

AVANÇOS NO MONITORAMENTO ONLINE E *IN SITU* DE ETES COM SONDAS UV/VIS: APLICAÇÕES NO CONTEXTO BRASILEIRO

Bruno Eduardo dos Santos Silva⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com período sanduíche pela Universidade de Melbourne (UoM). Engenheiro Sanitarista da Rotária do Brasil.

Caio Matos Rosa⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Engenheiro Sanitarista da Rotária do Brasil.

Heike Hoffmann⁽³⁾

Bióloga pela Universidade de Greifswald. Doutora em Ecologia dos Sistemas Aquáticos pela Universidade de Rostock. Sócia-diretora da Rotária do Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Rua Teodoro Manoel Dias, 421 - Santo Antônio de Lisboa - Florianópolis - SC - CEP: 88050-540 - Brasil - Tel: +55 (48) 3234-3164 - e-mail: bruno.silva@rotaria.net

RESUMO

A aplicação da espectrofotometria UV/Vis em tempo real, em conjunto com técnicas de instrumentação, controle e automação, oferece uma abordagem eficiente para o monitoramento dos efluentes de entrada e saída em ETES. Essa tecnologia promove a eficiência energética, permite a detecção precoce de problemas no processo, identifica picos de concentração e contribui para o desenvolvimento de ETES inteligentes, garantindo uma operação estável e eficiente. No entanto, a utilização de curvas de calibração global elaboradas por marcas europeias apresenta um desafio técnico significativo, uma vez que essas curvas consideram características de esgotos pouco semelhantes aos brasileiros. Neste sentido, este artigo apresenta as experiências iniciais dos autores com a utilização de um modelo de sonda UV/Vis *in situ* com calibração totalmente local, levando em consideração as características específicas do esgoto das duas ETES em que as sondas estão instaladas. A operação das ETES em conjunto com o monitoramento online proporcionado pelas sondas demonstrou o grande potencial dessa tecnologia, desde que sejam realizadas as adaptações necessárias para sua utilização no contexto brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgotos, Monitoramento de ETES, Espectrofotometria UV/Vis.

INTRODUÇÃO

Além de garantir o cumprimento dos padrões estabelecidos para remoção de matéria orgânica, as Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) enfrentam o desafio de remover nutrientes, patógenos, substâncias inorgânicas e produtos químicos sintéticos de forma eficiente em termos de custo, manutenção e energia. Nesse contexto, o monitoramento regular dos parâmetros de qualidade da água nas ETES tornou-se um fator de grande relevância.

Um sistema de monitoramento online em uma ETE é composto por dispositivos de coleta de dados, processamento e exibição, que são utilizados para detectar situações anormais, auxiliar em diagnósticos e permitir ajustes operacionais (OLSSON, 2012). Embora o monitoramento de parâmetros em ETES tenha sido discutido e testado desde os anos 70 (BRIGGS, 1973), foi somente no início dos anos 2000 que essa prática se tornou uma demanda significativa no mercado, impulsionando o desenvolvimento de sensores mais robustos e confiáveis para medição de vazão, nível, temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, sólidos suspensos totais (SST), amônia, nitrato, fosfatos, DQO, DBO, entre outros (BOURGEOIS *et al.*, 2001; YOO, 2001; JEPPSSON *et al.*, 2002; VANROLLEGHEM e LEE, 2003).

Dentre as diversas tecnologias aprimoradas ao longo do tempo para o monitoramento online de ETES, destaca-se a medição *in situ* com sondas espectrofotométricas UV/Vis. Essa tecnologia baseia-se no princípio de correlacionar diretamente a concentração de um determinado parâmetro com a sua absorção de luz nos espectros UV (Ultravioleta), que abrange a faixa de comprimento de onda de 100 a 400 nm, e Vis (Visível), que abrange a faixa de 400 a 800 nm (THOMAS e BURGESS, 2017). Essa tecnologia permite a quantificação automatizada em tempo real de uma variedade de parâmetros, proporcionando baixa necessidade de manutenção e eliminando a necessidade de uso de produtos químicos (VAN DEN BROECK *et al.*, 2006). Em comparação com métodos

tradicionais de medição de DQO, por exemplo, que envolvem o uso de ácidos, dicromato de potássio, digestores e fotômetros de bancada, a espectrofotometria UV/VIS oferece uma abordagem mais conveniente e menos especializada para obtenção dos resultados desejados (NATARAJA *et al.*, 2006; ALAM, 2015).

Os primeiros sensores deste tipo para utilização *in situ* em ETEs foram desenvolvidos com o objetivo de medir a matéria orgânica em efluentes tratados, utilizando um comprimento de onda de 254 nm, onde muitos compostos orgânicos apresentam absorção significativa de luz (DOBBS *et al.*, 1972). No entanto, desde aquela época, os pesquisadores já identificaram que a turbidez da amostra deveria ser baixa, pois poderia afetar o espectro e, conseqüentemente, os resultados da medição. Posteriormente, foram realizados testes considerando um comprimento de onda adicional para compensar a turbidez, o que resultou em uma melhoria significativa no desempenho da tecnologia (THOMSEN e NIELSEN, 1992; MATSCHÉ e STUMWÖHRER, 1996).

Com o avanço dos sensores e modelos matemáticos estatísticos, os espectrofotômetros UV/Vis foram aprimorados nas últimas duas décadas para registrar a absorção de luz de uma amostra ao longo de toda a faixa UV/Vis (MESQUITA *et al.*, 2017), gerando assim o que é chamado de "espectro de absorção" ou "impressão digital" da amostra. Esse espectro de absorção pode ser utilizado para aplicar modelos estatísticos lineares (LANGERGRABER *et al.*, 2003; LOURENCO *et al.*, 2008; TORRES e BERTRAND-KRAJEWSKI, 2008; CHEN *et al.*, 2014; LIU e WANG, 2015; PACHECO FERNANDEZ, 2019; PACHECO FERNANDEZ, 2023) e não lineares (FOGELMAN *et al.*, 2006; LI *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2022; CARDIA *et al.*, 2023), permitindo o cálculo simultâneo não apenas de parâmetros que apresentam absorção de luz, como DQO e nitratos, mas também daqueles que possuem correlação, como amônia e fósforo total, em relação às diversas substâncias absorventes presentes no esgoto.

No entanto, o monitoramento online não deve se limitar apenas aos efluentes tratados, uma vez que diversos fatores podem afetar o tratamento ou torná-lo energeticamente oneroso e ineficiente (VON SPERLING, 2015). Nesse sentido, as sondas UV/Vis também têm sido utilizadas para o monitoramento online de esgoto bruto afluente à ETE, trazendo importantes benefícios. O monitoramento do esgoto bruto oferece flexibilidade operacional para lidar com variações diárias de carga, picos associados a eventos como chuvas, presença de substâncias tóxicas e desequilíbrios entre os parâmetros previstos no projeto e aqueles efetivamente observados na prática (LANGERGRABER *et al.*, 2003; VAN DEN BROECK *et al.*, 2006; LEPOT *et al.*, 2016; CARRERES-PRIETO *et al.*, 2020).

Apesar do crescimento significativo em nível mundial, o monitoramento online de ETEs ainda é limitado no Brasil. Especificamente, o uso de sondas UV/Vis *in situ* no país enfrenta desafios técnicos e de conhecimento, principalmente considerando a dificuldade em adquirir equipamentos que possam ser devidamente calibrados e configurados para atender às condições locais (HERNÁNDEZ *et al.*, 2017; SNSA, 2016). Nesse contexto, este artigo apresenta duas experiências pioneiras sobre o uso de sondas UV/Vis *in situ*, com calibração 100% local, para o monitoramento do esgoto afluente e do efluente tratado de ETEs no Brasil.

OBJETIVO

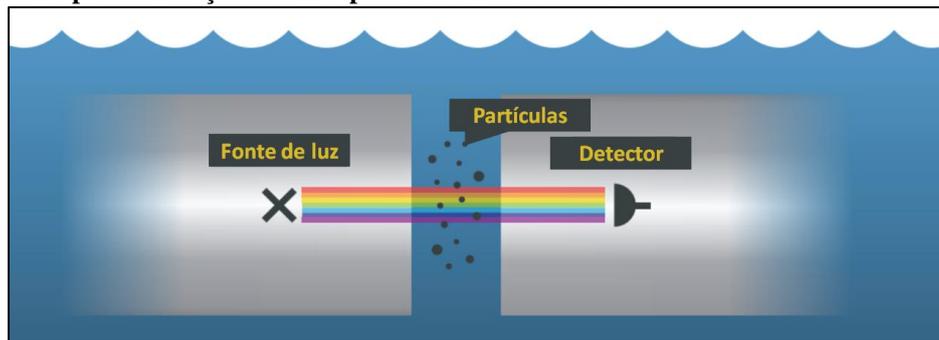
Apresentar os resultados iniciais do monitoramento do esgoto afluente e efluente tratado de duas ETEs brasileiras utilizando sondas UV/Vis *in situ*. Com isso, busca-se iniciar uma abordagem nacional sobre o potencial de uso dessa tecnologia como método complementar de monitoramento de ETEs, com foco no controle e adaptabilidade operacional, bem como na otimização do consumo energético.

METODOLOGIA UTILIZADA

FUNDAMENTOS DE ESPECTROFOTOMETRIA UV/VIS

Quando a luz interage com um meio, como a água, uma variedade de fenômenos ocorrem, incluindo reflexão, dispersão e absorção. A lei de *Lambert-Beer* estabelece que a quantidade de luz absorvida em um comprimento de onda específico está diretamente relacionada à concentração da substância em análise (THOMAS e BURGESS, 2017). Na espectrofotometria UV/Vis, esse princípio é aplicado para a realização de análises. Ao emitir luz com comprimentos de onda na faixa UV e visível, é possível investigar as propriedades ópticas do meio em questão. As substâncias presentes na água absorvem a luz em diferentes comprimentos de onda e intensidades, enquanto o restante da luz é detectado por um sensor (Figura 1). Com base nas características de absorção específicas em cada comprimento de onda, torna-se possível determinar a concentração das substâncias que estão sendo estudadas.

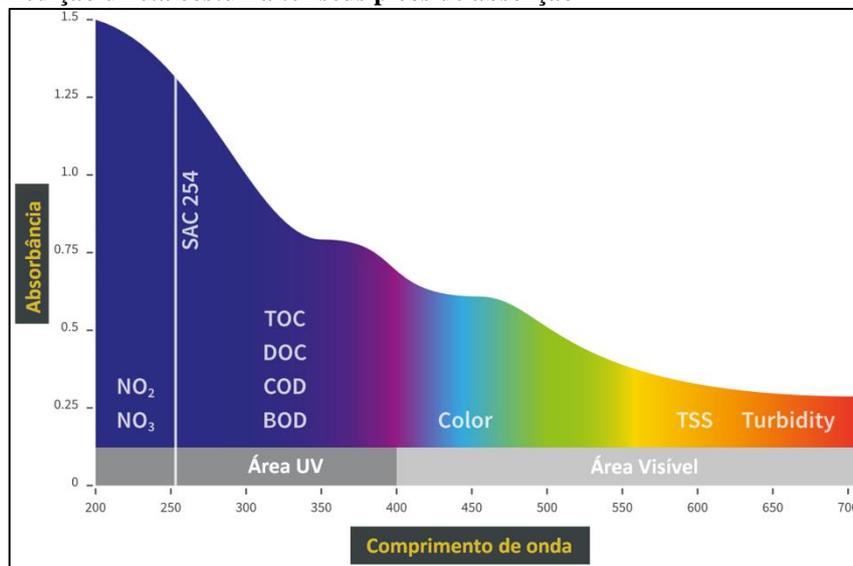
Figura 1 - Princípio de medição de um espectrofotômetro UV/Vis



Fonte: adaptada de *GO Systemelektronik GmbH*.

Com o uso de um espectrofotômetro UV/Vis, é possível realizar medições simultâneas de diversos parâmetros. Os parâmetros que apresentam absorção de luz na faixa UV/Vis, chamados neste artigo de "de medição direta", podem ser medidos com maior precisão. No contexto do monitoramento de ETEs, exemplos desses parâmetros incluem cor, DBO, DQO, COT, surfactantes, SST, nitratos e nitritos (Figura 2).

Figura 2 - Espectro de absorção típico de uma amostra de esgotos, incluindo os ranges em que cada parâmetro de medição direta costuma ter seus picos de absorção



Fonte: adaptada de *GO Systemelektronik GmbH*.

No livro de Thomas e Burgess (2017, capítulo 12), são compiladas várias substâncias que foram testadas e que apresentam picos de absorção identificáveis por espectrofotometria UV/Vis. Esses picos são atribuídos à propriedade de absorção de compostos conjugados. Essa propriedade ocorre quando as moléculas de uma substância possuem uma sequência de ligações duplas conjugadas, ou seja, ligações duplas alternadas com ligações simples (anéis aromáticos), o que resulta em absorção de luz. Compreender essa propriedade é importante, pois abre o potencial de utilização das sondas para a medição de substâncias que indicam a contaminação de corpos aquáticos, como pesticidas, agrotóxicos, fármacos, fenóis e outros compostos. O potencial dessa aplicação para o monitoramento ambiental de rios no Brasil, por exemplo, é enorme.

Por outro lado, os parâmetros que não apresentam absorção de luz na faixa UV/Vis, denominados neste artigo como "de medição indireta", podem ser estimados com base em outros parâmetros ou nas alterações que causam nos espectros das amostras. A precisão dessa estimativa depende da qualidade dos dados e do método estatístico utilizado para relacionar as informações (KUMAR *et al.*, 2014). No contexto do monitoramento de ETEs, espera-se utilizar esse método principalmente para estimar parâmetros como Alcalinidade, Nitrogênio Total e Amoniacal, Turbidez, Fósforo Total e Ortofosfatos.

INSTRUMENTO UTILIZADO – ESPECTROFOTÔMETRO ISA UV/VIS

O instrumento utilizado neste estudo é um espectrofotômetro UV/Vis submersível, modelo ISA, fabricado pela empresa alemã *GO Systemelektronik* (Figura 3). Essa sonda compacta é projetada para ser aplicada em efluentes em uma ampla faixa de temperatura, de 0 a 110 °C. Possui uma faixa de leitura de comprimentos de onda que abrange de 200 nm a 708 nm, com uma resolução de 2 nm. Utilizando uma lâmpada de xenônio como fonte de luz, esse espectrofotômetro emprega um sistema de feixe duplo para garantir resultados precisos e confiáveis. Cada medição é concluída em um tempo de até 3 segundos.

Figura 3 – Sonda UV/Vis modelo ISA, da marca *GO Systemelektronik*



Fonte: *GO Systemelektronik*.

Uma das grandes vantagens desse equipamento é a capacidade de realizar medições diretamente no local, eliminando a necessidade de coletar amostras e reduzindo os erros associados ao transporte, armazenamento ou diluição das amostras. Em uma revisão abrangente sobre a calibração de espectrofotômetros UV/Vis para a determinação de DQO e SST, conduzido por Lepot *et al.* (2016), verificou-se que as estimativas de concentração obtidas por meio da absorção UV/Vis apresentaram erros menores em comparação com as incertezas associadas às metodologias analíticas tradicionais realizadas por operadores em ETEs.

Além disso, o espectrofotômetro possui um sistema de autolimpeza por ar comprimido, garantindo a integridade das medições mesmo em condições em que ocorre deposição de sólidos ou formação de biofilme nos efluentes das ETEs. Isso significa que um ciclo automatizado de limpeza, com dispersão de bolhas de ar e leitura subsequente, permite a obtenção de resultados a cada 60 segundos.

O corpo do espectrofotômetro, feito de aço inoxidável, tem um comprimento de 33 cm e um diâmetro de 44 mm, e abriga toda a eletrônica necessária para controlar o processo de medição. A comunicação com o espectrofotômetro pode ser estabelecida por meio de interfaces RS232 ou RS485, permitindo uma fácil integração com outros dispositivos ou sistemas de controle e automação. Além disso, possui um registrador de dados incorporado, que permite o armazenamento das concentrações calculadas dos parâmetros, bem como dos espectros de absorção completos.

O equipamento utilizado possui duas grandes vantagens em relação aos demais espectrofotômetros UV/Vis disponíveis no mercado. A primeira é a possibilidade de ajuste do comprimento do caminho óptico, conhecido na literatura como "*path length*", que pode variar de 0,5 a 20 mm (Figura 3). Isso torna o espectrofotômetro adequado para uma ampla gama de aplicações, desde a análise de águas ultrapuras com baixas concentrações de matéria orgânica até a avaliação de efluentes industriais altamente concentrados com níveis elevados de DQO. A segunda vantagem é o fato de a calibração ser totalmente customizável, ou seja, é possível criar as curvas de leitura do equipamento com base nas características do meio estudado, o que será mais bem abordado no tópico "CALIBRAÇÃO GLOBAL VS LOCAL" deste artigo.

COMPENSAÇÃO DE TURBIDEZ

Dentre os fatores que podem influenciar uma análise de espectrofotometria, a turbidez do meio monitorado é o mais significativo. Em efluentes, a presença de materiais coloidais causa um efeito conhecido como "fundo de absorção", deslocando o espectro de absorção do meio (PONS *et al.*, 2005). Isso significa que um parâmetro com um pico identificado em 350 nm, por exemplo, pode apresentar um novo pico em 290 nm.

Em análises de espectrofotômetros de bancada, existem várias técnicas para minimizar esses efeitos, como pré-amostragem (por exemplo, filtração) ou métodos de leitura da amostra, como derivativos, compensação polinomial ou deconvolução espectral ultravioleta (THOMAS e BURGESS, 2017). No entanto, no monitoramento online *in situ* de efluentes de ETEs, a leitura é realizada diretamente no meio, sem preparo prévio, como a filtração. Portanto, é necessário compensar a turbidez característica do meio monitorado, incluindo uma programação de compensação de leitura para cada parâmetro medido. Esse procedimento é realizado ao incluir pelo menos uma curva adicional para a leitura de cada parâmetro.

Para obter maior precisão, conforme sugerido por Thomas e Burgess (2017), os autores desta pesquisa compensaram a turbidez por meio de análise quimiométrica, ou seja, utilizando um método de estatística multivariável para criar uma equação de leitura para cada parâmetro analisado, levando em consideração a influência da turbidez em cada um deles. Essa etapa foi realizada durante a calibração do sensor, que é discutida na seção de Resultados e Discussão.

SISTEMAS MONITORADOS

Para apresentar as possibilidades relacionadas à operação de ETEs com monitoramento contínuo por sondas UV/Vis, serão apresentados e discutidos dois sistemas existentes e em operação.

O primeiro refere-se a uma ETE localizada em uma cidade da região dos pampas do Rio Grande do Sul (RS), com capacidade de 350 L/s para tratamento do esgoto doméstico gerado no município. Aproveitando as condições estruturais do antigo sistema de tratamento de lagoas de estabilização, a ETE foi transformada em Lagoa-SBR (ou SBR compartimentado com alimentação contínua), tanque de contato e *wetlands* para tratamento do lodo produzido. Além do processo biológico, a ETE dispõe das etapas de co-precipitação e pós-precipitação, onde são dosados cloreto férrico e hidróxido de cálcio para remoção química de fósforo e correção da alcalinidade, respectivamente.

Toda a instrumentação instalada está conectada ao sistema de automação e supervisão da ETE. Dentre as sondas instaladas, destacam-se: eletrodos de oxigênio dissolvido (OD) em cada compartimento do SBR, utilizados para controlar a aeração fornecida ao processo; eletrodos de pH na entrada e saída, responsáveis pelo controle da alcalinidade; sonda óptica de turbidez antes do lançamento no corpo receptor; e sonda de espectrofotometria UV/VIS no tanque de amostragem da casa de operação da ETE (Figura 4). Essa sonda é responsável pelo monitoramento de DQO, N_{total} e P_{total} do esgoto bruto, com *path length* configurado para 4 mm, sendo utilizada para o controle da dosagem de cloreto férrico da co-precipitação, bem como para monitorar a carga de entrada do sistema. Além dessas sondas, a ETE também possui um analisador úmido químico de ortofosfato-P (Figura 4) para monitorar o fósforo de saída da Lagoa-SBR e, conseqüentemente, a dosagem de químicos da pós-precipitação. Adicionalmente, foi instalada temporariamente uma sonda UV/Vis móvel com *path length* configurado para 6 mm, para testar o monitoramento do efluente tratado.

Figura 4 – Setup da instalação das sondas UV/Vis no Sistema 1 – ETE do RS



Fonte: Rotária do Brasil.

O segundo sistema se refere a uma ETE de Goiás (GO), também adaptada a partir de uma antiga lagoa anaeróbia desativada e que foi transformada em um sistema Lagoa-SBR, com capacidade de 272 L/s para tratamento dos esgotos domésticos produzidos no município. A ETE também possui co-precipitação química de fósforo, com aplicação de cloreto férrico e hidróxido de cálcio na entrada do reator SBR.

Em relação a instrumentação da ETE de GO, o sistema inclui eletrodos de OD, eletrodo de pH e 2 sondas espectrofotométricas UV/VIS, uma para analisar os parâmetros de esgoto bruto (com *path length* de 3,5 mm), e outra para monitorar a qualidade de efluente tratado (com *path length* de 10 mm).

Todos os dados gerados pela instrumentação de ambas as ETEs são integrados aos sistemas de supervisão e utilizados para automatizar o funcionamento dos sopradores (por meio de inversores de frequência), dosadoras de cloreto férrico e hidróxido de cálcio, e válvulas. Esse processo possibilita a economia de energia elétrica e insumos químicos, ao mesmo tempo em que aumenta o conhecimento sobre os parâmetros importantes de entrada (DQO, Ntotal, Ptotal) e saída (DQO, NO₃-N) das ETEs. Consequentemente, isso aprimora o controle global dos processos de tratamento.

Figura 5 – Setup da instalação das sondas UV/Vis no Sistema 2 – ETE de GO



Fonte: Rotária do Brasil.

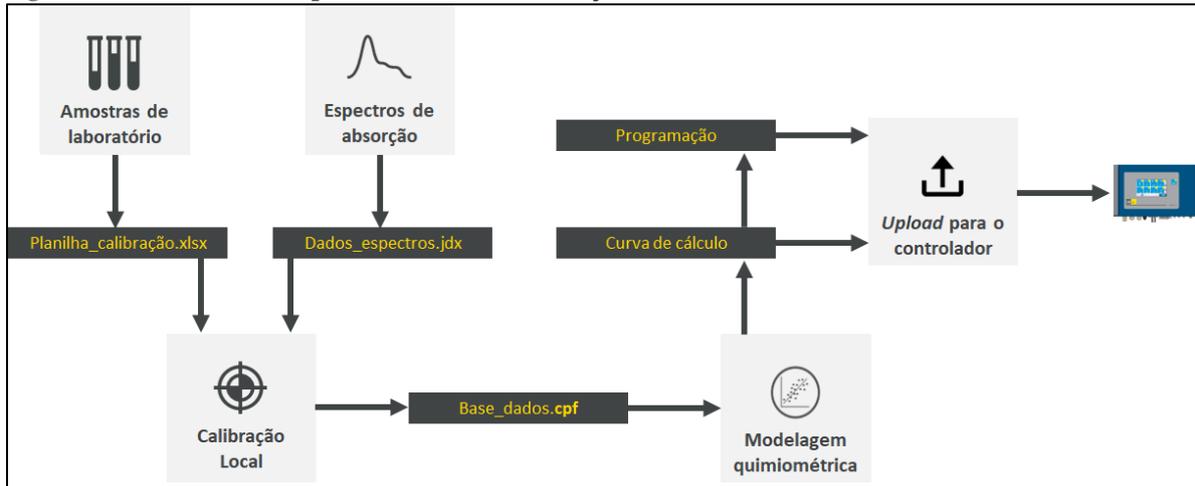
RESULTADOS E DISCUSSÃO

CALIBRAÇÃO GLOBAL VS LOCAL

A absorvância de um parâmetro medido em qualquer comprimento de onda é a soma das absorvâncias, nesse mesmo comprimento, de todos os componentes presentes no esgoto (THOMAS e BURGESS, 2017). Isso significa que se uma substância tem um pico de absorção de 300 nm em água potável, esse pico provavelmente será diferente em um esgoto ou em outro meio, inclusive, o pico também será diferente se compararmos o esgoto de diferentes ETEs. Portanto, é necessário calibrar o sensor para cada ETE monitorada.

A calibração envolve a coleta de amostras representativas do meio a ser monitorado, a partir das quais são determinados os valores laboratoriais e os espectros de absorção (Figura 6). Com base nesses dados, é possível criar um modelo quimiométrico que permite calcular a concentração do parâmetro em questão (PONS *et al.*, 2005; KUMAR *et al.*, 2014). Quanto mais amostras de qualidade estiverem disponíveis para a calibração, maior será a precisão da medição obtida por meio dessa fórmula. Além disso, a inclusão de diferentes concentrações, em diferentes situações (como chuva e seca), contribui para otimizar o processo (LEPOT *et al.*, 2016).

Figura 6 - Resumo sobre o procedimento de calibração de sondas UV/Vis



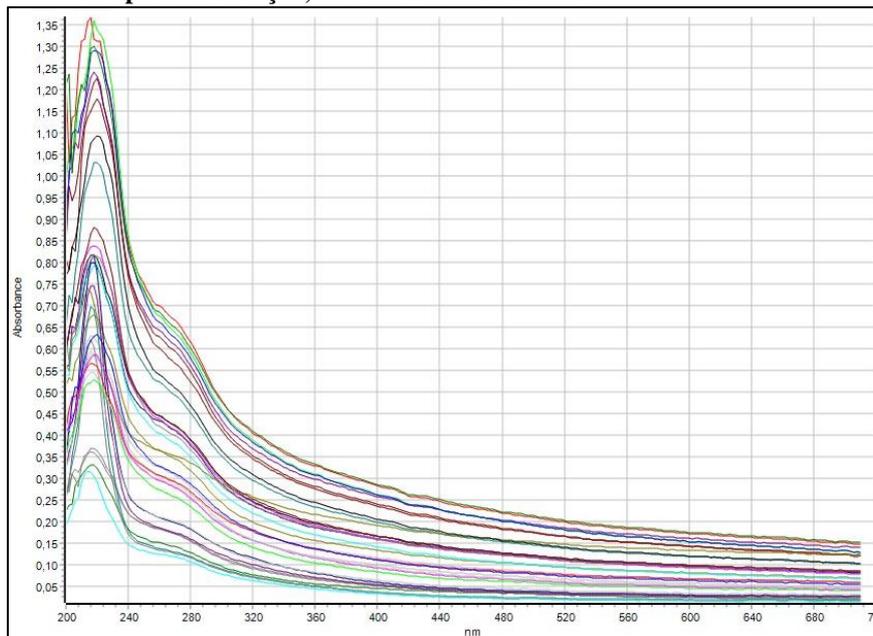
Fonte: adaptada de *GO Systemelektronik GmbH*.

No uso das sondas espectrofotométricas UV/Vis para o monitoramento online de ETEs, geralmente é realizada uma calibração global pelos fornecedores como configuração padrão. Essa calibração é feita com base em uma extensa coleta e análise de amostras de várias ETEs, criando curvas para o cálculo dos parâmetros que já consideram os componentes presentes em um esgoto "padrão" e também compensando a turbidez (RIEGER *et al.*, 2006). Os fornecedores costumam incluir uma opção parcialmente personalizável de "adaptação à situação local", na qual o usuário realiza algumas análises laboratoriais e as insere no software do fornecedor (LANGERGRABER *et al.*, 2003). Isso permite uma simples alteração do coeficiente angular e do intercepto da função de regressão para o cálculo dos parâmetros, tornando a curva de cálculo mais específica para a ETE monitorada. O procedimento se mostrou eficaz em países europeus, onde tanto o esgoto bruto quanto o tratado possuem características mais padronizadas.

No entanto, no Brasil, o uso de equipamentos com calibração global e ajustes locais tem reduzido muito a previsibilidade dos modelos para o cálculo tanto de parâmetros de medição direta quanto indireta, comprometendo consideravelmente a robustez do método de espectrofotometria UV/Vis *in situ* (HERNÁNDEZ *et al.*, 2017; SNSA, 2016). Isso ocorre porque o esgoto brasileiro (bruto e tratado) possui características muito diferentes do europeu, de onde provêm a maioria dos equipamentos disponíveis no mercado. Isso também foi confirmado por experiências prévias dos autores deste artigo.

A solução proposta pelos autores é realizar uma calibração 100% local, como feito para situações de efluentes mais específicos no exterior (TORRES e BERTRAND-KRAJEWSKI, 2008; BRITO *et al.*, 2013; BRITO *et al.*, 2015; CARRE *et al.*, 2017; PACHECO FERNANDEZ, 2019; ZHANG *et al.*, 2022). A calibração local é baseada em amostras pontuais do meio monitorado, analisadas para os parâmetros, e correlaciona os resultados laboratoriais com os espectros de absorção dessas amostras (Figura 7). Com esse método, é possível construir uma curva totalmente personalizada para cada parâmetro, para cada ETE, o que proporciona uma precisão e robustez muito maiores do que as curvas pré-existentes no mercado. A calibração pode ser realizada por meio de diversos métodos estatísticos relacionados à quimiometria, como Regressão Linear Múltipla (MLR), Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLSR), Análise Fatorial Evolutiva (EFA), *Rank Annihilation Factor Analysis* (RAFA), modelos de *Machine Learning*, Algoritmo Genético Clássico (CGA), entre outros (KUMAR *et al.*, 2014).

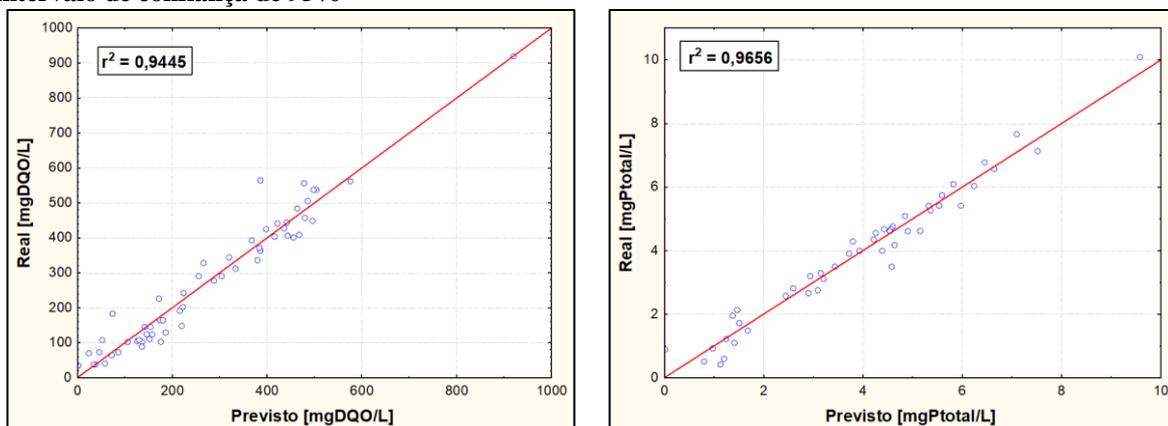
Figura 7 – Exemplo de espectros de absorção gerados para o esgoto bruto, que devem ser associados aos resultados laboratoriais para calibração, do sistema de ETE do RS



Fonte: própria dos autores.

Neste estudo (Figura 8), as calibrações locais foram todas realizadas utilizando o método de MLR, devido a sua simplicidade e à baixa necessidade de processamento computacional, mas com boa precisão para amostras de comportamento estatístico normal, de uma mesma ETE (CARRERES-PRIETO *et al.*, 2022). Por ser um assunto extensivo, complexo, e não ser objeto principal deste artigo, os procedimentos e análises da calibração não são abordados. Uma descrição mais detalhada destes procedimentos pode ser consultada em outras literaturas, como em Langergraber *et al.* (2003) e Pacheco Fernandez (2019; 2023).

Figura 8 - Exemplo de resultados de curvas obtidas com a calibração das sondas para esgoto bruto pelos autores, no sistema do RS: DQO (esquerda, com 57 amostras) e Fósforo Total (direita, com 46 amostras), intervalo de confiança de 95%



Fonte: própria dos autores.

Além disso, os autores ressaltam o potencial de um terceiro tipo de calibração para o Brasil, abordado por Rieger *et al.* (2006). Trata-se da "calibração nacional", que é realizada por meio de uma extensa análise de esgotos brutos e tratados de várias ETEs no país, com posterior processamento e correlação dos dados por meio de quimiometria. No entanto, é importante observar que a ampla variedade de amostras de diferentes ETEs requer métodos estatísticos não lineares, uma vez que as amostras não apresentarão um comportamento normal. Esse procedimento já foi realizado por outros autores no exterior e apresentou resultados bastante satisfatórios (CARRERES-PRIETO *et al.*, 2020; CARRERES-PRIETO *et al.*, 2022).

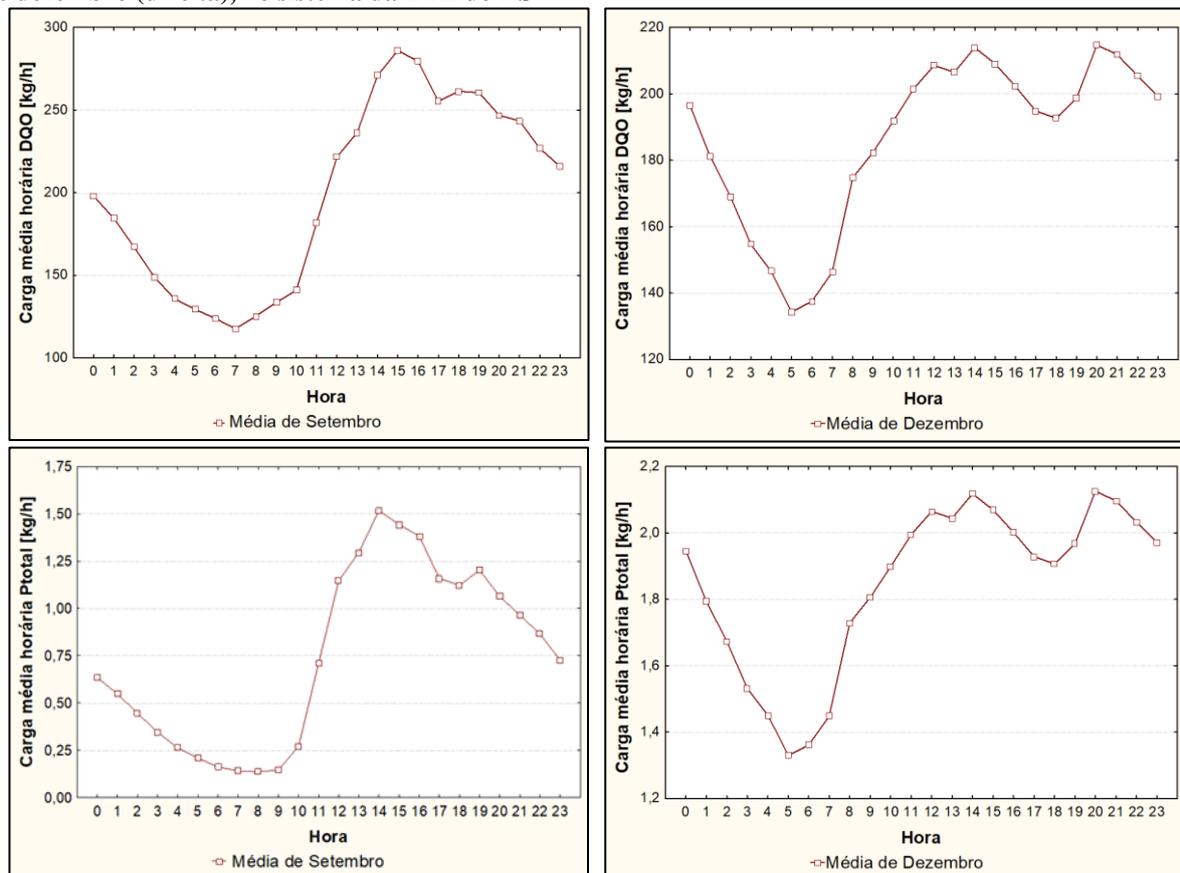
APLICAÇÕES OPERACIONAIS

Caracterização do efluente bruto

A instalação da sonda espectrofotométrica UV/Vis no esgoto afluente à ETE traz como primeira vantagem a possibilidade de acompanhar continuamente o esgoto bruto, e fazer os ajustes que correspondem às diferenças entre os dados considerados para projeto e aqueles que representam a realidade operacional da ETE. No passado, era prática comum superdimensionar as ETEs justamente por não se conhecer a carga real de esgoto bruto. Para estações desatualizadas que necessitam de consideráveis investimentos para atualização, o uso de novos equipamentos de monitoramento pode ser considerado como uma alternativa valiosa ao aumento do volume dos reatores (VANROLLEGHEM e LEE, 2003).

A Figura 9 apresenta dados sobre a carga média horária afluente à ETE do sistema do RS, para os parâmetros de DQO e Ptotal, ao longo dos meses de setembro e dezembro de 2021. Estes dados foram gerados a partir da medição contínua de concentração pela sonda UV/Vis, em combinação a dados do medidor de vazão ultrassônico instalado na entrada da ETE. Nota-se que existe relevante variabilidade de carga ao longo do dia, com os picos mínimos e máximos também variando entre os meses apresentados.

Figura 9 – Gráficos da carga média horária de DQO (superior) e Ptotal (inferior) em setembro (esquerda) e dezembro (direita), no sistema da ETE do RS

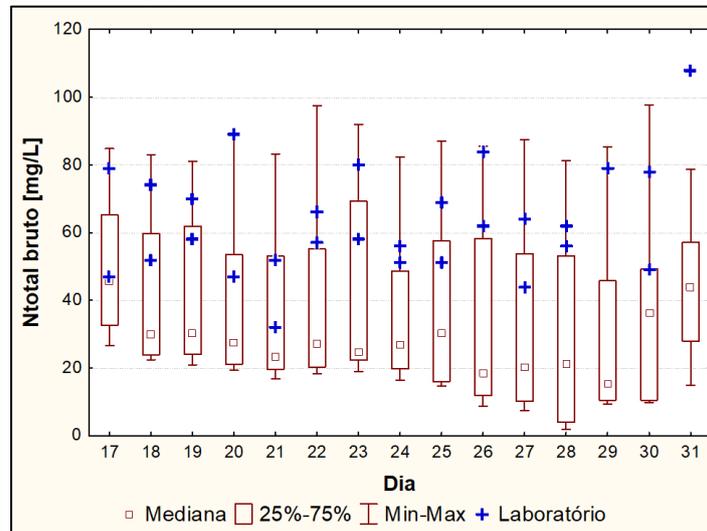


Fonte: própria dos autores.

No contexto das ETEs aeróbias, o monitoramento em tempo real de parâmetros como DQO desempenha um papel crucial. Em conjunto com a medição de oxigênio dissolvido nos reatores, é possível ajustar a aeração para que corresponda à carga de entrada real da ETE, economizando energia e garantindo a eficiência do tratamento. Além disso, a medição do fósforo no esgoto afluente permite ajustar a dosagem de precipitantes químicos, como o cloreto férrico, resultando em economia de produtos químicos. É importante evitar superdosagens de cloreto férrico em momentos de baixa carga de fósforo, pois isso pode levar à redução do pH do efluente tratado devido à acidez do produto.

Entretanto, além da medição direta de DQO e indireta de Fósforo Total no esgoto bruto, também é possível configurar a sonda para medir indiretamente Nitrogênio Total. No caso da ETE de GO (Figura 10), foram plotados os dados de monitoramento contínuo da sonda UV/Vis contra análises laboratoriais pontuais realizadas diariamente pelos operadores. A comparação entre a medição contínua e as análises pontuais evidencia ainda mais o potencial de uso do equipamento para monitorar as variações de diversos parâmetros.

Figura 10 – Gráfico de comparação entre monitoramento da sonda UV/Vis e análises laboratoriais pontuais, no sistema da ETE de GO

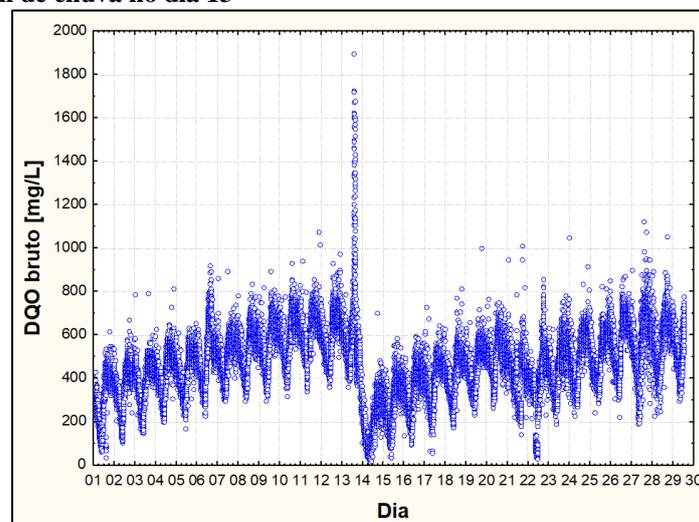


Fonte: própria dos autores.

Acompanhamento de eventos de pico

Além da variação inerente à própria geração de esgotos, é de grande relevância que uma ETE tenha a possibilidade de identificar eventos de pico de carga logo no início, impedindo que eles causem grandes alterações no reator. A Figura 11 apresenta dados de monitoramento da sonda UV/Vis sobre a concentração de DQO no esgoto bruto da ETE do sistema do RS ao longo de um mês.

Figura 11 – Gráfico de dispersão sobre o monitoramento de DQO no esgoto bruto, no sistema da ETE do RS, com chuva 35mm de chuva no dia 13



Fonte: própria dos autores.

Os dados coletados revelam que, após um evento de chuva de 35 mm ocorrido no dia 13, houve um significativo aumento inicial na concentração de matéria orgânica devido ao fenômeno conhecido como *first flush*. Esse fenômeno é comumente observado nas primeiras horas de uma chuva, quando ocorre a lavagem e transporte de poluentes pela água da chuva até a ETE através do sistema de esgotamento da cidade. Em seguida, ocorreu uma acentuada redução na concentração de DQO, que persistiu por aproximadamente uma semana até a normalização da situação. Tanto o pico de concentração durante o *first flush* quanto a subsequente redução na concentração de poluentes devem ser avaliados pelos responsáveis pela operação da ETE, considerando seus impactos no sistema de tratamento.

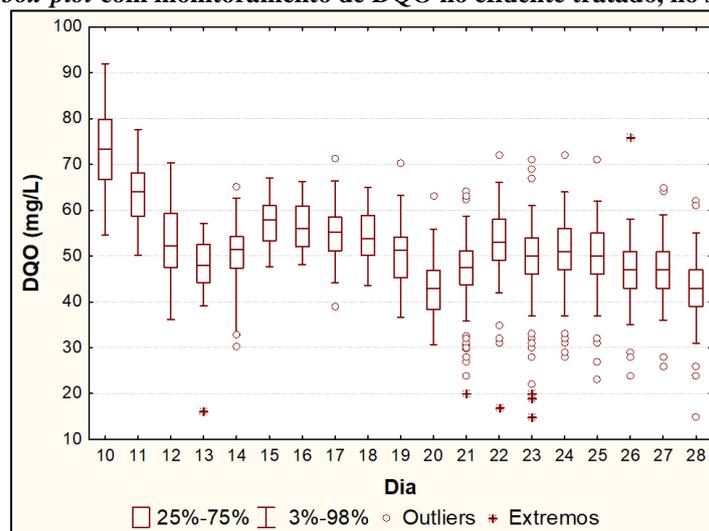
Uma situação semelhante ocorre em casos de picos de concentração associados a contaminações ou descargas de efluentes "incomuns" na rede de esgoto que alimenta a ETE. Uma característica importante de sistemas baseados em processos de lodo ativado e executado como tecnologia de SBR consiste na alta capacidade de absorver grandes variâncias da carga de esgoto, resultando em situação normal de operação durante os eventos iniciais de contaminação. Por este motivo, é interessante a possibilidade de identificar esses casos e adotar medidas para reduzir seus impactos no sistema de tratamento a longo prazo. Carreres-Prieto *et al.* (2022) destacam a possibilidade de integrar esses dados a sistemas de alerta em tempo real, que podem ser incorporados à operação da ETE para uma resposta mais ágil e eficiente.

Monitoramento das características do efluente tratado

O monitoramento do efluente tratado já é uma rotina com a qual os operadores estão mais familiarizados. Parâmetros como DQO, por exemplo, tem uma rotina de análise determinada para garantir não somente o atendimento à legislação, mas também um tempo de resposta otimizado à possíveis reduções na eficiência do tratamento.

Entretanto, este tempo de resposta pode ser ainda mais reduzido. A Figura 12 apresenta os dados de monitoramento da DQO no efluente tratado do sistema da ETE do RS, pela sonda UV/Vis, em formato *box-plot*. Este tipo de gráfico possibilita identificar onde se concentram a maior parte dos dados em torno da média (25-75%), facilitam a comparação entre a mediana (representado pelo corte no *box-plot*) e a média (metade do *box-plot*), além de apresentar os valores máximos e mínimos.

Figura 12 – Gráfico *box-plot* com monitoramento de DQO no efluente tratado, no sistema da ETE do RS



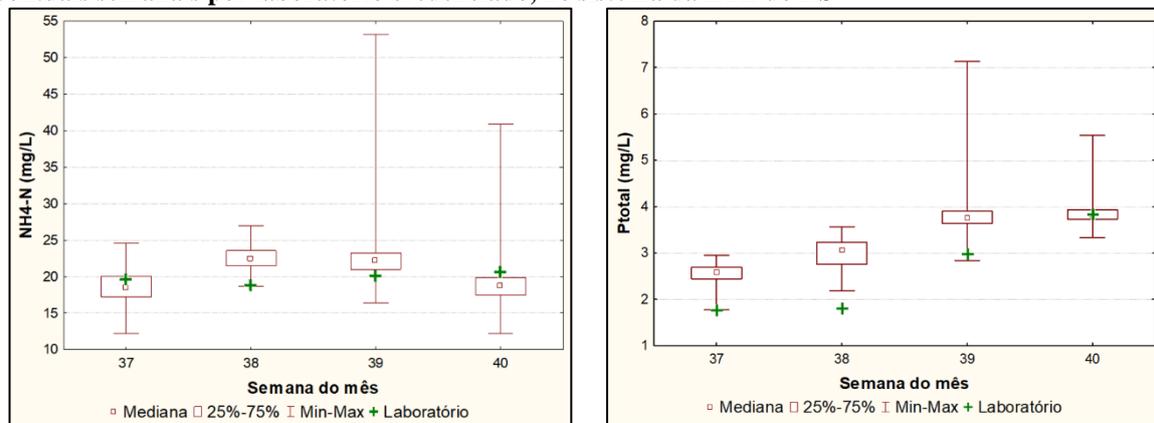
Fonte: própria dos autores.

Neste caso, o monitoramento do efluente de saída do reator SBR apresentou uma média de DQO de 66 mg/L para o mês em questão. Notavelmente, entre as medidas de tendência central, a mediana se aproximou bastante da média em todos os dias, indicando que não houve presença significativa de eventos de pico, seja para cima ou para baixo.

Em relação à Figura 13, que apresenta o monitoramento do nitrogênio amoniacal e do fósforo total no efluente tratado do reator, ao longo de quatro semanas de um mês, esses dados foram plotados junto às análises semanais

realizadas por um laboratório credenciado para fins de regulação do serviço de tratamento de esgotos. O monitoramento contínuo oferece vantagens evidentes em relação ao acompanhamento da operação. Por exemplo, é possível perceber mais rapidamente a tendência de aumento na concentração de fósforo total (imagem da direita) por meio do monitoramento da sonda UV/Vis em comparação com as análises do laboratório. A amostragem pontual pode camuflar os resultados por algumas semanas, dependendo do horário e das condições da coleta realizada.

Figura 13 – Gráfico de comparação entre monitoramento da sonda UV/Vis e análises laboratoriais pontuais semanais por laboratório credenciado, no sistema da ETE do RS

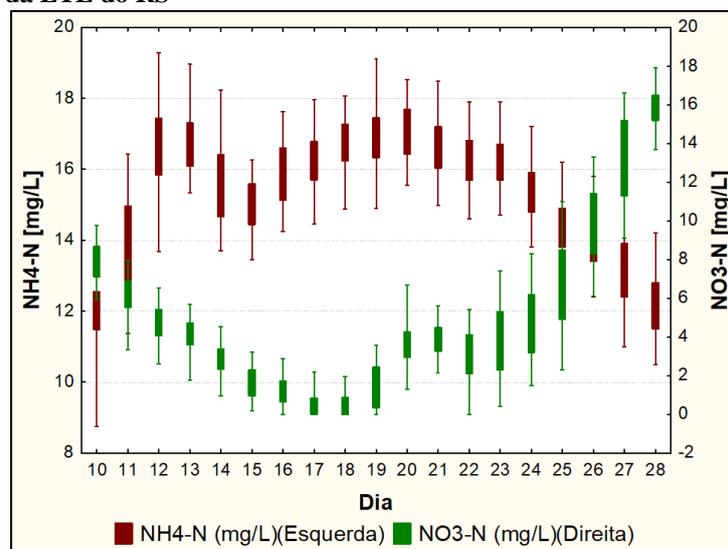


Fonte: própria dos autores.

Monitoramento da nitrificação

Adicionalmente para o sistema de instrumentação da ETE do RS, acompanhou-se pela sonda UV/Vis o processo de nitrificação a partir do monitoramento de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$) como substrato da nitrificação, e do nitrogênio de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) como o produto da nitrificação (Figura 14).

Figura 14 – Gráfico *box-plot* com monitoramento de nitrogênio amoniacal e nitrato-N no efluente tratado, no sistema da ETE do RS



Fonte: própria dos autores

Nesse caso específico, o processo de nitrificação enfrentou limitações durante o mês referente ao gráfico, o que pôde ser identificado e tratado operacionalmente com acompanhamento dos resultados através da sonda. Após as ações tomadas, o processo pôde ser retomado.

O monitoramento dos compostos nitrogenados também possibilita um melhor controle dos períodos de aeração, resultando em economia de energia e melhoria da eficiência do tratamento. O excesso de aeração, por exemplo, pode levar à redução do pH do efluente tratado devido ao consumo de alcalinidade em excesso durante a nitrificação, além de resultar em desperdício de energia e custos adicionais de tratamento.

DESAFIOS RELACIONADOS À ROTINA OPERACIONAL E DE MANUTENÇÃO

As experiências conduzidas pelos autores em ambos os sistemas de instrumentação das ETEs do RS e GO permitiram identificar uma série de fatores e procedimentos cruciais para tornar essa tecnologia sustentável em termos econômicos e garantir resultados consistentes, levando em conta os desafios específicos da operação das ETEs no Brasil.

Inicialmente, como já mencionado, é essencial realizar a calibração do equipamento de forma local, levando em consideração as características do meio a ser analisado. Uma vez calibrado, o equipamento realiza medições automaticamente e fornece resultados estáveis, desde que operado corretamente. Nas experiências realizadas, uma operação adequada foi garantida principalmente por meio de dois procedimentos: o sistema de limpeza por ar comprimido e a limpeza semanal dos tanques de amostragem e da sonda.

O sistema de autolimpeza por ar comprimido evita a deposição frequente de sólidos sobre a região de leitura da sonda, o que é crucial para obter leituras precisas dos espectros. Nas ETEs abordadas neste artigo, as sondas foram conectadas a um compressor de ar (4 - 6 bar) e as válvulas solenoides receberam um pulso de ar 10 segundos antes de cada leitura. Esse tempo foi determinado após testes de leitura para garantir que as bolhas geradas pela injeção de ar estivessem completamente dispersas antes da leitura pelo sensor.

Além da autolimpeza por ar comprimido, constatou-se a necessidade de realizar uma limpeza manual semanal da sonda e do tanque de amostragem por parte dos operadores (Figura 15). A limpeza da sonda deve ser realizada com a compressão de ar desligada, utilizando uma escova de dentes de cerdas macias e água morna com detergente. Não é aconselhável que os operadores abram a sonda para limpar a região do sensor, pois qualquer modificação no *path length* pode resultar em desvios consideráveis nos resultados. O tanque de amostragem, presente especificamente nos sistemas analisados, deve ser limpo com água e detergente semanalmente para evitar a deposição de sólidos que possam prejudicar a leitura do sensor. É importante destacar que a sonda também pode ser instalada diretamente em tubulações ou no reator, dependendo da escolha de projeto.

Figura 15 – Desligamento do sistema de limpeza automática de ar comprimido e limpeza da sonda UV/Vis na casa de operação – ETE do RS



Fonte: Rotária do Brasil.

Apesar de a limpeza automática e manual garantirem resultados estáveis por alguns meses, foi constatada a necessidade de realizar uma manutenção semestral por mão de obra especializada. Essa manutenção consiste na limpeza com abertura do equipamento e verificação dos fatores da curva de calibração instalada. Além disso, na manutenção semestral, é crucial analisar o histórico das leituras de espectros da sonda para avaliar se houve alguma alteração significativa na composição do espectro do meio monitorado. Caso seja identificada alguma mudança relevante, pode ser necessário incluir novas amostras na curva instalada ou até mesmo elaborar uma nova curva.

Adotar uma rotina operacional simples e realizar manutenções semestrais dos equipamentos garantem leituras estáveis com custos muito inferiores em comparação com outros tipos de equipamentos de medição contínua *in situ*, como os analisadores úmidos químicos.

CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os resultados iniciais do monitoramento do esgoto afluente e efluente tratado de duas ETEs brasileiras utilizando sondas UV/Vis *in situ*. Atualmente, essas estações utilizam os instrumentos para o monitoramento contínuo de parâmetros de medição direta (como DQO e nitratos) e indireta (nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total, entre outros).

Com base nos resultados obtidos com o monitoramento contínuo, destacou-se a capacidade de lidar com variações de carga de esgotos brutos decorrentes da população local, bem como com picos de chuva e contaminação. Além disso, explorou-se a possibilidade de monitorar o efluente tratado não apenas para garantir o cumprimento das regulamentações, mas também para o controle operacional do processo de nitrificação. Por meio desses usos, foi possível acompanhar o processo de tratamento de forma mais detalhada, responder às mudanças com agilidade, monitorar o processo de nitrificação e economizar energia e produtos químicos.

Enxerga-se um enorme potencial para as ETEs brasileiras na utilização de sondas espectrofotométricas UV/Vis *in situ*, proporcionando benefícios significativos em termos de eficiência operacional, economia de recursos e melhorias no controle de qualidade do efluente tratado. A aplicação dessas tecnologias avançadas de monitoramento representa um avanço importante para o setor de tratamento de esgoto no Brasil, possibilitando uma gestão mais precisa e eficiente das estações, contribuindo para a proteção do meio ambiente e para a saúde pública. A implementação desse tipo de monitoramento e a busca por novas abordagens são essenciais para o aprimoramento contínuo das ETEs e para enfrentar os desafios futuros relacionados ao tratamento de esgoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALAM, T. *Estimation of Chemical Oxygen Demand in WasteWater using UV-VIS Spectroscopy*. 2015. 92 Applied Sciences: School of Mechatronic Systems Engineering
2. BOURGEOIS, W., BURGESS, J. E., STUETZ, R. M. *On-line monitoring of wastewater quality: a review*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, v. 76, n. 4, p. 337-348, 2001. ISSN 0268-2575.
3. BRIGGS, R. *Instrumentation and control in sewage treatment*. 1st Conference Instrumentation, Control and Automation: IWA 1973.
4. BRITO, R. S., PINHEIRO, H. M., FERREIRA, F., MATOS, J. S., LOURENÇO, N. D. *In situ UV-Vis spectroscopy to estimate COD and TSS in wastewater drainage systems*. Urban Water Journal, v. 11, n. 4, p. 261-273, 2013. ISSN 1573-062X.
5. BRITO, R. S., RIBEIRO, R., ARRIAGA, T., LEITÃO, C., LOURENÇO, N. D., FERREIRAC, F., PINHEIRO, H. M. *On-line monitoring for improved wastewater system management: applications of ultraviolet/visible spectroscopy*. Spectroscopy Europe, v. 27, n. 6, p. 6-9, 2015.
6. CARDIA, M., CHESSA, S., FRANCESCHI, M., GAMBINERI, F., MICHELI, A. *Estimation of COD from UV-Vis Spectrometer Exploiting Machine Learning in Leather Industries Wastewater*. Proceedings of the 8th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering 2023.
7. CARRE, E., PEROT, J., JAUZEIN, V., LIN, L., LOPEZ-FERBER, M. *Estimation of water quality by UV/Vis spectrometry in the framework of treated wastewater reuse*. Water Sci Technol, v. 76, n. 3-4, p.

- 633-641, Jul 2017. ISSN 0273-1223 (Print). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28759445> >.
8. CARRERES-PRIETO, D., GARCIA, J. T., CERDAN-CARTAGENA, F., SUARDIAZ-MURO, J. *Wastewater Quality Estimation Through Spectrophotometry-Based Statistical Models*. Sensors (Basel), v. 20, n. 19, Oct 1 2020. ISSN 1424-8220 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33019750> >.
 9. CARRERES-PRIETO, D., GARCIA, J. T., CERDAN-CARTAGENA, F., SUARDIAZ-MURO, J., LARDIN, C. *Implementing Early Warning Systems in WWTP. An investigation with cost-effective LED-VIS spectroscopy-based genetic algorithms*. Chemosphere, v. 293, p. 133610, Apr 2022. ISSN 1879-1298 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35051514> >.
 10. CHEN, B., WU, H., LI, S. F. *Development of variable pathlength UV-vis spectroscopy combined with partial-least-squares regression for wastewater chemical oxygen demand (COD) monitoring*. Talanta, v. 120, p. 325-30, Mar 2014. ISSN 1873-3573 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24468377> >.
 11. DOBBS, R. A., WISE, R. H., DEAN, R. B. *The use of ultra-violet absorbance for monitoring the total organic carbon content of water and wastewater*. Water Research, v. 6, n. 10, p. 1173-1180, 1972/10/01/1972. ISSN 0043-1354. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135472900176> >.
 12. FOGELMAN, S., ZHAO, H., BLUMENSTEIN, M., ZHANG, S. *Estimation of oxygen demand levels using UV-Vis spectroscopy and artificial neural networks as an effective tool for real-time, wastewater treatment control*. Australian Young Water Professionals Conference. Sydney, Australia: 3 p. 2006.
 13. HERNÁNDEZ, O. A. D., LISBOA, A. M., CANTÃO, M. P., POSSETTI, G. R. C., AISSE, M. M. *Medição in situ e em tempo real da demanda química de oxigênio em uma estação de tratamento anaeróbio de esgoto*. Congresso ABES Fenasan: 10 p. 2017.
 14. JEPSSON, U., ALEX, J., PONS, M. N., SPANJERS, H., VANROLLEGHEM, P. A. *Status and future trends of ICA in wastewater treatment--a European perspective*. Water Sci Technol, v. 45, n. 4-5, p. 485-94, 2002. ISSN 0273-1223 (Print).
 15. KUMAR, N., BANSAL, A., SARMA, G. S., RAWAL, R. K. *Chemometrics tools used in analytical chemistry: an overview*. Talanta, v. 123, p. 186-99, Jun 2014. ISSN 1873-3573 (Electronic)
 16. 0039-9140 (Linking). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24725882> >.
 17. LANGERGRABER, G., FLEISCHMANN, N., HOFSTAEDTER, F. J. W. S., TECHNOLOGY. *A multivariate calibration procedure for UV/VIS spectrometric quantification of organic matter and nitrate in wastewater*. Water Science and Technology, v. 47, n. 2, p. 63-71, 2003. ISSN 0273-1223.
 18. LEPOT, M., TORRES, A., HOFER, T., CARADOT, N., GRUBER, G., AUBIN, J. B., BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. *Calibration of UV/Vis spectrophotometers: A review and comparison of different methods to estimate TSS and total and dissolved COD concentrations in sewers, WWTPs and rivers*. Water Res, v. 101, p. 519-534, Sep 15 2016. ISSN 1879-2448 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27295626> >.
 19. LI, P., QU, J., HE, Y., BO, Z., PEI, M. *Global calibration model of UV-Vis spectroscopy for COD estimation in the effluent of rural sewage treatment facilities*. RSC Adv, v. 10, n. 35, p. 20691-20700, May 27 2020. ISSN 2046-2069 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35517748> >.
 20. LIU, X., WANG, L. *Use of multivariate calibration models based on UV-Vis spectra for seawater quality monitoring in Tianjin Bohai Bay, China*. Water Sci Technol, v. 71, n. 10, p. 1444-50, 2015. ISSN 0273-1223 (Print). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26442484> >.

21. LOURENCO, N. D., MENEZES, J. C., PINHEIRO, H. M., DINIZ, D. *Development of PLS calibration models from UV-Vis spectra for TOC estimation at the outlet of a fuel park wastewater treatment plant.* Environ Technol, v. 29, n. 8, p. 891-8, Aug 2008. ISSN 0959-3330 (Print). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18724644> >.
22. MATSCHÉ, N., STUMWÖHRER, K. *UV absorption as control-parameter for biological treatment plants.* Water Science and Technology, v. 33, n. 12, p. 211-218, 1996/01/01/ 1996. ISSN 0273-1223. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0273122396004751> >.
23. MESQUITA, D. P., QUINTELAS, C., AMARAL, A. L., FERREIRA, E. C. *Monitoring biological wastewater treatment processes: recent advances in spectroscopy applications.* Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v. 16, n. 3, p. 395-424, 2017. ISSN 1569-1705.
24. NATARAJA, M., QIN, Y., SEAGREN, E. A. *Ultraviolet spectrophotometry as an index parameter for estimating the biochemical oxygen demand of domestic wastewater.* Environ Technol, v. 27, n. 7, p. 789-800, Jul 2006. ISSN 0959-3330 (Print).
25. OLSSON, G. *ICA and me--a subjective review.* Water Res, v. 46, n. 6, p. 1585-624, Apr 15 2012. ISSN 1879-2448 (Electronic). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22284982> >.
26. PACHECO FERNANDEZ, M. *Calibration of a Spectral Analyser for online monitoring of Odour and Corrosion Investigations in a sewer pilot plant.* Technical University of Berlin: 1-4 p. 2019.
27. PACHECO FERNANDEZ, M. *On the Application of Online Monitoring for Hydrogen Sulphide in Sewer Systems.* 2023. 145 (Doktorin der Ingenieurwissenschaften). Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt, Technischen Universität Berlin, Berlin.
28. PONS, M.-N., JING, W. U., POTIER, O. *CHEMOMETRIC ESTIMATION OF WASTEWATER COMPOSITION FOR THE ON-LINE CONTROL OF TREATMENT PLANTS.* IFAC Proceedings Volumes, v. 38, n. 1, p. 49-54, 2005/01/01/ 2005. ISSN 1474-6670. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016382246> >.
29. RIEGER, L., LANGERGRABER, G., SIEGRIST, H. *Uncertainties of spectral in situ measurements in wastewater using different calibration approaches.* Water Sci Technol, v. 53, n. 12, p. 187-97, 2006. ISSN 0273-1223 (Print). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16889255> >.
30. SNSA (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL). Probiogás. Resultados do projeto de medições de biogás em reatores anaeróbios. Ministério das Cidades, *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ)*. Carolina Cabral et al. (aut), Brasília, 50p, 2016. ISBN 978-85-7958-070-3.
31. THOMAS, O., BURGESS, C. *UV-Visible Spectrophotometry of Water and Wastewater.* 2nd edition. Elsevier Science, 2017. ISBN 978-0-444-63897-7.
32. THOMSEN, H. A., NIELSEN, M. K. *Practical experience with online measurements of NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻, redox, MLSS, and SS in advanced activated sludge plants.* Hydrotop92, The city and the water, 1992, Marseille, France. p.378-388.
33. TORRES, A., BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. *Partial Least Squares local calibration of a UV-visible spectrometer used for in situ measurements of COD and TSS concentrations in urban drainage systems.* Water Sci Technol, v. 57, n. 4, p. 581-8, 2008. ISSN 0273-1223 (Print). Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18359999> >.
34. VAN DEN BROECK, J., LANGERGRABER, G., WEINGARTNER, A. *On-line and in-situ UV/vis spectroscopy for multi-parameter measurements: a brief review.* Spectroscopy Europe, v. 18, n. 4, p. 1-4, 2006.

35. VANROLLEGHEM, P. A., LEE, P. A. *On-line monitoring equipment for wastewater treatment processes: state of the art*. Water Science and Technology v. 47, n. 2, p. 1 - 34, 2003. ISSN 0273-1223.
36. VON SPERLING, M. *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. Water Intelligence Online, v. 6, n. 0, p. 9781780402123-9781780402123, 2015. ISSN 1476-1777.
37. YOO, C. <*Monitoring and Control of Biological Wastewater Treatment Process.pdf*>. 2001. 195 (Doctor of Philosophy). Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Korea.
38. ZHANG, H., ZHANG, L., WANG, S., ZHANG, L. *Online water quality monitoring based on UV-Vis spectrometry and artificial neural networks in a river confluence near Sherfield-on-Loddon*. Environ Monit Assess, v. 194, n. 9, p. 630, Aug 3 2022. ISSN 1573-2959 (Electronic). Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35920913> >.