

## 27º. Encontro Técnico AESABESP

### MONITORAMENTO CONTÍNUO DE DQO NO ESGOTO BRUTO DA ETE/REÚSO JESUS NETTO – IPIRANGA-SP

#### **Allan Saddi Arnesen<sup>(1)</sup>**

Engenheiro da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – TX da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

#### **Edilson de Oliveira Prado**

Técnico em Sistema de Saneamento da Divisão de Controle Sanitário Centro – MCEC da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

#### **Douglas Ivo**

Especialista de aplicações na Horiba Instruments do Brasil, São Paulo, Brasil.

#### **Márcio Alves Silva**

Encarregado de Sistema de Tratamento de Esgoto da Divisão de Controle Sanitário Centro – MCEC da SABESP - Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Costa Carvalho, 300, Prédio da Prefeitura – piso superior – Pinheiros – São Paulo – SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9541 - Fax: +55 (11) 3388-8695 - e-mail: [aarnesen@sabesp.com.br](mailto:aarnesen@sabesp.com.br).

## RESUMO

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro de elevada importância à operação de estações de tratamento para o controle das cargas aplicadas e das eficiências obtidas nos processos. Tecnologias e métodos baseados no princípio da absorvância UV e VIS possibilitam leituras instantâneas de DQO. Um ponto crítico dos analisadores contínuos de DQO é a limpeza dos instrumentos, a qual pode influenciar na acurácia dos equipamentos. Neste trabalho, foram realizados testes com um analisador de DQO pelo princípio da absorvância UV e VIS na ETE de Reuso Jesus Netto para monitorar este parâmetro no esgoto bruto, afluente da estação. Os resultados demonstraram que, após ajustes de operação e manutenção, o equipamento testado é capaz de detectar as variações horárias e diárias de carga orgânica, com erro estimado em 16% em relação aos métodos tradicionais de determinação de DQO, o que pode ser útil para avaliações dos processos da ETE. Além disso, o equipamento também foi capaz de detectar a entrada de efluentes não domésticos na ETE, o que confere segurança ao processo de tratamento biológico da estação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Demanda Química de Oxigênio, tratamento biológico de esgoto, reúso de água.

## INTRODUÇÃO

A análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO) é utilizada para medir o oxigênio equivalente do material orgânico no esgoto que pode ser oxidado quimicamente usando dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em solução ácida. A DQO é um parâmetro de elevada importância à operação de estações de tratamento (principalmente anaeróbias e de efluentes industriais) para o controle das cargas aplicadas e das eficiências obtidas nos processos (PIVELI & KATO, 2012).

A principal funcionalidade da análise de DQO é avaliar, em conjunto com a análise de DBO, a biodegradabilidade de um despejo. Como a DBO mede a fração biodegradável do despejo, quanto mais próximo seu valor da DQO, mais facilmente biodegradável ele será.

Embora a utilização conjunta dos parâmetros DQO e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) seja fundamental em avaliações dos processos biológicos de tratamento de efluentes, a DQO tem sido mais utilizada do que a DBO para controle operacional. Em esgotos tipicamente domésticos, a fração orgânica, em geral, supera a fração inorgânica reduzida, e a DQO pode ser utilizada, sem maiores problemas, para quantificar diretamente a matéria oxidável presente.

Novas tecnologias e métodos têm sido desenvolvidos para aumentar a frequência de obtenção de valores de DQO nas estações de tratamento de esgoto, como por exemplo, o emprego do princípio da absorvência da radiação por compostos orgânicos.

Uma ampla gama de componentes orgânicos presentes no esgoto, como substâncias húmicas, lignina, taninos e vários compostos aromáticos, absorvem fortemente a radiação ultravioleta (UV). Por este motivo, a radiação UV (especialmente no comprimento de onda 254 nm) pode ser utilizada como uma medida indireta dos compostos orgânicos presentes no esgoto.

Baseados nos fundamentos de absorvência da radiação pelos componentes orgânicos nas faixas espectrais do UV (para determinação da DQO) e do Infravermelho Próximo (VIS) (para estimativa da turbidez), atualmente existem equipamentos capazes de medir a DQO de forma contínua e em tempo real, possibilitando equalizar o balanço de massa carbonácea das estações de tratamento e otimizar seu controle operacional.

A turbidez, devido à presença de substâncias em suspensão, causa espalhamento e sombreamento da luz, consequentemente afetando a absorvência em todo espectro. Por este motivo, uma equação matemática que descreve a relação entre a intensidade de espalhamento e o comprimento de onda é utilizada para compensar o efeito da turbidez no resultado da medição de DQO (LANGERGRABER et al., 2004).

Um ponto crítico dos analisadores contínuos de DQO é a limpeza dos instrumentos. Os fabricantes apresentam diferentes alternativas para limpeza automática das fontes de radiação UV/VIS e detectores, tais como sistemas de limpeza por ar comprimido, escova rotativa ou pincel automático. A presença e eficiência de um sistema de autolimpeza é decisiva para a acurácia dos resultados de DQO medidos pelo equipamento e determinam a frequência de manutenções necessárias (como a remoção dos instrumentos e limpeza dos compartimentos onde eles ficam inseridos).

A utilização de um método de determinação da DQO com base nos valores de absorvência UV e VIS, além de sua principal vantagem na obtenção de leituras instantâneas, não requer a utilização produtos químicos como: mercúrio, dicromato de potássio e outros; oferecendo opção de ensaio sem a manipulação destes produtos químicos, e outros riscos inerente da realização pelo "método de dicromato" como: digestão da amostra com ácido sulfúrico contendo dicromato, mercúrio e sais de prata. Países como: Japão, Alemanha, Inglaterra, Estados Unidos, Canada etc., sempre estão em constantes revisões e considerações para abolir determinadas metodologias de ensaios, por outras metodologias que reduzem, ou não ofereçam, riscos a saúde e segurança dos trabalhadores e ao meio ambiente.

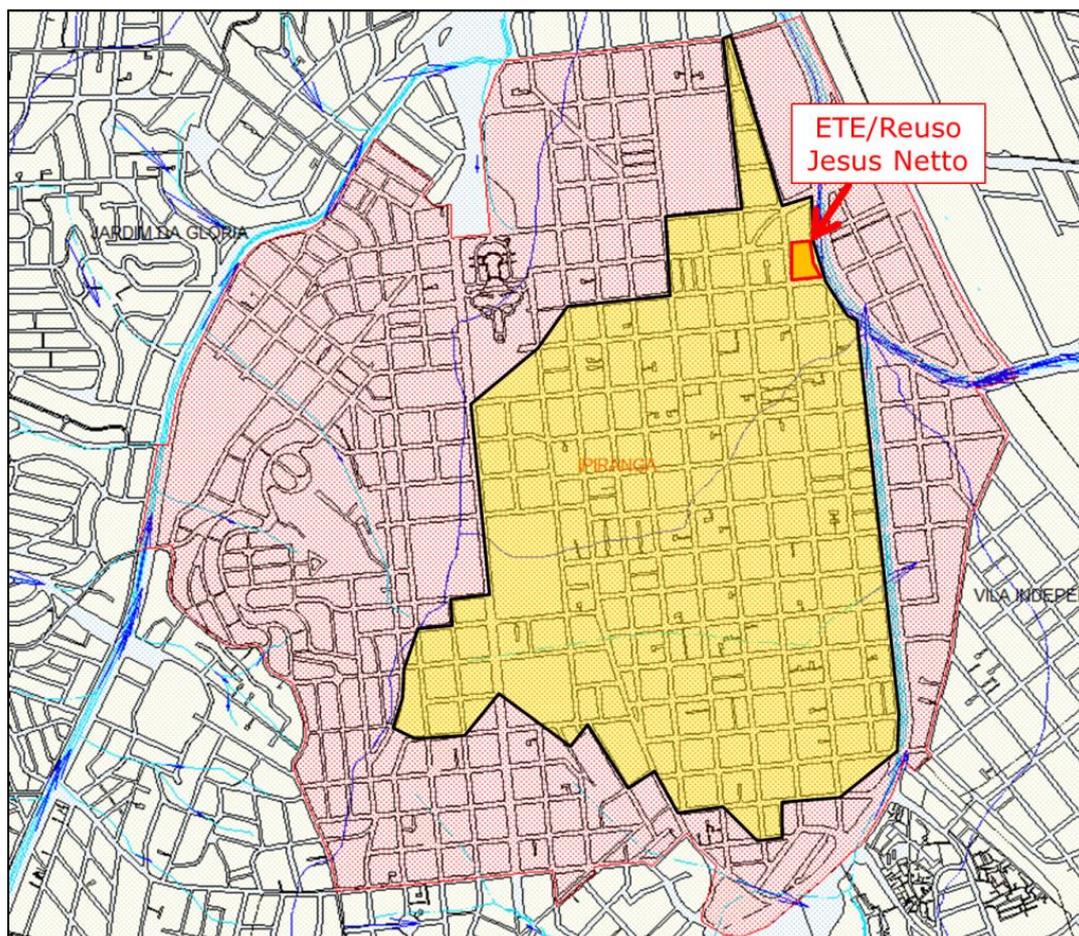
Neste contexto, foram realizados testes com um analisador de DQO pelo princípio da absorvência UV e VIS na ETE de Reuso Jesus Netto para monitorar este parâmetro no esgoto bruto, afluente da estação. O equipamento utilizado para o teste foi o analisador de DQO da HORIBA, sendo fornecido pela Empresa também o suporte de calibração e manutenção do aparato instalado.

## **OBJETIVO**

Avaliar a utilização de analisador contínuo de DQO para detecção de variações de carga orgânica e identificação de despejos não domésticos na rede de esgoto da ETE de Reuso Jesus Netto.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

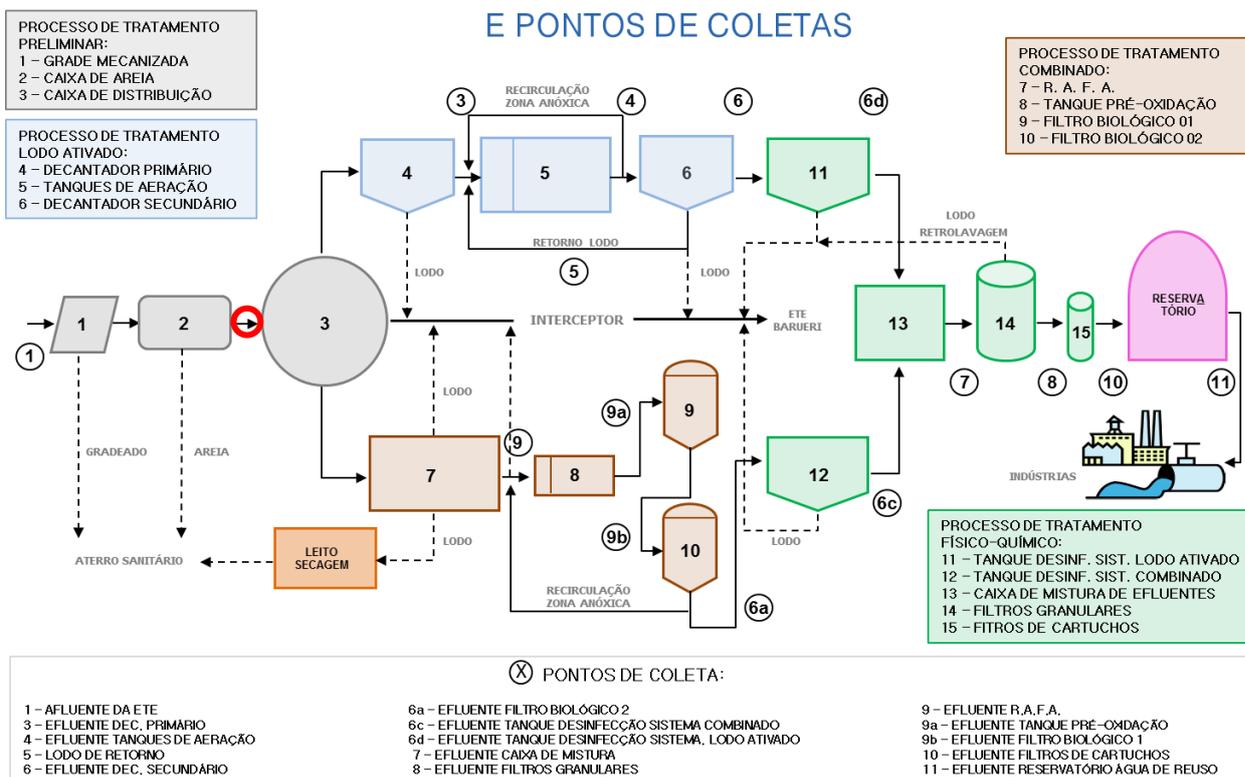
A ETE de Reuso Jesus Netto recebe uma vazão de esgoto de parte do bairro do Ipiranga, em São Paulo, de 58,7 L/s e produz uma vazão de 29,5 L/s de água de reuso destinada à utilização industrial (dados médios de vazão de 2014). A área de contribuição da ETE está delimitada na Figura 1, cujo esgoto é predominantemente doméstico, porém com alguns eventos de despejos não domésticos na rede de esgoto (pequenas fabricas, obras, etc.). Ao identificar estes eventos, atualmente pela coloração e pH, os operadores da ETE desviam o esgoto bruto para o interceptor que segue para a ETE Barueri, evitando impacto nos processos biológicos.



**Figura 1: Área de contribuição de esgoto da ETE/Reuso Jesus Netto (polígono amarelo). Polígono vermelho representa o bairro do Ipiranga, em São Paulo-SP.**

A ETE possui dois processos de tratamento que operam em paralelo: a) sistema de lodos ativados ( $Q_{méd}=20,9$  L/s em 2014); b) sistema combinado UASB + Filtros Biológicos ( $Q_{méd}=8,6$  L/s em 2014). A Figura 2 apresenta o fluxograma de todo o processo de tratamento da ETE, com destaque (círculo vermelho) para o ponto onde o analisador de DQO foi instalado durante os testes.

## ETE / REUSO JESUS NETTO FLUXOGRAMA DE PROCESSO E PONTOS DE COLETAS



**Figura 2: Fluxograma do processo de tratamento da ETE Reuso Jesus Netto. Fonte: Portal MC – Sabesp. Destaque para o ponto onde foi instalado o analisador de DQO contínuo (círculo vermelho).**

### Equipamento HORIBA e ponto de instalação

O equipamento utilizado no teste foi o Organic Pollutant Monitor, modelo OPSA-150, da fabricante HORIBA (Figura 3a). O OPSA-150 faz medições de absorvância UV ( $\lambda=253,7$  nm), absorvância VIS ( $\lambda=546,1$  nm) e, a partir de uma função linear que correlaciona absorvância UV e DQO, estima a concentração de DQO (em mg/L) conforme “JIS K0807 -1997 (Japão), Fotômetro ultravioleta para monitoramento de poluentes da água”, seguindo a equação:

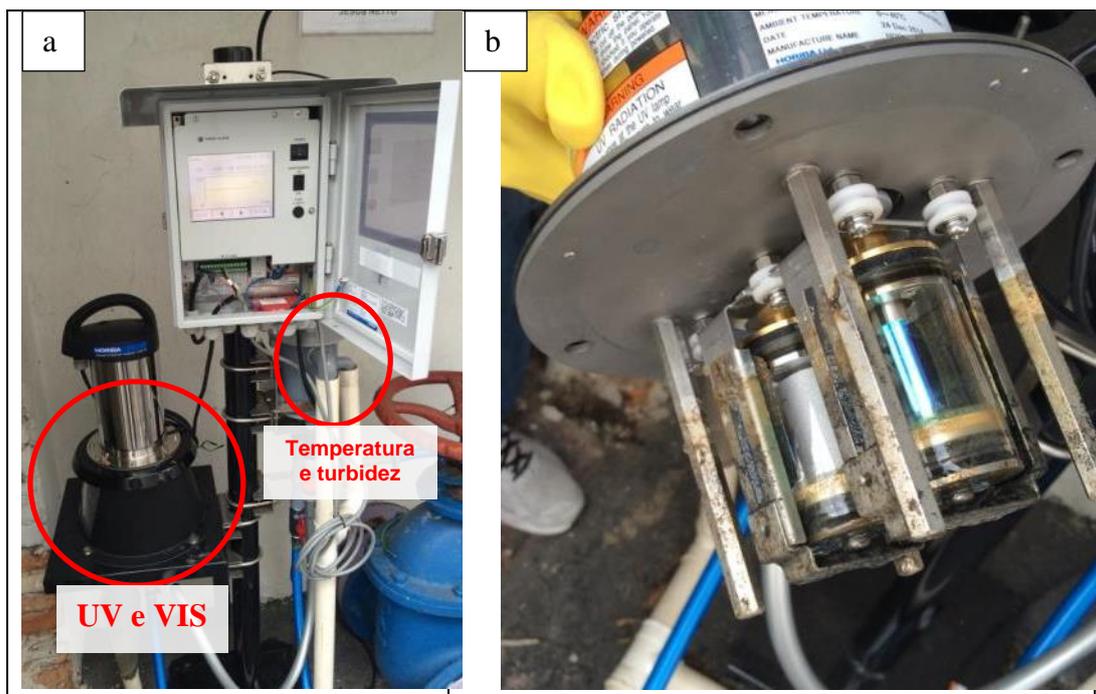
$$DQO = a + b \cdot UV$$

Com base nos valores de UV e VIS medidos, há ainda uma correção do efeito de espalhamento e sombreamento causado pelas partículas em suspensão (turbidez), através da estimativa de um fator de correção ( $\alpha$ ), o qual é aplicado na seguinte equação:

$$DQO = UV - \alpha \cdot VIS$$

Além do compartimento onde estão inseridos os instrumentos UV/VIS, o equipamento possui instrumentos que realizam medições de temperatura e turbidez.

O mecanismo de limpeza automática e contínua deste equipamento é o *Rotary Cell Length Modulation*, que consiste em um dispositivo que faz a limpeza dos cilindros das fontes de luz e dos detectores por meio da rotação destas unidades e presença de limpadores fixos (ver Figura 3b).



**Figura 3: a) Analisador de DQO HORIBA OPSA-150, com destaque para os compartimentos onde estão: sensores de Temperatura e Turbidez, e fontes de luz e detectores de UV e VIS; b) fotografia dos cilindros onde estão as fontes de luz (UV e VIS) e os detectores.**

O ponto escolhido para instalação do analisador foi a chegada do esgoto bruto, no afluente da ETE para permitir a detecção rápida de efluentes não domésticos que possam prejudicar o tratamento biológico da ETE. Uma parcela do esgoto bombeado pelas bombas de esgoto bruto após o tratamento preliminar (gradeamento e caixa de areia) é destinado ao analisador da HORIBA (vazão recomendada entre 2 L/min).

Foram instaladas tubulações de PVC para conduzir uma parcela do esgoto recalçado pelas bombas (três bombas que operam alternadamente, sendo uma por vez – ver Figura 4) para os compartimentos do analisador de DQO.

O teste (instalação, adaptações, operação e validação) teve uma duração total de 10 (dez) meses.



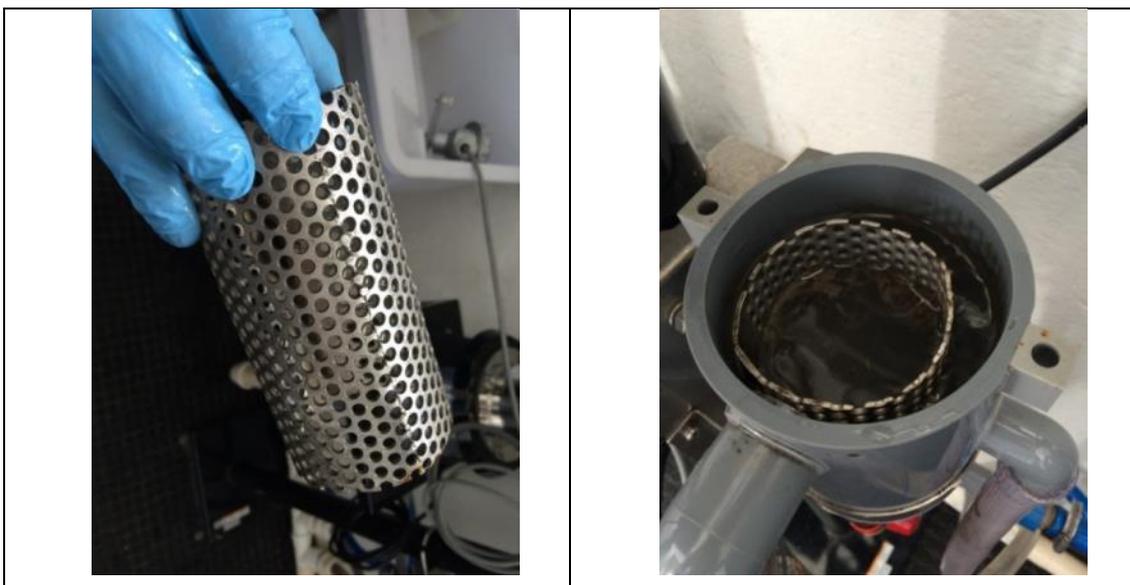
**Figura 4: Ponto de instalação do analisador contínuo de DQO ao longo do trabalho: nas bombas de recalque do esgoto bruto (após caixa de areia).**

#### Problema de entupimento e limpezas necessárias

Desde o início do teste, observou-se o problema de entupimento dos compartimentos do analisador, que tornava o resultado de DQO constante e mascarava as variações de carga na entrada da ETE.

Para minimizar este problema, foi construída uma grade para ser instalada dentro do compartimento de chegada do esgoto ao analisador (onde é realizada a leitura de temperatura). Esta grade foi confeccionada em aço inox (Figura 5), com orifícios de aproximadamente 0,5 cm.

O procedimento de limpeza desta grade é simples e rápido, sendo apenas necessário o despejo de água sobre as superfícies internas e externas da grade. Determinou-se nos testes que a frequência necessária de limpeza da grade seria diária (somente aos dias úteis).



**Figura 5: Grade instalada dentro do compartimento de chegada do esgoto ao analisador de DQO (onde é realizada a medição de temperatura).**

Após passar por este compartimento, o fluxo de esgoto segue para o compartimento onde estão os sensores e detectores de UV e VIS. Neste, havia uma peça para distribuir o fluxo no compartimento que também apresentava muito problema de entupimento. Nesta etapa, ela foi retirada para evitar os eventos de entupimento (Figura 6).



**Figura 6: Peça de dispersão de fluxo na entrada do compartimento das lâmpadas e sensores UV/VIS, a qual foi retirada devido ao persistente problema de entupimento.**

Uma vez por semana (geralmente às sextas-feiras) é realizada uma limpeza completa em todos os compartimentos e mangueiras do equipamento, utilizando também apenas água.

### Análises de DQO

Atualmente, as análises de DQO na ETE são realizadas para amostragem composta (coletas a cada 2 horas durante 24 horas) na frequência de duas vezes por mês.

Para fins de validação dos resultados medidos pelo analisador contínuo da HORIBA, foram realizadas análises por dois métodos:

- a) Fotometria: Método fotométrico com refluxo fechado, referente ao 5220D do Standard Methods onde a quantificação da DQO se dá pela alteração da absorvância de uma alíquota de solução de dicromato de

potássio em meio ácido (ácido sulfúrico 50%) após reação a quente (digestão) com o material oxidável presente na amostra. Neste teste foi utilizado um conjunto para determinação fotométrica de DQO, da Empresa Macherey-Nagel, em que ocorre a digestão, a 150°C, por duas horas e em seguida é realizada leitura em um fotômetro Nanocolor 500D. A incerteza deste método é de  $\pm 9,6\%$ ;

b) Laboratório MCEC: Método titulométrico com refluxo aberto, 5220B do Standard Methods, onde a quantificação da DQO se dá pela titulação, com Solução de Sulfato Ferroso Amoniacoal, do excesso de íons dicromato presentes na alíquota de solução de dicromato de potássio após reação a quente (digestão) com o material oxidável da amostra. A digestão foi realizada em uma bateria de chapa de aquecimento com uso de condensador de refluxo Friedrichs, por duas horas. Após o resfriamento, a amostra foi titulada utilizando-se Titulador Digital Dosimat/Methron. A incerteza expandida declarada do método do Laboratório da MCEC é de  $\pm 9,8\%$ , com fator  $K=2$ .

### Validação

A validação dos resultados de DQO medidos pelo analisador contínuo foi realizada em duas etapas: a) Sistema fechado; e b) Pré-operação.

#### *a) Sistema fechado*

O objetivo desta etapa foi estimar parâmetros a e b da função linear que correlaciona as variáveis Absorbância-UV (X) e DQO de referência (Y). A vantagem de se fazer a validação em sistema fechado é a redução do erro devido à amostragem.

Para tanto, foi montado um sistema fechado, composto por uma caixa de 100 litros com uma bomba submersa e tubulações que garantem a recirculação do esgoto na caixa (para evitar sedimentação) e que conduzam o fluxo necessário ao analisador (de 2 Litros/min), conforme apresentado na Figura 7.

Ao início de cada teste, o esgoto adicionado à caixa era peneirado para evitar que ocorressem entupimentos ou influência nas análises laboratoriais pela presença de materiais sólidos no esgoto.

Durante os testes, buscou-se variar a concentração de DQO no esgoto adotando os procedimentos descritos na Tabela 1 (pág. 11). Foram realizados dois testes de validação, com adoção dos mesmos procedimentos, nas datas: 29/10/15 e 05/11/15.

Ao longo de cada teste, foram realizadas coletas para análise de DQO em Laboratório MCEC (ver descrição no item 3.3), o qual foi adotado como referência para validação dos resultados do analisador contínuo.

Após cada mudança de fase do teste (Tabela 1, abaixo), esperava-se o valor de DQO estabilizar antes de realizar a coleta de amostra. No momento de cada amostragem foi registrado o valor de DQO que o analisador apresentava, bem como o horário do visor do equipamento.



**Figura 7: Sistema fechado preparado para validação das medições de DQO do analisador contínuo de DQO.**

<b>Fase</b>	<b>Procedimento</b>
1ª Fase	Adição de amostra de 100 Litros de esgoto bruto peneirado
2ª Fase	Diluição do esgoto com água (retirada de parte do volume de esgoto e preenchimento com água potável), em duas etapas (até DQO em torno de 150 e 200 mg/L, respectivamente).
3ª Fase	Retirada de todo líquido da caixa e adição de nova amostra de 100 Litros esgoto bruto peneirado
4ª Fase	Adição de amostra de Biftalato de Potássio (em torno de 16 gramas) para aumentar a concentração de DQO

**Tabela 1: Fases e procedimentos dos testes de validação das medições do analisador contínuo de DQO.**

Para comparação entre os resultados dos métodos (HORIBA e Lab MCEC), foram plotados gráficos e calculados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que mede o ajustamento de um modelo linear (Regressão Linear) entre variáveis. Quanto mais próximo de 1 o valor do  $R^2$ , mais a variável dependente (eixo y) consegue ser explicada pelos regressores do modelo. A avaliação por este método é vantajosa porque permite avaliar a tendência de variação dos dados, e não seus valores absolutos. Este método já foi utilizado em outros trabalhos da literatura técnico científica com o mesmo propósito (FLEISCHMANN et al., 2001).

Além disso, calculou-se o erro (em termos percentuais) e o erro absoluto de cada medição do analisador HORIBA, tomando como referência o método de Laboratório (Lab MCEC).

Com os resultados desta validação, foram estimados os parâmetros de regressão linear a e b que correlacionam as variáveis: absorvância UV (eixo X) e DQO referência (neste caso, Laboratório MCEC – eixo Y). Além disso, também foi estimado o parâmetro de correção do efeito da turbidez ( $\alpha$ ) com os resultados.

## *b) Pré-operação*

Os objetivos desta etapa foram: a) avaliar se os parâmetros a e b adotados na etapa de Sistema Fechado resultaram em leituras de DQO próximas da referência; e b) estimar novamente os parâmetros a e b para determinar uma nova equação da reta (estimada com esgoto em operação normal do equipamento).

A validação em fase de Pré-operação foi realizada durante duas semanas, sendo que duas vezes por dia foram coletadas amostras e registrados os valores de absorvância UV, VIS, DQO e turbidez do analisador contínuo da HORIBA.

As amostras coletadas foram submetidas à análise pelo método de Fotometria, o qual foi considerado como referência nesta etapa do teste. Antes da análise, as amostras eram filtradas em filtro de 0,45 µm para evitar que partículas interferissem no resultado.

Igualmente à etapa anterior de validação, foram calculados os erros absolutos (em termos percentuais) e estimados novos parâmetros de regressão linear a e b entre absorvância UV (eixo X) e DQO referência (neste caso, Fotometria – eixo Y). Também se calculou um novo fator de correção da turbidez ( $\alpha$ ).

## **RESULTADOS**

### *Detecção de variações de DQO*

#### *a) Anomalias do esgoto bruto*

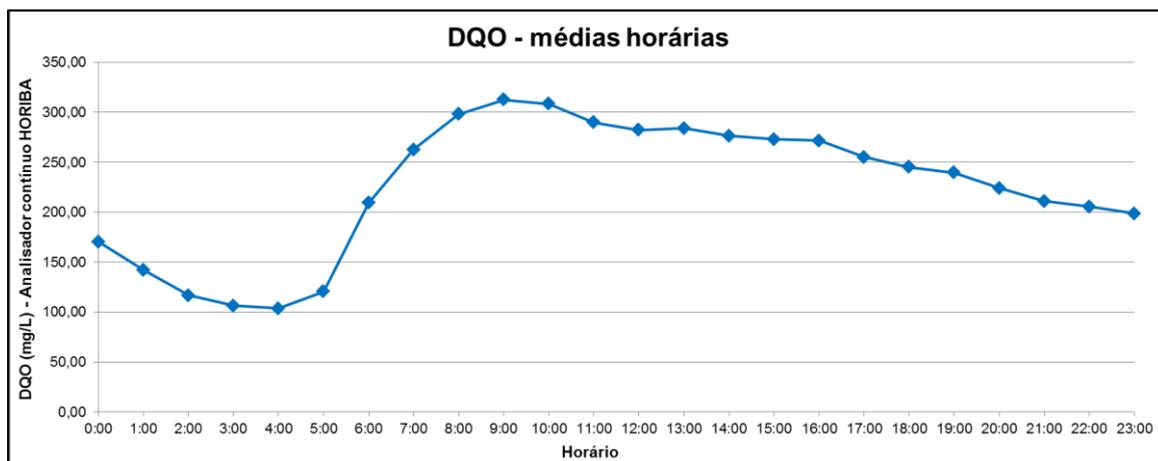
Desde os primeiros meses do teste, os resultados dos registros de DQO demonstraram que o analisador da HORIBA foi capaz de identificar picos de DQO causados por efluentes de origem não doméstica, os quais tiveram que ser desviados para não comprometer o processo biológico da ETE.

Para ilustrar este aspecto, o Anexo 1 (pág. 20) apresenta um registro de ocorrências do mês de Abril/2015, nas quais a DQO do analisador HORIBA superou 800 mg/L e que foi necessário desviar o esgoto bruto para o interceptor devido a sua característica.

#### *b) Variações horárias e diárias de carga orgânica*

O analisador contínuo da HORIBA foi capaz de detectar as variações horárias (ao longo de 24h) e diárias (observar período do feriado de 10 a 12/10/15, por exemplo – Anexo 2, pág. 21) de carga orgânica.

O gráfico da Figura 8 apresenta as médias horárias de DQO para os dias em que o equipamento estava operando/registando dados durante os meses de Outubro e Novembro/15, representando o padrão de variação de carga orgânica de chegada à ETE.



**Figura 8:** Gráfico com as médias horárias de DQO (mg/L) para os dias em que o equipamento estava operando/registando dados no período de 02/10/15 a 30/11/15.

### Validação

#### a) Sistema fechado

Os valores de DQO medidos minuto a minuto pelo analisador HORIBA durante os testes de validação por recirculação do esgoto (estrutura e fases descritas no item 3.4.1) estão apresentados no Anexo 3 (pág. 22). Conforme se pode visualizar nestes gráficos, foram realizadas análises de DQO em Laboratório para 7 e 6 coletas durante os testes dos dias 29/10/15 e 05/11/15, respectivamente.

Os resultados das análises de laboratório, bem como dos valores de DQO registrados no analisador HORIBA no mesmo momento da coleta, estão apresentados na Tabela 2 (pág. 14).

Adotando como referência os valores de análises de Laboratório, foram observados alguns erros elevados, sendo o erro absoluto médio de 23%. O gráfico da Figura 9 apresenta os valores das análises de laboratório no eixo X e os valores do equipamento HORIBA no eixo Y.

Fazendo uma correlação linear entre os valores, o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,45. Neste gráfico foram destacados em vermelho quatro outliers, isto é, amostras com desvio elevado (amostras 13319, 13320, 13589 e 13592).

Amostra	Data	DQO Laboratório MCEC (mg/L)	DQO Analisador Horiba (mg/L)	Erro	Erro ABS	UV (ABS)	VIS (ABS)
13314	29/10/2015	322	331,3	3%	3%	0,96	0,17
13315	29/10/2015	313	334,9	7%	7%	0,56	0,10
13316	29/10/2015	215	208,2	-3%	3%	0,94	0,18
13317	29/10/2015	135	151,3	11%	11%	0,01	0,17
13318	29/10/2015	427	324	-32%	32%		
<b>13319</b>	<b>29/10/2015</b>	<b>328</b>	<b>426,1</b>	<b>23%</b>	<b>23%</b>	<b>0,91</b>	<b>0,17</b>
<b>13320</b>	<b>29/10/2015</b>	<b>387</b>	<b>522,6</b>	<b>26%</b>	<b>26%</b>	<b>0,91</b>	<b>0,17</b>
13588	05/11/2015	279	256	-9%	9%	0,73	0,12
<b>13589</b>	<b>05/11/2015</b>	<b>414</b>	<b>270</b>	<b>-53%</b>	<b>53%</b>	<b>0,73</b>	<b>0,11</b>
13590	05/11/2015	200	140,7	-42%	42%	0,68	0,10
13591	05/11/2015	267	287,5	7%	7%	0,70	0,12
<b>13592</b>	<b>05/11/2015</b>	<b>459</b>	<b>286,5</b>	<b>-60%</b>	<b>60%</b>	<b>0,67</b>	<b>0,11</b>
13593	05/11/2015	510	436,6	-17%	17%	0,41	0,08
				<b>Média</b>	<b>23%</b>		

Tabela 2. Resultados da Validação - Etapa Sistema Fechado. Em negrito estão os outliers, não considerados no cálculo dos parâmetros a e b para ajuste da curva do equipamento.

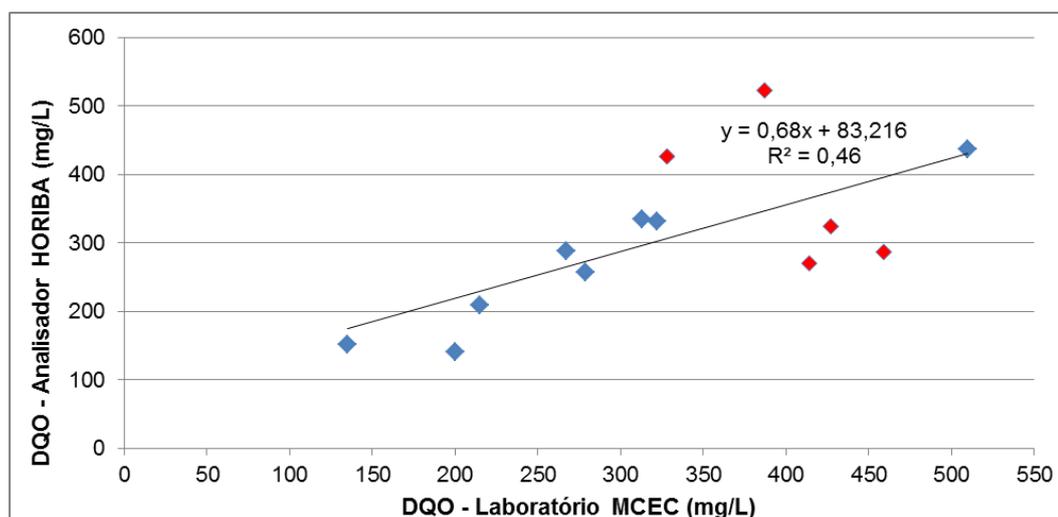
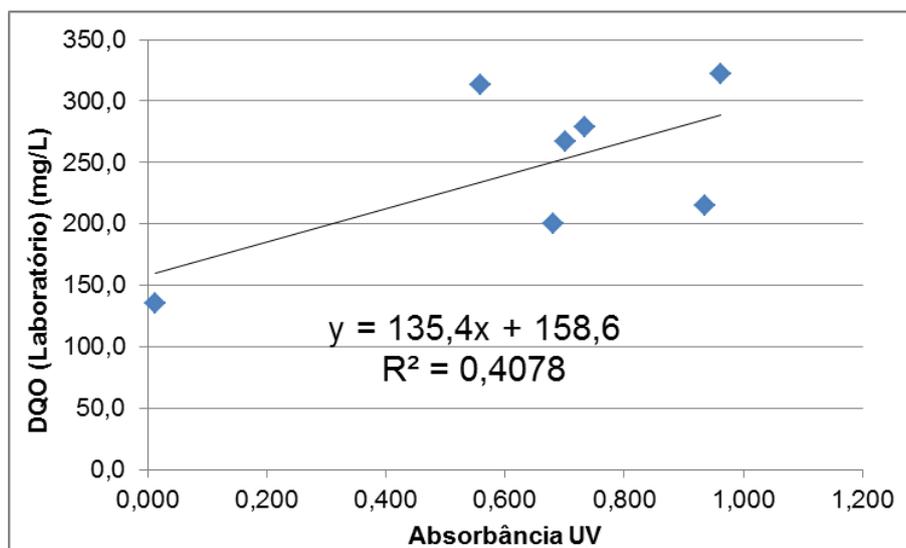


Figura 9: Gráfico de regressão linear entre os resultados das análises pelos métodos HORIBA (eixo y) e Lab MCEC (eixo x) considerando todos os dados dos testes de validação em circuito fechado.

Retirando os quatro outliers destacados em vermelho da Figura 9 obtém-se um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,85 e um erro absoluto médio foi de 12%.

Fazendo a correlação linear entre a absorbância UV (X) e a DQO Laboratório MCEC (Y), obteve-se a seguinte função (Figura 10):



**Figura 10: Regressão linear entre os resultados de Absorbância UV e DQO de referência (Laboratório MCEC).**

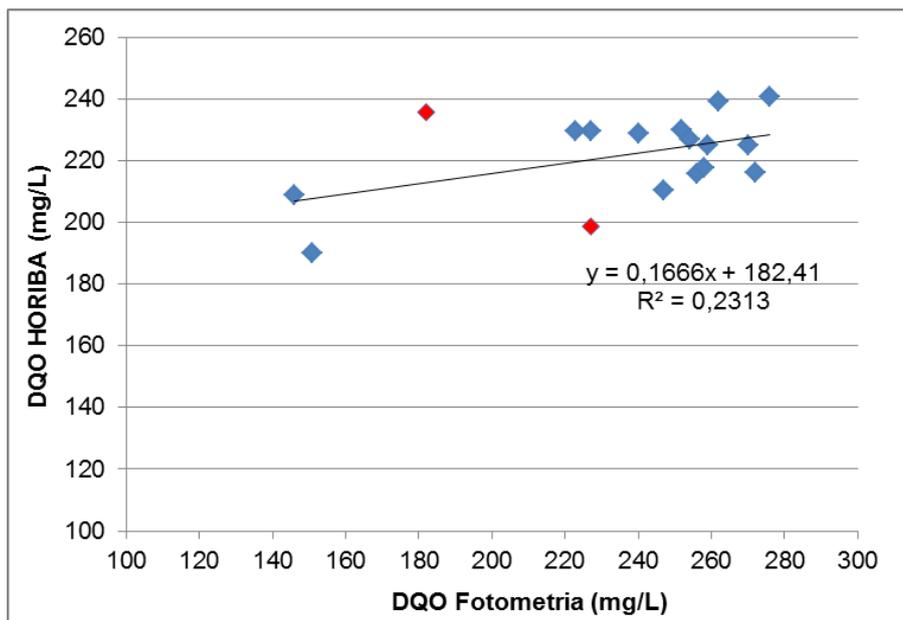
Já o fator de correção  $\alpha$  foi calculado utilizando planilha de cálculo fornecida pela HORIBA e teve o valor de  $\alpha = 2,0$ . Estes parâmetros foram inseridos nos ajustes do analisador HORIBA.

*b) Pré- operação*

Nesta etapa verificou-se que o erro absoluto médio foi inferior ao observado na etapa de circuito fechado. Contudo, analisando os resultados da Tabela 3 (pág. 16) e do gráfico da Figura 11, também foram desconsiderados dois pontos (outliers) para fins de estimativa de parâmetros para novo ajuste de curva.

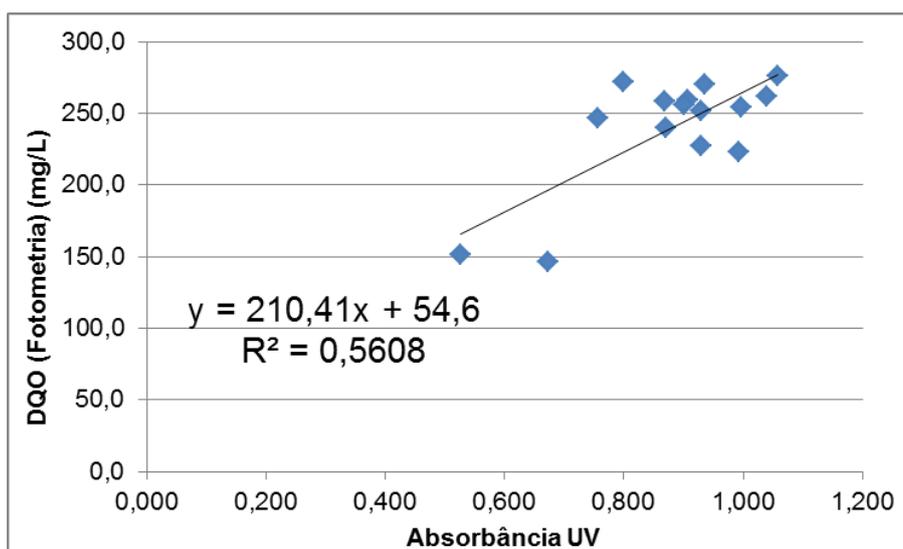
Data	Hora	DQO Fotometria (mg/L)	DQO Horiba (mg/L)	Erro	Erro ABS	UV (ABS)	VIS (ABS)	Turbidez (NTU)
26/01/2016	08:30	227	229,6	1%	1%	0,93	0,172	-
26/01/2016	13:00	259	224,8	-13%	13%	0,907	0,175	-
<b>27/01/2016</b>	<b>07:30</b>	<b>182</b>	<b>235,7</b>	<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>0,958</b>	<b>0,168</b>	<b>12,1</b>
27/01/2016	13:00	270	224,9	-17%	17%	0,935	0,188	13,4
28/01/2016	08:00	151	190	26%	26%	0,527	0,092	7,1
<b>28/01/2016</b>	<b>13:00</b>	<b>227</b>	<b>198,7</b>	<b>-12%</b>	<b>12%</b>	<b>0,611</b>	<b>0,106</b>	<b>7,9</b>
29/01/2016	07:30	146	208,9	43%	43%	0,673	0,107	8,0
29/01/2016	13:00	247	210,4	-15%	15%	0,757	0,146	10,7
01/02/2016	08:30	252	230	-9%	9%	0,93	0,172	12,2
01/02/2016	13:00	223	229,6	3%	3%	0,993	0,213	14,8
02/02/2016	08:30	254	227	-11%	11%	0,997	0,206	-
02/02/2016	13:00	272	216,1	-21%	21%	0,8	0,145	10,5
03/02/2016	08:30	240	228,7	-5%	5%	0,871	0,145	10,5
04/02/2016	08:30	276	240,6	-13%	13%	1,057	0,204	14,0
04/02/2016	13:00	256	215,8	-16%	16%	0,901	0,197	13,9
05/02/2016	08:30	262	239	-9%	9%	1,04	0,193	13,5
05/02/2016	13:00	258	217,8	-16%	16%	0,868	0,173	12,3
<b>Média</b>					<b>16%</b>			

**Tabela 3. Resultados da Validação - Etapa Pré- operação. Em negrito estão os outliers, não considerados no cálculo dos parâmetros a e b para nova curva do equipamento.**



**Figura 11:** Gráfico de regressão linear entre os resultados das análises pelos métodos HORIBA (eixo y) e Fotometria (eixo x) considerando todos os dados dos testes de validação em circuito fechado. Em vermelho estão destacados os outliers.

Retirando os dois outliers destacados, obtém-se um coeficiente de um erro absoluto médio foi de 12%. Fazendo a correlação linear entre a absorbância UV (X) e a DQO Laboratório MCEC (Y), obteve-se a seguinte função (Figura 12):



**Figura 12:** Regressão linear entre os resultados de Absorbância UV e DQO de referência (Fotometria).

Já o fator de correção  $\alpha$  foi calculado utilizando planilha de cálculo fornecida pela da HORIBA e teve o valor de  $\alpha = 0,0$ . Estes parâmetros foram inseridos nos ajustes do analisador HORIBA.

O efeito imediato que isto provocou no equipamento foi um acréscimo de aproximadamente 30 unidades do valor estimado pelo analisador HORIBA. Este efeito foi considerado positivo, pois avaliando os dados históricos de DQO da ETE esperava-se que os resultados do equipamento estivessem ligeiramente maiores do que o analisador vinha apresentando.

## CONCLUSÃO

O teste realizado com o analisador contínuo de DQO no afluente da ETE de Reuso Jesus Netto demonstrou que o equipamento é capaz de detectar as variações horárias e diárias de carga orgânica, o que pode ser útil para avaliações dos processos da ETE. Além disso, o equipamento também foi capaz de detectar a entrada de efluentes não domésticos na ETE, o que confere segurança ao processo de tratamento biológico da estação.

A principal limitação do analisador contínuo da HORIBA é o entupimento de seus compartimentos, já que foi instalado na entrada da ETE (ponto mais crítico do processo) em que o esgoto possui grande quantidade de sólidos (como pelos, estopas e materiais orgânicos em geral). Este aspecto comprometeu os resultados durante o início da avaliação do equipamento, pois quando ocorria um entupimento os valores de DQO ficavam falsamente constantes.

Para solucionar este problema, a equipe da ETE desenvolveu, com aval e acompanhamento da HORIBA, uma grade de inox que foi instalada dentro de um compartimento do analisador de DQO e retirou uma peça em que ocorria entupimento frequente. Além disso, adotou-se o procedimento de limpezas diárias desta grade (simples e rápida) e limpeza completa do equipamento uma vez por semana. Desta forma, não foram verificados mais entupimentos durante as etapas finais do teste.

A primeira etapa de validação do equipamento (em sistema fechado) demonstrou um erro absoluto médio de 23%. Com os resultados desta validação, foram ajustados novos parâmetros para estimativa de DQO do equipamento. Na segunda etapa (pré-operação), o erro absoluto médio foi de 16%, e realizou-se novo ajuste de parâmetros do equipamento.

Considerando que dentro destes erros absolutos totais estão embutidos os erros analíticos dos métodos e de amostragem, considerou-se que o equipamento é satisfatório para monitoramento da DQO, especialmente devido à capacidade de apresentar em tempo real as concentrações afluentes à ETE.

## AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem às empresas HORIBA (Marcelo Bertelli e Douglas Ivo) e CYGNUS (Marco e Oswald) pelo fornecimento do equipamento para testes e suporte na condução dos testes. Também agradecemos a toda equipe da SABESP envolvida na elaboração do trabalho: Héctor Patrício Alvial Muñoz; Lázaro da Silva Campos; Silvia Schneider Souza; Veronica Priscila Assis Santos; Marcio Luiz Rocha P. Fernandes; Marcelo Kenji Miki.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FLEISCHMANN, N.; LANGERGRABER, G.; WEINGARTNER, A.; HOFSTAEDTER, F.; NUSCH, S.; & MAURER, P. "On-line and in-situ measurement of turbidity and COD in wastewater using UV/VIS spectrometry". Anais do 2º IWA
2. LANGERGRABER, G.; FLEISCHMANN, N.; HOFSTAEDTER, F.; & WEINGARTNER, A. "Monitoring of a paper mill wastewater treatment plant using UV/VIS spectroscopy". Water Science and Technology, v. 49, n.1, pp. 9-14, 2004.
3. PIVELI, R.P.; & KATO, M.T. "Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos". São Paulo: ABES, 285p, 2005.