.

RESULTADOS OBTIDOS

O quantitativo dos 5.570 municípios brasileiros relacionados às fontes utilizadas para a formatação do *shapefile* final é apresentado na Tabela 1. Para o ajuste geométrico feito após o cruzamento das áreas urbanas com as ottobacias foram descartadas pequenas áreas (com representação no município menor do que 5%) de cerca de 2.000 municípios.

Tabela 1: Quantitativo de Municípios relacionados às fontes vetoriais

Fonte	Quantidade
Área Edificada (IBGE, 2013)	5.020
Municípios Costeiros (IBGE, 2005)	107
Municípios acima de 100 mil hab. (IBGE, 2005)	62
Grandes Concentrações Urbanas (IBGE, 2005)	22
Setor Censitário Urbano (IBGE, 2010)	327
Área Edificada (IBGE, 2013) + Desenhado no Google Earth	13
Desenhado no Google Earth	19
TOTAL	5.570

Quanto às 2.657 ETEs levantadas neste estudo, distribuídas em 1.573 municípios, 90% das informações consideradas foram obtidas a partir de dados primários. Do total de ETEs, 46% encontra-se no Sudeste, a única região que trata mais da metade dos esgotos gerados pela sua população urbana. A Figura 2 apresenta as ETEs espacializadas, classificadas de acordo com a fonte de dados.

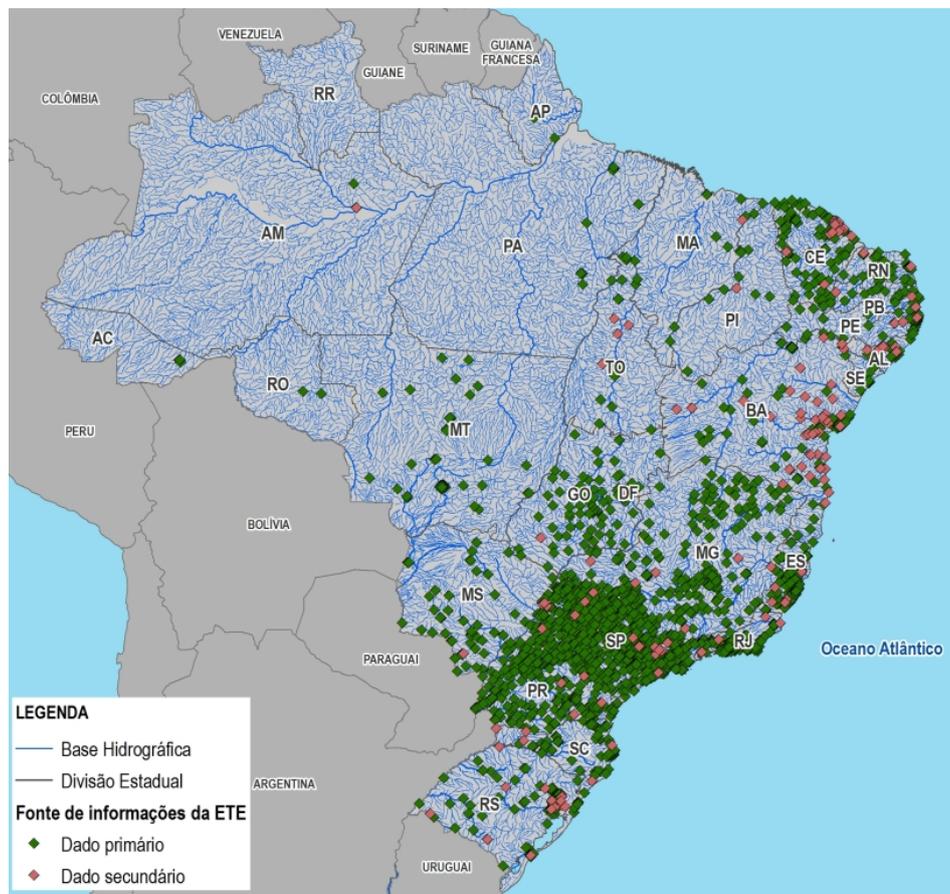


Figura 2: Estações de Tratamento de Esgoto e suas fontes de dados

Em relação aos grupos estabelecidos conforme a destinação final dos esgotos, observa-se que o Grupo 1 é o mais representativo, com 43% da população atendida por coleta e tratamento de esgoto; seguido pelo Grupo 4, que abrange 26% da população. No total, são geradas 9.098 toneladas de matéria orgânica (DBO) por dia, sendo que 61% deste montante tem potencial de alcançar os corpos receptores. Os valores de população urbana e cargas geradas e remanescentes por grupo são apresentados na Tabela 2, e a espacialização destas nos municípios brasileiros pode ser observada na Figura 3.

Tabela 2: Populações e cargas por grupos de destinação dos esgotos

Grupos de destinação dos esgotos	População Urbana (em mil hab.)	Carga gerada (t DBO/dia)	Carga remanescente (t DBO/dia)	Eficiência média de remoção
Grupo 1: Coletado e tratado	72.875	3.935,24	1.012,36	74%
Grupo 2: Solução individual	20.364	1.099,68	439,87	60%
Grupo 3: Coletado e não tratado	30.639	1.654,49	1.654,49	0%
Grupo 4: Não coletado e não tratado	44.608	2.408,83	2.408,83	0%
TOTAL	168.486	9.098,23	5.515,54	39%

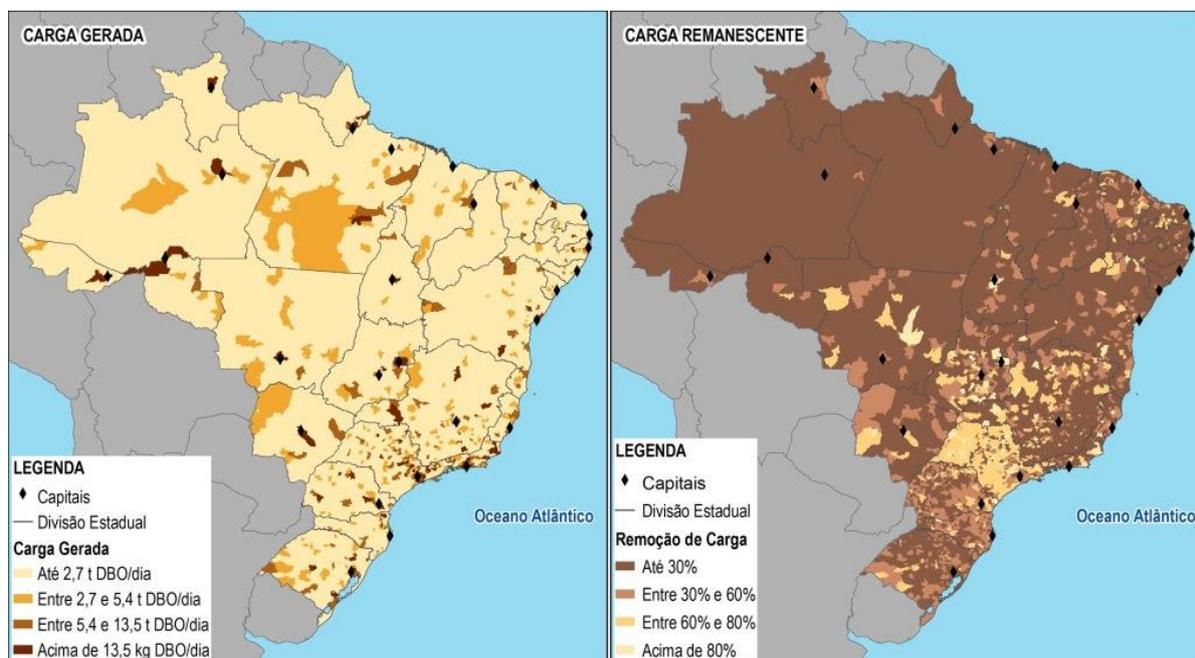


Figura 3: Espacialização das cargas geradas e remanescentes

A partir da espacialização das ETEs e da estimativa das cargas foi possível produzir uma base georreferenciada, a qual serviu de *input* para o modelo matemático quali-quantitativo para a simulação do impacto das cargas remanescentes nos corpos receptores.

CONCLUSÕES

O uso de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) demonstrou ser fundamental para uma melhor análise integrada de temas que guardam relação com as variáveis espaciais e geográficas. Neste caso, seu uso propiciou a produção de uma base de dados georreferenciada, inter-relacionando dados de população urbana e cargas de esgotos à área urbana e, posteriormente, aos seus potenciais corpos receptores.

Esta base de dados especializados fornece informações relevantes para utilização em modelo matemático quali-quantitativo, subsidiando a avaliação dos impactos causados pelas cargas orgânicas provenientes de

esgotos domiciliares urbanos lançados nos corpos hídricos. Permite, também, a análise considerando o efeito cumulativo dos efluentes na bacia hidrográfica, a partir do pressuposto de que os lançamentos a montante podem influenciar na capacidade de diluição dos trechos de rio localizados a jusante, com potencial impacto sobre a qualidade da água e o possível comprometimento dos usos previstos.

Dentre as dificuldades encontradas na produção da base de dados espacial está a inexistência de um padrão de organização dos dados requeridos das diversas instituições, fato que deve ser repensado, caso seja vislumbrada a criação de um banco de dados unificado que reúna as informações dos sistemas de esgotamento sanitário dos 5.570 municípios brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas Urbanizadas do Brasil. 2005. Disponível em: <http://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?u=geofp.ibge.gov.br/organizacao_territorial/areas_urbanizadas/Areas_urbanizadas_do_Brasil_2005_shapes.zip>.
2. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2008. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>>.
3. _____. Setores Censitários. 2010. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>.
4. _____. Área Edificada. 2013. Disponível em <http://dados.gov.br/dataset/ccar_bc250_area_edificada_a>.
5. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Ministério das Cidades – MCid. 2013. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>.
6. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. 452 p. v.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
7. VON SPERLING, M. Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte. Minas Gerais, 2007.