NOTA TÉCNICA

Monitorização online da qualidade dos efluentes por espectrometria na deteção de descargas industriais indevidas

Cristina Caldas[a], Pedro Fernandes[a], António Soares[a], Adélio Neto[b]*

[a] *Contimetra, Carnaxide, Portugal*
[b] *Sistimetra, Maia, Portugal*

Resumo

Num mundo em que a água é cada vez mais um bem escasso e precioso, a reutilização da água residual torna-se uma realidade inevitável. A reutilização é um enorme desafio para as entidades gestoras, não só por toda a infraestrutura dispendiosa que exige, mas também devido a descargas de águas residuais industriais, sem o tratamento mínimo necessário, pondo em risco todo o processo de tratamento das ETAR. Neste artigo pretende-se demonstrar a importância da monitorização contínua da qualidade da água residual, através da espetrofotometria UV-Vis, não só à entrada das ETAR, mas também em pontos estratégicos na rede de saneamento. A espectrometria é um método tecnologicamente avançado de medir em simultâneo vários parâmetros, com base no espetro de absorção em diferentes comprimentos de onda (200-750 nm). A monitorização em tempo real da qualidade da água deve ser considerada essencial para o futuro da gestão da água residual pois permite um controlo muito mais detalhado da qualidade da água, comparativamente com as análises laboratoriais periódicas, permitindo uma tomada de decisão imediata, caso seja detetado algum contaminante na água.

Palavras-chave: Monitorização contínua da qualidade, Descargas industriais, Espetrofotometria, UV/VIS.

doi: 10.22181/aer.2025.0106

** Autor para correspondência*
E-mail: aneto@sistimetra.pt

©APESB

NOTA TÉCNICA

Online monitoring of effluent quality using spectrometry to detect undue industrial discharges

Cristina Caldas[a*], *Pedro Fernandes*[a], *António Soares*[a], *Adélio Neto*[b]

[a] *Contimetra, Carnaxide, Portugal*
[b] *Sistimetra, Maia, Portugal*

Abstract

In a world where water is increasingly a scarce and precious commodity, the reuse of wastewater becomes an inevitable reality. Water reuse is a huge challenge for management entities, not only because of the expensive infrastructure it requires, but also due to industrial wastewater discharges without the minimum necessary treatment, jeopardizing the entire WWTP process. This article aims to demonstrate the importance of continuous monitoring of wastewater quality, through spectrophotometry UV-Vis, not only at the WWTP inlet, but also in strategic points in the sewage network. Spectrometry is a technologically advanced method of simultaneously measuring multiple parameters, based on the absorption spectrum at different wavelengths (200-750 nm). Real-time monitoring allows for much more detailed control of water quality, compared to periodic laboratory analyses, enabling immediate decision-making in case of any contamination is detected on the water.

Keywords: Continuous quality monitoring, Industrial discharges, Spectrometry, UV/VIS.

doi: 10.22181/aer.2025.0106

[*] *Corresponding author*
E-mail: aneto@sistimetra.pt

©APESB

1. Introdução

A monitorização e controlo da qualidade dos afluentes às ETARs municipais constitui uma grande preocupação das entidades gestoras, de forma a poderem garantir a qualidade dos efluentes, quer sejam devolvidos ao meio hídrico, quer seja com o objectivo cada vez mais premente da reutilização.

Os efluentes domésticos não constituem normalmente um prolema, visto que as suas características são bastante estáveis e as ETARs Municipais encontram-se preparadas para fazer o seu tratamento de forma adequada.

Dependendo do tipo de indústria, a descarga de efluentes industriais na rede de saneamento, legalmente, obriga a que estes efluentes tenham um tratamento prévio, antes de serem descarregados, de forma a cumprirem determinados limites legais a que estão sujeitos. Uma descarga industrial ilícita, sem o tratamento necessário, pode pôr em risco a qualidade do efluente tratado e a possibilidade de reutilização desta água. Numa situação mais crítica, uma descarga (contaminação) não detetada, pode pôr em risco todo o processo de tratamento e a respetiva ETAR.

Tradicionalmente, a medição dos parâmetros que permitem perceber o estado do efluente (por exemplo, CQO, CBO, SST, NO3…), antes ou depois do tratamento, é feita através de análises laboratoriais periódicas. Com este método, embora permita obter resultados de grande precisão, não é possível detetar eventuais descargas poluentes.

A utilização da espectrometria UV e visível, é um método que permite a análise contínua e em tempo real da água residual, sem recurso a reagentes. Além de permitir uma caracterização muito mais representativa da qualidade do efluente, possibilita que sejam tomadas medidas de forma a minimizar potenciais danos procedentes da presença de substâncias prejudiciais na água.

2. Espectrofotómetro (UV-VIS): Calibração e Utilização

A monitorização da qualidade da água através do espectro UV e UV-vis, de uma forma muito resumida, é fotografar a água (espetro) num determinado instante e converter essa fotografia nos parâmetros pretendidos (CQO, CBO, turvação, cor, BTX, …). Esta análise e compreensão do espectro é feita pelo instrumento de medição, com base em milhares de fotografias (medições) passadas.

O princípio fundamental da espectrometria é baseado na capacidade de o instrumento medir a quantidade de luz absorvida ao longo do espectro UV e Vis. (Fig. 1).

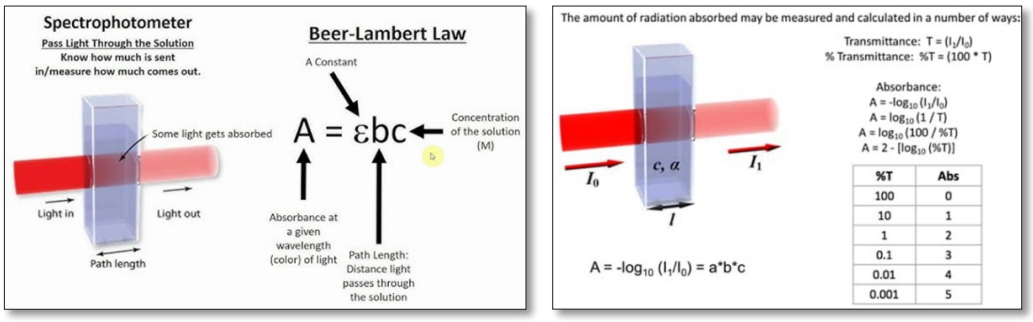

Figura 1. Princípios da absorbância de luz

O caso mais simples é quando colocamos uma substância, que absorve luz, em água destilada, que por sua vez não absorve luz. Esta substância gera tipicamente um espectro de absorção tipo Gaussiano, com base mais ou menos alargada (Fig. 2).

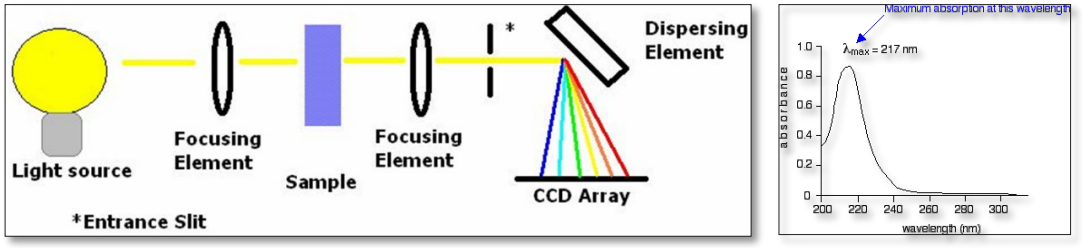

Figura 2. Esquema simplificativo da determinação do espectro de absorbância de luz

Quantos mais componentes tem a água, mais difícil é distingui-los, sendo o espectro resultante a soma da absorção de todos os componentes. Numa situação real, por exemplo em água residual, a própria água (esta já absorve luz) tem uma estrutura base própria e o espectro de absorção é o resultado de todas as substâncias presentes, que absorvem luz e da própria água.

O spectro::lyser é uma sonda para medição *in situ*, que pode ser instalada diretamente no efluente (submersa) ou numa célula de medição (bypass). Esta sonda funciona com base na espectrometria e opera no espectro completo UV e Visível (200 a 720 nm). O resultado de cada medição é um espectro da absorção ao longo de toda a gama de comprimentos de onda. Com base no espectro obtido em cada medição e em algoritmos pré-definidos, previamente carregados, são calculados os parâmetros qualitativos da água selecionados previamente (Fig. 3).

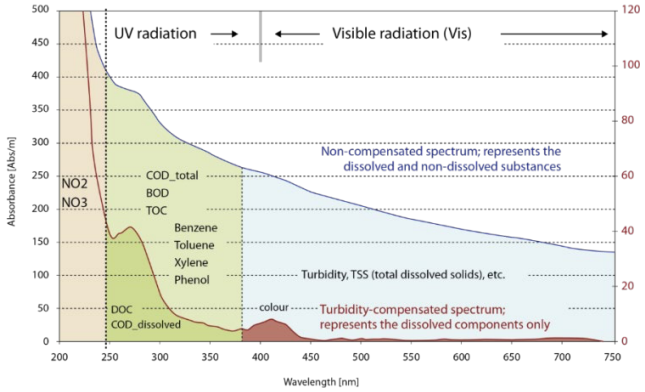

Figura 3. Espectro de absorção

Embora o algoritmo que converte o espetro de absorção em parâmetros quantificados tenha como base um histórico muito amplo, cada ponto de monitorização (seja a entrada de uma ETAR, seja num ponto estratégico na rede de saneamento) tem características próprias, o que pode levar à origem de um espectro de absorção ímpar.

Por exemplo, na análise de água limpa é fácil o espetrofotómetro ser fornecido com pré-calibrações standard para cada parâmetro e, provavelmente, a comparação com análises laboratoriais, valide esta pré-calibração. Por outro lado, nas águas residuais já não é assim tão "fácil", tornando-se estas pré-calibrações inadequadas sempre que exista uma forte influência de efluentes industriais. Nestes casos, é sempre necessária uma calibração local para cada parâmetro, por comparação com análises laboratoriais.

Ao mesmo tempo que o sensor faz a medição do espectro, é necessário retirar uma amostra para posterior análise laboratorial. Devem ser retiradas várias amostras, em diferentes espaços temporais, de forma à nova calibração ser o mais abrangente possível (Fig. 4, Fig. 5 e Quadro 1).

©APESB

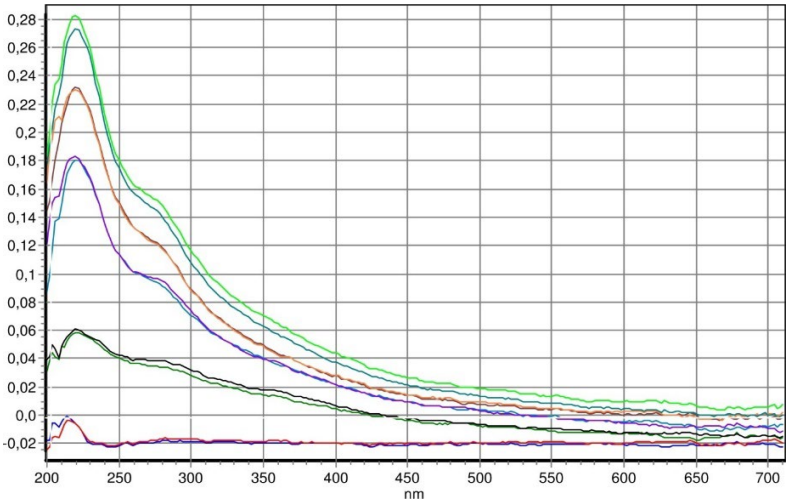

Figura 4. Espetros memorizados

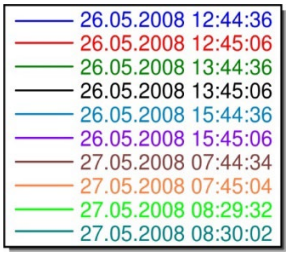

Figura 5. Hora de registo do espectro

Quadro 1. Resultados laboratoriais correspondentes

Amostra	Diluição	Hora	Período	TOC – LAB [mg/l]	CSB – LAB [mg/l]	Data
1	Ro water	12:45	9:15-12:55	1,56	7,00	26.05.
2	K-pure	13:45	13:00-13:48	7,29	49,00	26.05.
3	K-clean 1:1 K-unclean	14:45	13:55-14:50	15,90	95,00	26.05.
4	K-clean 1:2 K-unclean	15:45	14:55-15:50	19,70	113,00	26.05.
5	K-clean 1:3 K-unclean	07:45	7:19-07:50	23,40	118,00	27.05.
6	K-unclean	08:30	07:54-08:35	27,10	141,00	27.05.

Concluído o período de aferição inicial, tendo valores de amostras significativos, os dados espectrais e os respetivos valores de concentração obtidos laboratorialmente são introduzidos num software específico de calibração, que calcula os coeficientes de calibração do sistema. Estão assim reunidas as condições para, em modo de funcionamento normal, se obter em tempo real o valor de cada parâmetro anteriormente calibrado.

3. A Função Deteção de Eventos

Do procedimento atrás descrito conclui-se que a utilização da análise espetral para análise de águas residuais industriais, permite grandes avanços na monitorização em tempo real da qualidade da água, mas envolve um processo algo moroso na colocação em serviço.

Por vezes, mais do que uma medição exata dos parâmetros qualitativos da água, existe a necessidade de uma monitorização temporária, por parte das entidades gestoras. Estas medições, ocorrem sobretudo devido à necessidade de identificar possíveis descargas indevidas que as indústrias entreguem para tratamento ou para o meio recetor.

A função de deteção de eventos pode ser uma ferramenta muito útil nestes casos, uma vez que permite gerar um alarme quando é detetado uma medição de espetro substancialmente diferente do padrão habitual.

Com o software ana::tool o sistema de monitorização funciona como um sistema de deteção de eventos usando espectrometria para deteção inequívoca de contaminações e aumento de informações através de padrões de comprimento de onda.

O sistema de deteção de eventos necessita de um período de aprendizagem, no qual vai percebendo o que é ou não é normal. Durante este período, normalmente a sensibilidade é maior e podem ser identificados "falsos eventos", que podem ser removidos pelos utilizadores – os dados remanescentes representam a "normalidade".

Após este período, o sistema encontra-se preparado para detetar situações que considera anormais, tanto pela análise do espetro medido, mas também pelo padrão dos parâmetros medidos. Detetada alguma anomalia, que pode indiciar uma descarga ilícita, o ana::tool produz um alarme binário, que pode ser utilizado de forma a evidenciar a descarga ou minimizar o efeito nocivo da mesma. Alguns exemplos de ações que podem ser despoletadas pelo alarme são: o envio de uma SMS para que alguém se possa deslocar ao local e atuar em conformidade; a recolha automática de uma amostra do efluente, para posterior análise laboratorial; atuar uma válvula/compartimento, de forma a desviar o efluente do seu trajeto normal.

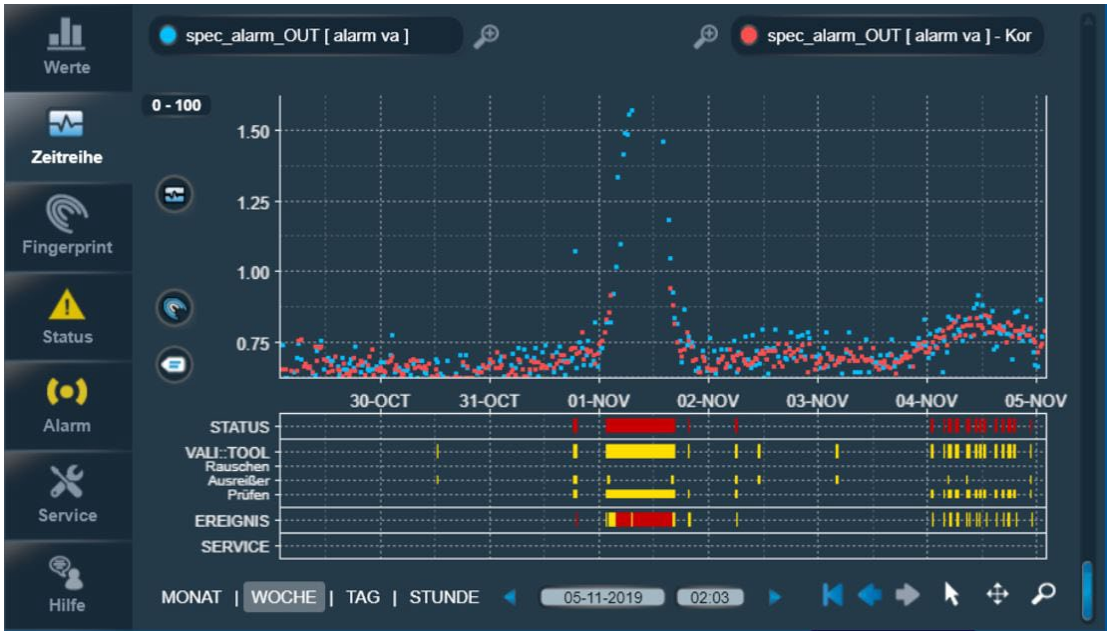

Figura 6. Deteção de eventos

Apesar de o alarme estar associado a uma saída digital (ON/OFF), que dá depois origem a uma das ações (ou outra) anteriormente mencionadas, cada alarme tem um valor numérico (Fig. 4) que indica quão longe a atual composição da água se desviou da normalidade.

Somente com um espectro UV-Vis ótico completo, tais eventos podem ser detectados com a utilização do alarme espectral s::can, pois separa completamente os eventos do fundo. (Isso seria impossível com sensores UV254 de comprimento de onda único)

Os dados históricos são memorizados e padrões de diferentes composições de água podem ser armazenados. O software ana::tool reconhece a água cuja composição corresponde a esses padrões e a sensibilidade não é afetada por mudanças entre as composições conhecidas.

Utilizando a função de aprendizagem automática, com janela de tempo móvel, o sistema adapta-se automaticamente a mudanças lentas na matriz do efluente. Durante os períodos em que a composição do efluente muda continuamente, a sensibilidade do sistema de alarme é reduzida.

©APESB

4. Conclusões

A monitorização contínua da qualidade da água residual deve ser vista como uma mais-valia para o futuro da gestão das estações de tratamento, da rede de saneamento, do meio ambiente e do próprio efluente. Apesar dos custos inerentes ao investimento inicial e do trabalho operacional, a medição permanente, comparativamente com a análise laboratorial periódica, traz sem dúvida benefícios do ponto de vista de controlo e operação.

A medição contínua vai ao encontro da necessidade, cada vez mais evidente, das entidades gestoras, de saber exatamente o que entra nas suas estações de tratamento, de forma a poderem adaptar o processo de tratamento ou tomar medidas, mediante os valores de entrada. O mesmo se aplica à saída das estações de tratamento, para o meio recetor, pois é tão ou mais importante saber o que é enviado para os rios, protegendo o meio ambiente e percebendo se o processo de tratamento pode, ou deve, ser melhorado.

Além disso, há cada vez mais apreensão relativamente às indústrias e ao efluente pré tratado (ou não) que estas descarregam para a rede de saneamento ou, em alguns casos, felizmente cada vez menos, diretamente para o meio recetor. Num universo perfeito, estas indústrias deveriam medir também de forma continua o efluente que descarregam, mas como não existe essa obrigatoriedade, pelo menos na maioria dos casos, surge a necessidade de monitorizações contínuas ou pontuais, por parte das entidades gestoras, de forma a "obrigarem" a que estas indústrias cumpram o estabelecido ou atuar em conformidade, caso isso não aconteça.

O ana::tool é um software poderoso para deteção de eventos de contaminação que, com base em inteligência artificial, identifica anomalias através do espetro completo e do histórico de padrões entre todos os parâmetros medidos. Nem sempre estes eventos fazem com que o valor dos parâmetros suba ou desça abruptamente, fazendo deste sistema incomparavelmente mais avançado do que um simples sistema alarmístico com base no valor de um parâmetro.

Um evento de contaminação pode ter consequências sérias a de longo prazo, tanto para o meio ambiente, quanto para a saúde pública. A gravidade do impacto dependerá da natureza e da quantidade do contaminante, do tempo de resposta e da eficácia das medidas de contenção. Degradação da qualidade da água e consequente impossibilidade de a tratar e reutilizar, danos nos equipamentos ou infraestruturas, risco de saúde pública e impactos ambientais são alguns exemplos de possíveis problemas causados por um evento de contaminação, sempre associados a custos económicos.

As análises periódicas são fiáveis e precisas, mas dificilmente permitirão responder atempadamente a um evento desta natureza. Posto isto, não devemos ignorar a importância de monitorizar continuamente a qualidade da água e dotar as nossas estações de tratamento de ferramentas que permitam prevenir e mitigar o impacto que uma contaminação grave pode provocar.

Referências

R.S. Brito, H.M. Pinheiro, F. Ferreira, J.S. Matos and N.D. Lourenço, "*In situ* UV-Vis spectroscopyto estimate COD and TSS in wastewaterdrainage systems", *Urban Water J*. 11, 261–273 (2012).

R.S. Brito, F. Ferreira N.D. Lourenço H.M. Pinheiro, J.S. Matos, "Espectrofotometria para monitorização da qualidade de água residual em drenagem urbana", APRH Vol 34 #1.

S::can Documentação diversa, www.s-can.at.