

**EDSON BARBOSA ANDRADE**

**ESTUDO DA AUTODEPURAÇÃO DO RIO VIEIRA ATRAVÉS DA  
MODELAGEM MATEMÁTICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Agrárias, como requisito parcial para título de pós graduação *lattus sensus* em Recursos Hídricos e Ambientais.

Orientador: Prof. Lênio Marques de Miranda

**Montes Claros**

**2014**

**A553c  
2014**

**Andrade, Edson Barbosa.**

**Estudo da autodepuração do Rio Vieira através da modelagem matemática / Edson Barbosa Andrade. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2014. 199 f.: il.**

**Monografia apresentada ao curso de Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais do Instituto de Ciências Agrárias pela Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.**

**Orientador: prof. Lênio Marques de Miranda.**

**Banca examinadora: Edson de Oliveira Vieira, Mônica Maria Ladeia e Lênio Marques de Miranda.**

**Inclui bibliografia: f. 135-141.**

**1. Tratamento de efluentes – Rio Vieira. 2. Autodepuração. 3. Recursos hídricos. I. Miranda, Lênio Marques de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.**

**CDU: 628**

**ESTUDO DA AUTODEPURAÇÃO DO RIO VIEIRA ATRAVÉS DA  
MODELAGEM MATEMÁTICA**

Aprovada em 31 de março de 2014.

---

**Prof. Edson de Oliveira Vieira**

(ICA/UFMG)

---

**Prof.<sup>a</sup> Mônica Maria Ladeia**

(COPASA-MG)

---

**Prof. Lênio Marques de Miranda**

Orientador (ICA/UFMG)

**Montes Claros**

**2014**

## **DEDICO**

Este trabalho à minha filha, princesa que me agracia todos os dias com seu amor incomensurável. À minha Esposa, pelo amor e apoio sempre. A minha mãe, pai e irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por tudo.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Prof. Lênio Marques de Miranda, os conhecimentos, a experiência e por ter contribuído sobremaneira para a minha formação.

Ao professor Edson de Oliveira Vieira, do Departamento de Hidráulica da UFMG, a disponibilização de material essencial para o projeto e o seu apoio nesse.

À funcionária da COPASA, Mônica M. Ladeia, responsável pelo laboratório da companhia, a sua contribuição no projeto.

À COPASA o apoio, o treinamento e a análise das amostras coletadas.

Aos funcionários da COPASA o suporte e a contribuição nas coletas dos dados: Marcelo Marques Costa e Eliênio A. Barroso Souza.

Aos proprietários das fazendas onde se encontram a nascente e a foz do rio Vieira, o acesso facilitado: Vicente Ribeiro Rocha e Dr. Antônio Adilson Batista.

Ao professor Marcos Von Sperling, a por sua atenção e o envio de planilhas eletrônicas de modelagem.

## RESUMO

Esta pesquisa apresenta a análise de autodepuração real do rio Vieira, Montes Claros –MG e o desenvolvimento de um modelo matemático de otimização, que busca simular cenários e entender o comportamento do mesmo. O conhecimento da autodepuração é importante, pois estuda a capacidade de resiliência de rios às atividades antrópicas. O modelo é capaz de integrar diferentes objetivos e tem como ideia central minimizar o custo para a manutenção da qualidade do corpo receptor, sem deixar de buscar a maximização da melhoria, em termos dos parâmetros oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio. A validação do modelo reduz custos e tempo no estudo e controle da qualidade de corpos hídricos, já que, para esse fim, não seriam necessárias coletas em trechos diversos. O modelo permite variar tanto eficiências de tratamento, quanto vazões de lançamento, o que permite auxiliar o planejamento de sistemas de coleta e o tratamento de esgotos e buscar maior equidade entre os usuários. Com isso, permite encontrar soluções que estabelecem melhor compromisso no atendimento aos propósitos existentes. O modelo proposto tem validade para as situações testadas, podendo servir aos administradores públicos na tomada de decisões e no gerenciamento da bacia hidrográfica e dos recursos hídricos como foco. Importante na comparação com as normas vigentes, os dados reais, o modelo foi suficiente para verificar se os despejos de efluentes no rio estão cumprindo a legislação. A utilização de modelagem matemática se mostrou satisfatória na avaliação de diferentes estratégias de gestão, relacionadas ao enquadramento dos corpos d'água, considerando aspectos relacionados às alternadas eficiências de tratamento de efluentes, à redução de custos e à manutenção de qualidade hídrica adequada no corpo receptor.

**Palavras-chave:** Rio Vieira. Autodepuração. Tratamento de efluentes. Recursos hídricos.

## ABSTRACT

This research presents the analysis of real auto-depuration of River Vieira, Montes Claros, Minas Gerais, and development of a mathematical optimization model that seeks to simulate scenarios and understand the behavior of it. Knowledge of the self-depuration is important because studies the resilience capacity of rivers to anthropogenic activities. The model is able to integrate different objectives and it has as central idea to minimize the cost for maintenance of the quality of the receiving body, without ceasing to seek maximizing of the improvement in terms of the parameters dissolved oxygen and biochemical oxygen demand. Model validation reduces costs and time in study and control of the quality of water bodies, since for this purpose would not be necessary collect in several stretches. The model allows to vary, as treatment efficiencies as flows of launch, what allow help the planning of collection and sewage treatment systems and seek greater fairness among users. With that, it lets find solutions that establish better compromise in attendance to existing purposes. The proposed model is valid for the situations tested, might serve to public administrators in decisions making and management of the river basin and of the water resources in focus. Important the comparison with current regulations, the actual data and the model was sufficient to verify if the effluent ejection into the river are complying with the legislation. The use of mathematical modeling proved satisfactory in the evaluation of different management strategies, related to the classification of water bodies, considering aspects related to alternate efficiencies of effluent treatment, reducing costs and maintaining of adequate water quality in the receiving body.

**Keywords:** Rio Vieira. Depuration. Effluent treatment. Water resources.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1</b>	<b>Consequências do lançamento de carga orgânica em um curso d'água.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 2</b>	<b>Fenômenos interagentes no balanço de OD.....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 3</b>	<b>Etapas da autodepuração.....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 4</b>	<b>Metabolismo de microrganismos heterotróficos..</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 5</b>	<b>Perfil de velocidades, pontos de medição e área de influência.....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 6</b>	<b>Eixos de ocorrência das mudanças espaciais e temporais nos constituintes das águas de rios...</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 7</b>	<b>DBO exercida (oxigênio consumido) e DBO remanescente (matéria orgânica remanescente) ao longo do tempo.....</b>	<b>42</b>
<b>FIGURA 8</b>	<b>Mecanismos relacionados ao balanço de oxigênio dissolvido.....</b>	<b>43</b>
<b>FIGURA 9</b>	<b>Localização da Bacia do Rio Vieira, no Município de Montes Claros – MG.....</b>	<b>70</b>
<b>FIGURA 10</b>	<b>Trajeto do Rio Vieira desde a nascente até a foz..</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 11</b>	<b>Mapa de abrangência da bacia hidrográfica do Rio Vieira.....</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 12</b>	<b>Imagem do Google Earth - Rota em destaque azul - Trevo início BR365 e ponto de coleta próximo a nascente na Fazenda Vieira. Rio Vieira destacado em vermelho.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 13</b>	<b>Ponto de coleta próximo a nascente.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 14</b>	<b>Ponto de lançamento ETE-Vieiras no Rio Vieira..</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 15</b>	<b>Ponto de coleta ETE-Vieiras no Rio Vieira (zona de degradação).....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 16</b>	<b>Ponto de coleta a jusante do lançamento de ETE</b>	<b>79</b>

<b>FIGURA 17</b>	<b>Imagem do Google Earth - Rota em destaque verde - Trevo início BR 251 e ponto de coleta próximo a foz no Rio Verde Grande na Fazenda Canaci. Rio Vieira destacado em vermelho.....</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 18</b>	<b>Ponto de coleta próximo a foz.....</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA 19</b>	<b>Coleta de dados próximo a nascente.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 20</b>	<b>Coleta de dados a montante da ETE.....</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 21</b>	<b>Caixa de suporte (isopor) com gelo, acondicionamento recomendado.....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 22</b>	<b>Batimetria da seção do rio próximo a nascente...</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 23</b>	<b>Molinete hidráulico digital usado no projeto.....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 24</b>	<b>Parte do Rio do cedro em destaque de amarelo e identificação dos da Foz do Rio e bairro Cidade Industrial (periferia de Montes Claros) Foz do Rio do Cedro a jusante da ETE.....</b>	<b>106</b>
<b>FIGURA 25</b>	<b>Ilustração do Modelo de Batimetria em Rios, com Subdivisão das Seções, Chegando até 10 Subdivisões.....</b>	<b>142</b>
<b>FIGURA 26</b>	<b>Estrutura de lançamento de efluente tratado da ETE-VIEIRAS – Montes Claros – MG.....</b>	<b>162</b>

## LISTA DE TABELAS

1	Concentrações e contribuições unitárias típicas de DBO <sub>5,20</sub> de esgoto doméstico e efluentes industriais.....	33
2	Valores típicos de K <sub>1</sub> e condições de laboratório e de K <sub>d</sub> em condições de campo (base 20°C).....	44
3	Valores médios de K <sub>2</sub> considerando características do corpo d'água.....	49
4	Limites fixados na Resolução COPAM 01/2008 para águas doces de acordo com as Classes.....	51
5	Concentração de saturação de oxigênio (C <sub>s</sub> ) (mg/l).....	61
6	Valores do coeficiente K <sub>2</sub> (d <sup>-1</sup> ) segundo modelos baseados em dados hidráulicos do curso d'água (base e, 20°C) (Sperling 2007).....	67
7	Valores típicos de K <sub>1</sub> e condições de laboratório e de K <sub>d</sub> em condições de campo (base 20°C).....	68
8	Dados georeferenciados dos quatro trechos de depuração estudados.....	74
9	Dados climatológicos da Cidade de Montes Claros.....	74
10	Dados de trecho próximo a nascente, referente aos anexos A,B,C e D.....	90
11	Dados de trecho à montante da ETE, referente aos anexos A,B,C e D.....	91
12	Dados de trecho à jusante da ETE, referente aos anexos A,B,C e D .....	93
13	Dados de trecho próximo à foz do Rio Vieira, referente aos anexos A,B,C e D .....	94
14	Dados de entrada Modelo sem aerobiose em tratamento Streeter-Phelps setembro 2013.....	108
15	Dados de entrada Modelo sem aerobiose com tratamento Streeter-Phelps setembro 2013.....	111
16	Trechos anaeróbios para julho de 2013.....	117
17	Trechos anaeróbios para agosto de 2013.....	120

18	Trechos anaeróbios para setembro de 2013.....	122
19	Trechos anaeróbios para outubro de 2013.....	124
20	Trechos anaeróbios para novembro de 2013.....	126
21	Resumo de respostas das modelagens aplicadas em função da distância para oxigênio dissolvido (OD).....	128
22	Resumo de respostas das modelagens aplicadas em função da distância para demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	129
23	Roteiro de coleta das amostras das quatro zonas de depuração.....	163
24	Relatório referente modelagem do mês de julho de 2013.....	164
25	Relatório referente modelagem do mês de agosto de 2013.....	171
26	Perfil de OD e DBO da modelagem do mês de setembro 2013 em sistemas aeróbios sem tratamento de efluentes	175
27	Perfil de OD e DBO da modelagem do mês de setembro 2013 em sistemas aeróbios com tratamento de efluen- tes.....	176
28	Dados de modelagem anaeróbia tratamento de efluen- tes setembro.....	177
29	Dados de modelagem anaeróbia tratamento de efluen- tes outubro.....	181
30	Dados de modelagem anaeróbia tratamento de efluen- tes novembro.....	185

## LISTA DE GRÁFICOS

1	OD e DBO <sub>5</sub> real mês Julho de 2013.....	95
2	OD e DBO <sub>5</sub> real mês agosto de 2013.....	99
3	OD e DBO <sub>5</sub> real mês setembro de 2013.....	101
4	OD e DBO <sub>5</sub> real mês outubro de 2013.....	102
5	OD e DBO <sub>5</sub> real mês novembro de 2013.....	104
6	Modelo em Aerobiose sem Tratamento Streeter-Phelps setembro 2013 para Perfil de OD.....	110
7	Modelo em Aerobiose sem Tratamento Streeter-Phelps setembro 2013 para Perfil de DBO.....	110
8	Modelo em Aerobiose com Tratamento Streeter-Phelps setembro 2013 para Perfil de OD.....	113
9	Modelo em Aerobiose com Tratamento Streeter-Phelps setembro 2013 para Perfil de DBO.....	113
10	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps julho 2013 para Perfil de OD.....	115
11	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps julho 2013 para Perfil de DBO.....	115
12	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps agosto de 2013 para Perfil de OD.....	118
13	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps agosto de 2013 para Perfil de DBO.....	119
14	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps setembro de 2013 para Perfil de OD.....	120
15	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps setembro de 2013 para Perfil de DBO.....	121
16	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps outubro de 2013 para Perfil de OD.....	122
17	Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps outubro de 2013 para Perfil de DBO.....	123

<b>18</b>	<b>Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps novembro de 2013 para Perfil de OD.....</b>	<b>125</b>
<b>19</b>	<b>Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps novembro de 2013 para Perfil de DBO.....</b>	<b>125</b>
<b>20</b>	<b>Resumo de Respostas das Modelagens Aplicadas em Função da Distância para OD e DBO.....</b>	<b>129</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área
BR	Rodovia Federal
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
D	Declividade do Rio
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
Dd	Densidade de drenagem
DQO	Demanda química de oxigênio
ETE	Estação de tratamento de efluentes
H	Profundidade do rio
H <sub>2</sub> S	Gás sulfídrico
HAB	Habitantes
HAB/KM <sup>2</sup>	Habitantes/quilômetro quadrado
K <sub>1</sub>	Coeficiente de desoxigenação
K <sub>2</sub>	Coeficiente de oxigenação
KC	Coeficiente de compacidade
KD	Coeficiente de remoção efetiva de DBO
KF	Coeficiente de forma
Km	Quilômetro
KM <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
L	Largura do rio
MO	Matéria Orgânica
Mg/L	Miligrama/litro
°C	Grau celsius
OD	Oxigênio dissolvido
Q	Vazão
S	Sul
T	Temperatura do rio, esgoto ou efluente
V	Velocidade
W	Oeste

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1	Importância do Estudo de Rios.....	17
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
3.1	Autodepuração de Corpos d' água.....	22
3.2	Oxigênio dissolvido.....	29
3.3	Demanda Bioquímica de Orixigênio DBO).....	30
3.4	Vazão do Curso D'água e Efluente.....	33
3.5	Coeficiente de Desoxigenação.....	36
3.6	Cinética e Coeficiente da Oxigenação.....	46
3.7	Legislação de Lançamento de Efluentes.....	50
3.8	Modelagem Matemática da Qualidade da Água.....	53
3.8.1	Modelo Aeróbio de STREETER & PHELPS.....	55
3.8.2	Modelo Anaeróbio de STREETER & PHELPS.....	63
3.8.3	Cálculo dos Coeficientes de Desoxigenação ( $K_1$ ), de Reaeração ( $K_2$ ) e de Remoção Efetiva de DBO ( $K_d$ ).....	66
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>69</b>
4.1	Caracterização da Área de Estudo – Bacia do Rio Vieira.....	69
4.2	Descrição dos Pontos de Amostragens.....	74
4.3	Metodologia.....	82
4.3.1	Coleta de Dados para cálculo de Área de Seção.....	87
4.3.2	Mensuração da Velocidade.....	88
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>90</b>
5.1	Análise da Depuração Real do Rio Vieira.....	95
5.2	Análise de Dados Modelados.....	107
5.2.1	Modelagem para Sistemas em Decomposição Aeróbia sem Tratamento.....	108
5.2.2	Modelagem para Sistemas em Decomposição Aeróbia com Tratamento.....	111
5.2.3	Modelagem para Decomposição Anaeróbia.....	114
5.2.4	Modelagem para Decomposição Anaeróbia – julho de 2013.....	115

5.2.5	Modelagem para Decomposição Anaeróbia – agosto de 2013..	118
5.2.6	Modelagem para Decomposição Anaeróbia – setembro de 2013.....	120
5.2.7	Modelagem para Decomposição Anaeróbia – outubro de 2013.	122
5.2.8	Modelagem para Decomposição Anaeróbia – novembro de 2013.....	125
5.3	Resumo das Modelagens de Julho a novembro de 2013, para Processos Anaeróbios.....	128
5.4	Análise da Poluição no Rio Vieira e Medidas Corretivas.....	130
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>133</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>135</b>
	<b>ANEXO A CÁLCULO DE VAZÃO DO RIO– 4 TRECHOS.....</b>	<b>142</b>
	<b>ANEXO B DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE <math>k_1</math>, <math>K_2</math> e <math>K_d</math>...</b>	<b>155</b>
	<b>ANEXO C CÁLCULO DE VAZÃO DE EFLUENTE TRATADO..</b>	<b>159</b>
	<b>ANEXO D ROTEIRO DE COLETAS DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>163</b>
	<b>ANEXO E RELATÓRIO DA MODELAGEM ANAERÓBIO DO MÊS DE JULHO.....</b>	<b>164</b>
	<b>ANEXO F RELATÓRIO DA MODELAGEM ANAERÓBIO DO MÊS DE AGOSTO.....</b>	<b>171</b>
	<b>ANEXO G PERFIL DE OD E DBO – MODELAGEM SETEMBRO SISTEMA AERÓBIO SEM TRATAMENTO DE EFLUENTES.....</b>	<b>175</b>
	<b>ANEXO H PERFIL DE OD E DBO – MODELAGEM SETEMBRO SISTEMA AERÓBIO COM TRATAMENTO DE EFLUENTES.....</b>	<b>176</b>
	<b>ANEXO I RELATÓRIO DA MODELAGEM ANAERÓBIO DO MÊS DE SETEMBRO.....</b>	<b>177</b>
	<b>ANEXO J RELATÓRIO DA MODELAGEM ANAERÓBIO DO MÊS DE OUTUBRO.....</b>	<b>181</b>

<b>ANEXO K TABELA 30.....</b>	<b>185</b>
<b>ANEXO L RELATÓRIOS DE ENSAIO DA COPASA – REFERENTES AMOSTRAS COLETADAS.....</b>	<b>189</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Montes Claros é a cidade-polo do norte de Minas, georreferenciada no ponto-sede Latitude 16°43'41"S, Longitude 43°51'54"W e altitude de 638 metros acima do nível do mar. Com forte influência econômica e social nas regiões circunvizinhas, como Vale do Jequitinhonha, noroeste de Minas e até mesmo sul da Bahia, influenciada pela logística facilitada, já que é um dos principais entroncamentos rodoviários do Brasil, cortada pelas estradas federais BR 135, que interliga a BR 040 a BR 116, chamada BR Minas-Bahia, BR 365, BR 122 e BR 251. Com área de 3.568,941 Km<sup>2</sup> e população estimada, em 1° de Julho de 2013, de 385.898 habitantes (IBGE, 2013). Registra, então, com essa atualização, uma densidade demográfica de 108,12 habitantes por Km<sup>2</sup>, acima da média do estado de Minas Gerais, 33,41 Hab/Km<sup>2</sup>.

Atualmente, vive um crescimento no seu parque tecnológico industrial, com instalação de indústrias de médio e grande porte, demonstrando uma economia estável e em franca ascensão. Os benefícios desse momento são indiscutíveis para a economia regional e para a vida em geral dos habitantes e até mesmo da própria região que beneficia indiretamente. Avaliando a pressão sobre o meio ambiente desse crescimento demográfico e da economia, os impactos gerados sobre a Bacia do rio Vieira, que, nesse caso, é a bacia hidrográfica principal e recebe quase que toda contribuição poluidora da cidade, pode-se afirmar que acentuará o desequilíbrio dos ecossistemas devido a uma elevação da poluição das águas, do solo e ar, com redução da disponibilidade e da qualidade dos recursos naturais.

### 1.1 Importância do Estudo de Rios

Os rios transportam um dos recursos naturais indispensáveis aos seres vivos: a água. Além disso, têm grande importância cultural, social, econômica e histórica.

A vazão do rio, em termos de representatividade na renovação dos recursos hídricos, é o componente mais importante do ciclo hidrológico.

Exerce um efeito pronunciado sobre a ecologia da superfície da terra e sobre o desenvolvimento econômico humano. É a vazão do rio que é mais amplamente distribuída sobre a superfície da terra e fornece o maior volume de água para consumo no mundo (SHIKLOMANOV, 1998).

A água de rio é de grande importância no ciclo hidrológico global e para o suprimento de água para a humanidade. Isto porque o comportamento de componentes individuais no retorno da água na Terra depende tanto do tamanho do reservatório quanto da dinâmica do movimento da água. As diferentes formas de água na hidrosfera são inteiramente reabastecidas durante o ciclo hidrológico, mas com taxas muito diferentes. Os tempos aproximados de recarga completa de águas são os seguintes (SHIKLOMANOV, 1998):

- de pergelissolo e gelo: 10.000 anos,
- oceânicas: 2.500 anos,
- subterrâneas e glaciares montanhosas: 1.500 anos,
- de lagos: 17 anos,
- de rios: 16 dias.

A quantidade de água efetivamente disponível para uso humano corresponde a aproximadamente 0,007%, uma parcela relativamente pequena (LIMA, 2001). Essa pequena porção de água que dessedenta toda raça humana é realmente ínfima, uma vez que os processos de depuração natural dos rios que cortam uma imensa quantidade de cidades estão bastante comprometidos. Logo o tratamento de águas para a padronização ao consumo onera o custo, tornando esse bem mais valioso.

Com a ocupação dos solos devido a um elevado crescimento demográfico e adensamento das populações em determinados lugares, a geração de elementos poluentes é inevitável. Até pouco tempo, quase a totalidade dos esgotos domésticos e industriais era despejada in natura nos corpos receptores.

Essa poluição afetou, diretamente, a capacidade que os corpos tinham de se autorregenerar, sem afetar sua qualidade e, conseqüentemente, os seres vivos que deles dependiam. Essa carga orgânica e inorgânica que chega aos rios requer certa quantidade de oxigênio, para que as porções orgânicas e inorgânicas sejam depuradas, ou seja, digeridas. Essa demanda de oxigênio sempre existiu, mas, com as altas cargas poluentes sendo despejadas, a depuração dos mesmos ficou comprometida. Conseqüente diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido altera o comportamento dos cursos d'água, tornando-os impróprios para abrigar a maioria da vida aquática, consumo humano, animal e até mesmo lazer.

Com o despejo de esgoto nas águas, a quantidade de matéria orgânica aumenta intensamente. Matéria orgânica simplificada é considerada alimento para muitas formas de seres vivos. O grande problema é que a taxa de reprodução de algumas espécies é maior que a das outras. O crescimento acelerado de algumas bactérias e microrganismos leva à mudança brusca de pH e à diminuição do nível de oxigênio no rio, com limitação à vida aquática, já que uma boa parcela de seres depende do oxigênio dissolvido nas águas dos rios. Com o despejo de esgotos tanto domésticos quanto industriais, há um aumento da turbidez da água, impedindo que a luz chegue à flora aquática, portanto, impedindo a fotossíntese, a sobrevivência e a continuidade de algumas comunidades aquáticas. Com níveis de oxigênio dissolvido menores que 2 mg/l, o rio é considerado morto, já que pode considerar esse corpo praticamente em estado de anaerobiose (0 mg/L OD), logo bactérias aeróbias e espécies que dependem do oxigênio para sobreviver morrem ou deixam de habitar esses trechos dos rios, que passam a ser habitados por seres anaeróbios, já que não precisam de oxigênio para sobreviver. O rio morto fica negro com o aborbulhamento de gases. Nesse caso, pode-se considerar um desequilíbrio ecológico instalado.

Os rios também fornecem alimentos aos seres humanos, com especial destaque aos peixes, de variadas espécies e valores nutricionais. No entanto, segundo (ARTHURTON et al., 2007) reduções drásticas nos estoques de peixes estão criando tanto perdas econômicas quanto uma

perda de suprimento de comida. A poluição das águas é uma das principais causas da contaminação e morte de seres aquáticos, o que tem acarretado também a redução de estoques de peixes para o consumo humano.

Adiante vai ser estudado o fenômeno do consumo do oxigênio dissolvido pela matéria orgânica lançada no rio Vieira, a autodepuração, por meio da qual o curso d'água se recupera, por meio de mecanismos puramente naturais. Ambos os fenômenos são analisados do ponto de vista ecológico e, posteriormente, mais especificamente, por meio da representação matemática da trajetória do oxigênio dissolvido no curso d'água.

O conhecimento da autodepuração do rio Vieira há de demonstrar o comportamento ambiental do seu entorno, incluindo interferências como a ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), que visa amenizar os efeitos da poluição no objeto de estudo. Mostrará como o controle da poluição está sendo importante e como os dados dessa pesquisa poderão ajudar os gestores da cidade nas tomadas de decisão no âmbito ambiental.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo geral foi realizar estudo de autodepuração real do rio Vieira, e modelar os dados, para avaliar cenários prováveis com comparação à autodepuração real.

Os objetivos específicos desse projeto foram:

- 1) analisar o comportamento real do rio Vieira em resposta à carga orgânica recebida.
- 2) Avaliar, por meio do estudo de autodepuração do rio Vieira, o comportamento de sua capacidade de resiliência à carga orgânica recebida, da nascente à foz.
- 3) Comparar os indicadores de OD (oxigênio dissolvido) e DBO (demanda bioquímica de oxigênio) nos trechos estabelecidos deste estudo, analisando a sua conformidade à legislação ambiental vigente: (COPAM, 2008) e (CONAMA, 2005).
- 4) Modelar o rio Vieira pelo estudo de autodepuração, por trechos representativos, para simular ações de gestão da bacia hidrográfica, bem como futuros estudos de impactos ambientais em sua região de influência.
- 5) Comparar os modelos com os dados reais de autodepuração do rio Vieira e comprovar a sua eficácia na análise desse corpo d'água.
- 6) Embasar prioridades de investimento e gestão da bacia hidrográfica estudada.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Autodepuração de Corpos D'água

Deve ser entendido que o conceito de autodepuração apresenta a mesma relatividade que o conceito de poluição. Uma água pode ser considerada depurada, sob um ponto de vista, mesmo que não esteja totalmente purificada em termos higiênicos (potabilidade), apresentando, por exemplo, organismos patogênicos. Dentro de um enfoque prático, deve-se considerar que a água esteja depurada quando as suas características não mais estejam conflitantes com a sua utilização prevista em cada trecho do curso d'água. Isso porque não existe uma depuração absoluta: o ecossistema atinge novamente o equilíbrio, mas em condições diferentes das anteriores, devido ao incremento da concentração de certos produtos e subprodutos da deposição. Em decorrência desses produtos, a comunidade aquática se apresenta de uma forma diferente, ainda que em novo equilíbrio.

O processo de autodepuração se desenvolve ao longo do tempo e da direção longitudinal do curso d'água. Segundo (BRAGA et al., 2005), os estágios de sucessão ecológica presentes nesse processo são fisicamente identificados por trechos, que são definidos como zonas de autodepuração, conforme indica FIG. 1, e divide-se em:

##### 1) Zona de Degradação.

Características:

- Tem início logo após o lançamento de águas residuárias;
- alta concentração de matéria orgânica, ainda em estágio complexo a ser decomponível;
- no ponto de lançamento, é turva, devido aos sólidos presentes. A sedimentação desses resulta na formação de lodo;

- o início da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos é lento dependendo da adaptação dos seres decompositores ao despejo;
- o consumo de OD (oxigênio dissolvido) para atividades respiratórias pode ser reduzido, após à adaptação dos microrganismos. A taxa de oxigênio para a decomposição atinge o seu máximo, implicando num máximo consumo de OD;
- a predominância de bactérias aeróbias;
- aumento do teor de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) na água. Converte-se em ácido carbônico, podendo haver queda de pH;
- o lodo do fundo prevalece em condições anaeróbias, conseqüentemente, há a produção de H<sub>2</sub>S (Gás Sulfídrico), potencial gerador de mau odor;
- sensível diminuição da quantidade de seres vivos. Há o desaparecimento de espécies menos adaptadas e desenvolvimento de espécies que melhor resistem às novas condições;
- quantidade grande de bactérias coliformes, se a contaminação for de origem humana;
- protozoários, bactérias e fungos;
- a presença de algas é rara devido à alta turbidez.

## 2) Zona de Decomposição Ativa (início da organização do ecossistema)

O ecossistema tende a se organizar, com o predomínio de microrganismos decompositores. Como consequência, os reflexos no corpo d'água atingem o seu ponto máximo. A qualidade da água está no seu estado mais deteriorado. Verificam-se:

- coloração acentuada na água;
- depósito de lodo escuro no fundo;

- nesta zona, o OD atinge a sua menor concentração. Desaparece, portanto, a vida aeróbia, dando lugar a organismos anaeróbios;
- bactérias decompositoras iniciam a sua redução, devido à diminuição de material orgânico, à luz, à flocculação, à adsorção e à precipitação;
- caso haja reação anaeróbia, os subprodutos são CO<sub>2</sub>, água, metano, gás sulfídrico, mercaptanas e outros, responsáveis pelo mau odor;
- diminuição do número de bactérias e aumento na população de protozoários. Presença de algumas larvas de insetos e, no entanto a macrofauna é restrita em espécie.

### 3) Zonas de Recuperação.

Após fase de intenso consumo de material orgânico e de degradação do ambiente aquático, inicia-se a etapa de recuperação:

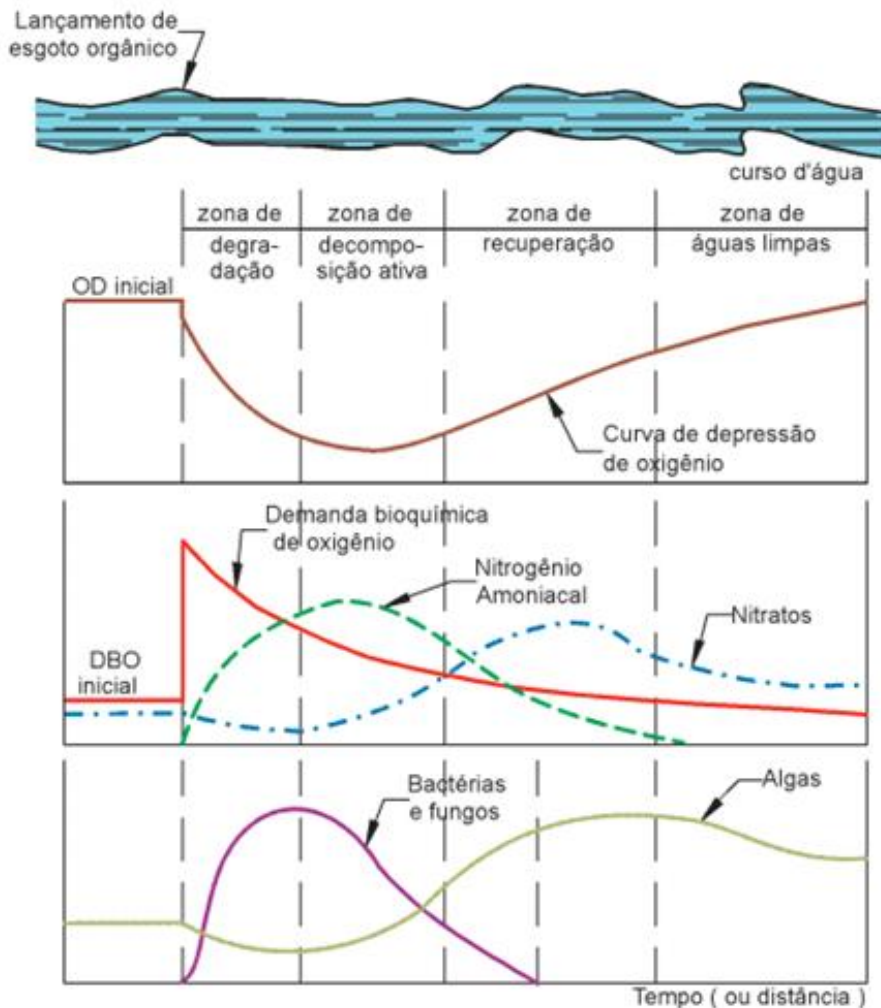
- a água é mais clara;
- os depósitos de lodo sedimentados no fundo apresentam textura granulada, não havendo desprendimento de gases ou mau cheiro;
- matéria orgânica se encontra mais estabilizada, já está convertida em compostos inertes, implicando na redução do consumo de OD;
- introdução de oxigênio atmosférico. Aumentam-se os teores de OD;
- a amônia é convertida em nitritos e nitratos e os compostos de fósforos são convertidos em fosfatos;
- devido à presença de nutrientes e de água mais claras, há condições para o desenvolvimento de algas, elevando mais a concentração de OD;

- diversificação da cadeia alimentar, devido ao aparecimento de seres heterotróficos;
- número de bactérias é reduzido. Protozoários bacteriófagos. Aparecem algas azuis na superfície e margens, e depois, flagelados e algas verdes e, finalmente diatomáceas;
- aparecimento de microcrustáceos, de moluscos, de vermes, de dinoflagelados, de esponjas, de musgos, de larvas de insetos e de peixes mais tolerantes.

#### 4) Zona de Águas Limpas

- Águas são limpas, voltando às condições iniciais;
- formas completamente oxidadas e estáveis dos compostos minerais;
- concentração de OD. próximo à de saturação;
- devido à mineralização, as águas estão ricas em algas;
- restabelecimento da cadeia alimentar;
- comunidade atinge seu clímax – diversidade de espécies.

No corpo d'água que recebe um lançamento de esgoto, ocorre o fenômeno do desequilíbrio ecológico, que é o aumento do número de indivíduos de uma única espécie, com conseqüente desaparecimento de outras espécies. A autodepuração acontece em etapas, conforme mostra a (FIG. 1) abaixo:



**FIGURA 1** - Consequências do lançamento de carga orgânica em um curso d'água

**Fonte:** (MOTA, 1995).

Com o passar da distância, o rio adquire novamente um determinado teor de oxigênio dissolvido, não com níveis anteriores, mas com um novo equilíbrio. Esse trecho de degradação e depuração ativa limita alguns tipos de vida em quase a sua totalidade, impedindo a subida dos peixes no rio para a desova (piracema) também limitando a existência de algumas espécies em alguns trechos do rio.

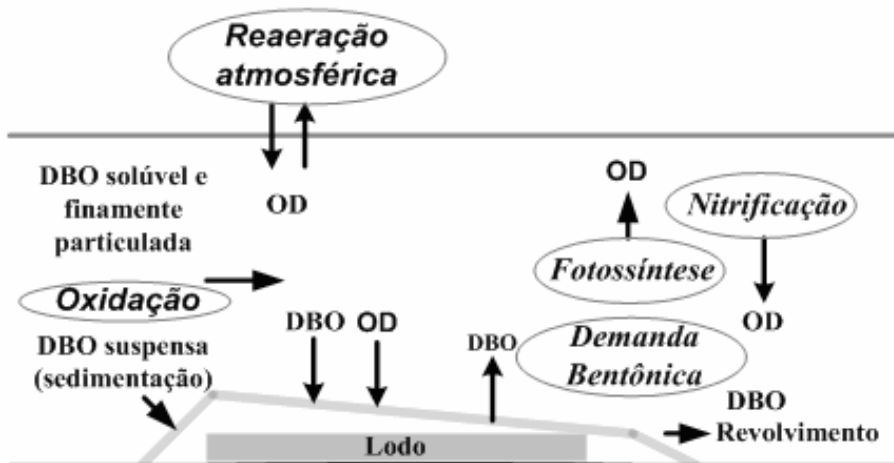
De acordo com (VON SPERLING, 1996), a autodepuração pode ser entendida como um fenômeno de sucessão ecológica, em que o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, ou seja, a busca pelo estágio inicial encontrado antes do lançamento de efluentes é realizada por mecanismos essencialmente naturais, conforme (FIG. 2).

A autodepuração é decorrente da associação de vários processos de natureza física (diluição, sedimentação e reaeração atmosférica), química e biológica (oxidação e decomposição) Hynes (1960) *apud* Von Sperling (1996). No processo de autodepuração, há um balanço entre as fontes de consumo e de produção de oxigênio, conforme ilustrado na (FIG. 3). Os principais fenômenos interagentes no consumo de oxigênio são:

- a oxidação da matéria orgânica;
- a nitrificação;
- a demanda bentônica.

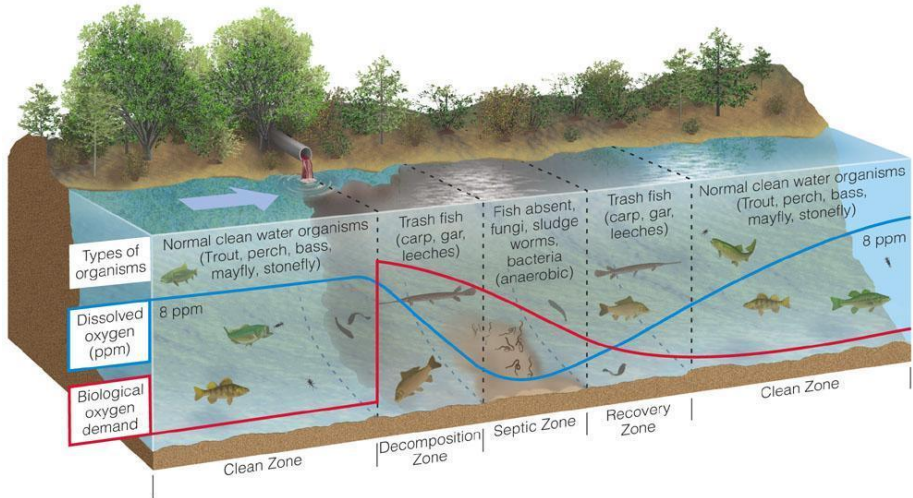
Na produção de oxigênio são:

- a reaeração atmosférica;
- a fotossíntese.



**FIGURA 2** - Fenômenos interagentes no balanço de OD

**Fonte:** Von Sperling, 2007.



**FIGURA 3** - Etapas da autodepuração – diluição, sedimentação e estabilização bioquímica

**Fonte:** (BRAGA *et al.*, 2005).

A oxidação total da matéria orgânica, também conhecida como mineralização, gera produtos finais, simples e estáveis (por exemplo,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}^3$ ). Os organismos decompositores, principalmente as bactérias heterotróficas aeróbias, são capazes de oxidar a MO (Matéria Orgânica).

Para o estudo de autodepuração dos corpos d'água são utilizados modelos matemáticos (demonstrado num capítulo posterior), onde nesse estudo específico serão incorporados os conceitos de Streeter- Phelps, modelo que aborda o consumo de oxigênio pela oxidação da matéria orgânica e produção de oxigênio pela reaeração atmosférica. Para a alimentação do modelo, são necessários os seguintes dados:

- a vazão do rio, a montante do lançamento;
- a vazão de esgotos ( $Q_e$ );
- o oxigênio dissolvido no rio, à montante do lançamento ( $OD_r$ );
- o oxigênio dissolvido no esgoto ( $OD_e$ );
- a DBO5 no rio, a montante do lançamento ( $DBO_r$ );
- a DBO5 do esgoto ( $DBO_e$ );

- o coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ );
- o coeficiente de reaeração ( $K_2$ );
- a velocidade de percurso do rio ( $v$ );
- o tempo de percurso ( $t$ );
- a concentração de saturação de OD ( $C_s$ );
- o oxigênio dissolvido mínimo permissível (ODmin).

### 3.2 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) tem fundamental importância no tratar da vida aquática aeróbia (depende do oxigênio para sobreviver e reproduzir). Os organismos que utilizam a matéria orgânica como fonte de alimentação necessitam do OD no processo de respiração. A consequência do aumento da matéria orgânica nos rios naturalmente será a redução dos níveis de OD, que será retirado numa maior quantidade no processo de estabilização da matéria orgânica lançada nos corpos receptores. Menor quantidade de oxigênio resulta numa vida dentro dos rios reduzida.

A solubilidade do oxigênio dissolvido varia com altitude e a temperatura, ao nível do mar na temperatura de 20°C, a concentração de saturação é igual a 9,2 mg/L, quando esse nível supera o de saturação é indicativo de presença de algas (fotossíntese, com geração de oxigênio puro) e quando inferiores a 9,2 mg/L é indicativo de matéria orgânica, provavelmente esgotos sendo depurados. Na análise da vida aquática superior (peixes mais exigentes em  $O_2$ ) concentrações em torno de 4 a 5 mg/L não sobrevivem nessas condições e com 2 mg/L praticamente todos peixes estão mortos e 0 mg/L temos uma situação de anaerobiose (VON SPERLING, 2007).

A solubilidade de oxigênio dissolvido atmosférico varia de  $14,6 \text{ mg L}^{-1}$ , sob temperatura de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , a até  $7 \text{ mg L}^{-1}$ , a  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , em água doce e pressão de 1 atm. Os maiores problemas ambientais ocorrem quando o meio líquido encontra-se sob maiores temperaturas, já que as taxas de oxidação biológica e a pressão de vapor do gás  $\text{O}_2$  aumentam com a temperatura (NUNES, 2008 *apud* ALMEIDA, 2013).

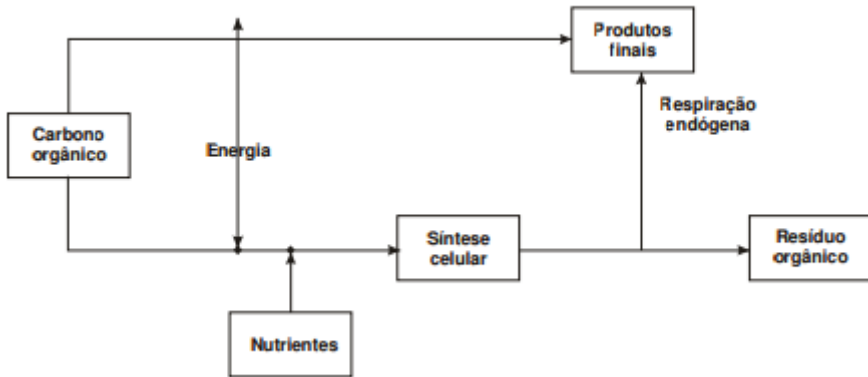
Diversas variáveis podem ser utilizadas na avaliação do processo de autodepuração, entretanto, a quantificação da concentração de oxigênio dissolvido (OD) é a mais importante para definir a condição do curso de água e avaliar se o mesmo encontra-se dentro ou fora dos limites da classe de seu enquadramento (SANTOS, 2001 *apud* NUNES, 2008).

### 3.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de  $20^\circ\text{C}$  é frequentemente usado e referido como  $\text{DBO}_{5,20}$  (CETESB, 2009).

Uma miscelânea de compostos orgânicos é causadora da poluição dos rios, como, por exemplo, as proteínas, carboidratos, gorduras, óleos, uréia, surfactantes, fenóis e pesticidas. Métodos indiretos são usados para quantificar a matéria orgânica, que são a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), por meio da mensuração do consumo de oxigênio pela matéria orgânica e demanda química de oxigênio (DQO), com a medição do carbono orgânico, que indicam o potencial do consumo de oxigênio dissolvido. A DBO dos esgotos domésticos está em torno de  $300 \text{ mg/L}$  e a DQO de  $600 \text{ mg/L}$ . Em caso de esgotos industriais, esses indicativos têm ampla variação, dependendo do tipo do processo industrial (VON SPERLING, 2007).

Essa rota metabólica, do consumo de oxigênio pelos microrganismos no processo de assimilação da matéria orgânica, segue descrita na (FIG. 4).



**FIGURA 4** - Metabolismo de Microrganismos Heterotróficos

Na (FIG. 4) apresenta-se o metabolismo dos microrganismos heterotróficos, em que os compostos orgânicos biodegradáveis são transformados em produtos finais estáveis ou mineralizados, tais como água, gás carbônico, sulfatos, fosfatos, amônia, nitratos, etc. Nesse processo há consumo de oxigênio da água e liberação da energia contida nas ligações químicas das moléculas decompostas. Os microrganismos desempenham este importante papel no tratamento de esgotos, pois necessitam desta energia liberada, além de outros nutrientes para exercer suas funções celulares, tais como reprodução e locomoção, o que genericamente se denomina quimiossíntese. Quando passa a ocorrer insuficiência de nutrientes no meio, os microrganismos sobreviventes passam a se alimentar do material das células que têm a membrana celular rompida. Este processo se denomina respiração endógena. Finalmente, há, neste circuito, compostos que os microrganismos são

incapazes de produzir enzimas que possam romper suas ligações químicas, permanecendo inalterados. Ao conjunto destes compostos dá-se o nome de resíduo não biodegradável ou recalcitrante. Pelo fato de a  $DBO_{5,20}$  somente medir a quantidade de oxigênio consumido num teste padronizado, não indica a presença de matéria não biodegradável, nem leva em consideração o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana (CETESB, 2009).

As altas concentrações de matéria orgânica, oriundas de esgotamentos domésticos e industriais, são responsáveis pela elevação da DBO no meio e conseqüente inutilização dos corpos hídricos para fins de recreação e abastecimento humano em alguns casos extremos, que não necessariamente são exceções, já que uma grande maioria das cidades lança os seus efluentes diretamente nos rios, ou quando realiza o tratamento, não consegue interceptar todo o efluente gerado pela população, devido aos esgotamentos clandestinos. Essa elevação da DBO eleva, conseqüentemente a eutrofização, já que essa carga orgânica traz também altas concentrações de nutrientes, que por sua vez, servem de alimento para algas. Com aumento da população das algas, aumenta-se a concentração de toxinas produzidas pelas mesmas. Essas toxinas podem ser prejudiciais quando consumidas pela população.

A DBO é um dos principais critérios a serem analisados no projeto de construção de estações de tratamento de efluentes, expressa em carga por dia (Kg/dia), como dimensionamento de volume de reatores, área e volume de tanques, filtros, potência dos aeradores. A carga de DBO é produto da vazão dos efluentes pela concentração de DBO.

A contribuição de DBO “per capita” comumente utilizada no Brasil é 54g/hab/dia, no caso de esgotamentos sanitários. Na TAB. 1, são apresentados os valores típicos de concentração e contribuição unitária de  $DBO_{5,20}$  para diferentes tipos de efluentes.

TABELA 1

Concentrações e contribuições unitárias típicas de DBO<sub>5,20</sub> de esgoto doméstico e efluentes industriais

TIPO DE EFLUENTE	CONCENTRAÇÃO DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)		CONTRIBUIÇÃO UNITÁRIA DE DBO <sub>5,20</sub> (kg/dia)	
	FAIXA	VALOR TÍPICO	FAIXA	VALOR TÍPICO
Esgoto sanitário	110-400	220	---	54 g/hab.dia
Celulose branqueada (processo Kraft)		300	29,2 a 42,7 kg/t	
Têxtil	250-600			
Laticínio	1.000-1.500		1,5-1,8 kg/m <sup>3</sup> leite	
Abatedouro bovino		1.125		6,3 kg/1.000 kg peso vivo
curtume (ao cromo)		2.500		88 kg/t pele salgada
Cervejaria	1.611-1.784	1.718		10,4 kg/m <sup>3</sup> cerveja
Refrigerante	940-1.335	1.188		4,8 kg/m <sup>3</sup> refrigerante
suco cítrico concentrado	2.100-3.000			2,0 kg/1000 kg laranja
açúcar e álcool		25.000		

Fonte: Braile; Cavalcanti (1993).

A matéria orgânica é um dos principais poluentes dos cursos d'água, já que responde por maior perda de oxigênio dissolvido desses cursos, devido ao processo de oxidação para estabilização dessa matéria orgânica, com prejuízos para a biota aquática e até mesmo ao aspecto paisagístico, devido à turbidez das águas, descaracterizando os cursos originais.

São compostas principalmente por carboidratos, proteína, gordura, óleos, surfactantes, fenóis e pesticidas.

### 3.4 Vazão do Curso D'água Afluente

No planejamento e no gerenciamento do uso dos recursos hídricos, o conhecimento das vazões é necessário para realizar um balanço de disponibilidades e demandas ao longo do tempo. Em projetos de obras hidráulicas, as vazões mínimas são importantes para se avaliar, por exemplo, calado para navegação, capacidade de recebimento de efluentes urbanos e

industriais e estimativas de necessidades de irrigação. As vazões médias são aplicáveis a dimensionamentos de sistemas de abastecimento de águas e de usinas hidrelétricas. As vazões máximas, como base para dimensionamento de sistemas de drenagem e órgãos de segurança de barragens, entre outras tantas aplicações.

As medições de vazão são realizadas periodicamente em determinadas seções dos cursos d'água (as estações ou postos fluviométricos). Diariamente ou de forma contínua, medem-se os níveis d'água nos rios e esses valores são transformados em vazão, por meio de uma equação, chamada de curva-chave.

Curva-chave é uma relação *nível-vazão* numa determinada seção do rio. Dado o nível do rio na seção para a qual a expressão foi desenvolvida, obtém-se a vazão. Não é apenas o nível da água que influencia a vazão: a declividade do rio, a forma da seção (mais estreita ou mais larga) também alteram a vazão, ainda que o nível seja o mesmo.

Entretanto, tais variáveis são razoavelmente constantes ao longo do tempo para uma determinada seção. A única variável temporal é o nível. Dessa forma, uma vez calibrada tal expressão, a monitoração da vazão do rio no tempo fica muito mais simples e com um custo muito menor (PORTO, 2001).

Para essa modelagem específica, foi utilizada a vazão mínima de referência, que é comum ser utilizada no planejamento dos recursos hídricos, acontecendo no período de estiagem e também uma vazão pontual em meados do início das chuvas.

A vazão mínima é utilizada para o planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, para a avaliação do atendimento aos padrões ambientais do corpo receptor, para a alocação de cargas poluidoras e para a concessão de outorgas de captação e de lançamento. A determinação das eficiências requeridas para os tratamentos dos esgotos nos diversos lançamentos deve ser determinada em condições críticas. Estas condições críticas no corpo receptor refletem períodos de estiagem

e ocorrem exatamente no período de vazão mínima, em que a capacidade de diluição do rio é menor. (VON SPERLING, 2007).

A vazão  $Q_{7,10}$ , valor anual da menor média de 7 vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma vez a cada 10 anos (período de retorno de 10 anos) é frequentemente utilizada nas modelagens da qualidade da água, já que os cálculos tendem a uma precisão maior, pois os históricos de coletas longos visualizam ciclos e não vazões pontuais. Contudo esse dado é de difícil mensuração, já que, nesses corpos d'água necessitariam de implantação de estações fluviométricas, estações onerosas, que, nesse caso, se encontram em poucas bacias hidrográficas, comprometendo, assim, a precisão dos estudos dessas bacias.

As medições de vazão podem ser feitas de diversas formas, que utilizam princípios distintos: Volumétrico, colorimétrico, estruturas hidráulicas (calhas e vertedores), velocimétrico (molinetes hidráulicos), acústico e eletromagnético. A escolha do método dependerá das condições disponíveis em cada caso.

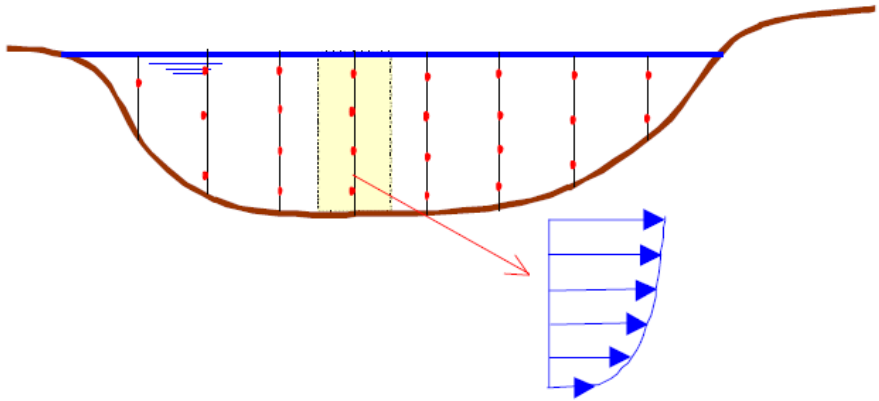
A descarga líquida ou vazão de um rio é definida como sendo o volume de água que atravessa uma determinada seção num certo intervalo de tempo. Ou ainda, pode ser expressa como:

$$Q = V \cdot S$$

Onde:

- Q: vazão em  $m^3/s$ ;
- V: velocidade do escoamento em  $m/s$ ;
- S: área da seção em  $m^2$ .

Como a seção do rio é irregular e as medições de velocidades são feitas em alguns pontos representativos, a vazão total é calculada como sendo a soma de parcelas de vazão de faixas verticais. Para se calcular a vazão de tais parcelas utiliza-se a velocidade média no perfil e a sua área de influência, conforme ilustra a (FIG. 5).



**FIGURA 5** - Perfil de velocidades, pontos de medição e área de influência

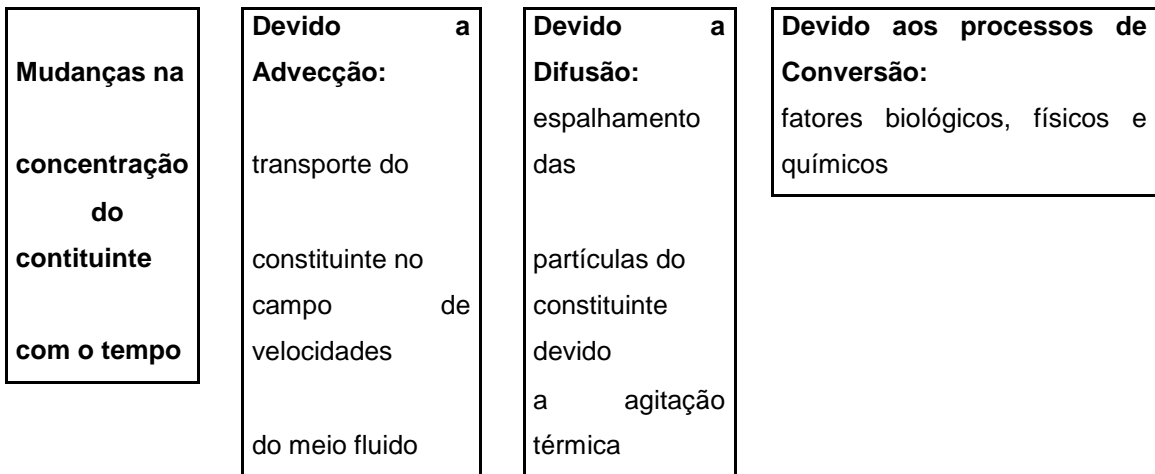
### 3.5 Cinética e Coeficiente da Desoxigenação

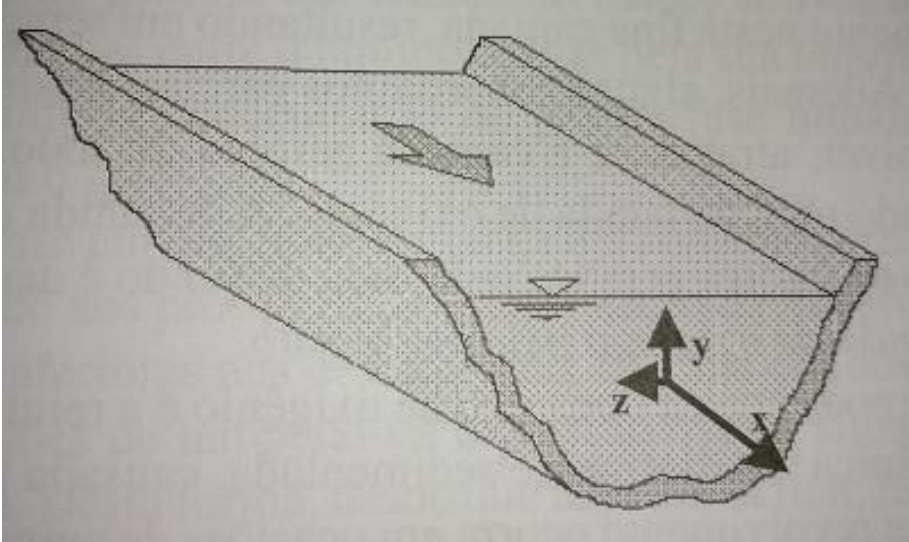
A queda nos níveis de oxigênio dissolvido em um corpo d'água está associada à respiração de microrganismos envolvidos no processo de depuração de esgotos. Estudos de (GIANANTE, 1998), (BRANDELERO *et al.* 2010) e (SIQUEIRA, 1998) evidenciaram que massas lólicas ou águas correntes possuem a capacidade de autodepuração e tal fenômeno pode ser avaliado pelos valores da (DBO) demanda bioquímica de oxigênio no corpo hídrico. A matéria orgânica, ao ser lançada no rio por uma fonte poluidora, é oxidada por bactérias aeróbicas de vida livre, pertencentes ao ecossistema aquático. O percebido é que o processo de degradação da matéria orgânica citado consome parte do oxigênio dissolvido que está na água e diminui o mesmo (VON SPERLING, 2007 *apud* ALMEIDA, 2013).

O consumo da matéria orgânica (DBO) nos corpos d'água provoca um dos maiores prejuízos da contaminação desses cursos, que é a desoxigenação (decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido), com variação ao longo de tempo e espaço, ou seja, os teores de DBO são diferentes em dias diferentes e em mensurações ao longo de trechos. Verificam-se também essas divergências de valores. A DBO Padrão é a  $DBO_{5, 20}$ , que é usada como referência.

Para entender melhor o fenômeno de desoxigenação e oxigenação, não seria possível desvincular da cinética de reatores, já que a modelagem de Streeter-Phelps simula os rios como reatores biológicos. Processos físicos de advecção, de difusão e processos bioquímicos e físicos de conversão provocam, nos corpos d'água, alterações nas suas composições de matéria orgânica e oxigênio dissolvido.

Esses processos predominam no eixo longitudinal (x), como ilustra a (FIG. 6) abaixo.





**FIGURA 6** - Eixos de Ocorrência das Mudanças Espaciais e Temporais nos Constituintes das Águas de Rios

**Fonte:** Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, (VON SPERLING, 2009).

O consumo de OD, devido a tais oxidações, pode ser obtido utilizando-se a medição da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sendo basicamente governado pelo coeficiente de desoxigenação,  $K_1$ , que varia de valor de acordo com a temperatura, a composição e a concentração de material orgânico na água. A estimativa do consumo de oxigênio pode ser obtida com a utilização de equações diferenciais, que expressam uma reação cinética de primeira ordem (VON SPERLING, 1996 *apud* NUNES, 2008).

Para (VON SPERLING, 2007), grande parte das reações que ocorrem em um curso d'água é lenta, sendo a consideração da sua cinética, portanto, importante. A taxa de reação  $r$  é o termo usado para descrever o desaparecimento ou formação de um composto ou espécie química. A relação entre a taxa de reação, a concentração do reagente e a ordem da reação são dadas pela expressão:

$$r = KC^n$$

Onde:

$r$  = taxa de reação ( $ML^{-3}T^{-1}$ ),

$K$  = constante de reação ( $T^{-1}$ ),

$C$  = concentração do reagente ( $ML^{-3}$ ),

$n$  = ordem da reação,

$n = 0$  reação de ordem zero,

$n = 1$  reação de primeira ordem,

$n = 2$  reação de segunda ordem.

Quando mais de um reagente está envolvido, o cômputo da taxa de reação deve levar em consideração as concentrações dos reagentes. No caso de dois reagentes, com concentração A e B com ordem global da reação definida ( $m+n$ ), tem-se:

$$r = K A^n B^m.$$

Na modelagem da qualidade das águas, há várias reações que são representadas segundo a cinética de primeira ordem. A introdução de oxigênio pela reaeração é um exemplo. Outros exemplos são a redução da matéria orgânica e o decaimento de organismos patogênicos (VON SPERLING, 2007).

Um conceito importante é relativo às demandas de oxigênio: DBO remanescente, que é a concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida num determinado tempo, e a DBO exercida, que representa o oxigênio consumido na estabilização da matéria orgânica até esse instante.

Nessas reações, a taxa de reação é proporcional à concentração do reagente, ou seja, ao longo do rio a taxa de mudança da concentração C do reagente é proporcional à concentração desse reagente no dado instante.

Para um reagente que esteja sendo consumido (removido), tem-se a seguinte equação: (VON SPERLING, 2007).

$$\boxed{\frac{dC}{dt} = -K.C^1} \quad \text{ou} \quad \boxed{\frac{dC}{dt} = -K.C}$$

Integrando essa taxa de mudança ( $dC/dt$ ) ao longo do tempo de percurso tem  $C = C_0$  em  $t=0$ , já que ainda não houve consumo dos reagentes.

$$\boxed{C = C_0.e^{-Kt}}$$

Reações de primeira ordem. Mudança da taxa de reação  $dC/dt$  com o tempo. Mudança da concentração  $C$  com o tempo.

Logo a cinética de desoxigenação da matéria orgânica remanescente ou DBO remanescente se dá por meio de uma reação de primeira ordem, na qual a taxa de mudança da concentração de uma substância é simétrica à primeira potência da concentração, sendo a equação de progressão expressa na forma diferencial:

$$\boxed{\frac{dL}{dt} = -K_1.L}$$

sendo:

$L$  = concentração de DBO remanescente (mg/L),

$t$  = tempo (dia),

$k_1$  = coeficiente de desoxigenação ( $\text{dia}^{-1}$ ).

Por meio da Equação acima, nota-se que a taxa de oxidação da matéria orgânica ( $dL/dt$ ) é proporcional à matéria orgânica ainda remanescente ( $L$ ), em um tempo  $t$  qualquer. Logo, quanto maior a concentração de DBO, mais rápido ocorrerá o processo de desoxigenação. Posteriormente, após a estabilização da DBO, em certo tempo, a taxa de reação será menor em função da menor quantidade de matéria orgânica presente em determinada substância.

Nesse sentido, (VON SPERLING, 2007), afirma que integrando a equação anterior, entre os limites de  $L = L_0$  e  $L = L_t$ , e  $t = 0$  e  $t = t$ , obtém-se a equação abaixo:

$$L_t = L_0 e^{-k_1 t}$$

Em que:

$L_t$  = DBO remanescente num tempo  $t$  qualquer (mg/L),

$L_0$  = DBO remanescente em  $t = 0$  (mg/L).

Para obter a DBO exercida em termos de consumo de oxigênio dissolvido, utiliza-se a próxima equação:

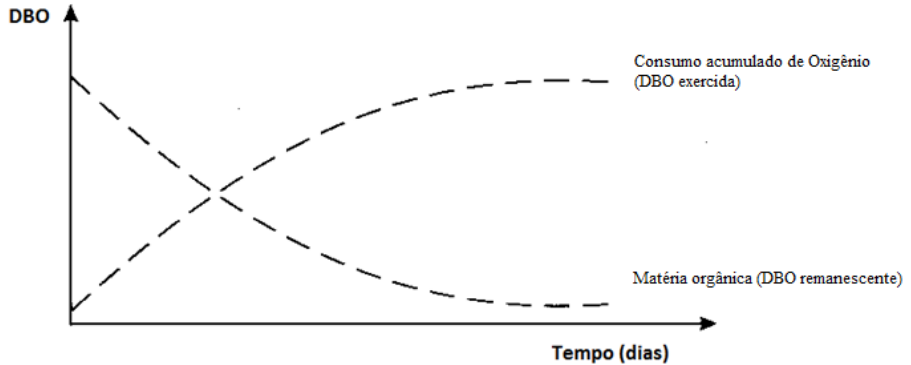
$$y = L_0 (1 - e^{-k_1 t})$$

Em que:

$y$  = DBO exercida em um tempo  $t$  (mg/L), nota-se que:  $y = L_0 - L$ ,

$L_0$  = DBO remanescente, em  $t = 0$ , ou comumente conhecida como DBO última.

A (FIG. 7) expressa a progressão da DBO ao longo do tempo:



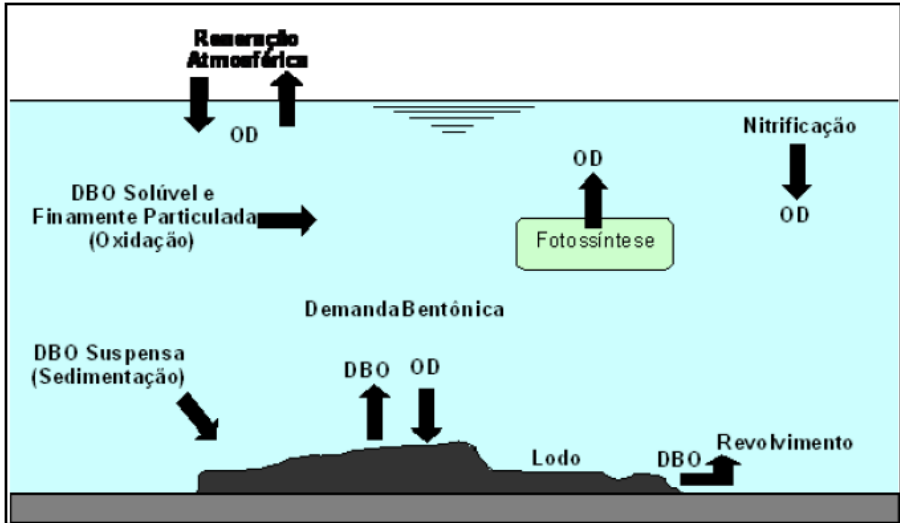
**FIGURA 7** - DBO exercida (oxigênio consumido) e DBO remanescente (matéria orgânica remanescente) ao longo do tempo

**Fonte:** (VON SPERLING, 2007).

O consumo de matéria orgânica, desoxigenação, basicamente acontece nos vários tipos de oxidação da matéria orgânica suspensa (tanto a carbonácea quanto a nitrogenada) e decantada (camada de sedimentos decantados, que é responsável pela demanda bentônica de oxigênio) e o uso de oxigênio na respiração, principalmente dos vegetais (algas), quando da ausência de luz (NUNES, 2008).

Além dos processos citados, relacionados ao consumo de oxigênio, há também os referentes à estabilização dos compostos nitrogenados, esse a amônia em nitrito e esses, por sua vez, em nitrato. Este consumo é referido como demanda nitrogenada ou demanda de segundo estágio.

Os principais fenômenos responsáveis pelo balanço de oxigênio dissolvido em um curso d'água encontram-se apresentados na (FIG. 8).



**FIGURA 8** - Mecanismos relacionados ao balanço de oxigênio dissolvido

Fonte: Santos (2001).

O coeficiente de desoxigenação  $K_1$  depende das características da matéria orgânica, além da temperatura e da presença de substâncias inibidoras (VON SPERLING, 2005). É obtido em condições controladas em laboratório. A (TAB. 2) apresenta valores médios de  $K_1$ , obtidos em condições de laboratório. O coeficiente de decomposição da DBO no rio,  $K_d$ , incorpora os efeitos na decomposição da matéria orgânica pela biomassa suspensa na massa líquida e pela biomassa no lodo de fundo. Os valores de  $K_d$  para oxidação da DBO no rio são superiores a valores de  $K_1$  obtidos em laboratório. Isso se explica pelo fato da biomassa que cresce aderida a um meio suporte, como, por exemplo, o lodo de fundo, ser mais efetiva na decomposição de matérias orgânicas que a biomassa dispersa na massa líquida (CHAPRA, 1997 *apud* VON SPERLING, 2007).

A (TAB. 2) apresenta os valores médios de  $K_1$  e  $K_d$ .

TABELA 2

Valores típicos de  $K_1$  e condições de laboratório e de  $K_d$  em condições de campo (base 20°C)

Origem	$K_1$ (laboratório) (dia <sup>-1</sup> )	$K_d$ (rio)	
		Rios rasos	Rios profundos
Esgoto bruto concentrado	0,35 – 0,45	0,50 – 1,00	0,35 – 0,50
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30 – 0,40	0,40 – 0,80	0,30 – 0,45
Efluente primário	0,30 – 0,40	0,40 – 0,80	0,30 – 0,45
Efluente secundário	0,12 – 0,24	0,12 – 0,24	0,12 – 0,24
Corpo de água com águas limpas	0,08 – 0,20	0,08 – 0,20	0,08 – 0,20

**Fonte:** (VON SPERLING, 2005)

**Nota:** Rio raso: profundidade inferior a cerca de 1,0 ou 1,5 m;

Rio profundo: profundidade superior a cerca de 1,0 ou 1,5 m.

Segundo (EPA, 1985 *apud* VON SPERLING, 2005), e (THOMANN; MUELLER, 1987), o valor de  $K_d$  pode ser obtido em função de características hidráulicas no corpo d'água, conforme as equações descritas a seguir:

$K_d$  em função da profundidade

Para  $H \leq 2,5$ :

$$K_d = 0,30 \left( \frac{H}{2,5} \right)^{0,434}$$

Para  $H > 2,5$ :

$$K_d = 0,30d^{-1}$$

$K_d$  em função da vazão

$$K_d = 1,80xQ^{-0,49}$$

Onde:

$H$  entre 0,3 e 10 m;

$Q$  entre 0,15 e 250 m<sup>3</sup>/s.

A temperatura tem influência direta no metabolismo bacteriano e, conseqüentemente, nas taxas de estabilização da matéria orgânica. A relação empírica entre a temperatura e a taxa de desoxigenação é dada pela equação abaixo, que pode ser utilizada tanto para  $K_1$ , quanto para  $K_d$  (VON SPERLING, 2005):

$$K_{1T} = K_{120} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Onde:

$K_{1T}$  =  $K_1$  a uma temperatura  $T$  qualquer (d<sup>-1</sup>);

$K_{120}$  =  $K_1$  a uma temperatura  $T = 20^\circ\text{C}$  (d<sup>-1</sup>);

$T$  = temperatura do meio líquido ( $^\circ\text{C}$ );

$\theta$  = coeficiente de temperatura (-).

O valor de  $\theta$  usualmente utilizado para  $K_1$  e  $K_d$  é 1,047 (EPA, 1987).

### 3.6 Cinética da oxigenação

O processo natural de reaeração de corpos de água receptores de despejos de esgotos envolve a transferência de massa superficial, por meio da qual a demanda por oxigênio, resultante da ação bacteriológica sobre a matéria orgânica biodegradável, pode ser suprida, ou não, dependendo da intensidade com que o fenômeno da transferência de oxigênio ocorre por meio da superfície do corpo receptor (SZÉLIGA; ROMA, 2003 *apud* NUNES, 2008).

Para (VON SPERLING, 1996), molécula de gases atmosféricos intercambiados na interface do meio líquido é o principal meio de introdução de oxigênio em lagos, em rios e em outros corpos d'água. Esse processo é um fenômeno físico que eleva a concentração de gases na fase líquida, caso essa fase não esteja saturada com gás.

Quando a água é exposta a um gás, ocorre um contínuo intercâmbio de moléculas da fase líquida para a gasosa e vice-versa. Tão logo a concentração de solubilidade na fase líquida seja atingida, ambos os fluxos passam a ser de igual magnitude, de modo a não ocorrer uma mudança global das concentrações do gás em ambas as fases. Esse equilíbrio dinâmico define a concentração de saturação ( $C_s$ ) do gás na fase líquida (VON SPERLING, 2007).

Como há no processo de autodepuração natural dos corpos d'água o consumo de oxigênio dissolvido na fase líquida, que ocorre nos processos de estabilização da matéria orgânica, as concentrações de gases desse meio ficam abaixo da saturação, aumentando o fluxo de reaeração desse meio.

O mecanismo de reaeração pode acontecer por meio da difusão molecular ou turbulência. A difusão molecular acontece em ambientes tranquilos, sem correntezas, em que há um incessante movimento aleatório (movimento térmico) das moléculas de  $O_2$ , do meio concentrado para o de menor concentração. Pelos estudos de (HEMOND; FECHENER-LEVY,

1994), esse tipo de mistura é denominado de difusão molecular, como descreve a primeira lei de Fick. Como lei, ela distingue o processo pelo qual a matéria é conduzida de uma parte a outra do sistema em função dos movimentos moleculares randômicos. O observado é que a difusão não demonstra grande importância em termos ambientais, com exceção à escala microscópica das reações químicas e biológicas. No entanto, problemas ambientais ligados à dispersão de poluentes podem ser descritos por ações fortemente análogas à difusão molecular, segundo as descrições de (FISCHER *et al.*, 1979) e (ALMEIDA, 2013).

Nesse sentido, para (NUNES, 2008), os principais fatores que afetam a difusão molecular são: a temperatura, o gradiente de concentração e a área da seção transversal onde ocorre a difusão.

Quanto à difusão turbulenta, ela é mais rápida que a molecular, pois envolve a criação de interfaces e a renovação dessas interfaces. Para (VON SPERLING, 1996), a criação de interfaces é de extrema importância, pois é onde ocorrem os intercâmbios gasosos. Assim, o segundo fator permite que não haja a formação de pontos de saturação, conduzindo o gás a várias profundidades do curso d'água, em função da maior mistura.

Segundo (GIANSANTE, 2000), as fontes de oxigênio são: a atmosfera e as algas. Quanto a primeira fonte, há transferência de oxigênio atmosférico, que é abundante, para a água, de forma que essa o tem na quantidade máxima, quando não poluída. A concentração máxima de OD na água é função da temperatura e pressão atmosférica local, que, por sua vez, é função da altitude. As algas constituem a segunda fonte de OD, em função da reação de fotossíntese.

Referenciado no Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática, IPMCA, (CETESB, 2007), valores de oxigênio dissolvido entre 3,0 e 5,0 (mg/L) apresentam características desejáveis para a sobrevivência dos organismos aquáticos, porém a reprodução dos mesmo pode ser afetada a longo prazo.

A fotossíntese proporcionada pelo fitoplâncton, particularmente algas, é a maior fonte de OD em lagos e em rios de movimento lento. A produção fotossintética de oxigênio é função da temperatura e a profundidade da água, intensidade e duração da presença de luz e quantidade de algas, comumente medida como concentração de clorofila-a (RIBEIRO, 2001). A fotossíntese é o principal processo utilizado pelos seres vivos para a síntese da matéria orgânica, sendo característica dos organismos clorofilados (NUNES, 2008).

O  $K_2$  é o coeficiente relacionado à taxa de reaeração atmosférica, que representa a difusão de oxigênio atmosférico do ar para o líquido.  $K_2$ , depende da mistura e da turbulência responsáveis pelo gradiente de velocidade, da temperatura, da mistura pelo vento, da existência de quedas d'água e de barragens (THOMANN; MUELLER, 1987).

O valor do coeficiente  $K_2$  tem maior influência nos resultados do balanço do oxigênio dissolvido do que o coeficiente  $K_d$ , ou seja, o modelo de Streeter-Phelps normalmente é mais sensível a  $K_2$  do que a  $K_d$ . A determinação do  $K_2$  pode ser efetuada por métodos estatísticos, fundamentados na análise de regressão (VON SPERLING, 2005).

O valor estimado do coeficiente  $K_2$ , para a simulação do oxigênio dissolvido em um corpo de água, pode ser encontrado tabelado, em função das características do corpo d'água. Um exemplo é a (TAB. 3), publicada por (FAIR *et al.*, 1973; ARCEIVALA, 1981) e (ALMEIDA, 2013).

TABELA 3

Valores Médios de  $K_2$  Considerando Características do Corpo D'água

Corpo de água	$K_2$ (dia <sup>-1</sup> )	
	Profundo	Raso
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagarosos e grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas de água	>1,15	>1,61

Fonte: von Sperling, 2005

Fonte: (VON SPERLING, 2005)

Há ainda outros autores que buscam correlacionar os valores de  $K_2$  com as características hidráulicas do corpo d'água e com sua vazão, conforme (TAB. 4).

Outro fato é que o aumento da temperatura reduz a solubilidade do oxigênio no meio líquido, ou seja, reduz a concentração de saturação e acelera os processos de absorção de oxigênio. A influência da temperatura no  $K_2$  se dá em dois sentidos opostos.

A representação do efeito da temperatura no coeficiente  $K_2$  pode ser expressa conforme equação:

$$K_{2T} = K_{220} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Onde:

$K_{2T}$  =  $K_2$  a uma temperatura T qualquer (d<sup>-1</sup>);

$K_{220}$  =  $K_2$  a uma temperatura T = 20°C (d<sup>-1</sup>);

T = temperatura do meio líquido (°C);

$\theta$  = coeficiente de temperatura (-).

Segundo (VON SPERLING, 2005), um valor muito utilizado para o coeficiente de temperatura  $\Theta$  é 1,024 (EPA, 1987).

O modelo de Streeter-Phelps normalmente é mais sensível a  $K_2$ , que a  $K_d$  (VON SPERLING, 2007).

Outros meios podem ser utilizados para obter valores de  $K_2$ , como valores em função das características hidráulicas do corpo d'água e valores relacionados com a vazão do curso d'água, mas que necessitam de dados adicionais na composição de suas fórmulas que o rio Vieira não possui. Logo o valor de  $K_2$  sob influência da temperatura foi adotado.

### 3.7 Legislação de lançamento de efluentes

Um dos pilares que sustentam o sucesso ambiental de um país é a legislação específica, que regulariza o uso do meio, assim bem como uma fiscalização eficaz, para que o rigor da lei seja obedecido.

Em 08 de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sob a forma de Lei 9.433, que tem como objetivo assegurar a disponibilidade e a qualidade da água para presentes e futuras gerações, otimização do uso desses recursos e a prevenção de eventos hidrológicos. Ou seja, todo esse objetivo se encontra com o material desta pesquisa, haja visto que esses objetivos devem ser aplicados para garantir a preservação desse corpo d'água.

Por não haver até o presente estudo classificação do rio Vieira, foi considerado Classe 2, pois a Resolução do (CONAMA, 2005), estabelece que, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas de classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente conforme citado no Cap.VI, art. 42 da Resolução.

A (CONAMA, 2005) embasou a legislação estadual, que rege o lançamento de efluentes em corpos d'água, à (COPAM, 2008).

Em termos de Legislação Estadual, embasar esse estudo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM nº01, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, de 05 de Maio de 2008. Por ser mais restritiva quanto aos padrões de lançamento de efluentes do que a (CONAMA, 2005), será utilizada como referência nesta pesquisa.

Os padrões de lançamento das águas doces 2, objeto de estudo desta investigação, estão descritos na (TAB. 8), segundo (COPAM, 2008).

**TABELA 4**

Limites Fixados na Resolução COPAM 01/2008 para Águas Doces de Acordo com as Classes

<b>Classe</b>	<b>Máximo DBO 5,20</b>	<b>Mínimo OD</b>
<b>1</b>	3mg.L-1	6mg.L-1
<b>2</b>	5mg.L-1	5mg.L-1
<b>3</b>	10mg.L-1	4mg.L-1
<b>4</b>	–	2mg.L-1

**Fonte:** Adaptado da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de maio de 2008

A (COPAM, 2008), no seu artigo 10, estabelece que:

§ 1º Os limites de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), estabelecidos para as águas doces de classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido (OD) previstas não serão desobedecidas, nas condições de vazão de referência, com exceção da zona de mistura, conforme modelos internacionalmente reconhecidos.

Destacam-se aspectos relevantes quanto aos padrões de lançamento de efluentes da (COPAM, 2008):

Art. 28. Na zona de mistura de efluentes, o órgão ambiental competente poderá autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não comprometam os usos previstos para o corpo de água.

Art. 29. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

§ 1º O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 2º Os critérios de toxicidade previstos no § 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

§ 3º Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos nesta deliberação Normativa não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos, não se aplicam os parágrafos anteriores.

§ 4º Condições de lançamento de efluentes:

I - pH entre 6,0 a 9,0;

II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura, desde que não comprometa os usos previstos para o corpo d'água;

III - materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

IV - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

V - óleos e graxas:

a) óleos minerais: até 20mg/L;

b) óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L.

VI - ausência de materiais flutuantes;

VII – DBO: até 60 mg/L ou:

a) tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais;

b) tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 75% e média anual igual ou superior a 85% para os demais sistemas.

VIII - DQO - até 180 mg/L ou:

a) tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais;

b) tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 70% e média anual igual ou superior a 75% para os demais sistemas.

### 3.8 Modelagem Matemática da Qualidade da Água

A modelagem computacional é uma ferramenta importante para que se possa avaliar a qualidade atual, estimar as condições da qualidade ao longo do percurso e simular efeitos da aplicação ou diminuição da carga poluente em cursos d'água.

O principal objetivo na modelagem é determinar, baseado em dados conhecidos previamente, as variações de concentração de determinada carga poluente, em função do espaço e do tempo. Isso, obviamente, passa por conhecimentos básicos de transporte de massa difusivo e convectivo, e de cinética das reações biológicas envolvidas no processo:

A disposição final de efluentes pode ser estudada utilizando-se modelos computacionais de qualidade de água que contemplem fontes/sumidouros de DBO, ou de outras substâncias, o seu transporte ao longo do corpo de água e a sua reação com outras substâncias. É possível, ainda, desenvolver níveis de monitoramento específicos, considerando que a modelagem computacional responde mais rapidamente às variações de concentrações dos efluentes do que as medições analíticas feitas em laboratórios (CUNHA *et al.*, 2003).

A aplicação de modelos matemáticos, no gerenciamento de recursos hídricos, possibilita a determinação das alterações provocadas pelas descargas nas águas dos rios, dos lagos, dos estuários e dos oceanos. Para construção dos modelos matemáticos no estudo de autodepuração, aplicam-se os conceitos de balanço de massa e modelos cinéticos das reações. Nesse caso, os corpos d'água são considerados os reatores para efeito de estudo, tornando possível, dessa forma, prever a capacidade do sistema de receber efluente, além de quantificar os impactos causados por determinadas ações.

Um dos modelos mais utilizados na análise da qualidade da água que recebe esgotamentos sanitários domésticos é o de H. S. Streeter e E. B. Phelps, em 1925, para o rio Ohio, que prevê o *déficit* e a reoxigenação de oxigênio num rio. O modelo de decaimento de oxigênio de Streeter-Phelps correlaciona a taxa de variação do déficit de oxigênio com a distância e às respectivas taxas espaciais de desoxigenação e reoxigenação.

Os pesquisadores Streeter e Phelps desenvolveram um modelo em 1925, que propiciou grande impulso para o entendimento do fenômeno de autodepuração em águas receptoras de cargas poluentes (ANDRADE, 2012).

Verifica-se que, para avaliar a influência de lançamento de efluentes na qualidade de determinado corpo hídrico, bem como propor medidas de controle, é necessário o uso de modelos, como o de Streeter - Phelps, que represente o comportamento de umas das características mais importantes

de uma situação real, que é a capacidade de autodepuração do corpo d'água (ANDRADE, 2012).

Em função do comportamento do rio, aeróbio ou anaeróbio, podem ser utilizadas duas variações dos modelos de Streeter-Phelps. Um modelo que simula processos totalmente aeróbios, descrito no item 3.8.1 e outro que simula processo anaeróbio, intercalando trechos aeróbios quando esses ocorrem, descritos no item 3.8.2.

### 3.8.1 Modelo Aeróbio de Streeter & Phelps

Os modelos de qualidade das águas de rios vêm sendo utilizados desde o desenvolvimento do modelo clássico de OD e DBO, de Streeter & Phelps, em 1925 (VON SPERLING, 2007). Segundo (TUCCI, 1998 *apud* OPPA, 2007), esse modelo considera o escoamento permanente uniforme e simula os parâmetros DBO e OD. O modelo Streeter-Phelps foi o pioneiro para os modelos atuais, estando esses, em crescente aperfeiçoamento.

O modelo de Streeter & Phelps segue algumas condicionantes para ser aplicado, como:

- condições estacionárias: condições são permanentemente as mesmas, e não simulando eventos transientes ou que variem com o tempo.
- características uniformes do trecho simulado: havendo mudança na(s) característica(s) do rio - declividade, velocidade, profundidade e outras -, assim como entrada ou saída de vazões – descargas, tributários, captações de importância -, o trecho deverá ser subdividido em sub-trechos, buscando a uniformidade dessa subdivisão.

A hipótese básica no modelo Streeter & Phelps é que o processo de decomposição da matéria orgânica no meio aquático segue uma reação de primeira ordem. Assim, nesse tipo de reação, a taxa de redução da matéria

orgânica é proporcional à concentração de matéria orgânica presente em um dado instante de tempo (BRAGA *et al.*, 2005).

A equação é descrita da seguinte forma:

$$DBO_t = L_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t}$$

Onde:

$DBO_t$  – é a quantidade de oxigênio dissolvido consumido desde o instante inicial até o Instante  $t$ ;

$L_0$  – é a DBO imediata após o ponto de lançamento, ou seja, a quantidade total de oxigênio necessária para completa estabilização da matéria orgânica;

$K_1$  – é a constante de desoxigenação que depende do tipo de efluente;

$t$  – tempo em dias.

Para analisar o comportamento do *déficit* de oxigênio dissolvido a jusante do despejo dos esgotos, utiliza-se o modelo de Streeter-Phelps. O equacionamento de Streeter & Phelps, para o cálculo da concentração de OD, combina os processos de reaeração e desoxigenação pelo decaimento da matéria orgânica, conforme as equações abaixo resumidas, sabendo-se que:

$$C_t = C_s - D_t$$

Tem-se a concentração de OD em um instante de tempo  $t$ :

$$C_t = C_s - \left( \frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} \right) \cdot (e^{-k_1 \cdot t} - e^{-k_2 \cdot t}) + (C_s - C_0) \cdot e^{-k_2 \cdot t}$$

Onde:

$C_t$  – déficit de oxigênio dissolvido ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ );

$C_0$  – concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

$C_s$  – concentração de saturação de oxigênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), vide Tabela 9;

$K_1$  – Coeficiente da taxa de desoxigenação ( $\text{dia}^{-1}$ );

$K_2$  – Coeficiente da taxa de reaeração ( $\text{dia}^{-1}$ );

$L_0$  – Concentração de determinado poluente, no corpo receptor, após a mistura com o despejo;

$D_t$  – Déficit inicial de oxigênio dissolvido no ponto de mistura ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

Para análise do processo de autodepuração, os dados foram adequados em uma planilha eletrônica de modelo de simulação da qualidade da água, o QUAL-UFMG, criado em 2007 por Marcos Von Sperling. O programa em Microsoft Office Excel QUAL-UFMG, desenvolvido em planilhas, tem como objetivo possibilitar a modelagem de rios por meio da utilização de um modelo baseado no QUAL2-E, desenvolvido pela US Environmental Protection Agency (USEPA). Todas essas planilhas eletrônicas foram embasadas no Modelo de Streeter & Phelps.

O QUAL-UFMG permite a modelagem dos seguintes constituintes ao longo do rio: demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico), coliformes termotolerantes ou E. coli.

Equação de Streeter - Phelps:

$$D_t = \frac{k_1}{k_2 - k_1} L_a (10^{-k_1.t} - 10^{-k_2.t}) + D_a 10^{-k_2.t}$$

$D_t$ : déficit de oxigênio dissolvido, em relação à saturação, nos diversos instantes  $t$ , em  $\text{mg/L}$ ;

$k_1$ : coeficiente de desoxigenação, em  $\text{d}^{-1}$ ;

$k_2$ : coeficiente de reaeração, em  $\text{d}^{-1}$ ;

$L_a$ : DBO total de 1º estágio das águas do rio, imediatamente após a mistura com os esgotos, em  $\text{mg/L}$ ;

$D_a$ : déficit inicial de oxigênio dissolvido, isto é, déficit de oxigênio no ponto de lançamento dos esgotos, em relação à saturação, em mg/L;

t: tempo, em dias.

Cálculo de  $L_a$ :

$$L_a = \frac{Q_{Rio} \times DBO_{Rio} + Q_{Esgoto} \times DBO_{Esgoto}}{Q_{Rio} + Q_{Esgoto}}$$

$Q_{Rio}$ : vazão do rio imediatamente à montante do lançamento dos esgotos;

$DBO_{Rio}$ : DBO total de 1º estágio das águas do rio, imediatamente à montante da mistura com os esgotos;

$Q_{Esgoto}$ : Vazão de esgotos;

$DBO_{Esgoto}$ : DBO total de 1º estágio dos esgotos.

Cálculo de  $D_a$ :

$$D_a = OD_{SAT} - OD_{MIST}$$

$D_a$ : déficit inicial de oxigênio dissolvido nas águas do rio;

$OD_{SAT}$ : concentração de oxigênio dissolvido de saturação;

$OD_{MIST}$ : concentração de oxigênio dissolvido nas águas do rio, imediatamente após a mistura com os esgotos.

$$OD_{MIST} = \frac{Q_{Rio} \times OD_{Rio} + Q_{Esgoto} \times OD_{Esgoto}}{Q_{Rio} + Q_{Esgoto}}$$

$Q_{Rio}$ : vazão do rio imediatamente à montante do lançamento dos esgotos;

$OD_{Rio}$ : concentração de oxigênio dissolvido nas águas do rio, imediatamente à montante da mistura com os esgotos;

$Q_{Esgoto}$ : vazão de esgotos;

$OD_{Esgoto}$ : concentração de oxigênio dissolvido nos esgotos.

Coordenadas do Ponto Crítico:

Tempo Crítico:

Tempo onde ocorre a concentração mínima de oxigênio dissolvido (concentração crítica) no corpo d'água em estudo, ou seja, o *déficit* de oxigênio é máximo. Baseado na concentração crítica que se determina o tratamento ou não dos esgotos:

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_d} \log \left\{ \frac{k_2}{k_d} \left[ 1 - \frac{D_a (k_2 - k_d)}{L_a \cdot K_d} \right] \right\}$$

$t_c$ : tempo de percurso até o ponto crítico, em dias;

$k_1$ : coeficiente de desoxigenação, em  $d^{-1}$ ;

$k_d$ : coeficiente de remoção efetiva da matéria orgânica, em  $d^{-1}$ ;

$L_a$ : DBO total de 1º estágio das águas do rio, imediatamente após a mistura com os esgotos, em mg/L;

$D_a$ : déficit inicial de oxigênio dissolvido, isto é, déficit de oxigênio no ponto de lançamento dos esgotos, em relação à saturação, em mg/L.

As relações de  $(L_a/D_a)$  e  $(K_2/K_d)$  trazem as seguintes interpretações:

$L_a/D_a > K_2/K_d$  - o tempo crítico é positivo. Haverá uma queda de OD a partir do ponto de lançamento, com déficit crítico superior ao inicial;

$L_a/D_a = K_2/K_d$  - o tempo crítico é igual a zero. Ocorre no exato local do lançamento. O déficit inicial é igual ao déficit crítico. O curso d'água apresenta uma boa capacidade de regeneração, não vindo a sofrer queda nos níveis de OD;

$L_a/D_a < K_2/K_d$  - o tempo crítico é negativo. Desde o lançamento, a concentração de OD tende a se elevar. O déficit inicial é maior que o observado. O curso d'água apresenta uma capacidade de autodepuração maior que a de degeneração dos esgotos.

Déficit Crítico:

Antes do tempo crítico, a taxa de desoxigenação é maior do que a de reaeração, ocorrendo o inverso após o  $t_c$ . No tempo crítico, ambas as taxas de reação são iguais.

Trecho onde ocorre a menor concentração de oxigênio dissolvido no corpo d'água em estudo. Em função do tempo crítico, DBO total de 1º estágio e coeficientes de oxigenação e desoxigenação:

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_a \cdot 10^{-k_1 \cdot t_c}$$

$D_c$ : déficit crítico de oxigênio dissolvido nas águas do rio, em mg/L;

$t_c$ : tempo de percurso até o ponto crítico, em dias;

$k_1$ : coeficiente de desoxigenação, em  $d^{-1}$ ;

$k_2$ : coeficiente de reaeração, em  $d^{-1}$ ;

$L_a$ : DBO total de 1º estágio das águas do rio, imediatamente após a mistura com os esgotos, em mg/L.

Os resultados do tempo crítico podem ser negativos ou maiores que a extensão do trecho estudado. A concentração crítica de OD pode ser negativa. Essas são situações que não têm sentido físico. Por essa razão, na prática, costuma ser mais simples o cálculo dos valores de OD ao longo de todo percurso estudado, compondo o perfil de OD.

Equações Auxiliares:

DBO remanescente no tempo t:

$$L_t = L_0 \cdot 10^{-k_1 \cdot t}$$

$L_t$ : DBO remanescente após t dias, em mg/L;

$L_0$ : DBO total de 1o estágio, em mg/L;

$k_1$ : coeficiente de desoxigenação, em  $d^{-1}$ ;

t: tempo, em dias.

$$y = L_0 \cdot (1 - 10^{-k_1 \cdot t})$$

y: DBO removida após t dias, em mg/L

**TABELA 5**

Concentração de saturação de oxigênio ( $C_s$ ) (mg/l)

Temperatura(°C)	Altitude (m)			
	0	500	1000	1500
10	11,3	10,7	10,1	9,5
11	11,1	10,5	9,9	9,3
12	10,8	10,2	9,7	9,1
13	10,6	10	9,5	8,9
14	10,4	9,8	9,3	8,7
15	10,2	9,7	9,1	8,6
16	10	9,5	8,9	8,4
17	9,7	9,2	8,7	8,2
18	9,5	9	8,5	8
19	9,4	8,9	8,4	7,9
20	9,2	8,7	8,2	7,7

21	9	8,5	8	7,6
22	8,8	8,3	7,9	7,4
23	8,7	8,2	7,8	7,3
24	8,5	8,1	7,6	7,2
25	8,4	8	7,5	7,1
26	8,2	7,8	7,3	6,9
27	8,1	7,7	7,2	6,8
28	7,9	7,5	7,1	6,6
29	7,8	7,4	7	6,6
30	7,6	7,2	6,8	6,4

**Fonte:** Estudo e modelagem da qualidade da água (VON SPERLIG, 2007)

Uma vez que uma grande parcela do rio se encontra em estado de anaerobiose, o modelo de depuração de Streeter-Phelps, que fundamenta suas equações nos processos biológicos aeróbios, não é válido. Nessa situação, há uma maior demanda de oxigênio dissolvido pelas bactérias que utilizam esse OD para oxidar (consumir) a matéria orgânica. Diante desse cenário hostil, haverá morte dessas bactérias e crescimento de seres mais adaptados a esse ambiente. As bactérias anaeróbias, nessa situação, passam a consumir a matéria orgânica dos corpos d'água, embora esse consumo ocorra em taxas muito reduzidas em relação aos processos aeróbios. Logo, um novo método de modelagem deve ser aplicado, já que o método padrão simula somente condições aeróbias.

### 3.8.2 Modelo Anaeróbio de Streeter & Phelps

Esse processo de modelagem se dá em várias etapas a se considerar:

O déficit de OD é igual à concentração de saturação ( $C_s$ );

A taxa de conversão da matéria orgânica é limitada pela transferência do oxigênio do meio gasoso para o meio líquido:

$$\frac{dL}{dt} = -K_2 \cdot C_s$$

Com a igualdade nas taxas de entrada de oxigênio na água e de oxidação bioquímica “normal” da matéria orgânica (equação de primeira ordem), as condições anaeróbias cessarão. Nesse ponto, iniciam-se os processos aeróbios de decomposição.

$$K_d \cdot L_f = K_2 \cdot C_s$$

Onde:

$L_f$  = DBO última no ponto final do trecho em anaerobiose (mg/L).

Com o desenvolvimento dessas equações, chega-se às equações que seguem abaixo:

- Tempo do início do trecho em anaerobiose ( $t_i$ ):

$$C_t = C_s - \left\{ \frac{k_d \cdot L_0}{k_2 - k_d} (e^{-K_d \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + (C_s - C_0) e^{-K_2 \cdot t} \right\}$$

- DBO última no início do trecho em anaerobiose (DBO última ao final do trecho em aerobiose):

$$L_i = L_o \cdot e^{-K_d \cdot t_i}$$

$L_i$  – concentração de DBO última no início do trecho em anaerobiose, ou seja, no tempo  $t_i$  (mg/L).

- Tempo de duração do trecho em anaerobiose ( $t_{da}$ ):

$$t_{da} = \frac{L_i}{K_2 \cdot C_s} - \frac{1}{K_d}$$

$T_{da}$  = tempo de duração do trecho em anaerobiose (d).

- Tempo de término do trecho em anaerobiose ( $t_f$ ):

$$t_f = t_i + t_{da}$$

DBO em um ponto qualquer do trecho em anaerobiose.

Como a taxa de decréscimo de DBO é constante e não depende da concentração do mesmo, a reação passa a ser de ordem zero.

DBO última:

$$L = L_i - K_2 \cdot C_s \cdot t_{an}$$

DBO<sub>5</sub>:

$$DBO_5 = \frac{L_i - K_2 \cdot C_s \cdot t_{an}}{K_T}$$

$t_{an}$  = tempo de percurso qualquer, em condições anaeróbias, ou seja, a partir de  $t_i$ , igual a  $t - t_i$ , onde  $t$  é o tempo de percurso total, a partir do ponto de lançamento (d).

- DBO ao fim do trecho em anaerobiose:

DBO última:

$$L_f = L_i - K_2 \cdot C_s \cdot t_{da}$$

DBO<sub>5</sub>:

$$DBO_{5f} = \frac{L_i - K_2 \cdot C_s \cdot t_{da}}{K_T}$$

- OD em um ponto qualquer do trecho em anaerobiose.

OD = 0 mg/L.

- Verificação das condições para retorno à aerobiose.

DBO última:

$$L = L_i - K_2 \cdot C_s \cdot t_{an}$$

DBO<sub>5</sub>:

Se  $L \leq K_2 \cdot C_s / K_d \rightarrow$  retorno à aerobiose;

Se  $L > K_2 \cdot C_s / K_d \rightarrow$  permanência na aerobiose.

Logo, a modelagem em anaerobiose é composta em trecho inicial em aerobiose, trecho em anaerobiose e novamente em trecho de aerobiose. No gráfico, os trechos que demonstram OD negativos não têm significativo físico, há uma superestimativa dos valores de OD no segundo trecho aeróbio. Como a DBO nesse modelo é estimada a maior, torna-se importante uma considerável adequação do modelo de OD.

### 3.8.3 Cálculo dos Coeficientes de Desoxigenação ( $k_1$ ), de Reaeração ( $K_2$ ) e de Remoção Efetiva de DBO no Rio ( $K_d$ )

Para os cálculos de  $K_1$  e  $K_d$ , foram utilizados dados da (TAB. 30) de (VON SPERLING, 2005), e os seus valores foram corrigidos para temperatura real. Contudo esses dados podem ser obtidos por regressão não linear. Seria necessária a análise das amostras de DBO para vários pontos amostrais de tempo. Assim, é possível o ajuste de uma curva teórica com determinação simultânea de  $K_1$  e  $L_0$ .

Para dimensionamento de  $K_2$ , foi usada uma técnica de tentativa/acerto para a calibração do modelo anaeróbio, válido para as condições atuais do rio Vieira. Os dados de entrada do modelo são os da montante da ETE. Desse ponto à foz, o rio percorre cerca de 32 Km. Logo após a inserção dos dados na planilha eletrônica e de posse dos níveis de OD e DBO para a foz, a linha da planilha que corresponde ao Km de 31,5 a 32 Km foi destacado. Após várias tentativas, o valor de  $k_2$  anotado é o resultado encontrado quando OD e DBO se aproximavam da condição real. Essa condição real de OD e DBO está indicada no item 5.1 e nas (TAB.) 10,11,12 e 13.

TABELA 6

Valores do coeficiente  $K_2$  ( $d^{-1}$ ) segundo modelos baseados em dados hidráulicos do curso d'água (base e, 20°C) (VON SPERLING, 2007)

Pesquisador	Fórmula	Faixa de aplicação aproximada
O'Connor & Dobbins (1958)	$3,93.v^{0,5}H^{-1,5}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,05m \leq v < 0,80m$
Churchill et al (1962)	$5,0.v^{0,97}H^{-1,67}$	$0,6m \leq H < 4,0m$ $0,80m \leq v < 1,50m$
Owens et al ( <i>apud</i> Branco, 1978; Chapra, 1997)	$5,3.v^{0,67}H^{-1,85}$	$0,1m \leq H < 0,60m$ $0,05m \leq v < 1,50m$

**Fonte:** Faixas de aplicabilidade adaptadas e ligeiramente modificadas de (EPA, 1985), para efeito de simplicidade

**Nota:** v: velocidade do curso d'água (m/s);

H: altura do curso d'água (m).

Os valores de  $K_2$  e  $K_d$  foram corrigidos em função da temperatura real dos cursos d'água. Não foram utilizados dados de vazão, já que somente vazões acima de 20 m<sup>3</sup>/s são consistentes com dados de laboratório.

(THOMANN; MUELLER, 1987), sugerem alguns valores para  $K_d$  em função da profundidade, considerando que rios mais rasos são mais sensíveis a influência da demanda do sedimento e de outros fatores (VON SPERLING, 2007).

- Rios mais profundos (profundidade superior a 1,5 m):  $K_d = 0,1$  a  $0,5 d^{-1}$

- Rios mais rasos (profundidade inferior a 1,5 m):  $K_d = 0,5$  a  $3,0 d^{-1}$ .

TABELA 7

Valores típicos de  $K_1$  e condições de laboratório e de  $K_d$  em condições de campo (base 20°C)

Origem	$K_1$ (laboratório) (dia <sup>-1</sup> )	$K_d$ (rio)	
		Rios rasos	Rios profundos
Esgoto bruto concentrado	0,35 – 0,45	0,50 – 1,00	0,35 – 0,50
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30 – 0,40	0,40 – 0,80	0,30 – 0,45
Efluente primário	0,30 – 0,40	0,40 – 0,80	0,30 – 0,45
Efluente secundário	0,12 – 0,24	0,12 – 0,24	0,12 – 0,24
Corpo de água com águas limpas	0,08 – 0,20	0,08 – 0,20	0,08 – 0,20

Fonte: (VON SPERLING, 2005)

**Nota:** Rio raso: profundidade inferior a cerca de 1,0 ou 1,5 m;

Rio profundo: profundidade superior a cerca de 1,0 ou 1,5 m.

- Ajuste de  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_d$  em função da temperatura.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Onde  $K_{x_T}$  :

$K_{1_T}$ ,  $K_{d_T}$  ou  $K_{2_T} = K_1, K_d$  e  $K_2$  a uma temperatura  $T$  qualquer (d<sup>-1</sup>).

$K_{1_{20}}$ ,  $K_{d_{20}}$  e  $K_{2_{20}} = K_1, K_d$  e  $K_2$  a uma temperatura  $T = 20^\circ\text{C}$  (d<sup>-1</sup>).

$T$  = temperatura do meio líquido (°C);

$\theta$  = coeficiente de temperatura (-).

Segundo (VON SPERLING, 2005), um valor muito utilizado para o coeficiente de temperatura  $\theta$  é 1,024 (EPA, 1987) para  $K_2$  e 1,047 para  $K_1$  e  $K_d$ .

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da Área de Estudo – Bacia do Rio Vieira

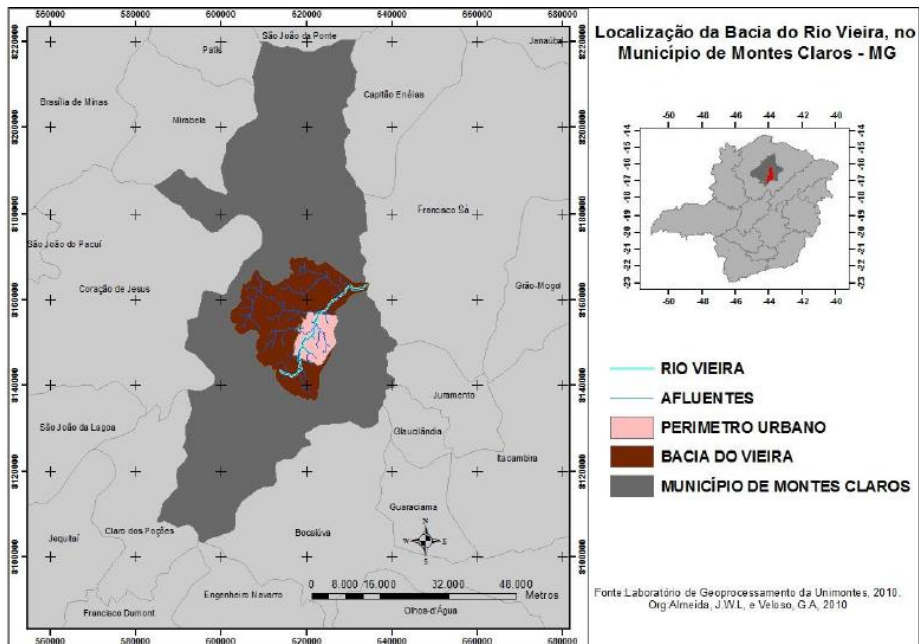
Serviços de água e esgoto são fornecidos pela COPASA-MG, instalada em Montes Claros-MG em 09 set. 1976, responsável pela captação, tratamento e distribuição de água, além do esgotamento sanitário. Em abril de 2007, há 96.770 ligações/economias, incluindo o Distrito de Nova Esperança, o que corresponde a um atendimento de 99% da população total. Houve elevação desse número para 104.196 ligações/economias em março de 2009. Entende-se por economias as ligações coletivas de água, como acontece em prédios de apartamentos. De acordo com essa concessionária, o consumo mensal de água no município é de aproximadamente 1 milhão de m<sup>3</sup> (Relatório Prefeitura de Montes Claros – [www.montesclaros.mg.gov.br](http://www.montesclaros.mg.gov.br)).

O clima é do tipo tropical semiárido, quente e seco, com período de chuvas concentradas entre os meses de outubro a março. A precipitação média anual é de 1.060 mm. A temperatura média anual é de 24,20°C (Relatório Prefeitura de Montes Claros – [www.montesclaros.mg.gov.br](http://www.montesclaros.mg.gov.br)).

A bacia do rio Vieira está localizada na mesorregião do norte do estado de Minas Gerais, tendo a sua nascente principal na Fazenda dos Vieira, região cárstica, segmento da Serra do Ibituruna, na Latitude 16°47'22" S e Longitude 43°56'04" W. O rio Vieira constitui a principal rede hidrográfica do município de Montes Claros. A sua nascente está localizada a sudoeste, a 8 km da malha urbana, drenando o centro da cidade, toma a direção norte do município e deságua a nordeste, no rio Verde Grande, nas proximidades de uma região denominada Estação Ferroviária Canaci, Longitude 43°44'26" W, Latitude 16°36'10"S (BORGES, 2007).

Em condições de altitude de 638 metros acima do nível do mar, há uma situação de menor pressão atmosférica. Logo, as taxas de reoxigenação via transferência da interface dos corpos d'água são menores. A solubilidade do oxigênio, é um fator limitante na capacidade de purificação de águas

naturais. Temperatura média anual de 23,95°C para o ano de 2013, segundo dados do 5º Distrito de Meteorologia (DISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na cidade de Montes Claros – MG.



**FIGURA 9** – Localização da Bacia do Rio Vieira, no Município de Montes Claros - MG

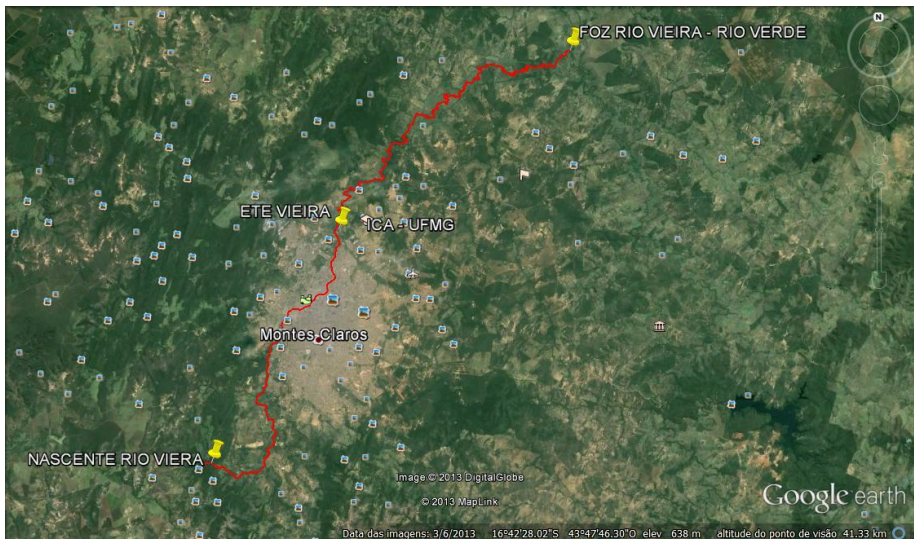
**Fonte:** Laboratório de Geoprocessamento da Unimontes. (ALMEIDA, J. W. L.; VELOSO, G. A. (Org.), 2010.

Bacia com área de aproximadamente 488,1 Km<sup>2</sup>, contabilizando com as sub-bacias do rio Vieira, que são o rio Canoas e Cedro e os córregos Mocambo Firme, Cabeceiras, Candeias, Barroirão, Dos Bois ou Pai João, Do Morcego, Lapa Grande, Palmital, Dos Porcos, Gameleira, São Geraldo, Vargem Grande, Pau Preto e Do Cintra. Com perímetro de 101,5 Km, comprimento do curso principal de 51,37 Km sendo 42,7 Km, o trecho do rio com poluição, comprimento da malha hídrica de 257,8 Km, composta de 18 córregos e rios (EMATER-MG, 2006).

O rio Vieira possui duas nascentes, uma perene e outra intermitente, em que a vazão é verificada apenas no período chuvoso. O acesso é

dificultado por proprietários de terras e pelo próprio relevo, que favoreceu a conservação da área onde se encontram porções das nascentes (BORGES, 2007).

É uma bacia que tem forte influência dos hábitos da população de Montes Claros, com uma alta parcela de impermeabilização do solo, lançamento de efluentes domésticos sem tratamento. Recebe parcela de efluentes de industriais, recebe dos coletores pluviais grande quantidade de surfactante, oriundo dos lava-jatos que lançam clandestinamente, as suas águas residuárias nesse sistema, desova de corpos de animais mortos, dentre outros hábitos que interferem diretamente na qualidade do rio Vieira.



**FIGURA 10** - Trajeto do Rio Vieira, desde a Nascente até a Foz

**Fonte:** Google Earth, acesso em: 03 jun. 2013.

As cotas altimétricas na bacia encontram-se entre 550 a 1.050 metros (FIG. 16), o que facilita o escoamento das águas subterrâneas e a evolução de um relevo cárstico (SILVA; JESUS, 2002).

O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) é de 1,286, ou seja, como distância do valor 1, distância da forma circular, maior tempo de concentração ( $T_c$ ), minorando as chances de ocorrência de picos e enchentes. A elevada taxa de impermeabilização do trecho urbano da bacia altera, significativamente, o

coeficiente de escoamento superficial (Coeficiente de Runnof). Isso traz impacto no tempo de concentração e, conseqüentemente, nas possibilidades de ocorrência de inundações e enchentes. Densidade de drenagem (Dd) de 0,528 Km/Km<sup>2</sup>, que representa uma bacia com uma rede de drenagem regular. Para análises mais precisas, é necessário levantamento de outros dados auxiliares, como declividade, altitude, características geológicas, agroclimáticas, taxas de impermeabilização e fator de forma da bacia.

Os tipos climáticos no norte de Minas Gerais ocorrem principalmente sob a influência da baixa latitude, basicamente Tropical Semiárido e o Tropical semiúmido. Ao sul, em contato com a região Central, em função da altitude do relevo, ocorre o clima Tropical de Altitude, Úmido de Verões Quentes e em pequenas áreas o Tropical Úmido de Verões Brandos (BORGES, 2007 *apud* LEITE, 2003).

A qualidade das águas do rio Vieira interfere, diretamente, no rio Verde Grande, que é um dos principais afluentes do rio São Francisco. O Rio Vieira carrega uma das maiores cargas poluidoras de Minas Gerais, já que é bastante urbana está localizada em um dos 6 municípios mais populosos do Estado.

### MAPA HIDROGRAFICO DO RIO VIEIRA



**FIGURA 11** - Mapa de Abrangência da Bacia Hidrográfica do Rio Vieira

**Fonte:** (EMATER-MG, 2006).

Os dados de latitude, longitude e altitude foram coletados com aparelho Garmim ETREX 30. Os pontos de coleta foram georreferenciados, conforme mostrado na (TAB. 8).

**TABELA 8**

Dados georreferenciados dos quatro trechos de depuração estudados na Bacia do rio Vieira, Montes Claros-MG

Dados georreferenciados dos pontos*	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Próximo à nascente	16°47'38.84"S	43°55'9.73"W	708
Montante da ETE	16°41'13.48"S	43°51'23.87"W	626
Jusante da ETE	16°40'43.43"S	43°51'4.30"W	595
Próximo à foz	16°36'19.49"S	43°44'35.47"W	551

**\*Nota:** Georeferenciados com ajuda do dispositivo GPS GARMIM ETREX 30.

Os dados climatológicos, que nesse estudo foram a precipitação e a temperatura média, foram coletados do 5º Distrito de Meteorologia (DISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na cidade de Montes Claros – MG. A precipitação ocorrida nos meses de coleta está descrita na (TAB. 9) abaixo.

**TABELA 9**

Dados climatológicos da Cidade de Montes Claros

<b>Dados climatológicos *</b>	<b>JULHO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SETEMBRO</b>	<b>OUTUBRO</b>	<b>NOVEMBRO</b>
Precipitação (mm/mês)	0,0	0,0	37,80	72,50	196,30

**\*Fonte:** 5º Distrito de Meteorologia (DISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na cidade de Montes Claros – MG

#### 4.2 Descrição dos Pontos de Amostragem

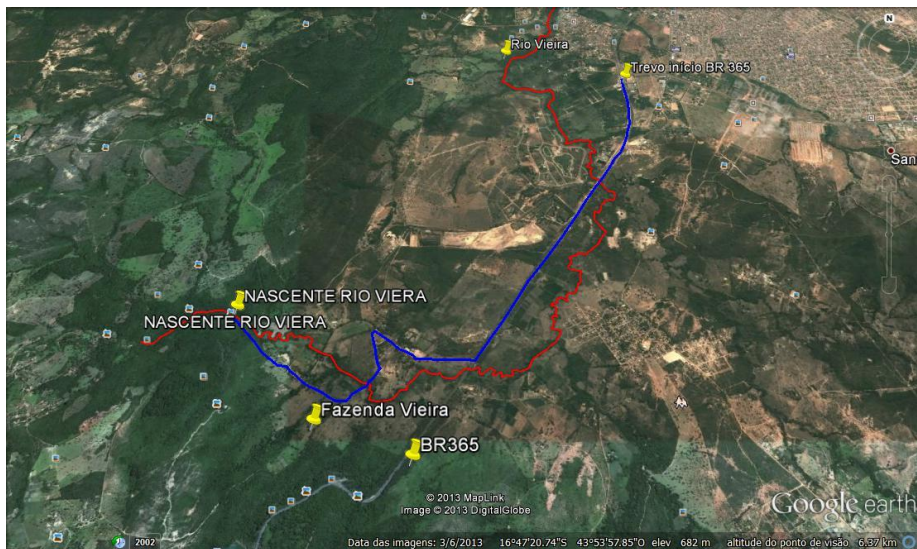
Para o estudo da autodepuração de corpos d'água, foi necessária a coleta de material desse rio. A coleta segue procedimentos-padrão, estabelecidos pela COPASA (Companhia de Saneamento Básico de Minas Gerais), que se embasou no Standard Methods. Para estudo do real comportamento e modelagem matemática dos cenários possíveis desse fenômeno, foram coletados materiais desse rio em quatro trechos, como descrito acima. Foi coletado material próximo à nascente do rio do Vieira (Zona de Águas Limpas), estimando que esse ponto de coleta esteja despoluído 200 metros à montante do lançamento do efluente tratado pela ETE- Vieira (Zona de Degradação); 200 metros à jusante do lançamento (Zona de Decomposição Ativa) e próximo à foz do Rio Vieira (Zona de Recuperação).

Durante os meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro de 2013, foram realizadas 01 coleta por mês, em 04 pontos distintos (zonas de autodepuração), conforme sugere o Modelo de Streeter & Phelps.

Abaixo, a descrição das zonas de depuração segundo proposta de estudo da autodepuração dos corpos d'água:

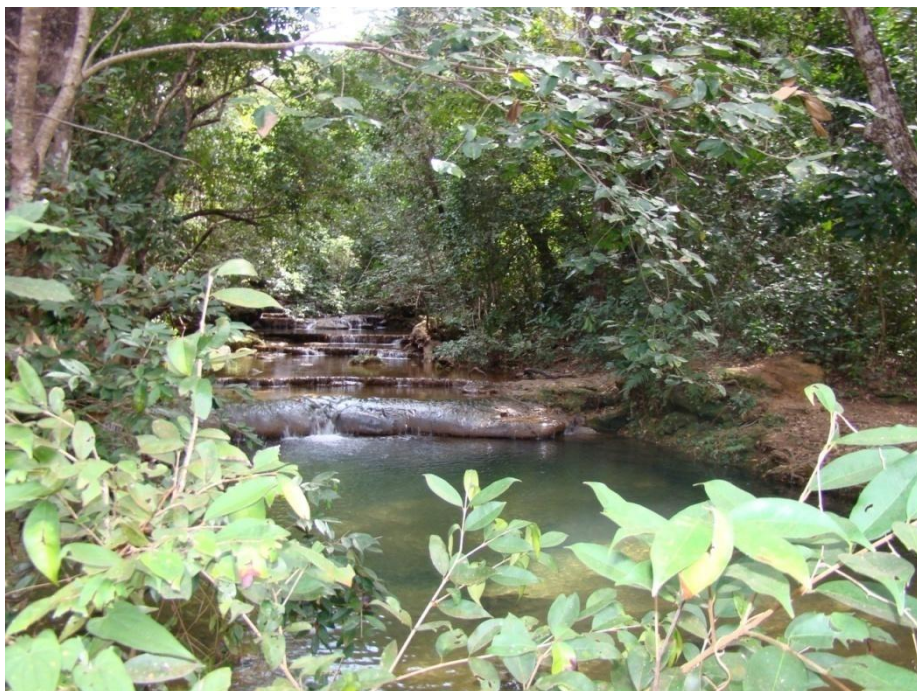
1 - Zonas de águas limpas - próximo à extrema montante (nascente), localizada em região à montante do lançamento do efluente (caso não exista poluição anterior) e também após a zona de recuperação. Essa região é caracterizada pela elevada concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática superior.

Nesse trecho, foram realizadas coletas na extrema montante do rio, localidade próxima à nascente do rio Vieira, na Fazenda Viera de propriedade do senhor Vicente Ribeiro Rocha, de coordenadas geográficas  $16^{\circ}47'35,84''S$  e  $43^{\circ}55'9,73''W$ . Região de relevo acidentado de difícil acesso, por via marginal da BR 365, sentido Pirapora, com entrada para região do Haras Recanto dos Montes. Distância aproximada de 7 km, contando a partir do Trevo da saída de Montes Claros e início da BR365, que liga Montes Claros a Uberlândia.



**FIGURA 12** - Rota em destaque azul - Trevo início BR365 e ponto de coleta próximo a nascente na Fazenda Vieira. Rio Vieira destacado em vermelho

**Fonte:** Imagem do Google Earth.



**FIGURA 13** - Ponto de coleta próximo a nascente

**Fonte:** O autor.

A nascente em análise visual encontra-se em pleno estado de conservação, bem arborizada e com bom stand de árvores. É respeitada uma longa faixa de preservação da mata ciliar virgem. É realizado um bom trabalho pelo proprietário da Fazenda Vieira, no sentido de impedir a degradação dessa região até onde é possível. Por outros acessos, a comunidade tem frequentado essa região, deixando rastros de poluição, mas até o momento nada que afete a qualidade da água desse rio diretamente.

2 - Zona de degradação: localizada imediatamente no ponto de lançamento, sendo caracterizada por uma diminuição inicial na concentração de oxigênio dissolvido e pela presença de organismos mais resistentes.

Esse ponto de coleta deveria estar localizado junto ao lançamento do efluente tratado da ETE. Devido à localização do lançamento se encontrar em uma região de elevada profundidade, o acesso só seria possível com a ajuda de um barco e de outros equipamentos para mensuração da vazão do rio. Logo, esse ponto de coleta foi ajustado em torno de 100 metros acima desse ponto.

Localizado na divisa inferior da ETE-Vieiras da COPASA-MG com o rio Vieira, de coordenadas geográficas  $16^{\circ}41'13,48''S$  e  $43^{\circ}51'23,87''W$ , aproximadamente 100 metros à montante do ponto de lançamento da ETE no rio Vieira, logo abaixo da ponte da linha férrea, localizada na entrada da ETE. Uma região com pouca cobertura vegetal, uma área já bastante urbanizada, com alto nível de impermeabilização das margens do rio e assoreamento visível em alguns pontos próximo ao local de coleta. Devido à COPASA-MG não ter ainda conseguido êxito na interceptação de todo esgotamento sanitário de Montes Claros e da situação de lançamentos clandestinos de esgotos "*in natura*" nos tributários do rio Vieira e até mesmo diretamente no próprio, essa região ou zona de degradação, está comprometida, com padrões precários da qualidade do rio. É uma região, assim como a nascente, de difícil acesso, com talude muito inclinado.



**FIGURA 14** - Ponto de Lançamento ETE-Vieiras no Rio Vieira

**Fonte:** O autor.



**FIGURA 15** - Ponto de coleta ETE-Vieiras no Rio Vieira (zona de degradação)

**Fonte:** O autor.

3 - Zona de decomposição ativa: região onde a concentração de oxigênio dissolvido atinge o valor mínimo e a vida aquática é predominada por bactérias e fungos (anaeróbicos).

Localizado na divisa da ETE-Vieiras da COPASA-MG com o rio Vieira, de coordenadas geográficas 16°40'43.43"S e 43°51'4.30"W, próximo de 200 metros à jusante do ponto de lançamento da ETE no rio Vieira. Está numa região com pouca cobertura vegetal, uma área já bastante urbanizada, com alto nível de impermeabilização das margens do rio, assoreamento visível em alguns pontos próximo ao local de coleta. O agravante nesse trecho é a baixa qualidade da água, que chega a esse ponto, devido às contribuições difusas de Montes Claros. Ainda nesse trecho, o corpo hídrico recebe um adicional de matéria orgânica, referente ao lançamento do esgoto tratado pela ETE. Trecho com nível crítico de OD e concentração elevada de DBO. É uma região, assim como as demais citadas à montante desse trecho, de difícil acesso, com talude muito inclinado.

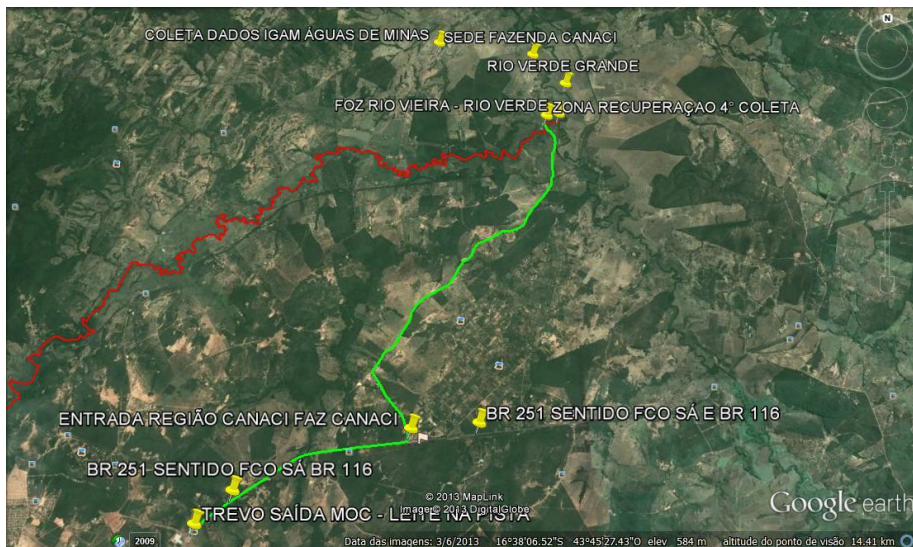


**FIGURA 16** - Ponto de coleta a jusante do lançamento de ETE

**Fonte:** O autor.

4- Zona de recuperação: região onde se inicia a etapa de restabelecimento do equilíbrio anterior à poluição, com presença de vida aquática superior.

Nesse trecho, foram realizadas coletas próximas à extrema jusante do rio, próximo à foz (deságue no rio Verde Grande, afluente do rio São Francisco), na Fazenda Canaci, de propriedade do senhor Antônio Adilson Batista. Coordenadas geográficas 16°36'19,49"S e 43°44'35,47"W. Localizada na região do Canaci, município de Montes Claros – MG. Região de relevo suave, pouco acidentado, mas de difícil acesso por via marginal da BR 251 sentido Francisco Sá, com entrada para região do Canaci e uma das entradas para região dos Campos Elíseos. Distância aproximada de 12 km, contando a partir do Trevo da saída de Montes Claros (região conhecida como Leite na Pista) e início da BR 251, que liga Montes Claros à Rodovia BR 116. O local da coleta, como mostra a (FIG. 18), tem relativa facilidade de acesso ao rio, com uma estreita faixa de cobertura vegetal. É uma região onde se predomina a criação extensiva de gado, porém devido ainda ao acúmulo de matéria orgânica da contribuição de Montes Claros, uma camada de lodo dificulta os trabalhos nesse trecho do rio. A profundidade também nesse trecho eleva as dificuldades da coleta de dados.



**FIGURA 17** - Rota em destaque verde - Trevo início BR 251 e ponto de coleta próximo a foz no Rio Verde Grande na Fazenda Canaci. Rio Vieira destacado em vermelho

**Fonte:** Imagem do Google Earth.



**FIGURA 18** - Ponto de coleta próximo a foz

**Fonte:** O autor.

### 4.3 Metodologia

As metodologias analíticas para determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de coletas dos materiais para análises estão de acordo com as especificações das normas nacionais, que disciplinam a matéria da edição 21 de 2005 da publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Os parâmetros mais utilizados e que melhor se ajustam à modelagem de qualidade de água são: o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio, de extrema importância no estudo da capacidade de autodepuração.

Na presente investigação, calibrou-se o modelo de Streeter-Phelps, com base em dados reais medidos no rio em estudo. Dados como OD,  $DBO_{5,20}$ , características hidráulicas do rio, como: profundidade, velocidade, área da seção de escoamento, vazão, determinação dos coeficientes reais de oxigenação, desoxigenação e de decomposição da matéria orgânica, em diferentes posições, os quais foram confrontados com os dados estimados. Os dois parâmetros acima citados foram simulados pela ferramenta QUAL-UFMG, de (VON SPERLING, 2007).

Esses trechos frequentados durante esses cinco meses de coleta de materiais vêm sofrendo constantes modificações em seu cenário, devido à ocupação e ao manejo inadequado do solo. Os dados obtidos em campo serviram como dados de entrada, a partir de fórmulas que determinaram os coeficientes de: desoxigenação ( $K_1$ ), de decomposição ( $K_d$ ) e o de reaeração ( $K_2$ ). Essas determinações estão contidas no anexo A desse projeto. A determinação desses coeficientes se faz necessária, para que haja maior aproximação dos cenários com as condições reais do corpo d'água.

Foram simulados os parâmetros oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para o lançamento de efluentes domésticos, sendo que Montes Claros possui uma única Estação de Tratamento de

Esgotos (ETE), com capacidade atual de tratar 500 L/s de esgotos domésticos (COPASA, 2013).

O QUAL-UFMG permite a modelagem mais ampla, dispondo dos seguintes constituintes ao longo do rio: demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio total e suas frações (orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo total e suas frações (orgânico e inorgânico), coliformes termotolerantes ou E. coli.

Os parâmetros mais utilizados e que melhor se ajustam à modelagem de qualidade de água são: o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio, que são de extrema importância no estudo da capacidade de autodepuração, pois são atuantes principais no processo de autodepuração, sendo que a DBO é a responsável maior pelo déficit de OD nos corpos d'água.

Os dados, materiais coletados e determinações realizadas no laboratório e no campo foram realizadas todas nas 4 zonas de autodepuração, sendo:

- temperatura da água do rio ( $\theta$ );
- oxigênio dissolvido (OD);
- demanda bioquímica de oxigênio (DBO);
- demanda química de oxigênio (DQO). Esse dado específico não foi utilizado nessa modelagem de Streeter-Phelps;
- tomada de largura total da seção do rio;
- tomada de larguras parciais, com respectivas alturas no rio, num número de 4 a 7 parciais;
- tomada de velocidade em até 4 pontos distintos da seção mensurada do rio;
- tomada de coordenadas geográficas: latitude, longitude e altitude dos pontos de coletas;
- tomada de temperatura ambiente;

- Observação e anotação da condição ambiental em relação ao tempo (chuvoso, nublado e aberto);
- tomadas da data e horário de coleta, conforme roteiro de coleta abaixo. (FIG. 19).

Foram coletados dados da ETE- VIEIRAS da COPASA-MG, que foram relevantes para conclusão desse estudo:

- temperatura do esgoto bruto na chegada da ETE;
- temperatura do efluente tratado no lançamento da ETE;
- vazão do esgoto bruto (dado fornecido pela COPASA-MG);
- vazão do efluente tratado (mensurado nas datas das coletas).

Para coleta no ponto próximo à nascente, não foi necessária a utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI) específico, sendo que esse trecho do rio encontra-se em perfeito estado de conservação e com excelentes índices de qualidade da água. Nas três seções subsequentes, devido ao alto grau de poluição e degradação da qualidade da água do rio Vieira, foi necessário o uso de EPI específico, com macacão além de bota, de calça, de mangas, de luvas e de capuz, no intuito de proteger o pesquisador do contato direto com esse meio contaminado com microrganismos patogênicos e das doenças de veiculação hídrica. Conforme mostra (FIG. 19 e 20) abaixo.



**FIGURA 19** - Coleta de dados próximo a nascente

**Fonte:** O autor.



**FIGURA 20** - Coleta de dados a montante da ETE

**Fonte:** O autor.

Os tópicos abaixo relacionam os materiais e métodos utilizados na caracterização química e física dos elementos amostrais e a metodologia utilizada do Standard.

As metodologias analíticas para a determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de coletas dos materiais para análises estão de acordo com as especificações das normas nacionais que disciplinam a matéria, da edição 21 de 2005 da publicação Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Dados como temperatura, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), seguiram esse procedimento.



**FIGURA 21** - Caixa de suporte (isopor) com gelo, acondicionamento recomendado

**Fonte:** O autor.

Todas as análises laboratoriais foram executadas pelo Laboratório de Análises da ETE-VIEIRAS, da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG), sob responsabilidade da engenheira química Mônica M. Ladeia, CREA nº 53171/ D. Os resultados de todas as análises referente aos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro de 2013 se encontram no anexo J.

#### 4.3.1 Coleta de Dados para Cálculo de Área de Seção

Para o cálculo de vazão do rio, como foi descrito acima, foi necessário a tomada da área de seção dos quatro pontos estudados. Foi necessário o uso de 01 régua linimétrica e de 01 fita métrica (propriedade do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG), de qualidade comprovada. A seção total do rio foi subdividida em pequenos espaços, com cálculo de pequenas áreas de seção para chegar a uma maior precisão, método conhecido por batimetria.



**FIGURA 22** - Batimetria da Seção do Rio Próximo a Nascente

**Fonte:** O autor.

#### 4.3.2 Mensuração da Velocidade

Foram mensurados os dados de velocidade dos quatro trechos desse estudo, com auxílio de 01 molinete hidráulico digital, da marca Global Water, modelo FP111 Flow Probe (propriedade do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG), de qualidade comprovada. Dependendo da profundidade do rio, foi mergulhado o molinete sempre no sentido que indicava a seta para o fluxo do rio, à medida que a o fluido passava pelo bocal e girava a hélice, o sensor digital acusava a velocidade, que era anotada. Assim, foram realizadas até 5 medições, conforme a variação do fluxo de trechos do rio. A profundidade de inserção do aparelho no rio era influenciada pela profundidade do mesmo. Em algumas situações, foram tomadas até duas medidas num mesmo ponto, para conferir o fluxo do mesmo, como foi o caso da coleta na região próximo à foz, que tem uma maior profundidade.



**FIGURA 23** - Molinete Hidráulico Digital Usado no Projeto

Os valores determinados por meio da calibração foram satisfatórios, garantindo uma boa calibração e uma boa aplicação, já que os valores condizem com a característica desse curso d'água, que tem a velocidade de um rio mediano, considerando, que para o mês de julho de 2013, uma velocidade média entre os quatro trechos mensurado do rio de 0,3125 m/s vide (TAB. 15, 16, 17 e 18), com declividade da cabeceira a foz de 3,05 m/km como descrito no cálculo abaixo:

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro momento de discussão e apresentação dos resultados, serão analisados os dados de depuração real, sem que haja necessidade de uso de modelos que simulem o comportamento do rio, já que as coletas de materiais e dados das características hidráulicas do corpo foram realizadas nas quatro zonas cruciais de análise de depuração: zonas de águas limpas, de degradação, de decomposição e de recuperação.

No segundo momento, serão simulados processos anaeróbios, a partir do trecho à montante da ETE, pois o modelo que simula processos aeróbios tornou-se inválido, já que, em todas tentativas, ocorreram trechos anaeróbios. Será utilizada a planilha eletrônica desenvolvida por (VON SPERLING, 2007). Serão simulados todos os meses de coleta, a fim de comparar os resultados dos mesmos.

Os dados das (TAB. 10, 11, 12 e 13) dimensionados e/ou coletados estão nos anexos A,B,C e M.

**TABELA 10**

Dados de trecho próximo a nascente, referente aos ANEXOS A,B,C e M

<b>Trecho próximo a nascente</b>	<b>JULHO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SETEMBRO</b>	<b>OUTUBRO</b>	<b>NOVEMBRO</b>
OD <sub>1</sub> do rio (mg/L)	7,610	7,000	6,940	6,800	7,080
DBO <sub>1</sub> do rio (mg/L)	0,100	0,200	0,640	0,514	1,140
Temperatura do Rio <sub>1</sub> (°C)	23,0	23,0	23,0	23,0	24,0
Temperatura do ambiente <sub>1</sub> (°C)	27,0	29,5	29,0	30,0	25,0
Vazão <sub>1</sub> do rio (m <sup>3</sup> /s)	0,25050	0,24417	0,21530	0,26830	0,301875

Velocidade média do rio $\bar{v}$ (m/s)	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Vazão média do esgoto bruto $Q_{eb}$ (m <sup>3</sup> /s)*	0,355	0,340	0,384	0,360	0,330
Vazão pontual do efluente tratado $Q_{et}$ (m <sup>3</sup> /s)**	0,754	0,728	0,780	0,780	0,754
OD do esgoto bruto (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OD do efluente tratado (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
DBO do esgoto bruto (mg/L)	419,0	300,0	372,0	311,0	302,0
DBO do efluente tratado (mg/L)	97,0	78,2	97,2	63,9	44,0

TABELA 11

Dados de trecho à montante da ETE, referente aos anexos A,B,C e M

Trecho a montante da ETE	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
OD <sub>1</sub> (mg/L)	0	2,74	2,41	6,33	5,55
DBO <sub>1</sub> (mg/L)	81,7	27	60,4	32,2	19,6
Temperatura do Rio <sub>1</sub> (°C)	27	25	32	33	34
Temperatura do amb. <sub>1</sub> (°C)	30	28	35	36	35
Vazão <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0,7024	0,41652	0,4523	0,61138	0,27885
Velocidade média $\bar{v}$ (m/s)	0,15	0,26	0,26	0,28	0,275

Altura média da seção $\bar{H}$ (m)	0,44	0,23	0,29	0,31	0,21
Coefficiente de desoxigenação $K_1$ ( $d^{-1}$ )	0,4827	0,4403	0,6073	0,6359	0,6658
Coefficiente de Oxigenação $K_2$ ( $d^{-1}$ )	4,02	3,87	6,04	3,77	2,78
Coefficiente de Remoção Efetiva de DBO $K_d$ ( $d^{-1}$ )	0,8275	0,75	1,041	1,090	1,1413
Vazão média do esgoto bruto $Q_{eb}$ ( $m^3/s$ )*	0,355	0,340	0,384	0,360	0,330
Vazão pontual do efluente tratado $Q_{et}$ ( $m^3/s$ **)	0,754	0,728	0,780	0,780	0,754
OD do esgoto bruto (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OD do efluente tratado (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
DBO do esgoto bruto (mg/L)	419,0	300,0	372,0	311,0	302,0
DBO do efluente tratado (mg/L)	97,0	78,2	97,2	63,9	44,0

TABELA 12

Dados de trecho à jusante da ETE, referente aos anexos A,B,C e M

Trecho a jusante da ETE	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
OD <sub>1</sub> (mg/L)	0	0	0	0	1,97
DBO <sub>1</sub> (mg/L)	73,8	53,2	87,2	57,6	61
Temperatura do Rio <sub>1</sub> (°C)	28	25	29	30	24
Temperatura do amb. <sub>1</sub> (°C)	32	26	35	34	31
Vazão <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)	2,54730	2,08630	1,86170	2,80480	2,13990
Velocidade média $\bar{v}$ (m/s)	0,7	0,5857	0,51428	0,6667	0,7
Vazão média do esgoto bruto Q <sub>eb</sub> (m <sup>3</sup> /s)*	0,355	0,340	0,384	0,360	0,330
Vazão pontual do efluente tratado Q <sub>et</sub> (m <sup>3</sup> /s)**	0,754	0,728	0,780	0,780	0,754
OD do esgoto bruto (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OD do efluente tratado (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
DBO do esgoto bruto (mg/L)	419,0	300,0	372,0	311,0	302,0
DBO do efluente tratado (mg/L)	97,0	78,2	97,2	63,9	44,0

TABELA 13

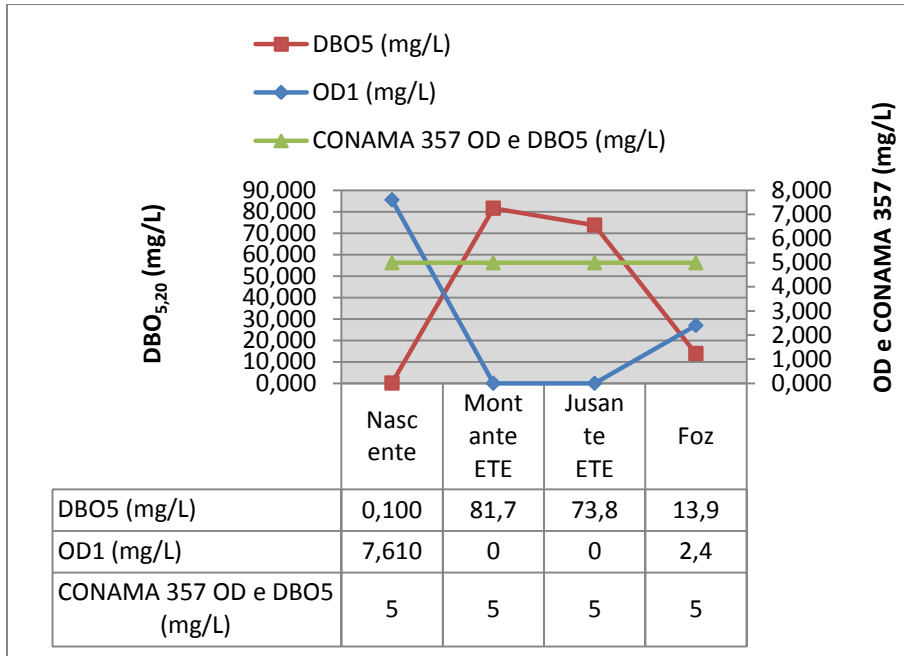
Dados de Trecho Próximo à Foz do Rio Vieira, Referente aos anexos A,B,C e M

Trecho próximo a foz	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
OD <sub>1</sub> (mg/L)	2,4	2	2,09	1,74	1,44
DBO <sub>1</sub> (mg/L)	13,9	21,2	20	15,7	15,9
Temperatura do Rio <sub>1</sub> (°C)	22	22	25	25	27
Temperatura do amb. <sub>1</sub> (°C)	30	32	32	31	32
Vazão <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)	0,7125	0,8502	0,828	0,95475	0,945
Velocidade média $\bar{v}$ (m/s)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Vazão média do esgoto bruto Q <sub>eb</sub> (m <sup>3</sup> /s)*	0,355	0,340	0,384	0,360	0,330
Vazão pontual do efluente tratado Q <sub>et</sub> (m <sup>3</sup> /s)**	0,754	0,728	0,780	0,780	0,754
OD do esgoto bruto (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OD do efluente tratado (mg/L)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
DBO do esgoto bruto (mg/L)	419,0	300,0	372,0	311,0	302,0
DBO do efluente tratado (mg/L)	97,0	78,2	97,2	63,9	44,0

\*Fonte: Vazão média mensal de relatórios da ETE-  
VIEIRAS da COPASA –MG

\*\*Fonte: Medição da vazão no anexo C deste estudo

## 5.1 Análise da Depuração Real do Rio Vieira



**GRÁFICO 1** - OD e DBO<sub>5</sub> real mês julho de 2013

A análise da real situação do rio Vieira foi realizada num momento de vazão crítica, no ápice do período de estiagem, como citado na tabela 9 do mês de julho/2013. Como é habitual para esse período do ano, não houve precipitação na região de Montes Claros.

Na análise da sanitariedade do rio à extrema montante, os níveis de OD a 7,61 mg/L e DBO a 0,100 mg/L, é possível concluir que esse manancial se encontra em um padrão elevado de qualidade, visto que, na condição de saturação de oxigênio dissolvido, é esperada uma concentração de 9,2 mg/L a nível do mar a 20°C. Considerando a tabela de OD esperado para uma região, que está a 708 metros acima do nível do mar a 23°C, seria esperada uma taxa de 8,03 mg/L, obtidos por meio da interpolação dos dados da Tabela 5. Logo, com 7,61 mg/L de OD, o rio Vieira está numa boa condição de preservação de suas qualidades aquáticas, sendo abrigo ideal para a vida aquática superior, biodiversidade elevada com muitas espécies e poucos

indivíduos por espécie, identificando um ecossistema natural, sem interferência antrópica. A partir do momento que o rio recebe carga orgânica da cidade de Montes Claros, as condições de sanidade do rio mudam drasticamente, já que o mesmo não tem capacidade e nem características hidráulicas que possam servir de depuração da alta taxa de elementos inseridos no rio, que necessitarão de uma boa adaptabilidade do corpo a essa nova realidade.

A concentração crítica de DBO e, conseqüentemente, de OD encontra na região à montante e à jusante da ETE, com 0,0 mg/L de OD para esses dois trechos e 81,7 e 73,8 mg/L de DBO, respectivamente. Logo, nessas zonas, também estão os tempos críticos. Com base nesses dados, as medidas de gestão da bacia incluiriam o estabelecimento de uma unidade de tratamento de esgotos, caso não houvesse. Como já existe o tratamento, a majoração da eficiência é necessária, para que haja melhoria nas condições do corpo d'água. Não somente essa medida deva ser tomada para a recuperação do rio e atendimento às normas ambientais. Como o rio chega ao trecho de degradação numa condição já precária, esperar-se-ia uma diminuição inicial na concentração de OD após o lançamento e consumo elevado após readaptação das bactérias. Porém, nessa posição do rio, o OD chega a níveis irrisórios, consumido pela alta taxa de matéria orgânica recebida in natura da cidade de Montes Claros, oriunda da poluição difusa dos lançamentos clandestinos de esgotos domésticos, industriais e de coletores de esgoto que ainda não foram interceptados pela companhia de saneamento. Esse local deveria estar numa condição sanitária melhor, com níveis elevados de OD (5 mg/L, conforme norma ambiental) e baixa concentração de matéria orgânica. Se na zona de degradação as reações se processassem aerobicamente, as taxas de depuração seriam elevadas. A velocidade de reações de primeira ordem é diretamente proporcional à concentração dos reagentes (DBO). Logo, os resultados esperados na assimilação do rio seriam melhores.

A tipificação do esgoto elucida a condição precária do corpo hídrico na montante da ETE. O esgoto apresenta cor escura e odor de ovo podre, em virtude do gás sulfídrico, situação típica de esgoto velho, ou seja, esgoto e

poluição difusa, recebida ao longo das microbacias que são tributárias do rio Vieira, no trecho urbano dessa bacia. Exemplo são os coletores que ainda não sofreram interceptação. Já à jusante da ETE, o mesmo apresenta uma tonalidade acinzentada e odor de mofo, razoavelmente suportável, típico de esgoto fresco, devido à inserção no sistema rio Vieira de efluente tratado da ETE. Esgotos velhos são mais ácidos, devido às substâncias a serem degradadas pelas bactérias, como carboidratos, que formam ácidos orgânicos, dificultando ainda mais a presença de biota aquática normal em regiões sem interferência antrópica negativa (FUNASA, 2006).

Em contrapartida a todo processo esperado, o trecho em anaerobiose é a realidade. O rio passa a ter um comportamento de um reator, operando numa taxa de reação de ordem zero, com disponibilidade de oxigênio dissolvido inferior à demanda exercida pela matéria orgânica. Todo o oxigênio que entra na água é consumido na mesma velocidade de sua inserção, com conversão da matéria orgânica praticamente desprezível, processando em taxas bastante lentas (VON SPERLING, 2007).

A concentração de OD no ponto de mistura - montante da ETE - está abaixo do valor permitido pela legislação. Esse teor diminuto de oxigênio compromete ainda mais o processo de depuração, com o agravante de entrada no sistema de outra quantidade de carga orgânica. Para essa condição fica explícita, há necessidade de aumentar a eficiência do processo de tratamento de esgotos. Nessa situação crítica, a aeração do efluente tratado pode incrementar na ordem de 1 a 3 mg/L de OD no sistemas de escadas de aeração. Porém não seria recomendado devido ao processo de tratamento ser anaeróbio e no ato da aeração ocorrer o desprendimento de gás sulfídrico. Alternativas existem, como sistemas que coletam e tratam esse gás.

Os altos valores de  $K_2$  - coeficiente de reaeração – obtidos por meio das características hidráulicas de velocidade e altura do rio são também justificados devido a uma declividade acentuada, pois o rio sai da condição de proximidade da nascente a 708 metros e deságua no rio Verde Grande, com altitude próxima a 551 metros, ou seja, 3,05 m/Km. Apesar de não haver quedas d'água, cachoeiras e outras formas naturais de oxigenação da água

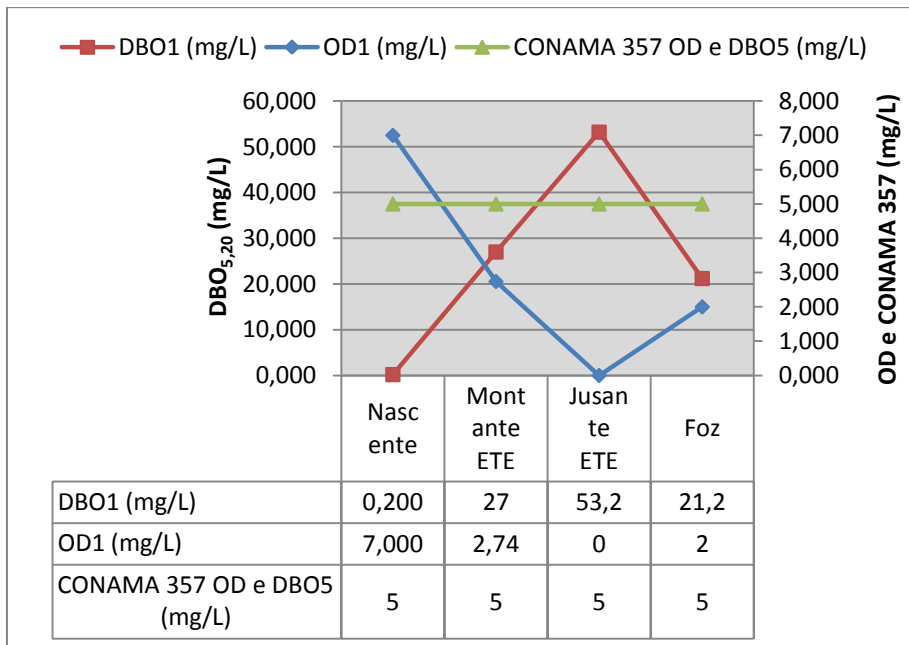
no trecho urbano percorrido pelo rio, ainda assim essa declividade, profundidade e velocidade lhe conferem razoável poder de reoxigenação. Entretanto, mesmo com esse poder de regeneração do rio, como mostram os dados, o mesmo não consegue depurar esse despejo de matéria orgânica, sedimentos, surfactantes, óleos e graxas.

Este estudo evidencia que a zona de degradação esperada próxima a ETE não acontece. Logo, essa condição é refletida no tempo e distância que o rio tem para depurar essa matéria orgânica, não só dos efluentes tratados da ETE, mas também da carga orgânica difusa recebida no trecho urbano do rio. As distâncias e o tempo de depuração são majorados substancialmente, já que, nos processos anaeróbios, as taxas de decomposição são efetivamente inferiores aos processos aeróbios, situação esperada na zona de degradação. O rio se comporta por um longo espaço como zona de decomposição ativa, com qualidade deteriorada, deposição de lodo no fundo, em função da floculação, da adsorção e da precipitação da matéria orgânica estabilizada. Logo existe a demanda bentônica por oxigênio dissolvido, que já está nesse ponto totalmente comprometido. A coloração escura dificulta ainda a penetração de luz, logo algas fotossintetizadoras deixam de fazer parte desse ambiente, com conseqüente menor reaeração, prolongando o trecho anaeróbio. Elevada população de protozoários, larvas de insetos e vermes (seres bentônicos) são típicos também da zona de decomposição ativa.

No trecho próximo à foz, onde se esperaria que o mesmo se comportasse como uma zona de águas limpas, não acontece. Esse setor do rio ainda tem características de zona de decomposição ativa com melhora pouco significativa nos teores de matéria orgânica e oxigênio dissolvido próximo de 2,0 mg/L vide (TAB. 10, 11, 12 e 13). O rio é considerado ainda morto, pois o ecossistema perturbado possui quantidade reduzida de espécies habitáveis e elevado número de indivíduos por espécie. Essa parte do rio se encontra num trecho de leve melhora, com redução de turbidez. Adiante se espera que o mesmo prossiga para um comportamento de recuperação de suas qualidades químicas (elementos oxidados e

mineralizados), físicas (cor e turbidez reduzidas) e biológicas (biodiversidade elevada e ecossistema no estado clímax novamente).

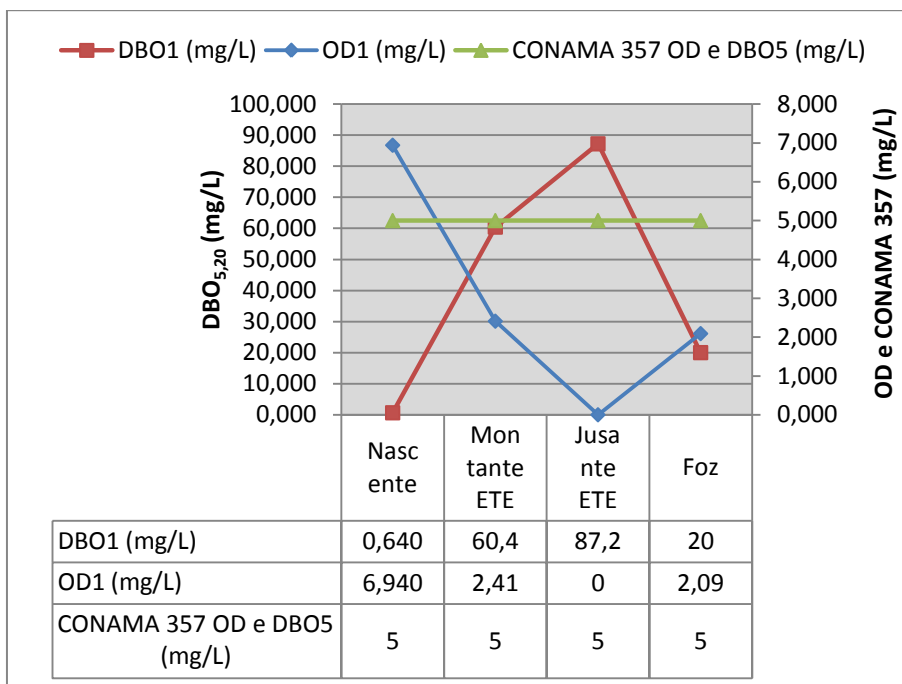
A maior parcela da poluição difusa vem de contribuição do trecho urbano, porém a resposta do rio a esse tipo de poluição demonstra que trechos após o lançamento da ETE continuam recebendo essas contribuições. Possíveis contribuições dos tributários, como do rio do Cedro conforme (FIG. 24), que recebe de algumas indústrias os seus efluentes tratados ou não. Assim como o lançamento clandestino de esgotos de propriedades rurais e esgotos dos bairros que esse rio margeia. Exemplo demonstrado abaixo da situação de proximidade do bairro Cidade Industrial, periferia de Montes Claros-MG, que pode ainda não ter sido interceptado. Os seus esgotos domésticos, podem estar sendo lançados diretamente no rio do Cedro e, conseqüentemente no rio Vieira. Essa situação pode explicar o comportamento do rio na região em que se esperaria o retorno de padrões melhores de qualidade.



**GRÁFICO 2** - OD e DBO<sub>5</sub> real mês agosto de 2013

Fazendo inferência à análise dos resultados do mês de julho de 2013, o comportamento do rio pouco mudou, ressaltando que nesse mês, também não ocorreu precipitação. O rio à montante da ETE pouco anterior ao ponto de mistura apresentara uma condição de melhor nos níveis de OD, que saiu da situação de anaerobiose e chegou ao patamar de 2,74 mg/L de OD e DBO, que, em Julho encontrava-se em 81,7 e apresentava em agosto com 27 mg/L e recebendo uma menor carga de matéria orgânica da ETE. Em julho, estava em 97 e agosto, em 78,2 mg/L. Porém, mesmo nessa nova realidade, o rio não foi eficiente na depuração da carga orgânica, não sendo capaz de atingir os padrões mínimos exigidos na lei, em nenhum desses pontos de análise do rio, que em nenhum momento atinge essa meta, salvo condição próximo à nascente.

Numa condição de deságue na foz, era de se esperar uma melhora significativa das condições desse corpo d'água, contudo com 2 mg/L de OD e com concentração de DBO elevada, o rio continua abaixo dos valores mínimos permissíveis da lei. Segundo (JORDÃO, 2005), essa condição é de rio pobre com somente 50% do oxigênio de saturação, que, para essa condição, seria de 7,0 mg/L (condição da nascente) e valor de  $DBO_{5,20}$  de 7,5 mg/L, sendo, na análise possível, somente sobrevivência de peixes mais resistentes. Como a real situação se encontra abaixo ainda desses patamares, é possível prever a inexistência de certas espécies de peixes comum desse rio.



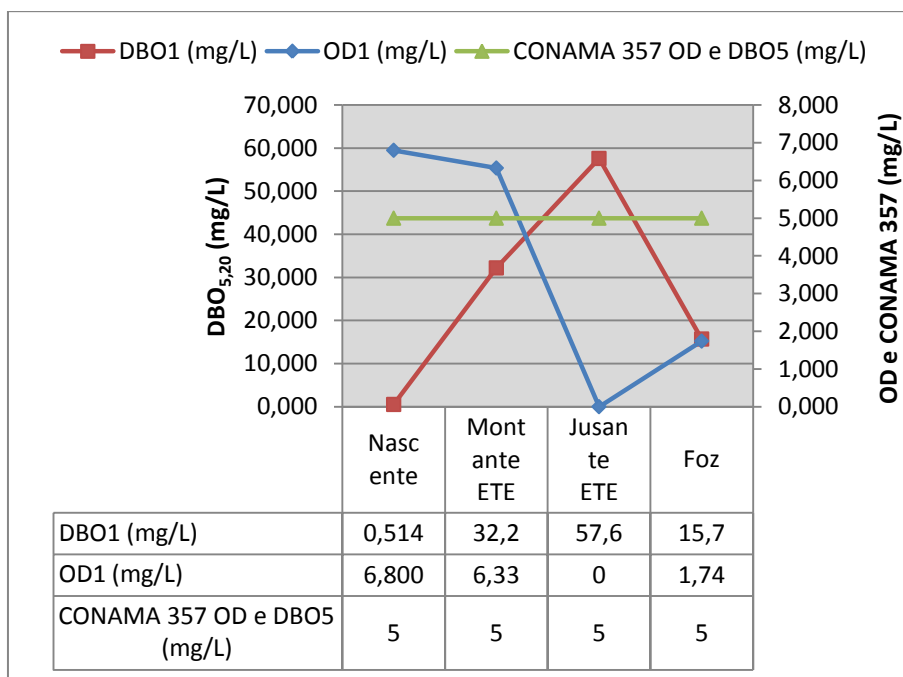
**GRÁFICO 3** - OD e DBO<sub>5</sub> real mês setembro de 2013

Por meio desse gráfico, comparando-se com os meses antecedentes, nota-se uma continuidade das condições dos trechos analisados, apesar de observada uma pequena precipitação ocorrida nesse mês, de 37,80 mm. O rio a montante da ETE pouco anterior ao ponto de mistura apresentara uma condição até mesmo inferior nos níveis de OD, que saiu de 2,74 mg/L e chegou ao patamar de 2,41 mg/L de OD e DBO, que, em agosto se encontrava em 27 e apresentava para setembro, 60,40 mg/L e recebendo agora uma maior carga de matéria orgânica da ETE, que, em agosto estava em 78,20 e, em setembro 97,20 mg/L.

Mesmo com leve melhora em termos de OD, a vazão nos trechos críticos (montante e jusante da ETE) foi inferior ao mês de julho. Vazão menor implica em velocidade menor, logo em oxigenação insuficiente. O coeficiente de oxigenação inferior ao mês de agosto e DBO do efluente

tratado elevado (97,2 mg/L) evidenciam a ineficiência na depuração da carga orgânica.

No trecho próximo à foz, as condições se mantiveram praticamente estáveis, sem mudança no quadro geral do rio. Com 2,09 mg/L de OD e com concentração de DBO elevada, o rio continua abaixo dos valores mínimos permissíveis da lei. Segundo (JORDÃO, 2005), essa condição é de rio pobre, com somente 50% do oxigênio de saturação, que, para essa condição, seria de 7,0 mg/L (condição da nascente) e valor de  $DBO_{5,20}$  de 7,5 mg/L. Sendo nessa condição de rio somente possível a sobrevivência de peixes mais resistentes. Como a real situação se encontra abaixo ainda desses patamares, é possível prever a inexistência de certas espécies de peixes comuns desse rio.



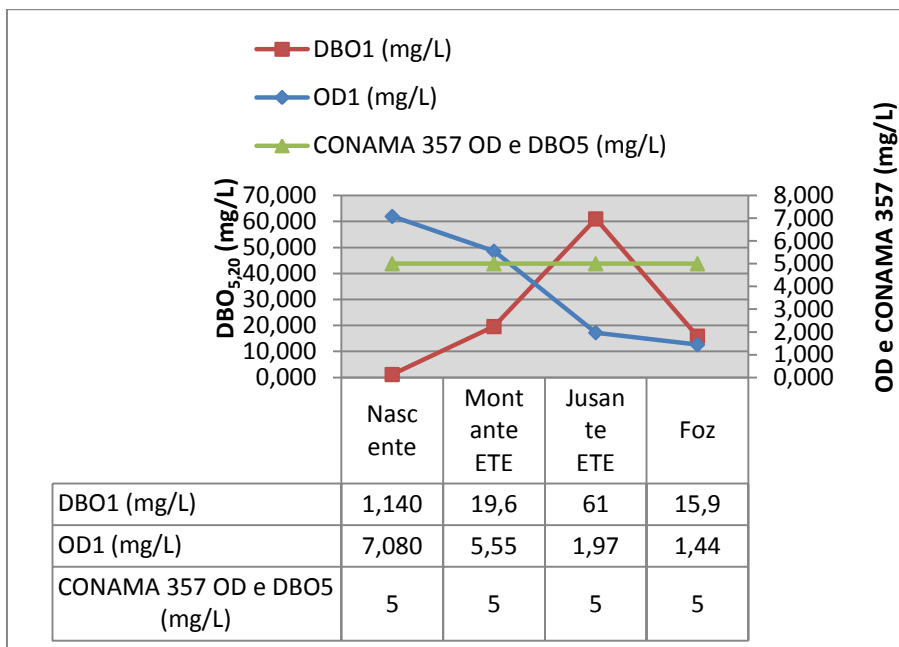
**GRÁFICO 4** - OD e DBO<sub>5</sub> real mês outubro de 2013

Analisando os resultados desse gráfico em um comparativo com os meses antecedentes, foi possível concluir uma melhora das condições dos trechos à montante da ETE, observada uma precipitação ocorrida nesse mês

de 72,50 mm, pouco superior ao mês de setembro, mas que, aliado a outras possíveis condicionantes, elevou o OD a um nível de cumprimento da (COPAM, 2008) e (CONAMA, 2005), representando, neste estudo, o primeiro momento de conformidade com essas normas. O rio à montante da ETE pouco anterior ao ponto de mistura apresentara uma condição de visível melhora, comprovada com os resultados laboratoriais do material de coleta desse ponto. Saindo de uma condição precária de 2,41 mg/L de OD (setembro de 2013), para 6,33 mg/L e DBO, que, em setembro encontrava-se em 60,40 e, em outubro, chega nesse trecho com 32,20 mg/L, ou seja, mais diluído. Resposta esperada, já que com menor exigência de oxigênio, os níveis de OD elevariam e recebendo agora uma menor carga de matéria orgânica da ETE, que, em setembro, estava em 97,20 mg/L e agora, em outubro, 63,90 mg/L.

Entretanto, essa significativa melhora nos padrões que se apresentara o rio anterior ao ponto de mistura com o efluente tratado, continua ineficiente na depuração da carga orgânica, não sendo capaz de atingir os padrões mínimos exigidos na lei nos trechos à jusante da ETE (ponto de mistura) e próximo à foz. Essa elevação nos índices de OD pode ser explicada devido a essa precipitação ocorrida no mês. A velocidade maior, logo a vazão também superior aos outros meses, justifica esse quadro na montante da ETE.

No trecho próximo à foz, houve uma leve piora no quadro de condições sanitárias desse corpo d'água, com 1,74 mg/L de OD e com concentração de DBO elevada. Esse comportamento pode ser explicado devido à redução na taxa de oxigenação ( $k_2$ ), que foi inferior aos outros meses anteriores analisados. O rio continua abaixo dos valores mínimos permissíveis da lei. Segundo (JORDÃO, 2005), essa condição é de rio pobre, com somente 50% do oxigênio de saturação, que, para essa condição, seria de 7,0 mg/L (condição da nascente) e valor de  $DBO_{5,20}$  de 7,5 mg/L, sendo, na análise, possível somente a sobrevivência de peixes mais resistentes. Como a real situação se encontra abaixo ainda desses patamares, é possível prever a inexistência de certas espécies de peixes comuns desse rio.



**GRÁFICO 5** - OD e DBO<sub>5</sub> real mês novembro de 2013

Esse comparativo com o mês de outubro permite concluir, com ajuda da curva de depleção do OD e comportamento da matéria orgânica ao longo do rio, uma situação bem próxima do que ocorreu anteriormente em outubro de 2013, mantendo uma melhora das condições do trecho à montante da ETE, diante da ocorrência de uma precipitação ocorrida nesse mês, de 196 mm, superior ao mês de outubro, elevando o OD a um nível de cumprimento da (COPAM, 2008) e (CONAMA, 2005), representando, nesse estudo, o segundo momento de conformidade com essas normas. O rio à montante da ETE pouco anterior ao ponto de mistura apresentara também uma condição pouco inferior, saindo de uma condição precária de 6,33 mg/L de OD (outubro de 2013), para 5,55 mg/L e DBO, que, em outubro, se encontrava em 32,40 e atingira em novembro 19,60 mg/L, ou seja, mais diluído, esperado, já que, com menor exigência de oxigênio, os níveis de OD elevariam e recebendo agora uma menor carga de matéria orgânica da ETE, que, em outubro, estava em 63,90 mg/L e, em novembro com 44,0 mg/L.

Essa melhora robusta nos padrões que se apresentara o rio anterior ao ponto de mistura do mesmo com o efluente tratado continuara insuficiente para a depuração da carga orgânica, não sendo capaz de atingir os padrões mínimos exigidos na lei nos trechos à jusante da ETE (ponto de mistura) e próximo à foz, salientando uma melhora distinta no ponto de mistura (à jusante da ETE), que, nos três meses antecedentes, atingiu os níveis de anaerobiose e, nesse momento, elevou-se a 1,97 mg/L de concentração de OD.

Mesmo com a precipitação ocorrida nesse mês, o cenário do trecho próximo à foz se manteve praticamente estável em relação ao mês anterior (outubro). As condições sanitárias desse corpo d'água, com 1,44 mg/L de OD e com concentração de DBO elevada evidenciam essa estabilidade no processo de depuração, que pouco mudou nos meses analisados. Baixas precipitações não interferem significativamente no processo de autodepuração dos corpos d'água, segundo demonstra a resposta do rio ao baixo volume inserido no sistema devido a essas precipitações. O rio continua abaixo dos valores mínimos permissíveis da lei, condição essa classificada como pobre, com 50% do oxigênio de saturação, que, para essa condição, seria de 7,0 mg/L (condição da nascente) e valor de  $DBO_{5,20}$  de 7,5 mg/L, sendo, na análise, possível somente a sobrevivência de peixes mais resistentes. Como a real situação se encontra abaixo ainda desses patamares, é possível prever a inexistência de certas espécies de peixes comuns desse rio.

Em todas as situações analisadas, o rio Vieira, classificado ainda como Classe 2, comporta-se como um rio de Classe 4, apresentado aqui na (TAB. 8). Esse corpo d'água chega próximo à foz, ou seja, na sua extensão máxima, com níveis de OD que variam de 1,44 a 2,09 mg/L, situação em que o rio deveria estar atingindo seu novo equilíbrio com concentração mínima de 5 mg/L. Na Classe 4, o corpo d'água apresenta OD de até 2 mg/L e sem classificação para  $DBO_{5,20}$ , que, se analisada, deveria ser maior do que 10 mg/L (Classe 3). Nesse caso, o rio Vieira atende a todas as condicionantes quanto ao OD e à  $DBO_{5,20}$ , se apresentando como Classe 4, ou seja, de uso menos exigente, sendo possível somente a sua utilização para a navegação

e a harmonização paisagística, que também não seria o caso, já que é um rio fétido e negro, e, devido às baixas vazões, impróprio para a navegação. Em análise das características físicas, pode-se tirar diversas explicações sobre a qualidade dos corpos d'água conforme indica trecho abaixo:

Os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados no processo de decomposição, assim o odor de mofo, típico do esgoto fresco é razoavelmente suportável e o odor de ovo podre, insuportável, é típico do esgoto velho ou séptico, em virtude da presença de gás sulfídrico, a cor e a turbidez indicam de imediato o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica do esgoto fresco e a cor preta é típica do esgoto velho (FUNASA, 2006).

Já o rio classificado como Classe 2, apresenta diversas situações em que o seu uso é proibitivo na atual condição do rio Vieira, como uso de suas águas para abastecimento humano, após tratamento convencional, recreação de contato primário, como natação, irrigação de hortaliças, dentre outros.



**FIGURA 24** - Parte do rio do Cedro em destaque de amarelo e Identificação da Foz do rio e bairro Cidade Industrial (periferia de Montes Claros). Foz do Rio do Cedro a Jusante da ETE

**Fonte:** Imagem do Google Earth.

## 5.2 Análises de Dados Modelados

Cerca de 42 km do percurso do Rio Vieira encontra-se sob influência da poluição de Montes Claros-MG. Essa elevada carga orgânica recebida por esse curso d'água compromete o processo de depuração natural. Nessa situação o rio chega à montante da ETE em condições precárias de receber novamente outra contribuição significativa de matéria orgânica, de óleos, de graxas, de surfactantes, dentre outros componentes. Logo, diante dessa situação, a modelagem padrão de Streeter-Phelps não se aplica a esse trabalho. O modelo é baseado na conversão da matéria orgânica em condições aeróbias, com disponibilidade de OD, igualando ou excedendo o seu consumo. Como a disponibilidade de oxigênio dissolvido é inferior à demanda exercida pela matéria orgânica, todo o oxigênio que entra na água é consumido na mesma velocidade de sua inserção. Segundo (VON SPERLING, 2007), a conversão da matéria orgânica é considerada desprezível em processos puramente anaeróbios, já que se processam em taxas bastante lentas, e quando significativos, a demanda bentônica pode ser levada em consideração.

Nesse ponto do estudo serão apresentadas algumas simulações de situações do rio, sem o devido tratamento e com as eficiências de tratamentos reais da (COPASA, 2013), por meio do Modelo de Streeter-Phelps. Para situações de aerobiose, os modelos testados apresentaram trechos anaeróbios. Logo, esse modelo deixa de ter validade, sendo usado o modelo em anaerobiose. Foram utilizadas as planilhas eletrônicas de desenvolvimento de Marcos Von Sperling, pesquisador da UFMG, já descrito no item 4.6. Serão simulados pela modelagem clássica de Streeter-Phelps (anaerobiose) os meses de julho a novembro de 2013.

As planilhas eletrônicas são práticas, sendo operadas de forma totalmente conversacional. Por meio delas, o rio em estudo é dividido em trechos, a critério do usuário, sendo possível a realização de simulações, com rapidez e eficiência, gerando dados de interesse para proteção e o

aproveitamento racional do curso d'água. Os dados são apresentados por meio de gráficos, de quadros e de relatórios, de modo a facilitar a sua interpretação e utilização. Além disso, o programa trabalha com relações de primeira ordem (aeróbios) e ordem zero (anaeróbios) da DBO e com o modelo proposto por (STREETER; PHELPS, 1925), a fim de simular impactos da poluição sobre os cursos d'água.

### 5.2.1 Modelagem para Sistemas em Decomposição Aeróbia sem Tratamento – setembro 2013

Abaixo, seguem os dados de entrada, referentes às (TAB. 10, 11, 12 e 13), no Modelo de Streeter-Phelps, automatizado no Microsoft Excel, por Marcos Von Sperling.

**TABELA 14**

Dados de Entrada Modelo sem Aerobiose em Tratamento Streeter-Phelps setembro/2013

#### MODELO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO STREETER-PHELPS

#### DADOS DE ENTRADA

	Símbolo	Valor
<b>Variáveis</b>		
Vazao do rio (m <sup>3</sup> /s)	Qr	0,452
Vazao do esgoto (m <sup>3</sup> /s)	Qe	0,384
DBO5 do rio (mg/l)	DBOr	60
DBO5 do esgoto bruto (mg/l)	DBOe	372
OD do rio (mg/l)	ODr	2,4
OD do esgoto (mg/l)	ODE	0,0

**Coefficientes (na temperatura do líquido)**

Coef. desoxigenação (1/d)	K1	0,61
Coef. decomposição (1/d)	Kd	0,20
Coef. reaeração (1/d)	K2	5,23

### Dados adicionais

OD saturação (mg/l)	ODsat	6,9
Distância do trecho (km)	d	170
Velocidade (m/s)	v	0,26
Efic. remoção DBO na ETE (%)	Edbo	0

### DADOS DE SAÍDA

Símbolo Valor

#### Dados do esgoto tratado

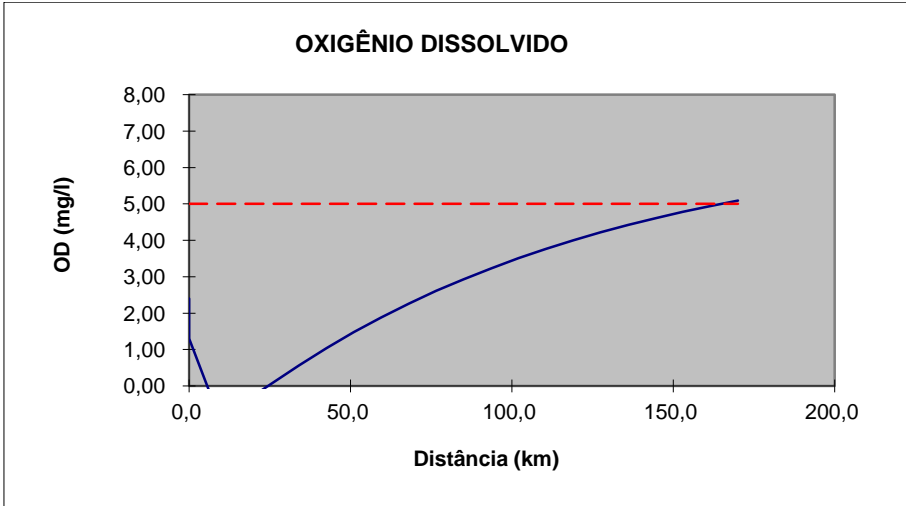
DBO5 do esgoto tratado (mg/l) DBOet 372

#### Dados da mistura

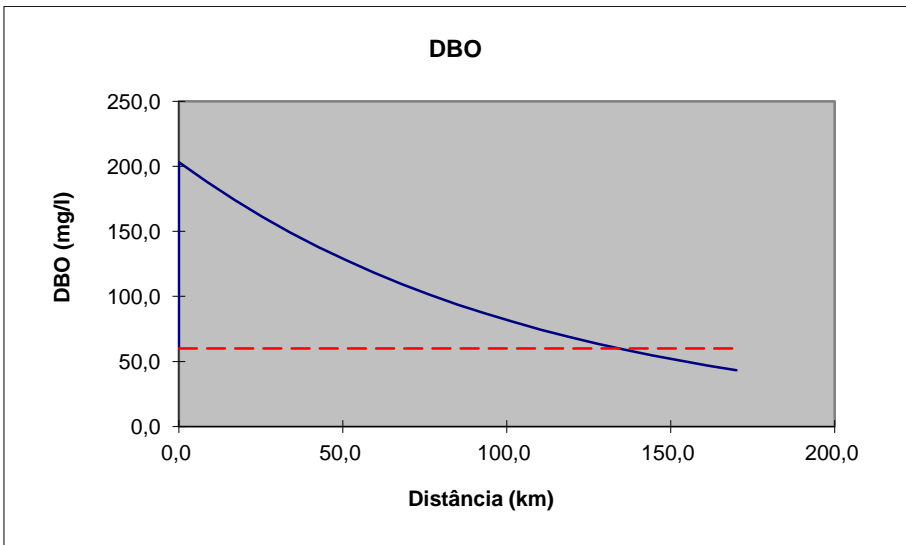
OD da mistura (mg/l) ODo 1,30  
 DBO5 da mistura (mg/l) DBOo 203,3  
 Coef.DBO ultima KT 1,05  
 DBO última da mistura (mg/l) Lo 213,6

#### Dados do trecho

Tempo de percurso (d) t 7,57  
 OD no final do trecho (mg/l) ODt 5,09  
 DBO5 no final do trecho (mg/l) DBOt 43,3  
 OD mínimo no trecho (mg/l) ODmín -0,68



**GRÁFICO 6** - Modelo em Aerobiose sem Tratamento Streeter-Phelps setembro/2013, para Perfil de OD



**GRÁFICO 7** - Modelo em Aerobiose sem Tratamento Streeter-Phelps setembro/2013, para Perfil de DBO

Foi escolhido o mês de setembro/2013 para a análise em uma situação possível de oxidação biodegradável da matéria orgânica, ou seja, decomposição aeróbia. Como mostra o GRÁF. 7, entre o km 8,5 e 17, o OD é negativo (Vide anexo G), invalidando essa metodologia. Esse fato explica o uso do modelo que considera processos anaeróbios. Já o modelo aeróbio simulado para uma condição idêntica ao que acontece no processo real com tratamento de efluentes, simulando a eficiência real da ETE, não condiz com o comportamento real. Isso demonstra que a modelagem para processos aeróbios, levando em consideração todas as situações idênticas às estudadas na análise da autodepuração real, não se mostram fieis à realidade do rio Vieira.

## 5.2.2 Modelagem para Sistemas em Aerobiose com Tratamento – setembro de 2013

Abaixo, seguem os dados de entrada, referentes às (TAB. 10, 11, 12 e 13) no Modelo de Streeter-Phelps automatizado no Microsoft Excel, por Marcos Von Sperling.

**TABELA 15**

Dados de entrada Modelo sem aerobiose, com tratamento Streeter-Phelps setembro/2013

### **MODELO DE OXIGENIO DISSOLVIDO STREETER-PHELPS**

<b>DADOS DE ENTRADA</b>	Símbolo	Valor
<b>Variáveis</b>		
Vazao do rio (m3/s)	Qr	0,452
Vazao do esgoto (m3/s)	Qe	0,384
DBO5 do rio (mg/l)	DBOr	60
DBO5 do esgoto bruto (mg/l)	DBOe	372

OD do rio (mg/l)	ODr	2,4
OD do esgoto (mg/l)	ODe	0,0

**Coefficientes (na temperatura do líquido)**

Coef. desoxigenação (1/d)	K1	0,61
Coef. decomposição (1/d)	Kd	0,20
Coef. reaeração (1/d)	K2	5,23

**Dados adicionais**

OD saturação (mg/l)	ODsat	6,9
Distância do trecho (km)	d	65
Velocidade (m/s)	v	0,26

Efic. remoção DBO na ETE (%)	Edbo	74
------------------------------	------	----

**DADOS DE SAIDA**                      Símbolo                      Valor

**Dados do esgoto tratado**

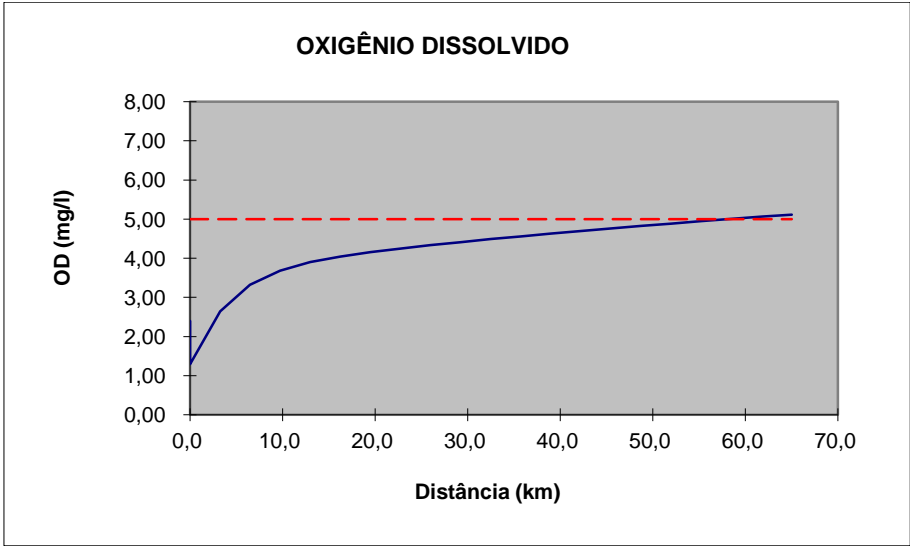
DBO5 do esgoto tratado (mg/l)	DBOet	97
-------------------------------	-------	----

**Dados da mistura**

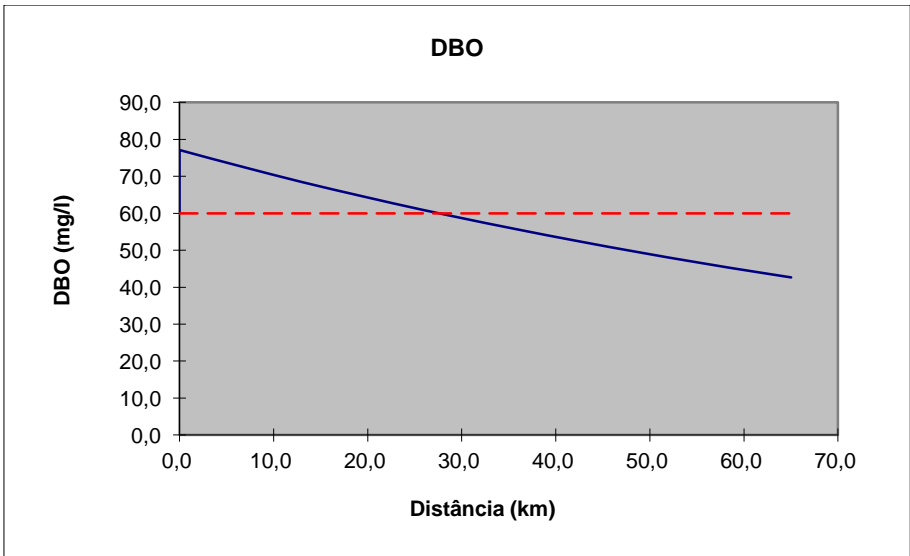
OD da mistura (mg/l)	ODo	1,30
DBO5 da mistura (mg/l)	DBOo	77,1
Coef.DBO ultima	KT	1,05
DBO última da mistura (mg/l)	Lo	81,0

**Dados do trecho**

Tempo de percurso (d)	t	2,89
OD no final do trecho (mg/l)	ODt	5,12
DBO5 no final do trecho (mg/l)	DBOt	42,7
OD mínimo no trecho (mg/l)	ODmín	1,30



**GRÁFICO 8** - Modelo em Aerobiose com Tratamento Streeter-Phelps setembro/2013, para Perfil de OD



**GRÁFICO 9** - Modelo em Aerobiose com Tratamento Streeter-Phelps setembro/2013, para Perfil de DBO

Nessa simulação, o tratamento do efluente com uma eficiência de 73,87%, real para ETE-VIEIRAS, demonstraria uma situação esperada, de acordo com as características do rio. Seriam assim necessários apenas 26,0 km para a assimilação da DBO até o nível de atendimento da Norma (COPAM, 2008), (60 mg/L) e 58,50 km para pareamento do nível de OD (5 mg/L), vide (TAB. 27) do anexo H. Um comportamento que corresponderia a uma bacia hidrográfica com alta eficiência na gestão da mesma. Essa redução dos trechos depurados pode ser explicada pela quantidade reduzida de lançamentos clandestinos no rio ou tributários diretos, poluição difusa e cobertura completa dos interceptadores da rede coletora de esgotos. Embora não represente a realidade do rio, esse deveria ser o comportamento esperado por um rio que tem uma satisfatória capacidade hidráulica e sanitária para receber a atual carga orgânica da cidade de Montes Claros.

Embasa essa interpretação o fato de que, no Km 52, fim do rio Vieira, 51,37 Km – o nível de OD seria de 4,89 mg/L, distante da situação real, que seria de 2,09 mg/L para o mês de setembro e DBO de 48,0 mg/L, quando, na realidade, é de 20 mg/L. Logo, esse modelo distancia do comportamento real do rio Veira.

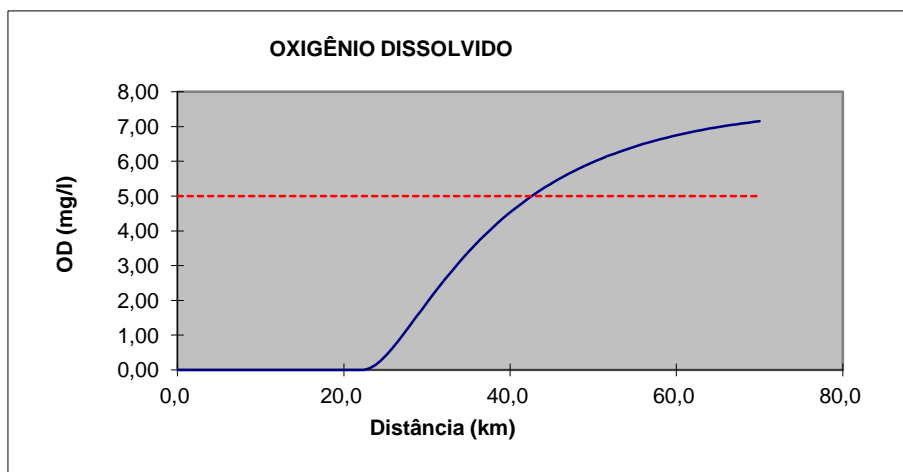
### 5.2.3 Modelagem para a decomposição anaeróbia

Essa proposta teve como objetivo a apresentação de uma situação onde ocorresse no rio um processo de depuração em anaerobiose, em um estudo-padrão de regeneração dos corpos na oxidação da matéria orgânica. Pode ocorrer, devido às altas concentrações da mesma, um elevado decréscimo nas de OD, gerando, no modelo regular de Streeter-Phelps uma “anomalia”, que é a concentração negativa de oxigênio. Logo, esse processo deve ser dividido em partes, com subdivisão dos trechos dos rios para maior confiabilidade, já que o modelo deixa de ter validade diante dessa problemática.

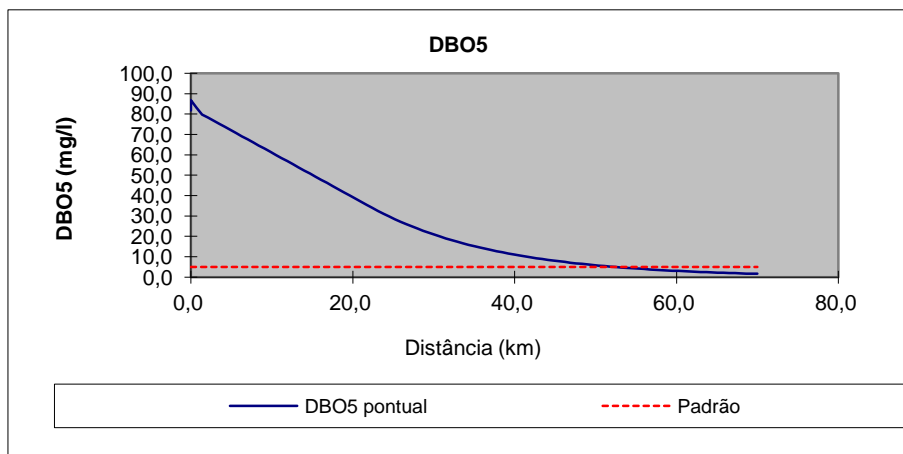
Nesse modelo, há trechos do rio que estão processando lentamente a matéria orgânica, anaerobicamente, e outros, em processos aeróbios, que são mais eficientes (velozes) na depuração da mesma.

#### 5.2.4 Modelagem para a decomposição anaeróbia - julho de 2013

De posse dos dados das (TAB. 10, 11, 12 e 13) foram lançadas na planilha eletrônica de (VON SPERLING, 2007) as informações pertinentes ao Modelo de Streeter & Phelps. Como esse rio foi considerado como Classe 2, logo, os limites de lançamento de OD são de, no mínimo, de 5 mg/L e DBO não superior a 5 mg/L (COPAM, 2008).



**GRÁFICO 10** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps julho/2013, para Perfil de OD



**GRÁFICO 11** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps julho/2013, para Perfil de DBO

Para análise do mês de julho de 2013, foi realizada uma simulação do comportamento do rio, com uma estação de tratamento de esgotos operando com eficiência de 76,85%, condição real da ETE para esse mês. É de se esperar que o corpo d'água assimile a carga orgânica recebida (DBO) da cidade de Montes Claros, que nesse caso é esgoto puro *in natura* lançado diretamente no rio, num espaço de 52,50 km, vide (TAB. 24) do anexo E, atingindo a concentração máxima exigida na lei para DBO (5,0 mg/L). Para OD, o rio precisou de 42,70 Km para atingir o parâmetro mínimo legal, 5,0 mg/L. Logo, como o trecho da ETE à foz possui por volta de 32 Km, a DBO persiste por mais 20 Km no rio Verde Grande, até atingir o valor permitido pela norma e 10 Km, para que o nível de OD faça o mesmo.

Esse modelo foi fiel ao que acontece no rio, já que por volta de 32 km, o nível de OD está no modelo em 2,40 mg/L. Assim, como apresenta na condição real, vide GRÁF. 1. O fato de o modelo levar em consideração condições estacionárias e trechos modelados como se fossem uniformes, requer um estudo mais detalhado e fracionado da bacia. Logo, para uma melhor representação do comportamento do rio, seria necessário: subdividir o rio em pequenos trechos e levar em consideração cada tributário, retirada de água durante o percurso e descargas diversas no mesmo.

A alta carga orgânica que o rio recebe no setor urbano e rural explica esse longo trecho anaeróbico que o rio percorre. Como indicado na (TAB. 16) abaixo, o rio percorre 22,30 km sem oxigênio, um trecho longo, com reações de primeira ordem acontecendo. Reações de primeira ordem são lentas, o que explica o motivo desse percurso anóxico elevado. Nesse trecho, a biodiversidade fica comprometida devido à lenta sucessão ecológica, já que muitos organismos dependem de oxigênio para se desenvolver e reproduzir.

TABELA 16

Trechos Anaeróbios em julho de 2013

**Trecho anaeróbio (eventual)**

Rio apresenta anaerobiose (Sim/Não)?	Sim
Tempo de percurso até início trecho anaeróbio (d)	0,10
Tempo de duração do trecho anaeróbio (d)	1,63
Tempo total até fim do trecho anaeróbio (d)	1,72
Distância de percurso até início trecho anaeróbio (km)	1,3
Distância total até fim do trecho anaeróbio (km)	22,3
DBO última (L) no início do trecho anaeróbio (mg/l)	88
DBO última (L) no final do trecho anaeróbio (mg/l)	38

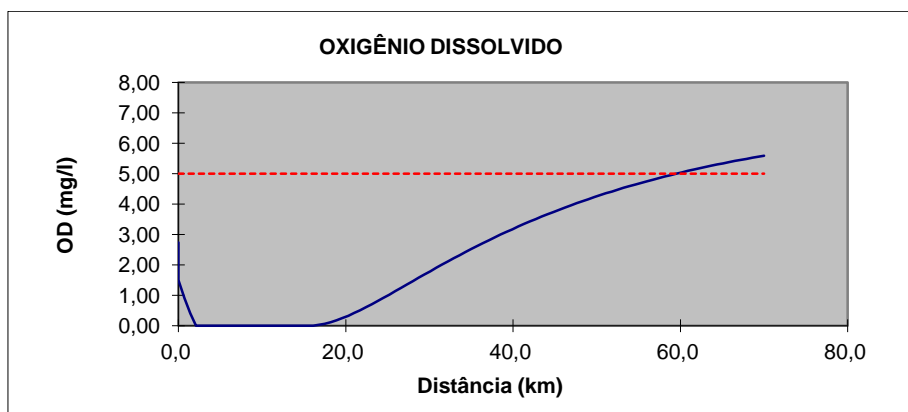
Em todo caso, tanto para a modelagem, quanto pelo estudo de autodepuração real do corpo, pode-se concluir que o corpo d'água não tem capacidade de suporte da carga orgânica recebida pela cidade. Apesar da elevada eficiência na remoção da matéria orgânica, a ETE ainda lança no corpo concentrações de DBO que variam de 44,0 a 97,20 mg/L, em algumas situações acima do permitido na lei (COPAM, 2008), que é de até 60,0 mg/L, podendo variar em função da eficiência atingida pela mesma. Entretanto, mesmo cumprindo a norma quanto ao lançamento de efluentes, a COPASA e os gestores públicos ainda não equacionaram uma forma para que o rio Vieira possa a vir se comportar como um rio de classe 2. Classe que permite, inclusive, o abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, irrigação de hortaliças e recreação de contato primário.

Analisando a Legislação Estadual, (COPAM, 2008), verifica-se que metas progressivas e intermediárias, analisadas no momento do licenciamento ambiental, podem ser estabelecidas pelo órgão ambiental competente. Nesse caso, como descrito no Artigo 29, Parágrafo 4º, fica explícita a possibilidade de a ETE lançar até 60 mg/L de DBO ou tratamento

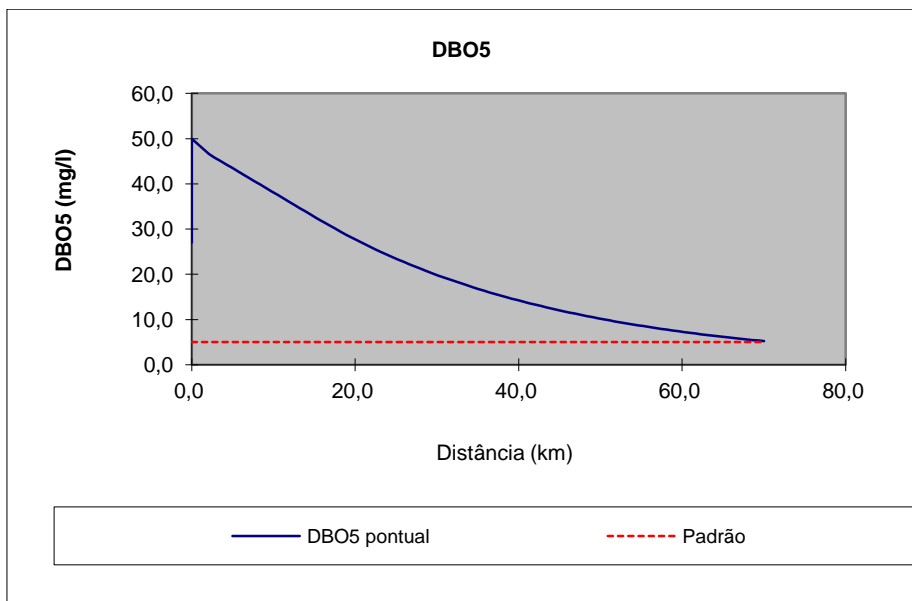
com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais. Porém, ainda assim, o lançamento de efluentes com OD abaixo de 5 mg/L está restrito nessa lei no Artigo 14 Parágrafo 1°.

Comparando com a condição real do rio no mês de julho, vide GRÁF. 1, observa-se que OD a 2,40 mg/L e  $DBO_{5,20}$  13,90 mg/L (próximo à foz) estão condizendo com o modelo da simulação. A poluição difusa à jusante da ETE, caso dos tributários como o rio do Cedro, dentre outros, pode estar contribuindo com elevada carga orgânica, dificultando ainda mais o rio de processar a carga orgânica recebida da cidade de Montes Claros-MG.

#### 5.2.5 Modelagem para decomposição anaeróbica, agosto de 2013



**GRÁFICO 12** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, agosto de 2013, para Perfil de OD



**GRÁFICO 13** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, agosto de 2013, para Perfil de DBO

Para a simulação do mês de agosto foi simulado o comportamento do rio com uma estação de tratamento de esgotos, operando com eficiência de 73,94%, condição real da ETE para esse mês. Para a depuração da DBO, o rio precisou de 70,0 km para atingir a norma, vide (TAB. 25) do anexo F. Para OD, o rio precisou de 59,50 Km, para cumprimento da legislação. Nesse caso, a DBO persistiu por mais 38 Km no rio Verde Grande, até atingir o valor permitido pela norma e 27,50 Km para o nível de OD.

Essa diferença no percurso em relação a julho pode ser explicada pela taxa de oxigenação que foi reduzida e pela menor vazão. Logo, compromete a diluição da matéria orgânica.  $K_2$  de julho foi de  $4,02 \text{ d}^{-1}$  e de agosto de  $3,87 \text{ d}^{-1}$ , uma pequena redução, mas de significativa importância no processo de autodepuração. Como o trecho anaeróbio foi menor para esse mês, contribuiu para atenuar os efeitos da menor reoxigenação e vazão.

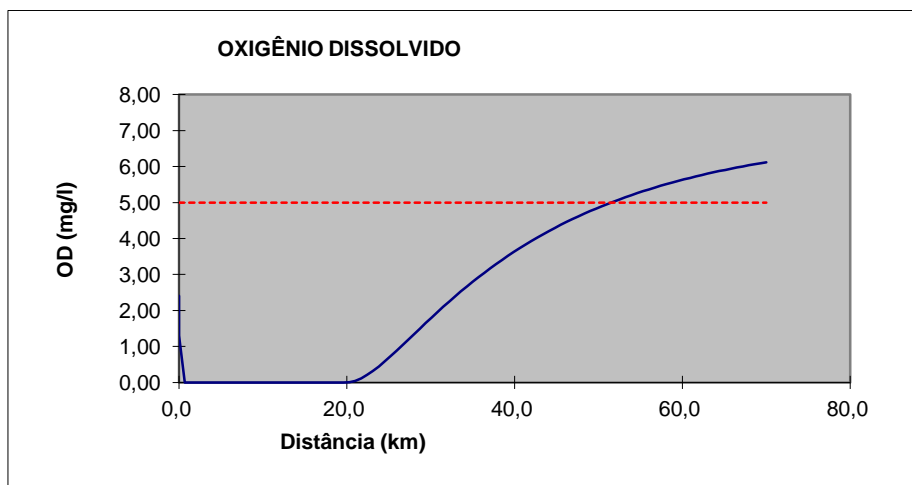
TABELA 17

Trechos Anaeróbios em agosto de 2013

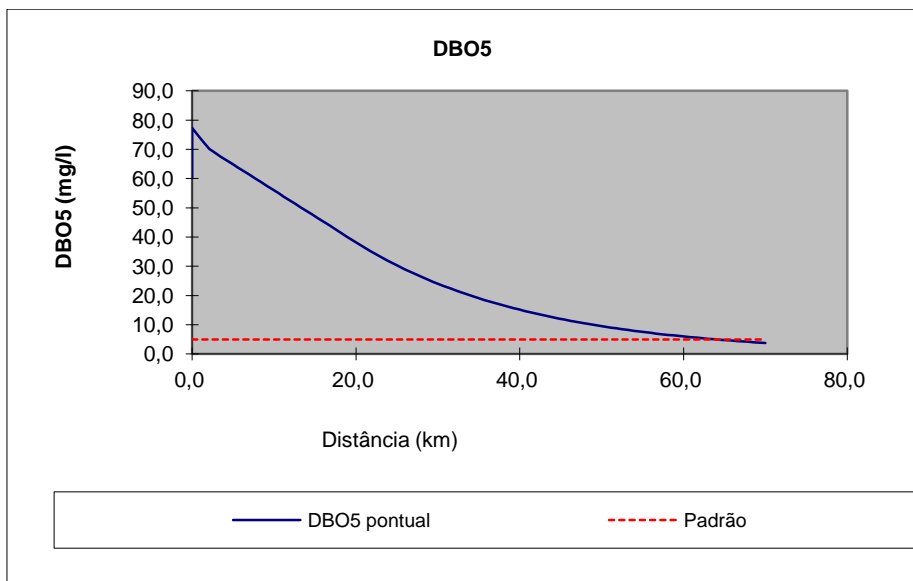
## Trecho anaeróbio (eventual)

Rio apresenta anaerobiose (Sim/Não)?	Sim
Tempo de percurso até início trecho anaeróbio (d)	0,10
Tempo de duração do trecho anaeróbio (d)	0,60
Tempo total até fim do trecho anaeróbio (d)	0,69
Distância de percurso até início trecho anaeróbio (km)	2,2
Distância total até fim do trecho anaeróbio (km)	15,6
DBO última (L) no início do trecho anaeróbio (mg/l)	52
DBO última (L) no final do trecho anaeróbio (mg/l)	36

## 5.2.6 Modelagem para Decomposição Anaeróbia, setembro de 2013



**GRÁFICO 14** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, setembro de 2013, para Perfil de OD



**GRÁFICO 15** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, setembro de 2013, para Perfil de DBO

O modelo de Streeter-Phelps é mais sensível às variações de coeficiente de oxigenação ( $K_2$ ) do que da remoção da matéria ( $K_d$ ). Logo, as variações de  $K_2$  levam a alterações significativas nos gráficos. Nessa modelagem, o OD chegaria à meta de 5,0 mg/L em 51,80 Km, a partir da ETE e  $DBO_{5,20}$  em 63,70 Km.

Nesse caso, a DBO persistiu por mais 31,70 Km no rio Verde Grande, até atingir o valor permitido pela norma e 19,80 Km, para o nível de OD. Situação não tão diferente do mês de agosto. Embora o coeficiente de oxigenação ( $k_2$ ) subiu de 3,87 para 6,04  $d^{-1}$ , a concentração de DBO na montante da ETE mais que dobrou, explicando esse equilíbrio.

A simulação de um cenário com tratamento de esgotos indica uma aproximação da situação real.

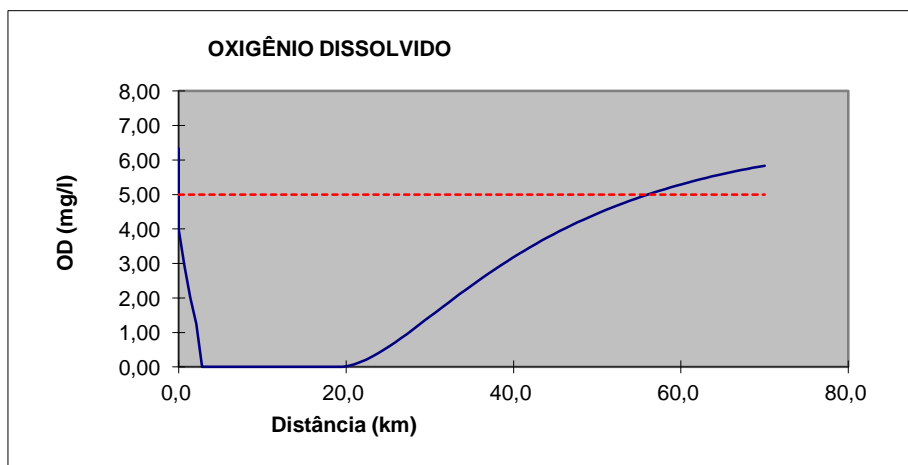
TABELA 18

Trechos Anaeróbios em setembro de 2013

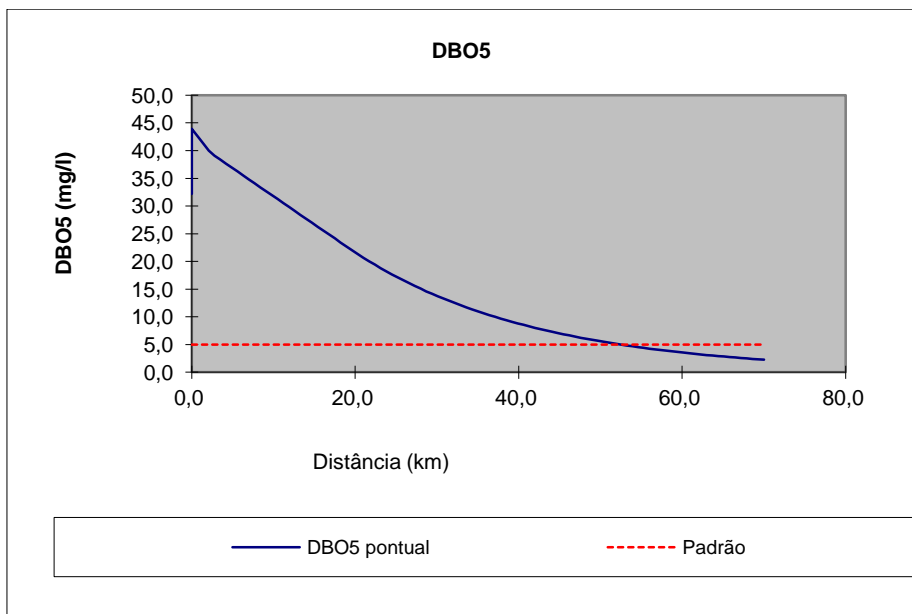
**Trecho anaeróbio (eventual)**

Rio apresenta anaerobiose (Sim/Não)?	Sim
Tempo de percurso até início trecho anaeróbio (d)	0,10
Tempo de duração do trecho anaeróbio (d)	0,79
Tempo total até fim do trecho anaeróbio (d)	0,89
Distância de percurso até início trecho anaeróbio (km)	2,2
Distância total até fim do trecho anaeróbio (km)	19,9
DBO última (L) no início do trecho anaeróbio (mg/l)	73
DBO última (L) no final do trecho anaeróbio (mg/l)	40

## 5.2.7 Modelagem para Decomposição Anaeróbia, outubro de 2013



**GRÁFICO 16** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, outubro de 2013, para Perfil de OD



**GRÁFICO 17** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, outubro de 2013, para Perfil de DBO

Fica evidente a sensibilidade à variação do coeficiente de oxigenação ( $K_2$ ), já que de  $6,04 \text{ d}^{-1}$ , referente à setembro/2013, a taxa passou a  $3,77$ . Perante esse cenário, deveria haver uma notada variação nos trechos de depuração, o que não aconteceu, devido a uma elevada vazão, que passou de  $0,4523 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $0,61138 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nessa modelagem, o OD chegaria à meta de  $5,0 \text{ mg/L}$  em  $56,0 \text{ Km}$ , a partir da ETE e  $\text{DBO}_{5,20}$  em  $52,50 \text{ Km}$ .

Nesse caso, a DBO persistiu por mais  $20,50 \text{ Km}$  no rio Verde Grande até atingir o valor permitido pela norma e  $24,0 \text{ Km}$  para o nível de OD. Situação não tão diferente do mês de setembro/2013.

Apesar da evidente melhora na condição do rio à montante da ETE, a concentração de OD quase triplicou em relação a setembro, de  $2,41$  para  $6,33 \text{ mg/L}$ . O rio continua sem condições para depurar a carga orgânica. As sucessivas descargas de poluentes ao longo do rio dificultam o restabelecimento das condições de águas limpas. Os trechos anaeróbios, vide (TAB. 19 e 29), diminuem o poder de resiliência dos corpos d'água,

ampliando os espaços do rio, referentes às zonas de decomposição ativa e recuperação.

Nota-se uma inversão quanto aos estágios atingidos pela DBO e OD, nos meses anteriores, julho a setembro/2013. O nível de OD era restabelecido primeiro do que a DBO. Isso não acontece nessa situação em função da melhor condição do rio. Esse pequeno trecho aeróbio é suficiente para que bactérias aeróbias processem a matéria orgânica. Mesmo nesse curto espaço, as reações aeróbias se processam como de primeira ordem, portanto bem mais velozes que processos anaeróbios. Resultado de toda essa inversão é uma rápida depuração da matéria orgânica, comprovando que condições sanitárias satisfatórias no rio promovem resultados mais expressivos. Em resumo, melhoram as condições de higiene do rio, melhoram a saúde da população e menores gastos com saúde pública passam a ser realidade.

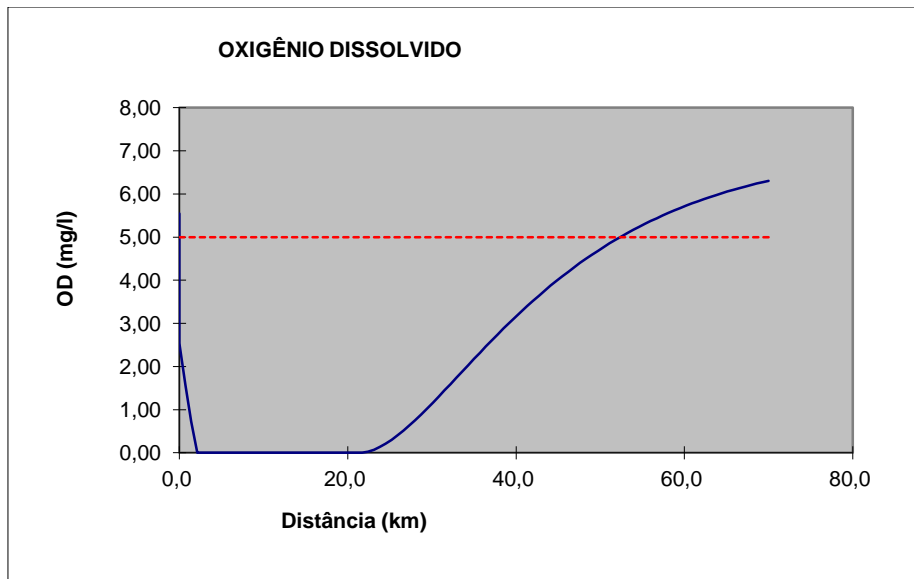
**TABELA 19**

Trechos Anaeróbios em outubro de 2013

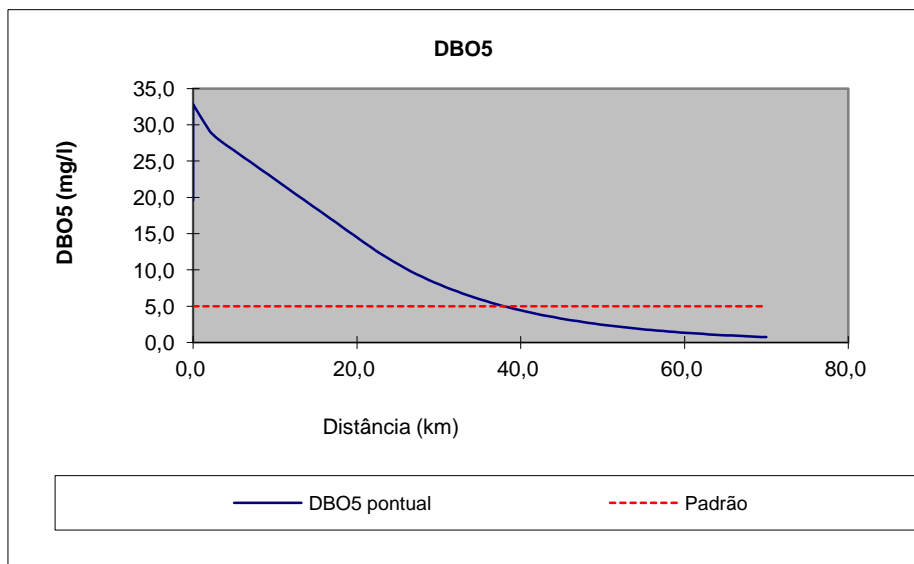
**Trecho anaeróbio (eventual)**

Rio apresenta anaerobiose (Sim/Não)?	<b>Sim</b>
Tempo de percurso até início trecho anaeróbio (d)	0,10
Tempo de duração do trecho anaeróbio (d)	0,69
Tempo total até fim do trecho anaeróbio (d)	0,79
Distância de percurso até início trecho anaeróbio (km)	2,4
Distância total até fim do trecho anaeróbio (km)	19,1
DBO última (L) no início do trecho anaeróbio (mg/l)	41
DBO última (L) no final do trecho anaeróbio (mg/l)	24

## 5.2.8 Modelagem para Decomposição Anaeróbia, novembro de 2013



**GRÁFICO 18** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, novembro de 2013, para Perfil de OD



**GRÁFICO 19** - Modelo em Anaerobiose Streeter-Phelps, novembro de 2013, para Perfil de DBO

A variação do coeficiente de oxigenação ( $K_2$ ), de  $3,77 \text{ d}^{-1}$ , referente à outubro a  $2,78 \text{ d}^{-1}$ , em novembro, mantendo-se praticamente estável. Logo, não houve uma notada variação nos trechos de depuração, mesmo com redução da vazão, que passou de  $0,61138 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $0,27885 \text{ m}^3/\text{s}$ . Porém a concentração de OD à montante da ETE se manteve também estável,  $5,55 \text{ mg/L}$ , favorecendo o processo aeróbio em alguns trechos. Como o modelo é muito sensível às variações de  $K_2$ , o comportamento do rio pouco mudou. Nessa modelagem, o OD chegaria à meta de  $5,0 \text{ mg/L}$  em  $52,50 \text{ Km}$ , a partir da ETE e  $\text{DBO}_{5,20}$  em  $37,80 \text{ Km}$ .

Nesse caso, a DBO persistiu por mais  $5,80 \text{ Km}$  no rio Verde Grande, até atingir o valor permitido pela norma e  $20,50 \text{ Km}$  seguiu o nível de OD.

A inversão dos estágios de depuração da DBO e OD seguiu em novembro. Uma precipitação um pouco superior pode ter contribuído para um melhor desempenho do rio. Nota-se que a carga orgânica avança apenas  $5,80 \text{ Km}$  para o rio Verde Grande. Esse aspecto evidencia a importância da diluição no processo de autodepuração. Infere-se que uma gestão da bacia que priorize a regularização de vazão e controle das fontes de poluição difusa funcionaria de forma eficaz para minorar os impactos antrópicos nos recursos hídricos. Essas medidas reduziriam os trechos anóxicos, vide (TAB. 20 e 30).

**TABELA 20**

Trechos Anaeróbios em novembro de 2013

**Trecho anaeróbio (eventual)**

Rio apresenta anaerobiose (Sim/Não)?	<b>Sim</b>
Tempo de percurso até início trecho anaeróbio (d)	0,10
Tempo de duração do trecho anaeróbio (d)	0,80
Tempo total até fim do trecho anaeróbio (d)	0,90
Distância de percurso até início trecho anaeróbio (km)	2,3
Distância total até fim do trecho anaeróbio	21,3

(km)	
DBO última (L) no início do trecho anaeróbio	
(mg/l)	30
DBO última (L) no final do trecho anaeróbio	
(mg/l)	14

Medidas de gestão a considerar para efeito de gerenciamento da bacia hidrográfica:

- medida de regularização de vazão, por meio de construção de uma barragem próximo à nascente, com objetivo de elevar a vazão crítica nos longos períodos de estiagem ocorridos no norte de Minas Gerais. A vazão favorece o processo de diluição e mistura, mantendo os microrganismos dispersos no rio. O movimento Browniano favorece os choques das bactérias com a matéria orgânica dispersa, movimento similar ao que acontece no processo de floculação. Reoxigena o rio e mantém o mesmo depurando a matéria orgânica com altas taxas de reação, melhorando o aspecto físico, químico, biológico, ecológico e patológico do corpo d'água.
- Controle da poluição difusa, dos lançamentos clandestinos de esgotos "*in natura*" no rio ou tributários diretos do mesmo. A redução da carga orgânica inibe processos anóxicos no corpo d'água, favorecendo os microrganismos aeróbios e a vida aquática superior, com espécies menos tolerantes à deficiência de OD. Logo, um rápido restabelecimento do ecossistema normal a rios de águas limpas e um sistema aquático mais equilibrado e saudável para a população em geral.
- Tratamento de efluentes com considerável eficiência, melhorando condições no ponto de mistura, lançando uma

quantidade menor de carga orgânica no rio e elevada concentração de OD, de forma a minimizar o impacto nesse ponto e à jusante do mesmo.

### 5.3 Resumo das modelagens de julho a novembro de 2013, para processos anaeróbios

**TABELA 21**

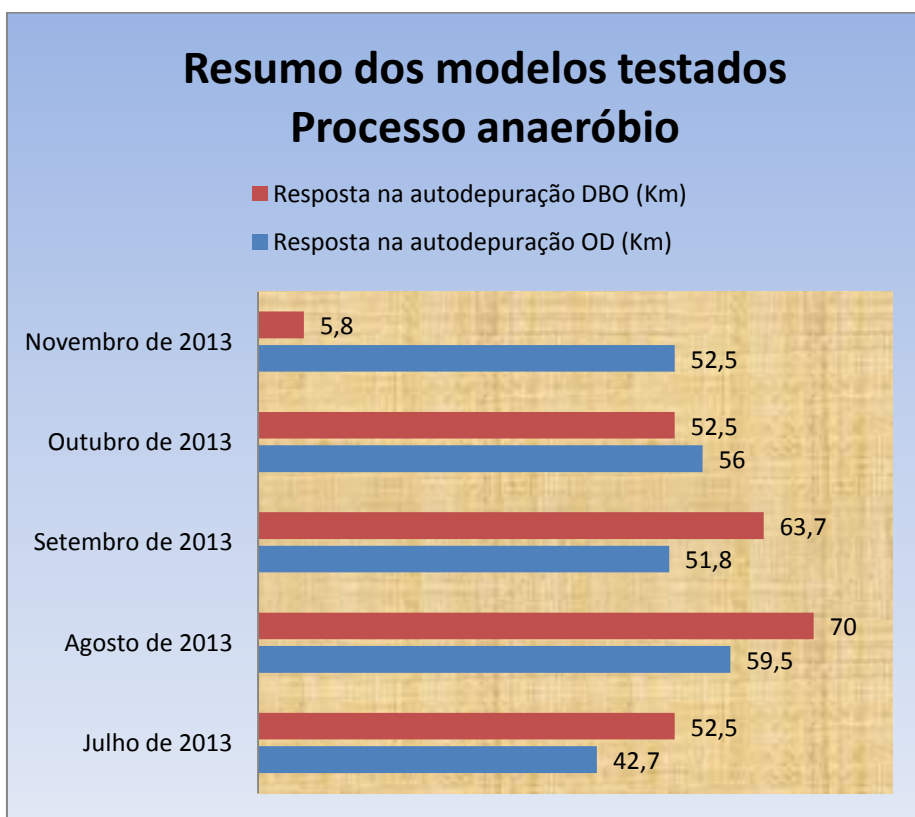
Resumo de respostas das modelagens aplicadas em função da distância para Oxigênio Dissolvido (OD)

<b>Modelos testados para processos anaeróbios</b>	<b>Resposta na autodepuração OD (Km)</b>
Julho de 2013	42,7
Agosto de 2013	59,5
Setembro de 2013	51,8
Outubro de 2013	56
Novembro de 2013	52,5

TABELA 22

Resumo de respostas das modelagens aplicadas em função da distância para demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

<b>Modelos testados para processos anaeróbios</b>	<b>Resposta na autodepuração DBO (Km)</b>
Julho de 2013	52,5
Agosto de 2013	70
Setembro de 2013	63,7
Outubro de 2013	52,5
Novembro de 2013	5,8



**GRÁFICO 20** - Resumo de respostas das modelagens aplicadas em função da distância para OD e DBO

Fica evidente que o comportamento do rio analisado nos modelos em anaerobiose se aproxima do que acontece no processo real de autodepuração. Esse trecho que determina a assimilação da carga orgânica do município de Montes Claros-MG prejudica o abastecimento humano e projetos de irrigação em uma parte do rio Verde, impossibilitando, então, algumas atividades primárias, como produção de alimentos, recreação de contato primário e dessedentação humana e animal. Esses acabam recebendo essa matéria orgânica, uma vez que o rio Vieira deságua no rio Verde Grande, uma importante bacia hidrográfica, que serve como manancial a outros tantos povos. O orçamento dos que precisam dessa fonte d'água sofre então determinado impacto, pois os mesmos teriam que buscar água em outras fontes para esses fins.

Os modelos que representam o rio em estado de aerobiose com tratamento demonstram como realmente deveria comportar o rio, caso não houvesse variantes, como: poluição difusa e lançamentos clandestinos, no rio Vieira e nos seus tributários diretos, à jusante e à montante da ETE.

Após a calibração do modelo e a relação ao coeficiente de oxigenação ( $K_2$ ), o quadro resumo mostra que pouco mudou no espaço de depuração da matéria orgânica. Portanto, fica evidenciada, nesse modelo, a sensibilidade do mesmo à  $K_2$ . Esse dado é importante para estudos complementares ou demais estudos de depuração do rio Vieira.

#### 5.4 Análise da poluição no rio Vieira e medidas corretivas

Analisando as causas desse evento crítico do rio, à montante, fica evidente a contribuição desordenada da cidade em matéria orgânica. Por meio da poluição difusa, os esgotamentos sanitários clandestinos domésticos e industriais inserem, no sistema, uma elevada carga de DBO. A concessionária responsável pelo saneamento da cidade trata os esgotos de uma elevada parcela de moradias, mas não ainda todas, há muitos bairros da cidade de Montes Claros-MG sem instalação de uma rede de interceptadores, logo os coletores lançam sem alternativa esse efluente diretamente no rio Vieira e nos seus tributários.

À jusante da ETE, ocorre outro processo negativo, com a poluição difusa de bairros periféricos, margeados pelo rio Vieira e tributários. Para efeito de ilustração, o Rio do Cedro, possivelmente, recebe efluentes de bairros, como a Cidade Industrial (periferia) e indústrias. Essas contribuições diretas e por meio de seus tributários contribui muito para o processo de depuração continuar em processo de anaerobiose, retardando ainda o processo de recuperação do mesmo. A qualidade do efluente da ETE influencia muito nessa condição, já que a elevada carga orgânica inserida novamente no sistema. Apesar do cumprimento da lei em relação à DBO, a ausência de OD (que não é permitida pela lei) minora as chances de êxito do rio em restabelecer um padrão adequado em relação ao seu na classe 2. É esperada uma melhor eficiência no processo da ETE-VIEIRAS, já que, nesse período de estudos, os filtros aeróbios – tratamento posterior aos reatores anaeróbios – estavam desativados, devido à manutenção e à troca de material de suporte. Tratamentos anaeróbios são indicados quando associados a tratamentos auxiliares. Nesse caso, os filtros aeróbios.

Para níveis de OD inferiores a 5 mg/L, é recomendada adoção de medidas de controle ambiental; intervenções, no sentido de diminuir a carga poluidora, entregando o rio no ponto de mistura ao efluente tratado da ETE, numa condição de receber e de depurar esse material em um tempo e distância hábeis, de forma a não prejudicar o seu prioritário, quanto à sua classificação.

Algumas medidas de controle ambiental podem ser eficientes, já que como esse estudo foi realizado em um período de estresse hídrico (seca), a vazão, nessas condições, é extremamente crítica, haja vista que a região enfrenta períodos extremos de até 9 meses sem precipitações efetivas. Medidas como construção de uma barragem à extrema montante próximo à nascente trariam uma regularização da vazão, contribuindo para uma maior sanidade do mesmo, em um elevado trecho de sua extensão. Como a poluição difusa é uma das principais causas da situação do rio, a modelagem em pequenos trechos e estudo detalhado do rio e de seus principais tributários embasarão os administradores públicos e demais responsáveis em medidas mais certivas. A aeração do efluente tratado é também alternativa

de incremento de OD, porém não recomendada para efluentes oriundos de tratamento anaeróbio, sem que haja a coleta e o tratamento do gás sulfídrico, desprendido na aeração.

No controle da poluição difusa, a administração pública dispõe de sistema de controle não convencionais, como sistemas não estruturais ou de controle de escoamento na fonte e de sistemas estruturais. Os controles não convencionais incluem, por exemplo, campanhas educativas. Os sistemas estruturais contemplam: obras de retenção temporária do escoamento, como: bacias de detenção ou retenção; e dispositivos de infiltração, como: vala de infiltração, bacia de infiltração e pavimentos porosos. Esses sistemas permitem o controle quali-quantitativo da vazão gerada na bacia, seja pelo armazenamento temporário do volume escoado, seja pela redução da carga poluidora (PROSAB, 2009).

Algumas medidas poderiam contribuir para o controle da poluição difusa como, por exemplo:

- O planejamento e manejo da água: capacitação da equipe técnica, superfícies com vegetação, áreas impermeáveis desconectadas, telhados verdes, urbanização de pequeno impacto;
- O uso de materiais e de produtos químicos: produtos alternativos não poluentes, práticas de manuseio e de armazenamento adequadas. Exemplo, os lava-jatos;
- a manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias: varrição das ruas, coleta de resíduos sólidos, limpeza dos sistemas de filtração, manutenção das vias e dos dispositivos, manutenção dos canais e cursos d'água;
- o controle de conexão ilegal de esgoto: medidas de prevenção contra a conexão ilegal, fiscalização (detecção, retirada e multa), controle do sistema de coleta de esgoto e de tanques sépticos;
- o reúso da água pluvial: jardinagem e lavagem de veículos, sistema predial.

## 6 CONCLUSÃO

O estudo do comportamento do rio Vieira obteve sucesso ao que foi proposto no projeto. Trouxe lucidez para medidas mais eficazes no gerenciamento da bacia hidrográfica. Por meio dos gráficos, pôde ser evidenciado como esse rio se comporta em termos de OD e DBO. Exemplo é a sucessão ecológica. O rio comporta como se não houvesse tratamento do efluente, conforme demonstram os resultados de um sistema sem tratamento de efluentes. Elevado percentual do rio se encontra em total anaerobiose, crítica para a vida aquática, interrompendo ciclos importantes do rio.

As análises de autodepuração do rio evidenciam a baixa resiliência do rio às cargas orgânicas recebidas nos trechos urbano e rural. O projeto apresentou dados e interpretações que indicam a necessidade de interferência positiva na bacia.

A comparação dos indicadores OD e DBO, em termos da legislação ambiental, demonstrou que, na maioria do trajeto do rio, urbano e rural, esses parâmetros estão distantes da norma vigente.

As modelagens matemáticas nortearam de como tem se comportado o rio, além dos limites do município de Montes Claros-MG. Para maior fidelidade do modelo, comparando com situações reais, é salutar um estudo posterior mais amplo. Para o embasamento dos gestores em relação ao gerenciamento dos recursos hídricos da cidade, seria necessário: subdividir a bacia hidrográfica; analisar todos os tributários, descargas diversas e captações, quando houver; qualificar e quantificar os impactos gerados na bacia. A falta de saneamento, em países em desenvolvimento, no século XXI, por incrível que possa parecer, ainda é a maior responsável por doenças em geral na população. Essas doenças implicam em enormes prejuízos sociais e econômicos a toda uma nação.

É tendência uma crescente demanda por recursos hídricos no meio urbano, prospectando um quadro de piora. A urbanização é alvo de preocupações, já que os usos múltiplos da água, como alimentação, geração de energia, uso industrial e empréstimo de corpos hídricos como receptor de esgotos sanitários e industriais tendem a uma elevação. A urbanização

carece de grandes volumes d'água, mais energia para a distribuição e uma maior pressão sobre os mananciais. A utilização racional e sustentável dos recursos hídricos deve ser prioridade dos governos atuais.

Esse tema necessita de estudos específicos junto a órgãos ambientais, ao poder público, à sociedade civil e à própria prestadora dos serviços de saneamento, a fim de equacionar uma melhor fórmula na gestão dos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. S. M. **Condições de oxigenação e desoxigenação de trecho do Rio Uberabinha no Município de Uberlândia**. 2013. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Química)- Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

ANDRADE, L. N. **Modelo de otimização multiobjetivo para outorga de diluição de efluentes e enquadramento dos corpos d'água**. 2012. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal**. New York, 1981. 892p.

ARTHURTON, R.; BARKER, S.; RAST, W.; HUBER, M. **Global environment outlook 4**. Valletta: UNEP, 2007. p. 115-116.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de hidráulica**. [S.l.]: [S.n.], 1962.

Braga, B., *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo, 2005. 318p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo, 1993.

BRANDELERO, S. M.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; DORS, P.; RODRIGUES, M. D. S.; MOREIRA, R. A atividade carbonífera e a contaminação de água superficial por elementos-traço. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 2013, **Anais...** 2013.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
2007a. **Índices de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**, 2007. Disponível em:  
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/indice.asp>>. Acesso em: 17 jun. 2013.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
2009a. **Índices de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**, 2009. Disponível em:  
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/rios/indice.asp>>. Acesso em: 09 jun. 2013.

CHAPRA, S. C. **Surface water-quality modeling**. WCB – McGraw-Hill. Boston, 1997. 844p. *apud* VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). **Normas Técnicas**, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005**, 2005. Disponível em:  
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano1.cfm>>. Acesso em: 09 jun. 2013.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de Maio de 2008 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2008.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DE MINAS GERAIS (EMATER/MG). **Projeto de recuperação e preservação de sub-bacias hidrográficas formadoras dos afluentes mineiros do rio São Francisco**: UPGRH SF10: microbacia do Rio das Pedras. Guaraciama: EMATER/MG, 2006. Projeto.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUND, D. A. **Purification de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales**. México: Editorial Limusa, 1973. 764p.

FISCHER, H. B. *et al.* **Mixing in inland and coastal waters**: Academic press, 1979.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de Saneamento**, 2006.

GIANSANTE, A. E. Avaliação da aeração de efluentes de lagoas facultativas por escada: estudo de caso. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2000.

GIANSANTE, R. O. **Desafio do desenvolvimento sustentável**. 6. ed. São Paulo: Atual, 1998.

HEMOND, F. H.; FECHENER-LEVY, E. J. **Chemical fate and transition in the environment**. London: Academic Press, 1994.

HYNES, H. B. N. **The biology of polluted waters**. Liverpool, 1960. *apud* VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisas (DPE): **Coordenação de população e indicadores sociais**. Brasília, DF: IBGE, 2013. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=314330&search=minas-gerais|montes-claros>. Acesso em: 17 jul. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET) - 5º Distrito de Meteorologia (DISME). Montes Claros, 2013.

JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2005. 932p.

LEITE, A. E. B. **Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de qualidade d'água, SisBAHIA®**. 2003. p. 82. Dissertação (Mestrado) - DSSA/ENSP/FIOCRUZ/RJ, Rio de Janeiro, 2003. *apud* BORGES, L. **Qualidade da água do rio Vieira sob a influência da área urbana de Montes Claros MG**. 2007. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

LIMA, J. E. F. W. **Determinação e simulação da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica do Cerrado**. 2001. 75 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Brasília: FAV/UnB, Brasília, 2001.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – DNPM. **Anuário Fluviométrico**, 2, 1941.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. (Adaptado).

NUNES, D. G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do Rio Turvo Sujo**. 2008. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa: UFV, Viçosa, 2008. *apud* ALMEIDA, J. S. M. **Condições de oxigenação e desoxigenação de trecho do Rio Uberabinha no Município de Uberlândia**. 2013. (Pós-Graduação em Engenharia Química)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

NUNES, D. G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do Rio Turvo Sujo**. 2008. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. *apud* SZÉLIGA, M. R.; ROMA, W. N. L. Sistema de visão computacional para medição de turbulência e correlação com a reaeração de corpos d'água receptores. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 30-44, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Glass 2012 Report**. UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water The challenge of extending and sustaining services, 2013. Disponível em: <<http://www.unwater.org/>>. Acesso em: 17 jun. 2013.

PORTO, R. L. L. **Medição de vazão e curva-chave**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. PHD 307 Hidrologia Aplicada, 2001.

Prefeitura Municipal de Montes Claros, 2013. Disponível em: <[www.montesclarosmg.gov.br](http://www.montesclarosmg.gov.br)>. Acesso em: 15 jul. 2013.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). **Remoção de micro-organismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392p.

RIBEIRO, M. L. **Qualidade da água**. 2001. Curso (Graduação)- Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2001.

SANTOS, A. R. **AD'ÁGUA 2.0 sistema para simulação da autodepuração de cursos d'água**: manual do usuário, 2001.

SANTOS, A. R. **AD'ÁGUA 2.0 Sistema para simulação da autodepuração de cursos d'água**: manual do usuário, 2001. *apud* NUNES, D. G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do Rio Turvo Sujo**. 2008. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SHIKLOMANOV, I. A. **A summary of the monograph world water resources prepared in the frameworks of the international hydrological program**. [S.l.], 1998.

**STANDART Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21. ed.: American Public Health Association, 2005.

STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. **A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River.** [S.l.]: Public Health Bulletin, 1925.

THOMANN, R. V.; MUELLER, J. A. **Principles of surface water quality modeling and control.** New York: Publishers, 1987. 644p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. *apud* OPPA, L. F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim.** 2007. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

UNICEF; WHO. **Progress on drinking water and sanitation.** New York: UNICEF/WHO, 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 1985.

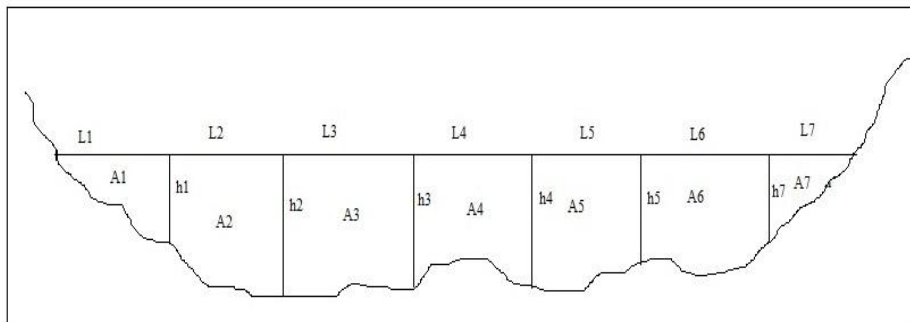
UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 1985. *apud* VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. *apud* ALMEIDA, J. S. M. **Condições de oxigenação e desoxigenação de trecho do Rio Uberabinha no Município de Uberlândia.** 2013. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Química)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. *apud* NUNES, D. G. **Modelagem da autodepuração e qualidade da água do Rio Turvo Sujo**. 2008. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 2008.

## ANEXO A Cálculo de Vazão do Rio – 4 trechos



**FIGURA 25** - Modelo de Batimetria em Rios, com Subdivisão das Seções, Chegando até 10 Subdivisões

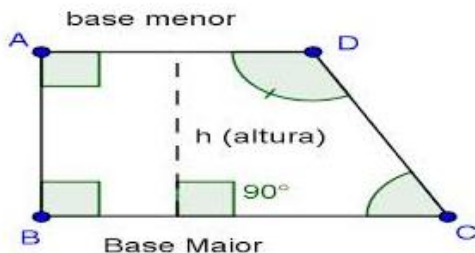
$A_{1,2,3,4,5,6 \text{ e } 7}$  = Área da subseção respectiva (área de um polígono específico).

$L_{1,2,3,4,5,6 \text{ e } 7}$  = Largura da subseção respectiva (medida do polígono).

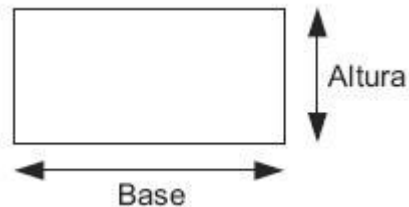
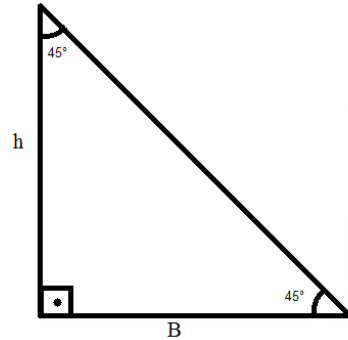
$h_{1,2,3,4,5,6 \text{ e } 7}$  = altura (profundidade), uma das medidas do polígono.

A seção do rio foi subdividida em pequenas áreas conhecidas, quais sejam: trapézio retangular, triângulo retângulo e retângulo.

$$\text{Área do trapézio retangular} = \frac{(B + b).h}{2}$$



$$\text{Área do triângulo retângulo} = \frac{B.h}{2}$$



$$\text{Área do retângulo} = B.h$$

### Resultado da coleta do dia 17 e 18 de Julho de 2013

#### Ponto de coleta à montante do rio próximo à nascente

Medidas registradas:

L1 = 1,55m; L2 = 0,65m; L3 = 1,85m; L4 = 1,15m; L5 = 0,50m.

h1 = 0,34m; h2 = 0,74m; h3 = 0,54m; h4 = 0,48m.

Área total = 0,2635+0,351+1,184+0,5865+0,12 = 2,505 m<sup>2</sup>.

Velocidades registradas:

V1, V2 e V3 foram registradas com mesmo valor sem variação em 0,1 m/s.

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

Q = 2,505x0,1 = 0,2505 m<sup>3</sup>/s.

### Ponto de coleta à montante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1 = 2,10m; L2 = 1,20m; L3 = 2,40m; L4 = 2,20m; L5 = 1,30m; L6 = 1,10;  
L7 = 2,60m.

h1 = 0,25m; h2 = 0,40m; h3 = 0,50m; h4 = 0,50m; h5 = 0,50m; h6 = 0,50m.

Área total = 0,2625 + 0,39 + 1,08 + 1,10 + 0,65 + 0,55 + 0,65 = 4,6825 m<sup>2</sup>.

### Velocidades registradas:

V1, V2 foram registradas com mesmo valor sem variação em 0,1 m/s.

$$V3 = 0,2 \text{ m/s}, \bar{V} = \frac{0,10 + 0,20}{2} = 0,15 \text{ m/s}.$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 4,6825 \times 0,15 = 0,7024 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta à jusante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1 = 2,20m; L2 = 2,30m; L3 = 1,70m; L4 = 1,70m; L5 = 1,60m; L6 = 0,90;  
L7 = 0,90m.

h1 = 0,24m; h2 = 0,44m; h3 = 0,40m; h4 = 0,40m; h5 = 0,50m; h6 = 0,22m.

Área total = 0,264 + 0,748 + 0,714 + 0,68 + 0,81 + 0,324 + 0,099 = 3,639 m<sup>2</sup>.

### Velocidades registradas:

$$V1 = 0,50 \text{ m/s}; V2 = 0,70 \text{ m/s} \text{ e } V3 = 0,9 \text{ m/s}, \bar{V} = \frac{0,50 + 0,70 + 0,90}{3} = 0,70$$

m/s.

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 3,639 \times 0,70 = 2,5473 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta próximo à foz

Medidas registradas:

L1 = 0,80m; L2 = 0,90m; L3 = 0,80m; L4 = 1,30m.

h1 = 0,60m; h2 = 1,10m; h3 = 0,60m.

$$\text{Área total} = 0,54 + 0,765 + 0,68 + 0,39 = 2,375 \text{ m}^2.$$

### Velocidades registradas:

V1 = 0,30 m/s ; V2 = 0,30 m/s e V3 = 0,3 m/s,  $\bar{V} = 0,30 \text{ m/s}$ .

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 2,375 \times 0,30 = 0,7125 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Resultado da coleta do dia 14 de agosto de 2013

#### Ponto de coleta à montante do rio próximo a nascente

Medidas registradas:

L1=0,75m; L2=0,73m; L3=0,77m; L4=1,00m; L5=0,80m; L6=0,75m;

L7=0,45m; L8=0,30m.

h1 = 0,34m; h2 = 0,24m; h3 = 0,73m; h4 = 0,58m; h5 = 0,50; h6 = 0,52; h7 = 0,38m.

$$\text{Área total} = 0,1275 + 0,2117 + 0,37345 + 0,0655 + 0,432 + 0,3825 + 0,2025 + 0,057 = 2,44165 \text{ m}^2.$$

Velocidades registradas:

V1, V2, V3 e V4 foram registradas com mesmo valor sem variação em 0,1 m/s.

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 2,44165 \times 0,1 = 0,24417 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta à montante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1=0,90m; L2=1,00m; L3=0,90m; L4=1,00m; L5=1,10m; L6=0,90;  
L7=0,80m; L8=1,5m.

h1 = 0,16m; h2 = 0,32m; h3 = 0,40m; h4 = 0,30m; h5=0,20m; h6=0,16m;  
h7=0,10m.

$$\text{Área total} = 0,072+0,24+0,324+0,35+0,275+0,162+0,104+0,075 = 1,602 \text{ m}^2.$$

### Velocidades registradas:

V1= 0,3 m/s ; V2 e V3 = 0,2m/s; V4 e V5= 0,3m/s.

$$\bar{v} = \frac{0,30 + 0,20 + 0,20 + 0,30 + 0,30}{5} = 0,26 \text{ m/s}.$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 1,602 \times 0,26 = 0,41652 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta à jusante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1=2,00m; L2=1,10m; L3=1,60m; L4=1,40m; L5=1,10m; L6=1,30m;  
L7=0,80m; L8=1,40m; L9=0,80; L10=0,45.

h1 = 0,10m; h2 = 0,08m; h3 = 0,32m; h4 = 0,40m; h5 = 0,42m; h6 = 0,52;  
h7 = 0,74m; h8 = 0,30m; h9 = 0,20.

$$\text{Área total} = 0,10+0,099+0,32+0,504+0,451+0,611+0,504+0,728+0,20+0,045 = 3,562 \text{ m}^2.$$

**Velocidades registradas:**

V1 e V2= 0,20 m/s ; V3 =0,30 m/s; V4 =0,5 m/s; V5= 0,70m/s; V6 =1,0m/s;  
V7 = 1,2 m/s.

$$\bar{V} = \frac{0,20 + 0,20 + 0,30 + 0,50 + 0,70 + 1,00 + 1,20}{7} = 0,5857 \text{ m/s.}$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 3,562 \times 0,5857 = 2,0863 \text{ m}^3/\text{s.}$$

**Ponto de coleta próximo à foz**

Medidas registradas:

L1 = 0,15m; L2 = 0,35m; L3 =0,90m; L4 =0,40m; L5 =0,90m; L6= 0,20; L7= 1,08m.

h1 = 0,38m; h2 =0,60m; h3 = 1,10m; h4= 1,10m; h5 =1,00m; h6 =0,60.

$$\text{Área total} = 0,0285 + 0,1715 + 0,765 + 0,44 + 0,945 + 0,16 + 0,324 = 2,834 \text{ m}^2.$$

**Velocidades registradas:**

V1, V2, V3 e V4= 0,30 m/s, portanto  $\bar{V} = 0,30 \text{ m/s.}$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 2,834 \times 0,30 = 0,8502 \text{ m}^3/\text{s.}$$

**Resultado da coleta do dia 17 de setembro de 2013****Ponto de coleta a montante do rio próximo à nascente**

Medidas registradas:

L1=0,80m; L2=0,90m; L3=1,10m; L4=1,30m; L5=0,90m; L6=0,85m.

h1 = 0,20m; h2 = 0,28m; h3 = 0,64m; h4 = 0,50m; h5 = 0,44m.

$$\text{Área total} = 0,08 + 0,216 + 0,506 + 0,741 + 0,423 + 0,187 = 2,153 \text{ m}^2.$$

Velocidades registradas:

V1, V2, V3 e V4 foram registradas com mesmo valor sem variação em 0,1 m/s.

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 2,153 \times 0,1 = 0,2153 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta à montante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1=1,10m; L2=0,80m; L3=1,10m; L4=0,90m; L5=1,20m; L6=0,70;  
L7=1,00m; L8=1,40m.

h1 = 0,20m; h2 = 0,36m; h3 = 0,40m; h4 = 0,30m; h5=0,25m; h6=0,16m;  
h7=0,10m.

$$\text{Área total} = 0,110 + 0,224 + 0,418 + 0,315 + 0,330 + 0,1435 + 0,130 + 0,070 = 1,7405 \text{ m}^2.$$

**Velocidades registradas:**

V1= 0,3 m/s ; V2 e V3 = 0,2m/s; V4= 0,3m/s e V5=0,30m/s.

$$\bar{v} = \frac{0,30 + 0,20 + 0,20 + 0,30 + 0,30}{5} = 0,26 \text{ m/s}.$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 1,7405 \times 0,26 = 0,4523 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta à jusante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1=2,10m; L2=1,10m; L3=1,40m; L4=1,70m; L5=1,50m; L6=0,70m;  
L7=0,70m; L8=1,60m; L9=0,70; L10=0,37m.

h1 = 0,15m; h2 = 0,10m; h3 = 0,30m; h4 = 0,38m; h5 = 0,44m; h6 = 0,52m;  
h7 = 0,76m; h8 = 0,30m; h9 = 0,20m.

Área total =  
0,1575+0,1375+0,28+0,578+0,615+0,336+0,448+0,848+0,175+0,045 = **3,620 m<sup>2</sup>**.

### Velocidades registradas:

V1 e V2= 0,20 m/s ; V3 =0,30 m/s; V4 =0,4 m/s; V5= 0,50m/s; V6 =0,90m/s;  
V7 = 1,10 m/s.

$$\bar{V} = \frac{0,20 + 0,20 + 0,30 + 0,40 + 0,50 + 0,90 + 1,10}{7} = 0,51428 \text{ m/s.}$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo

$$Q = 3,620 \times 0,51428 = 1,8617 \text{ m}^3/\text{s.}$$

### Ponto de coleta próximo à foz

Medidas registradas:

L1 = 0,20m; L2 = 0,30m; L3 =1,00m; L4 =0,40m; L5 =0,70m; L6= 0,35; L7=  
0,98m.

h1 = 0,40m; h2 =0,55m; h3 = 1,20m; h4= 1,10m; h5 =1,00m; h6 =0,50m.

Área total = 0,040+0,1425+0,875+0,46+0,735+0,2625+0,245 = **2,760 m<sup>2</sup>**.

### Velocidades registradas:

V1, V2, V3 e V4= 0,30 m/s, portanto  $\bar{V} = 0,30 \text{ m/s}$ .

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 2,760 \times 0,30 = 0,828 \text{ m}^3/\text{s.}$$

### Resultado da coleta do dia 15 de outubro de 2013

#### Ponto de coleta à montante do rio próximo à nascente

Medidas registradas:

L1=0,65m; L2=0,45m; L3=0,60m; L4=0,70m; L5=0,85 L6=0,95m; L7=0,70m.  
 h1 = 0,35m; h2 = 0,68m; h3 = 1,08m; h4 = 1,10m; h5 = 0,46m; h6= 0,20m.

Área total=0,11375+0,23175+0,528+0,763+0,663+0,3135+0,070= **2,683 m<sup>2</sup>**.

Velocidades registradas:

V1, V2, V3 e V4 foram registradas com mesmo valor sem variação em **0,1 m/s**.

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

**$Q = 2,683 \times 0,1 = 0,2683 \text{ m}^3/\text{s}$** .

#### Ponto de coleta à montante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1=1,15m; L2=0,85m; L3=1,05m; L4=0,90m; L5=1,20m; L6=0,90;  
 L7=1,00m; L8=1,30m.  
 h1 = 0,25m; h2 = 0,40m; h3 = 0,36m; h4 = 0,50m; h5=0,30m; h6=0,20m;  
 h7=0,15m.

Área total = 0,14375+0,27625+0,399+0,387+0,480+0,225+0,175),0975 = **2,1835 m<sup>2</sup>**.

Velocidades registradas:

V1= 0,3 m/s ; V2 = 0,2m/s; V3= 0,30m/s; V4= 0,3m/s e V5=0,30m/s.

$\bar{v} = \frac{0,30 + 0,20 + 0,30 + 0,30 + 0,30}{5} = \mathbf{0,28 \text{ m/s}}$ .

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 2,1835 \times 0,28 = 0,61138 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta à jusante do lançamento da ETE

Medidas registradas:

L1=1,90m; L2=1,20m; L3=1,60m; L4=1,20m; L5=1,80m; L6=1,20m;  
L7=1,00m; L8=0,60m; L9=1,10; L10=0,80m.

h1 = 0,20m; h2 = 0,25m; h3 = 0,30m; h4 = 0,40m; h5 = 0,45m; h6 = 0,62m;  
h7 = 0,80m; h8 = 0,40m; h9 = 0,20m.

$$\begin{array}{l} \text{Área} \\ 0,190+0,270+0,440+0,420+0,765+0,642+0,710+0,360+0,330+0,080 = 4,207 \\ \text{total} \\ \text{=} \\ \text{m}^2. \end{array}$$

### Velocidades registradas:

V1 e V2= 0,30 m/s ; V3 =0,40 m/s; V4 =0,7 m/s; V5= 1,00m/s; V6 =1,30m/s.

$$\bar{V} = \frac{0,30 + 0,30 + 0,40 + 0,70 + 1,00 + 1,30}{6} = 0,6667 \text{ m/s}.$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 4,207 \times 0,6667 = 2,8048 \text{ m}^3/\text{s}.$$

### Ponto de coleta próximo à foz

Medidas registradas:

L1 = 0,30m; L2 = 0,20m; L3 =0,90m; L4 =0,50m; L5 =0,70m; L6= 0,40m;  
L7= 1,20m.

h1 = 0,40m; h2 =0,65m; h3 = 1,30m; h4= 1,30m; h5 =1,10m; h6 =0,55m.

$$\text{Área total} = 0,06+0,095+0,8775+0,650+0,840+0,330+0,330 = 3,1825 \text{ m}^2.$$

**Velocidades registradas:**

V1, V2, V3 e V4= 0,30 m/s, portanto  $\bar{V} = 0,30 \text{ m/s}$ .

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 3,1825 \times 0,30 = 0,95475 \text{ m}^3/\text{s}.$$

**Resultado da coleta do dia 11 de novembro de 2013****Ponto de coleta à montante do rio próximo à nascente**

Medidas registradas:

L1=0,50m; L2=0,50m; L3=0,65m; L4=0,65m; L5=0,90m L6=1,40m;  
L7=0,50m.

h1 = 0,30m; h2 = 0,65m; h3 = 1,20m; h4 = 1,40m; h5 = 0,30m; h6= 0,30m.

$$\text{Área total} = 0,0750 + 0,2375 + 0,60125 + 0,845 + 0,765 + 0,420 + 0,075 = 3,01875 \text{ m}^2.$$

Velocidades registradas:

V1, V2, V3 e V4 foram registradas com mesmo valor sem variação em  $0,1 \text{ m/s}$ .

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 3,01875 \times 0,1 = 0,301875 \text{ m}^3/\text{s}.$$

**Ponto de coleta à montante do lançamento da ETE**

Medidas registradas:

L1=1,00m; L2=0,90m; L3=1,30m; L4=1,00m; L5=2,60m.

h1 = 0,22m; h2 = 0,24m; h3 = 0,22m; h4 = 0,16m.

$$\text{Área total} = 0,110 + 0,207 + 0,299 + 0,190 + 0,208 = 1,014 \text{ m}^2.$$

**Velocidades registradas:**

$V_1 = 0,2 \text{ m/s}$  ;  $V_2 = 0,3 \text{ m/s}$ ;  $V_3 = 0,30 \text{ m/s}$ ;  $V_4 = 0,3 \text{ m/s}$ .

$$\bar{V} = \frac{0,20 + 0,30 + 0,30 + 0,30}{4} = 0,275 \text{ m/s.}$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 1,014 \times 0,275 = 0,27885 \text{ m}^3/\text{s.}$$

**Ponto de coleta à jusante do lançamento da ETE**

Medidas registradas:

$L_1 = 3,40 \text{ m}$ ;  $L_2 = 1,40 \text{ m}$ ;  $L_3 = 1,90 \text{ m}$ ;  $L_4 = 1,40 \text{ m}$ ;  $L_5 = 2,00 \text{ m}$ ;  $L_6 = 1,10 \text{ m}$ ;  
 $L_7 = 1,10 \text{ m}$ ;  $L_8 = 0,50 \text{ m}$ .

$h_1 = 0,12 \text{ m}$ ;  $h_2 = 0,32 \text{ m}$ ;  $h_3 = 0,34 \text{ m}$ ;  $h_4 = 0,30 \text{ m}$ ;  $h_5 = 0,42 \text{ m}$ ;  $h_6 = 0,28 \text{ m}$ ;  
 $h_7 = 0,30 \text{ m}$ .

$$\text{Área total} = 0,204 + 0,308 + 0,627 + 0,448 + 0,720 + 0,385 + 0,290 + 0,075 = 3,057 \text{ m}^2.$$

**Velocidades registradas:**

$V_1$  e  $V_2 = 0,40 \text{ m/s}$  ;  $V_3 = 0,80 \text{ m/s}$ ;  $V_4 = 1,20 \text{ m/s}$ .

$$\bar{V} = \frac{0,40 + 0,40 + 0,80 + 1,20}{4} = 0,70 \text{ m/s.}$$

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$$Q = 3,057 \times 0,70 = 2,1399 \text{ m}^3/\text{s.}$$

**Ponto de coleta próximo à foz**

Medidas registradas:

$L_1 = 0,40\text{m}$ ;  $L_2 = 0,20\text{m}$ ;  $L_3 = 0,90\text{m}$ ;  $L_4 = 0,60\text{m}$ ;  $L_5 = 0,60\text{m}$ ;  $L_6 = 0,40\text{m}$ ;  
 $L_7 = 1,00\text{m}$ .

$h_1 = 0,40\text{m}$ ;  $h_2 = 0,60\text{m}$ ;  $h_3 = 1,30\text{m}$ ;  $h_4 = 1,20\text{m}$ ;  $h_5 = 1,10\text{m}$ ;  $h_6 = 0,65\text{m}$ .

Área total =  $0,08 + 0,10 + 0,855 + 0,750 + 0,690 + 0,350 + 0,325 = 3,150 \text{ m}^2$ .

**Velocidades registradas:**

$V_1, V_2, V_3$  e  $V_4 = 0,30 \text{ m/s}$ , portanto  $\bar{V} = 0,30 \text{ m/s}$ .

Vazão = área da seção do rio x velocidade de escoamento do mesmo.

$Q = 3,150 \times 0,30 = 0,945 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## ANEXO B Determinação dos valores de $K_1$ , $K_2$ e $K_d$

### Valores $K_1$ , $K_d$ e $K_2$ em 17 e 18 de Julho de 2013

#### A montante da ETE:

Conforme tabela, foram adotados os valores de curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração, já que à montante da ETE, conforme demonstram as análises, o rio recebe, à montante do ponto de coleta, esgotos domésticos de áreas que ainda não foram interceptadas pelo programa de coleta e tratamento de esgotos. Ainda há o agravante dos esgotamentos clandestinos. Logo,  $K_1$  entre 0,30 e 0,40, adotado  $\bar{K}_1 = 0,35 \text{ d}^{-1}$  para temperatura de 20°C.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$K_{1_{23}} = 0,35 \times 1,047^{(27-20)} \quad \bar{K}_1 = 0,4827 \text{ d}^{-1}, \text{ corrigido para temperatura de } 27^\circ\text{C}.$$

$K_2 = 4,02 \text{ d}^{-1}$  para temperatura de 27°C. Tentativa/acerto na calibração do modelo.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$K_{d_{23}} = 0,60 \times 1,047^{(27-20)} \quad \bar{K}_d = 0,8275 \text{ d}^{-1}, \text{ corrigido para temperatura de } 27^\circ\text{C}.$$

### Valores $K_1$ , $K_d$ e $K_2$ em 14 de Agosto de 2013

#### A montante da ETE:

Conforme tabela, foram adotados os valores de curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração, já que à montante da ETE, conforme demonstram às análises, o rio recebe, à montante do ponto de coleta, esgotos domésticos de áreas que ainda não foram interceptadas pelo programa de coleta e tratamento de esgotos, Ainda há o agravante dos esgotamentos clandestinos. Logo,  $K_1$  entre 0,30 e 0,40, adotado  $\bar{K}_1 = 0,35 \text{ d}^{-1}$  para temperatura de 20°C.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$K_{1_{23}} = 0,35 \times 1,047^{(25-20)} \quad \bar{K}_1 = 0,4403 \text{ d}^{-1}, \text{ corrigido para temperatura de } 25^\circ\text{C}.$$

$K_2 = 3,87 \text{ d}^{-1}$ , para temperatura de 25°C. Tentativa/acerto na calibração do modelo.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$K_{d_{23}} = 0,60 \times 1,047^{(25-20)} \quad \bar{K}_d = 0,75 \text{ d}^{-1}, \text{ corrigido para temperatura de } 25^\circ\text{C}.$$

### **Valores $K_1$ , $K_d$ e $K_2$ em 17 de Setembro de 2013**

#### **A montante da ETE:**

Conforme tabela, foram adotados os valores de curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração, já que à montante da ETE, conforme demonstram às análises, o rio recebe, à montante do ponto de coleta, esgotos domésticos de áreas que ainda não foram interceptadas pelo programa de coleta e tratamento de esgotos, Ainda há o agravante dos esgotamentos clandestinos. Logo,  $K_1$  entre 0,30 e 0,40, adotado  $\bar{K}_1 = 0,35 \text{ d}^{-1}$  para temperatura de 20°C.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$K_{1_{23}} = 0,35 \times 1,047^{(32-20)}$   $\bar{K}_1 = 0,6073 \text{ d}^{-1}$ , corrigido para temperatura de 32°C.

$K_2 = 6,04 \text{ d}^{-1}$ , para temperatura de 32°C. Tentativa/acerto na calibração do modelo.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$K_{d_{23}} = 0,60 \times 1,047^{(32-20)}$   $\bar{K}_d = 1,041 \text{ d}^{-1}$ , corrigido para temperatura de 32°C.

### Valores $K_1$ , $K_d$ e $K_2$ em 15 de Outubro de 2013

#### **A montante da ETE:**

Conforme tabela, foram adotados os valores de curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração, já que à montante da ETE, conforme demonstram às análises, o rio recebe, à montante do ponto de coleta, esgotos domésticos de áreas que ainda não foram interceptadas pelo programa de coleta e tratamento de esgotos, Ainda há o agravante dos esgotamentos clandestinos. Logo,  $K_1$  entre 0,30 e 0,40, adotado  $\bar{K}_1 = 0,35 \text{ d}^{-1}$  para temperatura de 20°C.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$K_{1_{23}} = 0,35 \times 1,047^{(33-20)}$   $\bar{K}_1 = 0,6359 \text{ d}^{-1}$ , corrigido para temperatura de 33°C.

$K_2 = 3,77 \text{ d}^{-1}$ , para temperatura de 33°C. Tentativa/acerto na calibração do modelo.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$K_{d_{23}} = 0,60 \times 1,047^{(33-20)} \quad \bar{K}_d = 1,090 \text{ d}^{-1}, \text{ corrigido para temperatura de } 33^\circ\text{C}.$$

### Valores $K_1$ , $K_d$ e $K_2$ em 11 de Novembro de 2013

#### **A montante da ETE:**

Conforme tabela, foram adotados os valores de curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração, já que à montante da ETE, conforme demonstram às análises, o rio recebe, à montante do ponto de coleta, esgotos domésticos de áreas que ainda não foram interceptadas pelo programa de coleta e tratamento de esgotos, Ainda há o agravante dos esgotamentos clandestinos. Logo,  $K_1$  entre 0,30 e 0,40, adotado  $\bar{K}_1 = 0,35 \text{ d}^{-1}$  para temperatura de 20°C.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$K_{l_{23}} = 0,35 \times 1,047^{(34-20)} \quad \bar{K}_1 = 0,6658 \text{ d}^{-1}, \text{ corrigido para temperatura de } 34^\circ\text{C}.$$

$K_2 = 2,78 \text{ d}^{-1}$ , para temperatura de 34°C. Tentativa/acerto na calibração do modelo.

$$K_{x_T} = K_{x_{20}} \cdot \theta^{(T-20)}$$

$$K_{d_{23}} = 0,60 \times 1,047^{(34-20)} \quad \bar{K}_d = 1,1413 \text{ d}^{-1}, \text{ corrigido para temperatura de } 34^\circ\text{C}.$$

## ANEXO C Cálculo de vazão de efluente tratado

Após a entrada de esgoto bruto na ETE-Vieiras, esse material passa por uma série de tratamentos: físicos, nos tratamentos preliminar e primário, biológicos no tratamento secundário e novamente físico nos tanques de decantação para ser então destinado (lançado) no corpo d'água. Nesse caso, o rio Vieira. A vazão de chegada do efluente é monitorada em tempo real e registrada nos relatórios técnicos de uso da COPASA. Nesse estudo, foram analisadas as vazões médias mensais de entrada de esgoto bruto, conforme cedido pela ETE-Vieiras, porém como não há registro de vazões de saída do efluente tratado, a ETE-Vieiras contabiliza que o mesmo volume de entrada ocorre na saída da mesma.

Foi realizada para registro neste projeto a mensuração da vazão de saída, do lançamento no ponto de seção regular anterior à escada de aeração no ponto de lançamento, conforme figura...

Para cálculo de vazão, foi utilizada a fórmula abaixo:

$$Q = S.v$$

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

S = área da seção (m<sup>2</sup>)

V = velocidade de escoamento do efluente na seção (m/s)

Para a contabilização dessa vazão de lançamento, foram utilizados os instrumentos: régua linimétrica e molinete hidráulico.

A seção possui dimensões retangulares, segundo medida abaixo:

Largura (L) = 1,0 m

Altura/Profundidade (h) = variável de acordo com o volume esgotado pela ETE

### **Vazão lançamento ETE-Vieiras do dia 18 de julho de 2013**

$$Q = S.v$$

Largura (L) = 1,0 m

Altura/profundidade (h) = 0,58 m

$$S = 1,0 \times 0,58 = 0,58 \text{ m}^2$$

V = 1,3 m/s

$$Q = 0,58 \times 1,3 = 0,754 \text{ m}^3/\text{s}$$

### **Vazão lançamento ETE-Vieiras do dia 13 de agosto de 2013**

$$Q = S.v$$

Largura (L) = 1,0 m

Altura/profundidade (h) = 0,56 m

$$S = 1,0 \times 0,56 = 0,56 \text{ m}^2$$

V = 1,3 m/s

$$Q = 0,56 \times 1,3 = 0,728 \text{ m}^3/\text{s}$$

### **Vazão lançamento ETE-Vieiras do dia 19 de setembro de 2013**

$$Q = S.v$$

Largura (L) = 1,0 m

Altura/profundidade (h) = 0,60 m

$$S = 1,0 \times 0,60 = 0,60 \text{ m}^2$$

$$V = 1,3 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,60 \times 1,3 = 0,780 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Vazão lançamento ETE-Vieiras do dia 15 de outubro de 2013**

$$Q = S.v$$

Largura (L) = 1,0 m

Altura/profundidade (h) = 0,60 m

$$S = 1,0 \times 0,60 = 0,60 \text{ m}^2$$

$$V = 1,3 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,60 \times 1,3 = 0,780 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Vazão lançamento ETE-Vieiras do dia 11 de novembro de 2013**

$$Q = S.v$$

Largura (L) = 1,0 m

Altura/profundidade (h) = 0,58 m

$$S = 1,0 \times 0,58 = 0,58 \text{ m}^2$$

$$V = 1,3 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,58 \times 1,3 = 0,754 \text{ m}^3/\text{s}$$



**FIGURA 26** - Estrutura de lançamento de efluente tratado da ETE-VIEIRAS – Montes Claros –MG

**Fonte:** O autor.



## ANEXO E

TABELA 24

Relatório referente modelagem do mês de julho de 2013

**MODELO DE OXIGENIO DISSOLVIDO EM CURSOS D'AGUA  
STREETER-PHELPS AVANÇADO**

<b>DADOS DE ENTRADA JULHO DE 2013</b>	Símbolo	Valor
<b>Dados do rio</b>		
Vazao do rio (m3/s)	Qr	0,702
DBO5 do rio (mg/l)	DBOr	82
OD do rio (mg/l)	ODr	0,0
Nitrogênio orgânico do rio (mg/l)	Norgr	0,0
Amônia-N do rio (mg/l)	Namonr	0,0
Nitrato-N do rio (mg/l)	Nnitrator	0,0
Distancia do trecho (km)	d	70
Velocidade (m/s)	v	0,15
Profundidade (m)	H	0,44
Largura (m)	B	12,90
OD saturação (mg/l)	ODsat	7,61
<b>Dados do afluente (esgoto ou tributário)</b>		
Vazao do esgoto (m3/s)	Qe	0,355
OD do esgoto (mg/l)	ODe	0,0
DBO5 do esgoto bruto (mg/l)	DBOe	419

Nitrogênio orgânico do esgoto (mg/l)	Norge	0,0
Amônia-N do esgoto bruto (mg/l)	Namone	0,0
Nitrato-N do esgoto (mg/l)	Nnitratoo	0,0

### Legislação ambiental

OD mín permissível (mg/l)	ODmín <sub>p</sub>	5
	DBO5máx	
DBO máx permissível (mg/l)	p	5

### Coeficientes do modelo

#### Streeter-Phelps

Coef. desoxigenação (1/d)		K1	0,48
Coef. decomposição DBO (1/d)		Kd	0,83
		Kr=Kd+K	
Coef. remoção DBO resultante (1/d)	s	Kr	0,83
Coef. reaeração (1/d)		K2	4,08

#### Avançado

#### Sedimentação

Coef. sedimentação DBO (1/d) (0 p/ nenhuma sediment)		Ks	0,00
--	--	----	------

#### Nitrogênio

Simular Nitrogênio? (0=Não; 1=Sim)			0
Coef. conversão Norg-Namon (1/d)		Korgamon	0,00
Coef. conversão Namon-Nnittrato (1/d)		Kamonnitr	0,00
O2 equiv. conversão Namon-Nnittrato (mgO2/mgNamon oxid)		O2Namon	0,00
Coef. inibição da nitrificação por baixo OD		knitr	0,00

Tempo de retardo p/ início consumo OD pela nitrif (d) tretnitr 0,00

### Cargas distribuídas (sem vazão)

(entrar zero nos coeficientes para não simular)

*Consumo e produção de OD:*

OD: Taxa produção de O2 por fotossíntese (g/m2.d) P' 0,00

OD: Taxa consumo de O2 por respiração (g/m2.d) R' 0,00

OD: Taxa consumo de O2 por demanda do sedimento (g/m2.d) Sb' 0,00

*Produção de DBO:*

DBO: Carga linear distribuída ao longo do rio (gDBO/m.d) Lrd' 0,00

*Coeficientes das cargas distribuídas recalculados para unidade de g/m3.d*

OD: Taxa de produção de O2 por fotossíntese (g/m3.d) P 0,00

OD: R 0,00

OD: Taxa de consumo de O2 por demanda do sedimento (g/m3.d) Sb 0,00

OD: Taxa de consumo/produção O2 total (-P+R+Sb) (g/m3.d) Sd 0,00

DBO: Carga linear distribuída ao longo do rio (gDBO/m3.d) Lrd 0,00

### Eficiências de remoção na ETE

Efic. remoção DBO na ETE (%) Edbo 77

Efic. remoção amônia na ETE (%) Eamon 0

Trechos aerób e  
anaerób

---

DIST (km)	TEMPO (d)	Trecho (aerób1; anaerób; aerób2)	Tempo de percurso no trecho (ttrecho) (d)	DBO5t (mg/l)  (decaim.expon. se aerób; linear se anaerób)	OD (mg/l)	Limites da legislação ambiental	
						OD mín (mg/l)	DBO máx (mg/l)
0,0	0,000			81,7	0,00	5	5
0,0	0,000			86,8	0,00	5	5
0,7	0,054	Aeróbico 1	0,054	83,0	0,00	5	5
1,4	0,108	Anaeróbico	0,011	79,8	0,00	5	5
2,1	0,162	Anaeróbico	0,065	78,3	0,00	5	5
2,8	0,216	Anaeróbico	0,119	76,8	0,00	5	5
3,5	0,270	Anaeróbico	0,173	75,2	0,00	5	5
4,2	0,324	Anaeróbico	0,227	73,7	0,00	5	5
4,9	0,378	Anaeróbico	0,281	72,2	0,00	5	5
5,6	0,432	Anaeróbico	0,335	70,6	0,00	5	5
6,3	0,486	Anaeróbico	0,389	69,1	0,00	5	5
7,0	0,540	Anaeróbico	0,443	67,6	0,00	5	5
7,7	0,594	Anaeróbico	0,497	66,1	0,00	5	5
8,4	0,648	Anaeróbico	0,551	64,5	0,00	5	5
9,1	0,702	Anaeróbico	0,605	63,0	0,00	5	5
9,8	0,756	Anaeróbico	0,659	61,5	0,00	5	5
10,5	0,810	Anaeróbico	0,713	60,0	0,00	5	5
11,2	0,864	Anaeróbico	0,767	58,4	0,00	5	5
11,9	0,918	Anaeróbico	0,821	56,9	0,00	5	5
12,6	0,972	Anaeróbico	0,875	55,4	0,00	5	5
13,3	1,026	Anaeróbico	0,929	53,9	0,00	5	5
14,0	1,080	Anaeróbico	0,983	52,3	0,00	5	5
14,7	1,134	Anaeróbico	1,037	50,8	0,00	5	5
15,4	1,188	Anaeróbico	1,091	49,3	0,00	5	5

16,1	1,242	Anaeróbio	1,145	47,7	0,00	5	5
16,8	1,296	Anaeróbio	1,199	46,2	0,00	5	5
17,5	1,350	Anaeróbio	1,253	44,7	0,00	5	5
18,2	1,404	Anaeróbio	1,307	43,2	0,00	5	5
18,9	1,458	Anaeróbio	1,361	41,6	0,00	5	5
19,6	1,512	Anaeróbio	1,415	40,1	0,00	5	5
20,3	1,566	Anaeróbio	1,469	38,6	0,00	5	5
21,0	1,620	Anaeróbio	1,523	37,1	0,00	5	5
21,7	1,674	Anaeróbio	1,577	35,5	0,00	5	5
22,4	1,728	Aeróbio 2	0,006	34,0	0,00	5	5
23,1	1,782	Aeróbio 2	0,060	32,5	0,04	5	5
23,8	1,836	Aeróbio 2	0,114	31,1	0,14	5	5
24,5	1,890	Aeróbio 2	0,168	29,7	0,28	5	5
25,2	1,944	Aeróbio 2	0,222	28,4	0,45	5	5
25,9	1,998	Aeróbio 2	0,276	27,2	0,64	5	5
26,6	2,052	Aeróbio 2	0,330	26,0	0,85	5	5
27,3	2,106	Aeróbio 2	0,384	24,9	1,07	5	5
28,0	2,160	Aeróbio 2	0,438	23,8	1,29	5	5
28,7	2,215	Aeróbio 2	0,492	22,7	1,52	5	5
29,4	2,269	Aeróbio 2	0,546	21,7	1,74	5	5
30,1	2,323	Aeróbio 2	0,600	20,8	1,97	5	5
30,8	2,377	Aeróbio 2	0,654	19,9	2,19	5	5
31,5	2,431	Aeróbio 2	0,708	19,0	2,40	5	5
32,2	2,485	Aeróbio 2	0,762	18,2	2,61	5	5
32,9	2,539	Aeróbio 2	0,816	17,4	2,82	5	5
33,6	2,593	Aeróbio 2	0,870	16,6	3,02	5	5
34,3	2,647	Aeróbio 2	0,924	15,9	3,21	5	5
35,0	2,701	Aeróbio 2	0,978	15,2	3,40	5	5
35,7	2,755	Aeróbio 2	1,032	14,5	3,57	5	5
36,4	2,809	Aeróbio 2	1,086	13,9	3,75	5	5
37,1	2,863	Aeróbio 2	1,140	13,3	3,91	5	5
37,8	2,917	Aeróbio 2	1,194	12,7	4,07	5	5

38,5	2,971	Aeróbio 2	1,248	12,2	<b>4,22</b>	5	5
39,2	3,025	Aeróbio 2	1,302	11,6	<b>4,37</b>	5	5
39,9	3,079	Aeróbio 2	1,356	11,1	<b>4,51</b>	5	5
40,6	3,133	Aeróbio 2	1,410	10,6	<b>4,64</b>	5	5
41,3	3,187	Aeróbio 2	1,464	10,2	<b>4,77</b>	5	5
42,0	3,241	Aeróbio 2	1,518	9,7	<b>4,90</b>	5	5
<b>42,7</b>	<b>3,295</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>1,572</b>	<b>9,3</b>	<b>5,01</b>		
43,4	3,349	Aeróbio 2	1,626	8,9	<b>5,13</b>	5	5
44,1	3,403	Aeróbio 2	1,680	8,5	<b>5,24</b>	5	5
44,8	3,457	Aeróbio 2	1,734	8,1	<b>5,34</b>	5	5
45,5	3,511	Aeróbio 2	1,788	7,8	<b>5,44</b>	5	5
46,2	3,565	Aeróbio 2	1,842	7,4	<b>5,53</b>	5	5
46,9	3,619	Aeróbio 2	1,896	7,1	<b>5,62</b>	5	5
47,6	3,673	Aeróbio 2	1,950	6,8	<b>5,71</b>	5	5
48,3	3,727	Aeróbio 2	2,004	6,5	<b>5,79</b>	5	5
49,0	3,781	Aeróbio 2	2,058	6,2	<b>5,87</b>	5	5
49,7	3,835	Aeróbio 2	2,112	5,9	<b>5,95</b>	5	5
50,4	3,889	Aeróbio 2	2,166	5,7	<b>6,02</b>	5	5
51,1	3,943	Aeróbio 2	2,220	5,4	<b>6,09</b>	5	5
51,8	3,997	Aeróbio 2	2,274	5,2	<b>6,16</b>	5	5
<b>52,5</b>	<b>4,051</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>2,328</b>	<b>5,0</b>	<b>6,22</b>	5	5
53,2	4,105	Aeróbio 2	2,382	4,8	<b>6,28</b>	5	5
53,9	4,159	Aeróbio 2	2,436	4,5	<b>6,34</b>	5	5
54,6	4,213	Aeróbio 2	2,490	4,4	<b>6,39</b>	5	5
55,3	4,267	Aeróbio 2	2,544	4,2	<b>6,45</b>	5	5
56,0	4,321	Aeróbio 2	2,598	4,0	<b>6,50</b>	5	5
56,7	4,375	Aeróbio 2	2,652	3,8	<b>6,55</b>	5	5
57,4	4,429	Aeróbio 2	2,706	3,6	<b>6,59</b>	5	5
58,1	4,483	Aeróbio 2	2,760	3,5	<b>6,64</b>	5	5
58,8	4,537	Aeróbio 2	2,814	3,3	<b>6,68</b>	5	5
59,5	4,591	Aeróbio 2	2,868	3,2	<b>6,72</b>	5	5
60,2	4,645	Aeróbio 2	2,922	3,0	<b>6,76</b>	5	5

60,9	4,699	Aeróbio 2	2,976	2,9	<b>6,80</b>	5	5
61,6	4,753	Aeróbio 2	3,030	2,8	<b>6,83</b>	5	5
62,3	4,807	Aeróbio 2	3,084	2,7	<b>6,87</b>	5	5
63,0	4,861	Aeróbio 2	3,138	2,5	<b>6,90</b>	5	5
63,7	4,915	Aeróbio 2	3,192	2,4	<b>6,93</b>	5	5
64,4	4,969	Aeróbio 2	3,246	2,3	<b>6,96</b>	5	5
65,1	5,023	Aeróbio 2	3,300	2,2	<b>6,99</b>	5	5
65,8	5,077	Aeróbio 2	3,355	2,1	<b>7,02</b>	5	5
66,5	5,131	Aeróbio 2	3,409	2,0	<b>7,04</b>	5	5
67,2	5,185	Aeróbio 2	3,463	1,9	<b>7,07</b>	5	5
67,9	5,239	Aeróbio 2	3,517	1,9	<b>7,09</b>	5	5
68,6	5,293	Aeróbio 2	3,571	1,8	<b>7,11</b>	5	5
69,3	5,347	Aeróbio 2	3,625	1,7	<b>7,13</b>	5	5
70,0	5,401	Aeróbio 2	3,679	1,6	<b>7,16</b>	5	5

## ANEXO F

TABELA 25

Relatório referente modelagem do mês de agosto de 2013

## Trechos aeróbio e anaeróbio

DIST (km)	TEMPO (d)	aerób2)	Tempo de percurso no trecho (t trecho) (d)	DBO5t (mg/l)  (decaim.expon. se aerób; linear se anaerób)	OD (mg/l)	Limites da legislação ambiental	
						OD mín (mg/l)	DBO máx (mg/l)
0,0	0,000			27,0	2,74	5	5
0,0	0,000			50,0	1,51	5	5
0,7	0,031	Aeróbio 1	0,031	48,8	0,91	5	5
1,4	0,062	Aeróbio 1	0,062	47,7	0,41	5	5
2,1	0,093	Aeróbio 1	0,093	46,6	0,00	5	5
2,8	0,125	Anaeróbio	0,027	45,8	0,00	5	5
3,5	0,156	Anaeróbio	0,058	45,1	0,00	5	5
4,2	0,187	Anaeróbio	0,089	44,3	0,00	5	5
4,9	0,218	Anaeróbio	0,121	43,6	0,00	5	5
5,6	0,249	Anaeróbio	0,152	42,8	0,00	5	5
6,3	0,280	Anaeróbio	0,183	42,1	0,00	5	5
7,0	0,312	Anaeróbio	0,214	41,3	0,00	5	5
7,7	0,343	Anaeróbio	0,245	40,6	0,00	5	5
8,4	0,374	Anaeróbio	0,276	39,8	0,00	5	5
9,1	0,405	Anaeróbio	0,308	39,1	0,00	5	5

9,8	0,436	Anaeróbio	0,339	38,3	<b>0,00</b>	5	5
10,5	0,467	Anaeróbio	0,370	37,6	<b>0,00</b>	5	5
11,2	0,499	Anaeróbio	0,401	36,8	<b>0,00</b>	5	5
11,9	0,530	Anaeróbio	0,432	36,1	<b>0,00</b>	5	5
12,6	0,561	Anaeróbio	0,463	35,3	<b>0,00</b>	5	5
13,3	0,592	Anaeróbio	0,495	34,6	<b>0,00</b>	5	5
14,0	0,623	Anaeróbio	0,526	33,8	<b>0,00</b>	5	5
14,7	0,654	Anaeróbio	0,557	33,1	<b>0,00</b>	5	5
15,4	0,686	Anaeróbio	0,588	32,3	<b>0,00</b>	5	5
16,1	0,717	Aeróbio 2	0,024	31,6	<b>0,01</b>	5	5
16,8	0,748	Aeróbio 2	0,055	30,8	<b>0,03</b>	5	5
17,5	0,779	Aeróbio 2	0,086	30,1	<b>0,07</b>	5	5
18,2	0,810	Aeróbio 2	0,118	29,4	<b>0,12</b>	5	5
18,9	0,841	Aeróbio 2	0,149	28,7	<b>0,18</b>	5	5
19,6	0,873	Aeróbio 2	0,180	28,1	<b>0,25</b>	5	5
20,3	0,904	Aeróbio 2	0,211	27,4	<b>0,33</b>	5	5
21,0	0,935	Aeróbio 2	0,242	26,8	<b>0,42</b>	5	5
21,7	0,966	Aeróbio 2	0,273	26,2	<b>0,51</b>	5	5
22,4	0,997	Aeróbio 2	0,305	25,6	<b>0,61</b>	5	5
23,1	1,028	Aeróbio 2	0,336	25,0	<b>0,71</b>	5	5
23,8	1,059	Aeróbio 2	0,367	24,4	<b>0,81</b>	5	5
24,5	1,091	Aeróbio 2	0,398	23,8	<b>0,92</b>	5	5
25,2	1,122	Aeróbio 2	0,429	23,3	<b>1,03</b>	5	5
25,9	1,153	Aeróbio 2	0,460	22,8	<b>1,14</b>	5	5
26,6	1,184	Aeróbio 2	0,492	22,2	<b>1,25</b>	5	5
27,3	1,215	Aeróbio 2	0,523	21,7	<b>1,36</b>	5	5
28,0	1,246	Aeróbio 2	0,554	21,2	<b>1,47</b>	5	5
28,7	1,278	Aeróbio 2	0,585	20,7	<b>1,58</b>	5	5
29,4	1,309	Aeróbio 2	0,616	20,2	<b>1,69</b>	5	5
30,1	1,340	Aeróbio 2	0,647	19,8	<b>1,79</b>	5	5
30,8	1,371	Aeróbio 2	0,678	19,3	<b>1,90</b>	5	5
<b>31,5</b>	<b>1,402</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>0,710</b>	<b>18,9</b>	<b>2,01</b>		

32,2	1,433	Aeróbio 2	0,741	18,4	<b>2,11</b>	5	5
32,9	1,465	Aeróbio 2	0,772	18,0	<b>2,22</b>	5	5
33,6	1,496	Aeróbio 2	0,803	17,6	<b>2,32</b>	5	5
34,3	1,527	Aeróbio 2	0,834	17,2	<b>2,42</b>	5	5
35,0	1,558	Aeróbio 2	0,865	16,8	<b>2,52</b>	5	5
35,7	1,589	Aeróbio 2	0,897	16,4	<b>2,62</b>	5	5
36,4	1,620	Aeróbio 2	0,928	16,0	<b>2,72</b>	5	5
37,1	1,652	Aeróbio 2	0,959	15,7	<b>2,81</b>	5	5
37,8	1,683	Aeróbio 2	0,990	15,3	<b>2,90</b>	5	5
38,5	1,714	Aeróbio 2	1,021	14,9	<b>3,00</b>	5	5
39,2	1,745	Aeróbio 2	1,052	14,6	<b>3,09</b>	5	5
39,9	1,776	Aeróbio 2	1,084	14,3	<b>3,17</b>	5	5
40,6	1,807	Aeróbio 2	1,115	13,9	<b>3,26</b>	5	5
41,3	1,838	Aeróbio 2	1,146	13,6	<b>3,34</b>	5	5
42,0	1,870	Aeróbio 2	1,177	13,3	<b>3,43</b>	5	5
42,7	1,901	Aeróbio 2	1,208	13,0	<b>3,51</b>	5	5
43,4	1,932	Aeróbio 2	1,239	12,7	<b>3,59</b>	5	5
44,1	1,963	Aeróbio 2	1,271	12,4	<b>3,66</b>	5	5
44,8	1,994	Aeróbio 2	1,302	12,1	<b>3,74</b>	5	5
45,5	2,025	Aeróbio 2	1,333	11,8	<b>3,81</b>	5	5
46,2	2,057	Aeróbio 2	1,364	11,6	<b>3,89</b>	5	5
46,9	2,088	Aeróbio 2	1,395	11,3	<b>3,96</b>	5	5
47,6	2,119	Aeróbio 2	1,426	11,0	<b>4,03</b>	5	5
48,3	2,150	Aeróbio 2	1,458	10,8	<b>4,10</b>	5	5
49,0	2,181	Aeróbio 2	1,489	10,5	<b>4,16</b>	5	5
49,7	2,212	Aeróbio 2	1,520	10,3	<b>4,23</b>	5	5
50,4	2,244	Aeróbio 2	1,551	10,0	<b>4,29</b>	5	5
51,1	2,275	Aeróbio 2	1,582	9,8	<b>4,35</b>	5	5
51,8	2,306	Aeróbio 2	1,613	9,6	<b>4,41</b>	5	5
52,5	2,337	Aeróbio 2	1,644	9,4	<b>4,47</b>	5	5
53,2	2,368	Aeróbio 2	1,676	9,1	<b>4,53</b>	5	5
53,9	2,399	Aeróbio 2	1,707	8,9	<b>4,59</b>	5	5

54,6	2,431	Aeróbio 2	1,738	8,7	<b>4,64</b>	5	5
55,3	2,462	Aeróbio 2	1,769	8,5	<b>4,70</b>	5	5
56,0	2,493	Aeróbio 2	1,800	8,3	<b>4,75</b>	5	5
56,7	2,524	Aeróbio 2	1,831	8,1	<b>4,80</b>	5	5
57,4	2,555	Aeróbio 2	1,863	7,9	<b>4,85</b>	5	5
58,1	2,586	Aeróbio 2	1,894	7,8	<b>4,90</b>	5	5
58,8	2,618	Aeróbio 2	1,925	7,6	<b>4,95</b>	5	5
<b>59,5</b>	<b>2,649</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>1,956</b>	<b>7,4</b>	<b>5,00</b>	5	5
60,2	2,680	Aeróbio 2	1,987	7,2	<b>5,04</b>	5	5
60,9	2,711	Aeróbio 2	2,018	7,1	<b>5,09</b>	5	5
61,6	2,742	Aeróbio 2	2,050	6,9	<b>5,13</b>	5	5
62,3	2,773	Aeróbio 2	2,081	6,7	<b>5,18</b>	5	5
63,0	2,804	Aeróbio 2	2,112	6,6	<b>5,22</b>	5	5
63,7	2,836	Aeróbio 2	2,143	6,4	<b>5,26</b>	5	5
64,4	2,867	Aeróbio 2	2,174	6,3	<b>5,30</b>	5	5
65,1	2,898	Aeróbio 2	2,205	6,1	<b>5,34</b>	5	5
65,8	2,929	Aeróbio 2	2,237	6,0	<b>5,38</b>	5	5
66,5	2,960	Aeróbio 2	2,268	5,9	<b>5,42</b>	5	5
67,2	2,991	Aeróbio 2	2,299	5,7	<b>5,45</b>	5	5
67,9	3,023	Aeróbio 2	2,330	5,6	<b>5,49</b>	5	5
68,6	3,054	Aeróbio 2	2,361	5,5	<b>5,52</b>	5	5
69,3	3,085	Aeróbio 2	2,392	5,3	<b>5,56</b>	5	5
<b>70,0</b>	<b>3,116</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>2,423</b>	<b>5,2</b>	<b>5,59</b>	5	5

## ANEXO G

TABELA 26

Perfil de OD e de DBO da modelagem do mês de setembro/2013, em sistemas aeróbios sem tratamento de efluentes do capítulo 6.2.4.1

DIST (km)	TEMPO (d)	OD (mg/l)	OD mín permissível (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DBO5 máx permissível (mg/l)
0,0	0,00	2,40	5	60,0	60
0,0	0,00	1,30	5	203,3	60
8,5	0,38	-0,68	5	188,2	60
17,0	0,76	-0,44	5	174,2	60
25,5	1,14	0,06	5	161,2	60
34,0	1,51	0,57	5	149,2	60
42,5	1,89	1,04	5	138,1	60
51,0	2,27	1,48	5	127,8	60
59,5	2,65	1,89	5	118,3	60
68,0	3,03	2,26	5	109,5	60
76,5	3,41	2,61	5	101,4	60
85,0	3,78	2,93	5	93,8	60
93,5	4,16	3,23	5	86,8	60
102,0	4,54	3,51	5	80,4	60
110,5	4,92	3,76	5	74,4	60
119,0	5,30	4,00	5	68,9	60
127,5	5,68	4,22	5	63,7	60
136,0	6,05	4,42	5	59,0	60
144,5	6,43	4,61	5	54,6	60
153,0	6,81	4,78	5	50,5	60
161,5	7,19	4,94	5	46,8	60
170,0	7,57	5,09	5	43,3	60

## ANEXO H

TABELA 27

Perfil de OD e de DBO da modelagem do mês de Setembro/2013 em sistemas aeróbios com tratamento de efluentes do capítulo 6.2.4.2

## PERFIS DE OD E DBO:

SEGMENTO	DIST (km)	TEMPO (d)	OD (mg/l)	OD mín permissível (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DBO5 m permissível (mg/l)
0	0,0	0,00	2,40	5	60,0	60
0	0,0	0,00	1,30	5	77,1	60
1	3,3	0,14	2,64	5	74,8	60
2	6,5	0,29	3,32	5	72,7	60
3	9,8	0,43	3,68	5	70,5	60
4	13,0	0,58	3,90	5	68,5	60
5	16,3	0,72	4,05	5	66,5	60
6	19,5	0,87	4,16	5	64,6	60
7	22,8	1,01	4,25	5	62,7	60
8	26,0	1,16	4,33	5	60,8	60
9	29,3	1,30	4,41	5	59,1	60
10	32,5	1,45	4,49	5	57,4	60
11	35,8	1,59	4,56	5	55,7	60
12	39,0	1,74	4,63	5	54,1	60
13	42,3	1,88	4,70	5	52,5	60
14	45,5	2,03	4,76	5	51,0	60
15	48,8	2,17	4,83	5	49,5	60
16	52,0	2,31	4,89	5	48,0	60
17	55,3	2,46	4,95	5	46,6	60
18	58,5	2,60	5,01	5	45,3	60
19	61,8	2,75	5,06	5	44,0	60
20	65,0	2,89	5,12	5	42,7	60

## ANEXO I

TABELA 28

Dados de modelagem anaeróbia, com tratamento de efluentes, setembro de 2013

Trechos aeróbio e  
anaeróbio

DIST (km)	TEMPO (d)	aerób2)	Tempo de percurso no trecho (d)	DBO5t (mg/l)  (decaim.expon. se aerób; linear se anaerób)	OD (mg/l)	Limites da legislação ambiental	
						OD mín (mg/l)	DBO máx (mg/l)
0,0	0,000			60,4	2,41	5	5
0,0	0,000			77,3	1,30	5	5
0,7	0,031	Aeróbio 1	0,031	74,8	0,00	5	5
1,4	0,062	Aeróbio 1	0,062	72,4	0,00	5	5
2,1	0,093	Aeróbio 1	0,093	70,1	0,00	5	5
2,8	0,125	Anaeróbio	0,027	68,8	0,00	5	5
3,5	0,156	Anaeróbio	0,058	67,5	0,00	5	5
4,2	0,187	Anaeróbio	0,089	66,3	0,00	5	5
4,9	0,218	Anaeróbio	0,121	65,0	0,00	5	5
5,6	0,249	Anaeróbio	0,152	63,8	0,00	5	5
6,3	0,280	Anaeróbio	0,183	62,5	0,00	5	5
7,0	0,312	Anaeróbio	0,214	61,3	0,00	5	5
7,7	0,343	Anaeróbio	0,245	60,1	0,00	5	5
8,4	0,374	Anaeróbio	0,276	58,8	0,00	5	5
9,1	0,405	Anaeróbio	0,308	57,6	0,00	5	5
9,8	0,436	Anaeróbio	0,339	56,3	0,00	5	5

10,5	0,467	Anaeróbio	0,370	55,1	<b>0,00</b>	5	5
11,2	0,499	Anaeróbio	0,401	53,8	<b>0,00</b>	5	5
11,9	0,530	Anaeróbio	0,432	52,6	<b>0,00</b>	5	5
12,6	0,561	Anaeróbio	0,463	51,3	<b>0,00</b>	5	5
13,3	0,592	Anaeróbio	0,495	50,1	<b>0,00</b>	5	5
14,0	0,623	Anaeróbio	0,526	48,9	<b>0,00</b>	5	5
14,7	0,654	Anaeróbio	0,557	47,6	<b>0,00</b>	5	5
15,4	0,686	Anaeróbio	0,588	46,4	<b>0,00</b>	5	5
16,1	0,717	Anaeróbio	0,619	45,1	<b>0,00</b>	5	5
16,8	0,748	Anaeróbio	0,650	43,9	<b>0,00</b>	5	5
17,5	0,779	Anaeróbio	0,682	42,6	<b>0,00</b>	5	5
18,2	0,810	Anaeróbio	0,713	41,4	<b>0,00</b>	5	5
18,9	0,841	Anaeróbio	0,744	40,2	<b>0,00</b>	5	5
19,6	0,873	Anaeróbio	0,775	38,9	<b>0,00</b>	5	5
20,3	0,904	Aeróbio 2	0,017	37,7	<b>0,01</b>	5	5
21,0	0,935	Aeróbio 2	0,048	36,5	<b>0,04</b>	5	5
21,7	0,966	Aeróbio 2	0,079	35,3	<b>0,11</b>	5	5
22,4	0,997	Aeróbio 2	0,110	34,2	<b>0,21</b>	5	5
23,1	1,028	Aeróbio 2	0,141	33,1	<b>0,32</b>	5	5
23,8	1,059	Aeróbio 2	0,172	32,0	<b>0,44</b>	5	5
24,5	1,091	Aeróbio 2	0,204	31,0	<b>0,58</b>	5	5
25,2	1,122	Aeróbio 2	0,235	30,0	<b>0,72</b>	5	5
25,9	1,153	Aeróbio 2	0,266	29,1	<b>0,87</b>	5	5
26,6	1,184	Aeróbio 2	0,297	28,1	<b>1,03</b>	5	5
27,3	1,215	Aeróbio 2	0,328	27,2	<b>1,18</b>	5	5
28,0	1,246	Aeróbio 2	0,359	26,4	<b>1,34</b>	5	5
28,7	1,278	Aeróbio 2	0,391	25,5	<b>1,49</b>	5	5
29,4	1,309	Aeróbio 2	0,422	24,7	<b>1,65</b>	5	5
30,1	1,340	Aeróbio 2	0,453	23,9	<b>1,80</b>	5	5
30,8	1,371	Aeróbio 2	0,484	23,2	<b>1,95</b>	5	5
<b>31,5</b>	<b>1,402</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>0,515</b>	<b>22,4</b>	<b>2,10</b>		
32,2	1,433	Aeróbio 2	0,546	21,7	<b>2,25</b>	5	5

32,9	1,465	Aeróbio 2	0,578	21,0	<b>2,39</b>	5	5
33,6	1,496	Aeróbio 2	0,609	20,3	<b>2,53</b>	5	5
34,3	1,527	Aeróbio 2	0,640	19,7	<b>2,66</b>	5	5
35,0	1,558	Aeróbio 2	0,671	19,1	<b>2,80</b>	5	5
35,7	1,589	Aeróbio 2	0,702	18,5	<b>2,92</b>	5	5
36,4	1,620	Aeróbio 2	0,733	17,9	<b>3,05</b>	5	5
37,1	1,652	Aeróbio 2	0,765	17,3	<b>3,17</b>	5	5
37,8	1,683	Aeróbio 2	0,796	16,7	<b>3,29</b>	5	5
38,5	1,714	Aeróbio 2	0,827	16,2	<b>3,40</b>	5	5
39,2	1,745	Aeróbio 2	0,858	15,7	<b>3,52</b>	5	5
39,9	1,776	Aeróbio 2	0,889	15,2	<b>3,62</b>	5	5
40,6	1,807	Aeróbio 2	0,920	14,7	<b>3,73</b>	5	5
41,3	1,838	Aeróbio 2	0,952	14,2	<b>3,83</b>	5	5
42,0	1,870	Aeróbio 2	0,983	13,8	<b>3,93</b>	5	5
42,7	1,901	Aeróbio 2	1,014	13,3	<b>4,02</b>	5	5
43,4	1,932	Aeróbio 2	1,045	12,9	<b>4,12</b>	5	5
44,1	1,963	Aeróbio 2	1,076	12,5	<b>4,21</b>	5	5
44,8	1,994	Aeróbio 2	1,107	12,1	<b>4,29</b>	5	5
45,5	2,025	Aeróbio 2	1,138	11,7	<b>4,38</b>	5	5
46,2	2,057	Aeróbio 2	1,170	11,3	<b>4,46</b>	5	5
46,9	2,088	Aeróbio 2	1,201	11,0	<b>4,54</b>	5	5
47,6	2,119	Aeróbio 2	1,232	10,6	<b>4,62</b>	5	5
48,3	2,150	Aeróbio 2	1,263	10,3	<b>4,69</b>	5	5
49,0	2,181	Aeróbio 2	1,294	10,0	<b>4,76</b>	5	5
49,7	2,212	Aeróbio 2	1,325	9,6	<b>4,83</b>	5	5
50,4	2,244	Aeróbio 2	1,357	9,3	<b>4,90</b>	5	5
51,1	2,275	Aeróbio 2	1,388	9,0	<b>4,96</b>	5	5
<b>51,8</b>	<b>2,306</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>1,419</b>	<b>8,8</b>	<b>5,03</b>	5	5
52,5	2,337	Aeróbio 2	1,450	8,5	<b>5,09</b>	5	5
53,2	2,368	Aeróbio 2	1,481	8,2	<b>5,15</b>	5	5
53,9	2,399	Aeróbio 2	1,512	7,9	<b>5,20</b>	5	5
54,6	2,431	Aeróbio 2	1,544	7,7	<b>5,26</b>	5	5

55,3	2,462	Aeróbio 2	1,575	7,4	<b>5,31</b>	5	5
56,0	2,493	Aeróbio 2	1,606	7,2	<b>5,36</b>	5	5
56,7	2,524	Aeróbio 2	1,637	7,0	<b>5,41</b>	5	5
57,4	2,555	Aeróbio 2	1,668	6,8	<b>5,46</b>	5	5
58,1	2,586	Aeróbio 2	1,699	6,5	<b>5,51</b>	5	5
58,8	2,618	Aeróbio 2	1,731	6,3	<b>5,56</b>	5	5
59,5	2,649	Aeróbio 2	1,762	6,1	<b>5,60</b>	5	5
60,2	2,680	Aeróbio 2	1,793	5,9	<b>5,64</b>	5	5
60,9	2,711	Aeróbio 2	1,824	5,7	<b>5,68</b>	5	5
61,6	2,742	Aeróbio 2	1,855	5,6	<b>5,72</b>	5	5
62,3	2,773	Aeróbio 2	1,886	5,4	<b>5,76</b>	5	5
63,0	2,804	Aeróbio 2	1,917	5,2	<b>5,80</b>	5	5
<b>63,7</b>	<b>2,836</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>1,949</b>	<b>5,0</b>	<b>5,84</b>	5	5
64,4	2,867	Aeróbio 2	1,980	4,9	<b>5,87</b>	5	5
65,1	2,898	Aeróbio 2	2,011	4,7	<b>5,91</b>	5	5
65,8	2,929	Aeróbio 2	2,042	4,6	<b>5,94</b>	5	5
66,5	2,960	Aeróbio 2	2,073	4,4	<b>5,97</b>	5	5
67,2	2,991	Aeróbio 2	2,104	4,3	<b>6,00</b>	5	5
67,9	3,023	Aeróbio 2	2,136	4,2	<b>6,03</b>	5	5
68,6	3,054	Aeróbio 2	2,167	4,0	<b>6,06</b>	5	5
69,3	3,085	Aeróbio 2	2,198	3,9	<b>6,09</b>	5	5
70,0	3,116	Aeróbio 2	2,229	3,8	<b>6,12</b>	5	5

## ANEXO J

TABELA 29

Dados de modelagem anaeróbia, com tratamento de efluentes, outubro de 2013

Trechos aeróbio e  
anaeróbio

DIST (km)	TEMPO (d)	Trecho (aerób1; anaerób; aerób2)	Tempo de percurso no trecho (ttrecho) (d)	DBO5t (mg/l)		Limites da legislação ambiental	
				linear se anaerób)	se aerób; <b>OD (mg/l)</b>	OD mín (mg/l)	DBO máx (mg/l)
0,0	0,000			32,2	6,33	5	5
0,0	0,000			44,0	3,98	5	5
0,7	0,029	Aeróbio 1	0,029	42,6	2,93	5	5
1,4	0,058	Aeróbio 1	0,058	41,3	2,02	5	5
2,1	0,087	Aeróbio 1	0,087	40,0	1,25	5	5
2,8	0,116	Anaeróbio	0,018	39,1	0,00	5	5
3,5	0,145	Anaeróbio	0,047	38,4	0,00	5	5
4,2	0,174	Anaeróbio	0,076	37,7	0,00	5	5
4,9	0,203	Anaeróbio	0,105	36,9	0,00	5	5
5,6	0,231	Anaeróbio	0,134	36,2	0,00	5	5
6,3	0,260	Anaeróbio	0,163	35,5	0,00	5	5
7,0	0,289	Anaeróbio	0,192	34,8	0,00	5	5
7,7	0,318	Anaeróbio	0,221	34,1	0,00	5	5
8,4	0,347	Anaeróbio	0,250	33,4	0,00	5	5
9,1	0,376	Anaeróbio	0,279	32,7	0,00	5	5
9,8	0,405	Anaeróbio	0,308	32,0	0,00	5	5

10,5	0,434	Anaeróbio	0,337	31,3	<b>0,00</b>	5	5
11,2	0,463	Anaeróbio	0,365	30,5	<b>0,00</b>	5	5
11,9	0,492	Anaeróbio	0,394	29,8	<b>0,00</b>	5	5
12,6	0,521	Anaeróbio	0,423	29,1	<b>0,00</b>	5	5
13,3	0,550	Anaeróbio	0,452	28,4	<b>0,00</b>	5	5
14,0	0,579	Anaeróbio	0,481	27,7	<b>0,00</b>	5	5
14,7	0,608	Anaeróbio	0,510	27,0	<b>0,00</b>	5	5
15,4	0,637	Anaeróbio	0,539	26,3	<b>0,00</b>	5	5
16,1	0,666	Anaeróbio	0,568	25,6	<b>0,00</b>	5	5
16,8	0,694	Anaeróbio	0,597	24,9	<b>0,00</b>	5	5
17,5	0,723	Anaeróbio	0,626	24,1	<b>0,00</b>	5	5
18,2	0,752	Anaeróbio	0,655	23,4	<b>0,00</b>	5	5
18,9	0,781	Anaeróbio	0,684	22,7	<b>0,00</b>	5	5
19,6	0,810	Aeróbio 2	0,022	22,0	<b>0,01</b>	5	5
20,3	0,839	Aeróbio 2	0,050	21,3	<b>0,03</b>	5	5
21,0	0,868	Aeróbio 2	0,079	20,7	<b>0,08</b>	5	5
21,7	0,897	Aeróbio 2	0,108	20,0	<b>0,14</b>	5	5
22,4	0,926	Aeróbio 2	0,137	19,4	<b>0,21</b>	5	5
23,1	0,955	Aeróbio 2	0,166	18,8	<b>0,30</b>	5	5
23,8	0,984	Aeróbio 2	0,195	18,2	<b>0,39</b>	5	5
24,5	1,013	Aeróbio 2	0,224	17,7	<b>0,50</b>	5	5
25,2	1,042	Aeróbio 2	0,253	17,1	<b>0,61</b>	5	5
25,9	1,071	Aeróbio 2	0,282	16,6	<b>0,72</b>	5	5
26,6	1,100	Aeróbio 2	0,311	16,1	<b>0,84</b>	5	5
27,3	1,128	Aeróbio 2	0,340	15,6	<b>0,96</b>	5	5
28,0	1,157	Aeróbio 2	0,369	15,1	<b>1,09</b>	5	5
28,7	1,186	Aeróbio 2	0,398	14,6	<b>1,22</b>	5	5
29,4	1,215	Aeróbio 2	0,427	14,2	<b>1,35</b>	5	5
30,1	1,244	Aeróbio 2	0,456	13,7	<b>1,47</b>	5	5
30,8	1,273	Aeróbio 2	0,484	13,3	<b>1,60</b>	5	5
<b>31,5</b>	<b>1,302</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>0,513</b>	<b>12,9</b>	<b>1,73</b>		
32,2	1,331	Aeróbio 2	0,542	12,5	<b>1,86</b>	5	5

32,9	1,360	Aeróbio 2	0,571	12,1	<b>1,99</b>	5	5
33,6	1,389	Aeróbio 2	0,600	11,7	<b>2,12</b>	5	5
34,3	1,418	Aeróbio 2	0,629	11,4	<b>2,24</b>	5	5
35,0	1,447	Aeróbio 2	0,658	11,0	<b>2,36</b>	5	5
35,7	1,476	Aeróbio 2	0,687	10,7	<b>2,48</b>	5	5
36,4	1,505	Aeróbio 2	0,716	10,3	<b>2,60</b>	5	5
37,1	1,534	Aeróbio 2	0,745	10,0	<b>2,72</b>	5	5
37,8	1,563	Aeróbio 2	0,774	9,7	<b>2,83</b>	5	5
38,5	1,591	Aeróbio 2	0,803	9,4	<b>2,95</b>	5	5
39,2	1,620	Aeróbio 2	0,832	9,1	<b>3,06</b>	5	5
39,9	1,649	Aeróbio 2	0,861	8,8	<b>3,16</b>	5	5
40,6	1,678	Aeróbio 2	0,890	8,5	<b>3,27</b>	5	5
41,3	1,707	Aeróbio 2	0,919	8,3	<b>3,37</b>	5	5
42,0	1,736	Aeróbio 2	0,947	8,0	<b>3,47</b>	5	5
42,7	1,765	Aeróbio 2	0,976	7,8	<b>3,57</b>	5	5
43,4	1,794	Aeróbio 2	1,005	7,5	<b>3,66</b>	5	5
44,1	1,823	Aeróbio 2	1,034	7,3	<b>3,76</b>	5	5
44,8	1,852	Aeróbio 2	1,063	7,1	<b>3,85</b>	5	5
45,5	1,881	Aeróbio 2	1,092	6,9	<b>3,94</b>	5	5
46,2	1,910	Aeróbio 2	1,121	6,6	<b>4,02</b>	5	5
46,9	1,939	Aeróbio 2	1,150	6,4	<b>4,11</b>	5	5
47,6	1,968	Aeróbio 2	1,179	6,2	<b>4,19</b>	5	5
48,3	1,997	Aeróbio 2	1,208	6,0	<b>4,27</b>	5	5
49,0	2,025	Aeróbio 2	1,237	5,9	<b>4,34</b>	5	5
49,7	2,054	Aeróbio 2	1,266	5,7	<b>4,42</b>	5	5
50,4	2,083	Aeróbio 2	1,295	5,5	<b>4,49</b>	5	5
51,1	2,112	Aeróbio 2	1,324	5,3	<b>4,56</b>	5	5
51,8	2,141	Aeróbio 2	1,353	5,2	<b>4,63</b>	5	5
<b>52,5</b>	<b>2,170</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>1,381</b>	<b>5,0</b>	<b>4,69</b>	5	5
53,2	2,199	Aeróbio 2	1,410	4,8	<b>4,76</b>	5	5
53,9	2,228	Aeróbio 2	1,439	4,7	<b>4,82</b>	5	5
54,6	2,257	Aeróbio 2	1,468	4,5	<b>4,88</b>	5	5

55,3	2,286	Aeróbio 2	1,497	4,4	<b>4,94</b>	5	5
<b>56,0</b>	<b>2,315</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>1,526</b>	<b>4,3</b>	<b>5,00</b>	5	5
56,7	2,344	Aeróbio 2	1,555	4,1	<b>5,05</b>	5	5
57,4	2,373	Aeróbio 2	1,584	4,0	<b>5,11</b>	5	5
58,1	2,402	Aeróbio 2	1,613	3,9	<b>5,16</b>	5	5
58,8	2,431	Aeróbio 2	1,642	3,8	<b>5,21</b>	5	5
59,5	2,459	Aeróbio 2	1,671	3,6	<b>5,26</b>	5	5
60,2	2,488	Aeróbio 2	1,700	3,5	<b>5,30</b>	5	5
60,9	2,517	Aeróbio 2	1,729	3,4	<b>5,35</b>	5	5
61,6	2,546	Aeróbio 2	1,758	3,3	<b>5,40</b>	5	5
62,3	2,575	Aeróbio 2	1,787	3,2	<b>5,44</b>	5	5
63,0	2,604	Aeróbio 2	1,816	3,1	<b>5,48</b>	5	5
63,7	2,633	Aeróbio 2	1,844	3,0	<b>5,52</b>	5	5
64,4	2,662	Aeróbio 2	1,873	2,9	<b>5,56</b>	5	5
65,1	2,691	Aeróbio 2	1,902	2,8	<b>5,60</b>	5	5
65,8	2,720	Aeróbio 2	1,931	2,7	<b>5,64</b>	5	5
66,5	2,749	Aeróbio 2	1,960	2,7	<b>5,67</b>	5	5
67,2	2,778	Aeróbio 2	1,989	2,6	<b>5,71</b>	5	5
67,9	2,807	Aeróbio 2	2,018	2,5	<b>5,74</b>	5	5
68,6	2,836	Aeróbio 2	2,047	2,4	<b>5,77</b>	5	5
69,3	2,865	Aeróbio 2	2,076	2,3	<b>5,81</b>	5	5
70,0	2,894	Aeróbio 2	2,105	2,3	<b>5,84</b>	5	5

## ANEXO K

TABELA 30

Dados de modelagem anaeróbia, com tratamento de efluentes, novembro de 2013

## Trechos aeróbio e anaeróbio

DIST (km)	TEMPO (d)	Trecho (aerób1; anaerób; aerób2)	Tempo de percurso no trecho (ttrecho) (d)	DBO5t (mg/l)		Limites da legislação ambiental	
				linear se anaerób)	se aerób; (decaim.expon. aerób; OD (mg/l)	OD mín (mg/l)	DBO máx (mg/l)
0,0	0,000			19,6	5,55	5	5
0,0	0,000			32,8	2,54	5	5
0,7	0,029	Aeróbio 1	0,029	31,5	1,57	5	5
1,4	0,059	Aeróbio 1	0,059	30,2	0,73	5	5
2,1	0,088	Aeróbio 1	0,088	29,0	0,00	5	5
2,8	0,118	Anaeróbio	0,020	28,2	0,00	5	5
3,5	0,147	Anaeróbio	0,050	27,7	0,00	5	5
4,2	0,177	Anaeróbio	0,079	27,1	0,00	5	5
4,9	0,206	Anaeróbio	0,109	26,5	0,00	5	5
5,6	0,236	Anaeróbio	0,138	26,0	0,00	5	5
6,3	0,265	Anaeróbio	0,168	25,4	0,00	5	5
7,0	0,295	Anaeróbio	0,197	24,9	0,00	5	5
7,7	0,324	Anaeróbio	0,227	24,3	0,00	5	5
8,4	0,354	Anaeróbio	0,256	23,8	0,00	5	5
9,1	0,383	Anaeróbio	0,286	23,2	0,00	5	5
9,8	0,412	Anaeróbio	0,315	22,6	0,00	5	5

10,5	0,442	Anaeróbio	0,344	22,1	<b>0,00</b>	5	5
11,2	0,471	Anaeróbio	0,374	21,5	<b>0,00</b>	5	5
11,9	0,501	Anaeróbio	0,403	21,0	<b>0,00</b>	5	5
12,6	0,530	Anaeróbio	0,433	20,4	<b>0,00</b>	5	5
13,3	0,560	Anaeróbio	0,462	19,8	<b>0,00</b>	5	5
14,0	0,589	Anaeróbio	0,492	19,3	<b>0,00</b>	5	5
14,7	0,619	Anaeróbio	0,521	18,7	<b>0,00</b>	5	5
15,4	0,648	Anaeróbio	0,551	18,2	<b>0,00</b>	5	5
16,1	0,678	Anaeróbio	0,580	17,6	<b>0,00</b>	5	5
16,8	0,707	Anaeróbio	0,610	17,0	<b>0,00</b>	5	5
17,5	0,737	Anaeróbio	0,639	16,5	<b>0,00</b>	5	5
18,2	0,766	Anaeróbio	0,669	15,9	<b>0,00</b>	5	5
18,9	0,795	Anaeróbio	0,698	15,4	<b>0,00</b>	5	5
19,6	0,825	Anaeróbio	0,727	14,8	<b>0,00</b>	5	5
20,3	0,854	Anaeróbio	0,757	14,2	<b>0,00</b>	5	5
21,0	0,884	Anaeróbio	0,786	13,7	<b>0,00</b>	5	5
21,7	0,913	Aeróbio 2	0,017	13,1	<b>0,00</b>	5	5
22,4	0,943	Aeróbio 2	0,047	12,6	<b>0,03</b>	5	5
23,1	0,972	Aeróbio 2	0,076	12,1	<b>0,07</b>	5	5
23,8	1,002	Aeróbio 2	0,106	11,6	<b>0,13</b>	5	5
24,5	1,031	Aeróbio 2	0,135	11,1	<b>0,21</b>	5	5
25,2	1,061	Aeróbio 2	0,165	10,7	<b>0,30</b>	5	5
25,9	1,090	Aeróbio 2	0,194	10,2	<b>0,40</b>	5	5
26,6	1,120	Aeróbio 2	0,224	9,8	<b>0,51</b>	5	5
27,3	1,149	Aeróbio 2	0,253	9,4	<b>0,63</b>	5	5
28,0	1,178	Aeróbio 2	0,283	9,0	<b>0,76</b>	5	5
28,7	1,208	Aeróbio 2	0,312	8,7	<b>0,89</b>	5	5
29,4	1,237	Aeróbio 2	0,341	8,3	<b>1,02</b>	5	5
30,1	1,267	Aeróbio 2	0,371	8,0	<b>1,16</b>	5	5
30,8	1,296	Aeróbio 2	0,400	7,7	<b>1,30</b>	5	5
31,5	1,326	Aeróbio 2	0,430	7,3	<b>1,45</b>		
32,2	1,355	Aeróbio 2	0,459	7,0	<b>1,59</b>	5	5

32,9	1,385	Aeróbio 2	0,489	6,8	<b>1,74</b>	5	5
33,6	1,414	Aeróbio 2	0,518	6,5	<b>1,89</b>	5	5
34,3	1,444	Aeróbio 2	0,548	6,2	<b>2,03</b>	5	5
35,0	1,473	Aeróbio 2	0,577	6,0	<b>2,18</b>	5	5
35,7	1,503	Aeróbio 2	0,607	5,7	<b>2,32</b>	5	5
36,4	1,532	Aeróbio 2	0,636	5,5	<b>2,46</b>	5	5
37,1	1,561	Aeróbio 2	0,666	5,3	<b>2,60</b>	5	5
<b>37,8</b>	<b>1,591</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>0,695</b>	<b>5,1</b>	<b>2,74</b>	5	5
38,5	1,620	Aeróbio 2	0,724	4,8	<b>2,88</b>	5	5
39,2	1,650	Aeróbio 2	0,754	4,6	<b>3,01</b>	5	5
39,9	1,679	Aeróbio 2	0,783	4,5	<b>3,15</b>	5	5
40,6	1,709	Aeróbio 2	0,813	4,3	<b>3,27</b>	5	5
41,3	1,738	Aeróbio 2	0,842	4,1	<b>3,40</b>	5	5
42,0	1,768	Aeróbio 2	0,872	3,9	<b>3,52</b>	5	5
42,7	1,797	Aeróbio 2	0,901	3,8	<b>3,64</b>	5	5
43,4	1,827	Aeróbio 2	0,931	3,6	<b>3,76</b>	5	5
44,1	1,856	Aeróbio 2	0,960	3,5	<b>3,87</b>	5	5
44,8	1,886	Aeróbio 2	0,990	3,3	<b>3,99</b>	5	5
45,5	1,915	Aeróbio 2	1,019	3,2	<b>4,09</b>	5	5
46,2	1,944	Aeróbio 2	1,049	3,1	<b>4,20</b>	5	5
46,9	1,974	Aeróbio 2	1,078	2,9	<b>4,30</b>	5	5
47,6	2,003	Aeróbio 2	1,107	2,8	<b>4,40</b>	5	5
48,3	2,033	Aeróbio 2	1,137	2,7	<b>4,50</b>	5	5
49,0	2,062	Aeróbio 2	1,166	2,6	<b>4,59</b>	5	5
49,7	2,092	Aeróbio 2	1,196	2,5	<b>4,68</b>	5	5
50,4	2,121	Aeróbio 2	1,225	2,4	<b>4,77</b>	5	5
51,1	2,151	Aeróbio 2	1,255	2,3	<b>4,85</b>	5	5
51,8	2,180	Aeróbio 2	1,284	2,2	<b>4,94</b>	5	5
<b>52,5</b>	<b>2,210</b>	<b>Aeróbio 2</b>	<b>1,314</b>	<b>2,1</b>	<b>5,02</b>	5	5
53,2	2,239	Aeróbio 2	1,343	2,0	<b>5,09</b>	5	5
53,9	2,269	Aeróbio 2	1,373	1,9	<b>5,17</b>	5	5
54,6	2,298	Aeróbio 2	1,402	1,9	<b>5,24</b>	5	5

55,3	2,327	Aeróbio 2	1,432	1,8	<b>5,31</b>	5	5
56,0	2,357	Aeróbio 2	1,461	1,7	<b>5,37</b>	5	5
56,7	2,386	Aeróbio 2	1,490	1,6	<b>5,44</b>	5	5
57,4	2,416	Aeróbio 2	1,520	1,6	<b>5,50</b>	5	5
58,1	2,445	Aeróbio 2	1,549	1,5	<b>5,56</b>	5	5
58,8	2,475	Aeróbio 2	1,579	1,5	<b>5,62</b>	5	5
59,5	2,504	Aeróbio 2	1,608	1,4	<b>5,68</b>	5	5
60,2	2,534	Aeróbio 2	1,638	1,3	<b>5,73</b>	5	5
60,9	2,563	Aeróbio 2	1,667	1,3	<b>5,78</b>	5	5
61,6	2,593	Aeróbio 2	1,697	1,2	<b>5,83</b>	5	5
62,3	2,622	Aeróbio 2	1,726	1,2	<b>5,88</b>	5	5
63,0	2,652	Aeróbio 2	1,756	1,1	<b>5,93</b>	5	5
63,7	2,681	Aeróbio 2	1,785	1,1	<b>5,97</b>	5	5
64,4	2,710	Aeróbio 2	1,815	1,0	<b>6,01</b>	5	5
65,1	2,740	Aeróbio 2	1,844	1,0	<b>6,06</b>	5	5
65,8	2,769	Aeróbio 2	1,873	1,0	<b>6,10</b>	5	5
66,5	2,799	Aeróbio 2	1,903	0,9	<b>6,13</b>	5	5
67,2	2,828	Aeróbio 2	1,932	0,9	<b>6,17</b>	5	5
67,9	2,858	Aeróbio 2	1,962	0,8	<b>6,21</b>	5	5
68,6	2,887	Aeróbio 2	1,991	0,8	<b>6,24</b>	5	5
69,3	2,917	Aeróbio 2	2,021	0,8	<b>6,27</b>	5	5
70,0	2,946	Aeróbio 2	2,050	0,7	<b>6,31</b>	5	5

## ANEXO L RELATÓRIOS DE ENSAIO DA COPASA-MG, REFERENTES ÀS AMOSTRAS COLETADAS

<b>COPASA</b> A água de Minas		<b>SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES</b> <b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b>							
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>									
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte					<b>Telefone:</b> (38) 3229-5755 ou 3229-5900			
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada								
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG								
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>									
<b>Solicitante:</b>	UFMG					<b>Telefone:</b> -			
<b>Endereço:</b>	-								
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG								
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>									
<b>Lote:</b>	SEF 156-13				<b>Roteiro:</b> Pesquisa				
<b>Data coleta:</b>	18/07/13				<b>Data da saída:</b> 25/07/13				
<b>Data da entrada:</b>	18/07/13				<b>Coletor:</b> EDSON ANDRADE				
<b>Procedência da Água:</b>	( ) Bruta ( ) Tratada ( ) Efluentes								
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>									
1- RIO VIEIRA - PROXIMO NASCENTE					4-				
2- RIO VIEIRA - PROXIMO FOZ					5-				
3-					6-				
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>									
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6	
Hora da coleta	-	-	13:20	15:10	-	-	-	-	
Temp. ambiente	°C	-	27	30	-	-	-	-	
Temp. amostra	°C	-	23	22	-	-	-	-	
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	-	-	-	-	-	-	
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	-	-	-	-	
DQO total	mg/L	ISO 6060	<4,0	34,2	-	-	-	-	
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-	
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	<0,100	13,9	-	-	-	-	
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-	
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-	
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	-	-	-	-	-	
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	-	-	-	-	-	-	
Nitrito	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-	
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	-	-	-	-	-	
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-	
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	-	-	-	-	-	-	
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	7,61	2,40	-	-	-	-	
pH	-	APHA 4500 B	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-	
Sólidos fixos totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-	
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-	
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	-	-	-	-	-	-	
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	-	-	-	-	-	-	
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>2-</sup> D	-	-	-	-	-	-	
<b>Observações:</b>									
<b>Abrangência:</b> Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.									
<b>Referências metodológicas:</b> Análises realizadas conforme metodologias descritas na <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 22nd Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2012).									
<b>Analista:</b>			<b>Responsável pelo Laboratório:</b>						
Eduilson Dias de Oliveira DVMM / LRNT - TEC. QUÍMICO		CRQ nº: 02406424	Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DPNT / DVMM / LRNT				CREA nº: 53171 / D		

<b>COPASA</b> A água de Minas		<b>SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES</b> <b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b>							
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>									
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte				<b>Telefone:</b> (38) 3229-5755 ou 3229-5900				
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada								
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG								
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>									
<b>Solicitante:</b>	LRNT				<b>Telefone:</b> -				
<b>Endereço:</b>	-								
<b>Cidade:</b>	DTVG - MONTES CLAROS								
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>									
<b>Lote:</b>	SEF 153-13			<b>Roteiro:</b>	ETE				
<b>Data coleta:</b>	17/07/13			<b>Data da saída:</b>	28/07/13				
<b>Data da entrada:</b>	17/07/13			<b>Coletor:</b>	MARCELO				
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>									
1-EFLUENTE BRUTO				4- RIO JUSANTE DA ETE					
2- EFLUENTE TRATADO				5- -					
3-RIO MONTANTE DA ETE				6- -					
<b>RESULTADOS ANALITICOS</b>									
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6	
Hora da coleta	-	-	06:15X15:10	06:25X15:19	13:15	12:35	-	-	
Temperatura ambiente	°C	-	20	20	30	32	-	-	
Temperatura amostra	°C	-	28	28	27	28	-	-	
Cianetos	mg/L	EPA 335 -2	-	-	-	-	-	-	
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	1059	1111	862	1028	-	-	
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	-	-	-	-	
Cloreto	mg/L	APHA - 4500 C	89,2	89,2	68,9	86,7	-	-	
DQO total	mg/L	ISO 6060	817	170	171	142	-	-	
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-	
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	419	97,0	81,7	73,8	-	-	
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-	
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-	
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	6,00	3,00	4,40	-	-	
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	2,10	1,00	1,40	1,60	-	-	
Nitrato	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-	
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	47,0	19,5	35,5	-	-	
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-	
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	92,0	19,0	<0,2	8,4	-	-	
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	ND	ND	ND	ND	-	-	
pH	-	APHA 4500 B	7,20	7,40	7,62	7,44	-	-	
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-	
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-	
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-	
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	6,5	<0,1	-	-	-	-	
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	5,26	6,13	1,55	5,04	-	-	
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>2-</sup> D	-	-	-	-	-	-	
Turbidez	uT	APHA - 2130 B	-	-	48,5	33,6	-	-	
<b>Observações:</b>									
<b>Abrangência:</b>									
Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.									
<b>Referências metodológicas:</b>									
Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 22nd Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2012).									
<b>Analista:</b>			<b>Responsável pelo Laboratório:</b>						
Edilon Dias de Oliveira DVMN / LRNT - TEC. QUÍMICO		CRQ nº: 02406424	Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DPNT / DVMN / LRNT			CREA nº: 53171 / D			

<b>COPASA</b> A água de Minas		<b>SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES</b> <b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b>							
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>									
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte					<b>Telefone:</b> (38) 3229-5755 ou 3229-5900			
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada								
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG								
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>									
<b>Solicitante:</b>	LRNT					<b>Telefone:</b> -			
<b>Endereço:</b>	-								
<b>Cidade:</b>	DTVG - MONTES CLAROS								
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>									
<b>Lote:</b>	SEF 153-13				<b>Roteiro:</b> ETE				
<b>Data coleta:</b>	17/07/13				<b>Data da saída:</b> 18/07/13				
<b>Data da entrada:</b>	17/07/13				<b>Coletor:</b> MARCELO				
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>									
1- RIO MONTANTE ETE			4- EFLUENTE BRUTO MAIOR VAZÃO						
2- RIO JUSANTE DA ETE			5- EFLUENTE TRATADO MENOR VAZÃO						
3- EFLUENTE BRUTO MENOR VAZÃO			6- EFLUENTE TRATADO DE MAIOR VAZÃO						
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>									
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6	
Hora da coleta	-	-	13:15	12:35	06:15	13:00	06:25	13:15	
Temperatura ambiente	°C	-	30	32	13	30	13	30	
Temperatura amostra	°C	-	28	27	25	27	25	26	
Coliformes Totais	UFC/100mL	APHA - 9223 A	1,2X10 <sup>7</sup>	7,7X10 <sup>5</sup>	7,4X10 <sup>5</sup>	1,2X10 <sup>3</sup>	1,5X10 <sup>7</sup>	2,0X10 <sup>7</sup>	
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	APHA - 9223 A	-	-	-	-	-	-	
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	APHA - 9223 A	1,0X10 <sup>5</sup>	1,5X10 <sup>5</sup>	2,0X10 <sup>5</sup>	2,0X10 <sup>7</sup>	4,1X10 <sup>5</sup>	5,1X10 <sup>5</sup>	
Heterotrófico Mesófilos	UFC/mL	APHA - 9215 B	-	-	-	-	-	-	
Cloro Residual Livre	mg/L	KIT HACH	-	-	-	-	-	-	
<b>Observações:</b>									
<b>Abrangência:</b> Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.									
<b>Referências metodológicas:</b> Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 21nd Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2005).									
<b>Analista:</b>			<b>Responsável pelo Laboratório:</b>						
José Eustáquio Almeida DVVN / LRNT - TEC. QUÍMICO			CRQ. Nº 02401381		Aprovação: Paulo Afonso Emídio DPNT / DVVN / LRNT - BIOCÓGO			CRBIO nº: 30548 / 4	

COPASA		SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES								
A água de Minas		"RELATÓRIO DE ENSAIO"								
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>										
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte				<b>Telefone:</b> [(38) 3229-5755 ou 3229-5900]					
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada									
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG									
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>										
<b>Solicitante:</b>	LRNT				<b>Telefone:</b> -					
<b>Endereço:</b>	-									
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG									
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>										
<b>Lote:</b>	SEF 173-13			<b>Roteiro:</b> ETE						
<b>Data coleta:</b>	14/08/13			<b>Data da saída:</b> 30/08/13						
<b>Data da entrada:</b>	15/08/13			<b>Coletor:</b> MARCELO						
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>										
1-EFLUENTE BRUTO				4- RIO JUSANTE DA ETE						
2- EFLUENTE TRATADO				5- -						
3-RIO MONTANTE DA ETE				6- -						
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>										
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6		
Hora da coleta	-	-	08:15 a 15:05	08:15 a 15:05	11:00	10:35	-	-		
Temperatura ambiente	°C	-	16	15	28	26	-	-		
Temperatura amostra	°C	-	26	27	25	25	-	-		
Cianetos	mg/L	EPA 335 -2	-	-	-	-	-	-		
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	-	1159	952	1282	-	-		
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	-	-	-	-		
Cloretos	mg/L	APHA - 4500 C	-	-	-	-	-	-		
DQO total	mg/L	ISO 6060	454	242	50,8	117	-	-		
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-		
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	300	78,2	27,0	53,2	-	-		
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-		
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-		
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	-	-	-	-	-		
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	-	-	-	-	-	-		
Nitrato	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-		
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	-	-	-	-	-		
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-		
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	-	-	-	-	-	-		
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	ND	ND	2,34	ND	-	-		
pH	-	APHA 4500 B	7,18	7,33	7,47	7,43	-	-		
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-		
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-		
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-		
Sólidos fixos totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-		
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-		
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-		
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-		
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	7,0	0,3	-	-	-	-		
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	-	-	-	-	-	-		
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>+</sup> D	-	-	-	-	-	-		
Turbidez	uT	APHA - 2130 B	-	-	10,7	35,5	-	-		
<b>Observações:</b>										
-										
<b>Abrangência:</b>										
Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.										
<b>Referências metodológicas:</b>										
Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 22nd Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2012).										
<b>Analista:</b>			<b>Responsável pelo Laboratório:</b>							
Edilon Dias de Oliveira DVMN / LRNT - TEC. QUÍMICO		CRQ nº: 02406424	Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DVMN / LRNT				CREA nº: 53171 / D			

<b>COPASA</b> A água de Minas		<b>SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES</b> <b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b>							
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>									
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte				<b>Telefone:</b> (38) 3229-5755 ou 3229-5900				
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada								
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG								
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>									
<b>Solicitante:</b>	LRNT				<b>Telefone:</b> -				
<b>Endereço:</b>	-								
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG								
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>									
<b>Lote:</b>	SEF 170-13				<b>Roteiro:</b> JETE				
<b>Data coleta:</b>	13/08/13				<b>Data da saída:</b> 25/08/13				
<b>Data da entrada:</b>	14/08/13				<b>Coletor:</b> EDSON				
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>									
1- RIO VIEIRA NASCENTE				4-		-			
2- RIO VIEIRA FOZ				5-		-			
3-				6-		-			
<b>RESULTADOS ANALITICOS</b>									
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6	
Hora da coleta	-	-	13:30	15:06	-	-	-	-	
Temperatura ambiente	°C	-	29,5	32	-	-	-	-	
Temperatura amostra	°C	-	23	22	-	-	-	-	
Cianetos	mg/L	EPA 335 -2	-	-	-	-	-	-	
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	-	-	-	-	-	-	
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	-	-	-	-	
Cloretos	mg/L	APHA - 4500 C	-	-	-	-	-	-	
DQO total	mg/L	ISO 6060	8,36	48,5	-	-	-	-	
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-	
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	0,200	21,2	-	-	-	-	
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-	
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-	
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	-	-	-	-	-	
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	-	-	-	-	-	-	
Nitrito	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-	
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	-	-	-	-	-	
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-	
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	-	-	-	-	-	-	
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	7,00	2,00	-	-	-	-	
pH	-	APHA 4500 B	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-	
Sólidos fixos totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-	
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-	
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	-	-	-	-	-	-	
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	-	-	-	-	-	-	
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>2</sup> D	-	-	-	-	-	-	
Turbidez	uT	APHA - 2130 B	-	-	-	-	-	-	
<b>Observações:</b>	-								
<b>Abrangência:</b>	Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.								
<b>Referências metodológicas:</b>	Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 22nd Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2012).								
<b>Analista:</b>			<b>Responsável pelo Laboratório:</b>						
Edilon Dias de Oliveira DVMN / LRNT - TEC. QUÍMICO		CRQ nº: 02406424	Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DVMN / LRNT			CREA nº: 53171 / D			

<b>COPASA</b> A água de Minas		<b>SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES</b> <b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b>						
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>								
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte			<b>Telefone:</b> (38) 3229-5755 ou 3229-5900				
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada							
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG							
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>								
<b>Solicitante:</b>	LRNT			<b>Telefone:</b> -				
<b>Endereço:</b>	-							
<b>Cidade:</b>	DTVG - MONTES CLAROS							
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>								
<b>Lote:</b>	SEF 208-13			<b>Roteiro:</b> ETE				
<b>Data coleta:</b>	17/09/13			<b>Data da saída:</b> 10/10/13				
<b>Data da entrada:</b>	18/09/13			<b>Coletor:</b> MARCELO				
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>								
1- EFLUENTE BRUTO			4- RIO JUSANTE DA ETE					
2- EFLUENTE TRATADO			5- -					
3- RIO MONTANTE DA ETE			6- -					
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>								
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6
Hora da coleta	-	-	6:15X15:06	6:26X15:15	14:50	14:30	-	-
Temperatura ambiente	°C	-	20X35	21X35	35	35	-	-
Temperatura amostra	°C	-	26X28	26X28	32	29	-	-
Cianetos	mg/L	EPA 335 -2	-	-	-	-	-	-
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	1003	994	995	994	-	-
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	APHA - 4500 C	-	-	-	-	-	-
DQO total	mg/L	ISO 6060	653	210	121	220	-	-
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	372	97,1	60,4	87,2	-	-
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	-	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	-	-	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	-	-	-	-	-	-
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	ND	ND	2,41	ND	-	-
pH	-	APHA 4500 B	6,56	7,00	6,88	7,17	-	-
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-
Sólidos fixos totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	7,5	0,3	-	-	-	-
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	-	-	-	-	-	-
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>2</sup> D	-	-	-	-	-	-
Turbidez	uT	APHA - 2130 B	-	-	17,3	45,0	-	-
<b>Observações:</b>								
-								
<b>Abrangência:</b>								
Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.								
<b>Referências metodológicas:</b>								
Análises realizadas conforme metodologias descritas na <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22nd Ed.</i> (APHA, AWWA, WEF, 2012).								
<b>Analista:</b>			<b>Responsável pelo Laboratório:</b>					
Edilon Dias de Oliveira DVMN / LRNT - TEC. QUÍMICO		CRQ nº: 02406424	Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DPN / DVMN / LRNT			CREA nº: 53171 / D		

COPASA A água de Minas		SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES "RELATÓRIO DE ENSAIO"						
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>								
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte				<b>Telefone:</b> [(38) 3229-5755 ou 3229-5900]			
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada							
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG							
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>								
<b>Solicitante:</b>	UFMG				<b>Telefone:</b>			
<b>Endereço:</b>								
<b>Cidade:</b>	MONTES CLAROS - MG							
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>								
<b>Lote:</b>	SEF 207-13				<b>Roteiro:</b> ETE			
<b>Data coleta:</b>	17/09/13				<b>Data da saída:</b>		10/10/13	
<b>Data da entrada:</b>	18/09/13				<b>Coletor:</b> EDSON			
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>								
1- RIO VIEIRA - PRÓXIMO NASCENTE				4-				
2- RIO VIEIRA - PROXIMO FOZ				5-				
3-				6-				
<b>RESULTADOS ANALITICOS</b>								
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6
Hora da coleta	-	-	11:25	13:45	-	-	-	-
Temperatura ambiente	°C	-	29	32	-	-	-	-
Temperatura amostra	°C	-	23	25	-	-	-	-
Cianetos	mg/L	EPA 335 -2	-	-	-	-	-	-
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	-	-	-	-	-	-
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	-	-	-	-
DQO total	mg/L	ISO 6060	14,5	41,4	-	-	-	-
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	0,640	20,0	-	-	-	-
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	-	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	-	-	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	-	-	-	-	-	-
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	6,94	2,09	-	-	-	-
pH	-	APHA 4500 B	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-
Sólidos fixos totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	-	-	-	-	-	-
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	-	-	-	-	-	-
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>2</sup> D	-	-	-	-	-	-
Turbidez	uT	APHA - 2130 B	-	-	-	-	-	-
<b>Observações:</b>								
<b>Abrangência:</b>								
Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.								
<b>Referências metodológicas:</b>								
Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 21th Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2005).								
<b>Analista:</b>				<b>Responsável pelo Laboratório:</b>				
Edilon Dias de Oliveira DVMM / LRNT - TEC. QUÍMICO			CRQ nº: 02406424	Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DPNT / DVMM / LRNT			CREA nº: 53171 / D	

COPASA A Água de Minas		SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES "RELATÓRIO DE ENSAIO"						
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>								
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte			<b>Telefone:</b> (38) 3229-5755 ou 3229-5900				
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada							
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG							
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>								
<b>Solicitante:</b>	LRNT			<b>Telefone:</b> -				
<b>Endereço:</b>	-							
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG							
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>								
<b>Lote:</b>	SEF-231-13			<b>Roteiro:</b> ETE				
<b>Data coleta:</b>	15/10/13			<b>Data da saída:</b> 04/11/13				
<b>Data da entrada:</b>	16/10/13			<b>Coletor:</b> ELIENIO				
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>								
1-EFLUENTE BRUTO				4- RIO JUSANTE DA ETE				
2- EFLUENTE TRATADO				5- -				
3-RIO MONTANTE DA ETE				6- -				
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>								
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6
Hora da coleta	-	-	06:00X15:00	06:00X15:00	14:17	14:33	-	-
Temperatura ambiente	°C	-	26	26	36	34	-	-
Temperatura amostra	°C	-	28	28	33	30	-	-
Cianetos	mg/L	EPA 335 -2	-	-	-	-	-	-
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	1081	1075	726	1033	-	-
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	118,40*	9,87	-	-
Cloretos	mg/L	APHA - 4500 C	140	61	57	73	-	-
DQO total	mg/L	ISO 6060	709	174	97,0	157	-	-
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	311	63,9	32,2	57,6	-	-
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	8,50	2,63	6,74	-	-
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	0,7	<0,5	0,6	<0,5	-	-
Nitrito	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	45,5	10	34,5	-	-
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	68	15	3,6	8,0	-	-
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	ND	ND	6,33	ND	-	-
pH	-	APHA 4500 B	7,21	7,68	8,55	7,44	-	-
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	6,5	0,1	-	-	-	-
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	5,44	5,88	0,98	4,54	-	-
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>2</sup> D	-	-	-	-	-	-
Turbidez	uT	APHA - 2130 B	-	-	4,56	31,5	-	-
<b>Observações: * Ensaio confirmado</b>								
<b>Abrangência:</b> Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.								
<b>Referências metodológicas:</b> Análises realizadas conforme metodologias descritas na <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 21th Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2005).								
<b>Analista:</b>				<b>Responsável pelo Laboratório:</b>				
Edilson Dias de Oliveira DVMN / LRNT - TEC. QUÍMICO		CRQ nº: 02406424		Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DPNT / DVMN / LRNT		CREA nº: 53171 / D		

COPASA A água de Minas		SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA E EFLUENTES "RELATÓRIO DE ENSAIO"						
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>								
<b>Nome:</b>	COPASA - Laboratório Regional Norte			<b>Telefone:</b> (38) 3229-5755 ou 3229-5900				
<b>Endereço:</b>	Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada							
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG							
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>								
<b>Solicitante:</b>	UFMG			<b>Telefone:</b>				
<b>Endereço:</b>	-							
<b>Cidade:</b>	Montes Claros - MG							
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>								
<b>Lote:</b>	SEF - 229-13			<b>Roteiro:</b> JETE				
<b>Data coleta:</b>	15/10/13			<b>Data da saída:</b> 04/11/13				
<b>Data da entrada:</b>	16/10/13			<b>Coletor:</b> EDSON BARBOSA ANDRADE				
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>								
1-RIO VIEIRA - PRÓXIMO NASCENTE			4-		-			
2-RIO VIEIRA - PRÓXIMO FOZ			5-		-			
3-			6-		-			
<b>RESULTADOS ANALITICOS</b>								
Parâmetros	Unidades	Método APHA	1	2	3	4	5	6
Hora da coleta	-	-	09:40	11:20	-	-	-	-
Temperatura ambiente	°C	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura amostra	°C	-	-	-	-	-	-	-
Cianetos	mg/L	EPA 335 -2	-	-	-	-	-	-
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 A	-	-	-	-	-	-
Clorofila a	µg/L	APHA 10200 H mod.	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	APHA - 4500 C	-	-	-	-	-	-
DQO total	mg/L	ISO 6060	<5,00	36,3	-	-	-	-
DQO filtrada	mg/L	ISO 6061	-	-	-	-	-	-
DBO total	mg/L	APHA 5210 B	0,514	15,7	-	-	-	-
DBO filtrada	mg/L	APHA 5210 B	-	-	-	-	-	-
Fenóis	mg/L	KIT MERCK	-	-	-	-	-	-
Fósforo total	mg/L	APHA 4500 - P E	-	-	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	APHA 4500 D	-	-	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	D I N 38405 D10	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio amoniacal	mg/L	APHA 4500 NH <sub>3</sub> D	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio total	mg/L	ISO 7890/1	-	-	-	-	-	-
Óleos e graxas	mg/L	Gravimétrico/COPASA	-	-	-	-	-	-
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 B	6,80	1,74	-	-	-	-
pH	-	APHA 4500 B	8,58	8,14	-	-	-	-
Sólidos suspensos fixos	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	APHA 2540 D	-	-	-	-	-	-
Sólidos voláteis totais	mg/L	APHA 2540 E	-	-	-	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	APHA 2540 B	-	-	-	-	-	-
Sólidos totais	mg/L	APHA 2540 G	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentáveis	ml/L	APHA 2540 F	-	-	-	-	-	-
Surfactantes	mg/L	APHA 5540 C	-	-	-	-	-	-
Sulfetos	mg/L	APHA 4500 S <sup>2</sup> D	-	-	-	-	-	-
Turbidez	uT	APHA - 2130 B	-	-	-	-	-	-
<b>Observações:</b>								
<b>Abrangência:</b> Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.								
<b>Referências metodológicas:</b> Análises realizadas conforme metodologias descritas na <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 21th Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2005).								
<b>Analista:</b>				<b>Responsável pelo Laboratório:</b>				
Edilón Dias de Oliveira DVMN / LRNT - TEC. QUÍMICO		CRQ n°: 02406424		Aprovação: Eng. Mônica M. Ladeia DPNT / DVMN			CREA n°: 53171 / D	

FORMULÁRIO DE REGISTRO DA QUALIDADE							Padronização da DVMN/LRNT				
COPASA A água de Minas		CÓDIGO DO FRQ			REVISÃO	VALIDADE	PÁGINA				
Número: FRQ-120 POP-0016		Localizador: DVMN-3.04.01			0	01/10/2015	1/2				
Título: RELATÓRIO DE ENSAIO											
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 00235/2013											
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>											
Nome: COPASA - Laboratório Regional Norte							Telefone: (38)3229-5755				
Endereço: Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada											
Cidade: Montes Claros - MG											
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>											
Solicitante: DTVG							Telefone: -				
Endereço: -											
Cidade: Montes Claros - MG											
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>											
Lote: SEF 248-13					Roteiro: ETE						
Data coleta: 11/11/2013					Coletor: MARCELO						
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>											
1- EFLUENTE BRUTO				4- RIO JUSANTE DA ETE							
2- EFLUENTE TRATADO				5- EFLUENTE BRUTO DE MENOR VAZÃO							
3- RIO MONTANTE DA ETE				6- EFLUENTE BRUTO DE MAIOR VAZÃO							
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>											
Parâmetros	Unidades	Método utilizado	LQ	Data ensaio	1	2	3	4	5	6	
Temperatura ambiente*	°C	APHA 2550 B	-	11/11/13	20	20	34	24	25	33	
Temperatura amostra*	°C	APHA 2550 B	-	11/11/13	28	28	35	31	28	29	
Coliformes totais	NMP/100mL	APHA 9223 A, B	< 1	12/11/13	-	-	1,5x10 <sup>5</sup>	1,8x10 <sup>7</sup>	2,2x10 <sup>7</sup>	1,1x10 <sup>5</sup>	
Escherichia coli	NMP/100mL	APHA 9223 A, B	< 1	12/11/13	-	-	3,0x10 <sup>5</sup>	6,4x10 <sup>6</sup>	6,6x10 <sup>6</sup>	2,7x10 <sup>7</sup>	
Condutividade elétrica	µS/cm	APHA - 2510 B	2,198	12/11/13	1080	1086	643	984	-	-	
DQO	mg/L	APHA 5220 D	4,0	12/11/13	605	137	63,9	143	-	-	
DBO	mg/L	APHA 5210 B	0,1	17/11/13	302	44	19,6	61	-	-	
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 O C	0,1	11/11/13	ND	1,38	5,55	1,97	-	-	
pH	-	APHA 4500 H* B	-	12/11/13	6,91	7,31	8,66	7,81	-	-	
Sólidos sedimentáveis	mL/L	APHA 2540 F	0,1	12/11/13	4,0	0,3	-	-	-	-	
Turbidez	NTU	APHA - 2130 B	0,125	12/11/13	-	-	7,19	29,6	-	-	
<b>Hora da coleta da amostra</b>					06:02 AS 15:25	06:10 AS 15:20	13:35	15:12	7:05	13:06	
<b>Observações:</b> *Ensaio e leituras de campo. Os resultados deste relatório se referem somente aos itens ensaiados.											
<b>Abrangência:</b> Este resultado de ensaio só deve ser reproduzido completo.											
<b>Referências metodológicas:</b> Ensaio realizado conforme metodologias descritas na <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22nd Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2012)</i> .											
<b>Informações da amostragem:</b> Coleta realizada pelo cliente. A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.											
<b>Responsável Técnico:</b>					<b>Aprovado por:</b>						
Téc. Quím. José Batista de Almeida					CRQ / CRBIO nº: 2411633		Eng. Mônica M. Ladeia			CREA nº: 53171 / D	
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais Laboratório Regional Norte - LRNT											

FORMULÁRIO DE REGISTRO DA QUALIDADE										Padronização da DVMN/LRNT	
<b>COPASA</b> <small>Companhia de Saneamento de Minas Gerais</small>		CÓDIGO DO FRQ				REVISÃO	VALIDADE	PÁGINA			
Número: FRQ-120 POP-0016		Localizador: DVMN-3.04.01				0	01/10/2015	1/1			
Título: RELATÓRIO DE ENSAIO											
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 00349/2013											
<b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>											
Nome:		COPASA - Laboratório Regional Norte					Telefone: (38)3229-5755				
Endereço:		Av. Eng. Rolando Trindade Bassi, 14 - Bairro Jardim Alvorada									
Cidade:		Montes Claros - MG									
<b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>											
Solicitante:		UFMG					Telefone: -				
Endereço:		-									
Cidade:		DTVG-MONTES CLAROS									
<b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>											
Lote:		SEF-249-13				Roteiro:		PESQUISA			
Data coleta:		11/11/2013				Coletor:		EDSON			
<b>PONTOS DE AMOSTRAGEM</b>											
1- RIO VIEIRA - PRÓXIMO NASCENTE					4-						
2- RIO VIEIRA - PRÓXIMO FOZ					5-						
3- -					6-						
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>											
Parâmetros	Unidades	Método utilizado	LQ	Data ensaio	1	2	3	4	5	6	
Temperatura ambiente*	°C	APHA 2550 B	-	11/11/13	25	24	-	-	-	-	
Temperatura amostra*	°C	APHA 2550 B	-	11/11/13	32	27	-	-	-	-	
DQO	mg/L	APHA 5220 D	4,0	12/11/13	9,0	41,6	-	-	-	-	
DBO	mg/L	APHA 5210 B	0,1	17/11/13	1,14	15,9	-	-	-	-	
Oxigênio dissolvido	mg/L	APHA 4500 O C	0,1	11/11/13	7,08	1,44	-	-	-	-	
Hora da coleta da amostra					17:06	15:35	-	-	-	-	
<b>Observações:</b>											
*Ensaio e leituras de campo. Os resultados deste relatório se referem somente aos itens ensaiados.											
<b>Abrangência:</b>											
Este resultado de ensaio só deve ser reproduzido completo.											
<b>Referências metodológicas:</b>											
Ensaio realizado conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22nd Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2012).</i>											
<b>Informações da amostragem:</b>											
Coleta realizada pelo cliente. A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.											
Responsável Técnico:					Aprovado por:						
Téc. Quím. José de Almeida Batista		CRQ / CRBIO nº: 2411633			Eng. Mônica M. Ladeia				CREA nº: 53171 / D		
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais Laboratório Regional Norte - LRNT											