

TURBIDEZ · APLICAÇÃO

Calibração de turbidez com formazina, e o que o teste de linearidade revela

Por que dois pontos são o mínimo, e por que o R^2 diz mais que o erro de cada ponto

Calibrar turbidez é ajustar uma reta entre o sinal óptico e a escala da formazina. Diferente do pH, que tem inclinação teórica conhecida, aqui não existe valor esperado para a sensibilidade do sensor: ela depende da geometria e do próprio elemento óptico. Por isso a verificação é feita pela linearidade da resposta, e um coeficiente de determinação baixo aponta problema físico antes de qualquer erro de leitura individual.

O sinal de um sensor nefelométrico cresce de forma aproximadamente linear com a turbidez dentro da faixa de trabalho, porque cada partícula espalha independentemente das outras. A calibração levanta essa reta:

$$NTU = a \cdot S + b$$

S é o sinal do detector, a a sensibilidade e b o intercepto, que corresponde ao sinal com amostra isenta de partículas.

Como não há inclinação teórica de referência, o critério de aceitação é a qualidade do ajuste. Um ponto isolado fora do lugar pode ser padrão contaminado; um R^2 baixo com todos os pontos deslocados é quase sempre problema óptico ou de procedimento.

Os pontos disponíveis e o mínimo exigido

O firmware da Série M oferece cinco padrões de formazina em uma lista única, sem séries concorrentes como acontece no pH, e aceita qualquer combinação com no mínimo dois pontos. O padrão de fábrica é 20 e 200 NTU, que cobre a rotina de saneamento e indústria leve.

Aplicação típica	Faixa de trabalho	Pontos sugeridos
Água tratada, acompanhamento de filtro	abaixo de 20 NTU	0 e 20 NTU
Água bruta, captação, saneamento	20 a 200 NTU	20 e 200 NTU (padrão de fábrica)
Efluente industrial	200 a 800 NTU	200 e 500 NTU, ou 200, 500 e 800
Faixa ampla, laboratório de serviço	0 a 800 NTU	os cinco pontos

A regra é cercar a faixa de trabalho, não cobrir a faixa do instrumento. Calibrar em 500 e 800 NTU para depois medir efluente tratado em 15 NTU joga a leitura na extrapolação, onde o erro do intercepto pesa mais.

Os três critérios de aceitação

- Linearidade: coeficiente de determinação R^2 igual ou maior que 0,995 na regressão dos pontos calibrados.
- Erro por ponto: dentro de $\pm 5\%$ do valor nominal, para os padrões de 20 NTU em diante.
- Ponto zero: dentro de $\pm 0,5$ NTU em valor absoluto, porque percentual sobre zero não significa nada.

Os três atacam falhas diferentes. O erro por ponto pega padrão vencido ou trocado. O R^2 pega sensor sujo, bolha persistente e luz ambiente, que deslocam todos os pontos de forma sistemática. O critério absoluto no zero pega luz espúria e sujeira na janela óptica, que é exatamente o que limita o menor valor que o instrumento consegue enxergar.

Por que a leitura demora a fechar

Turbidez tem leitura ao vivo mais ruidosa que pH ou OD, porque cada partícula que cruza o caminho óptico é um evento discreto. O instrumento não decide num instante: coleta por 60 segundos em cada ponto e usa a média do

período. Esperar esse tempo não é lentidão do aparelho, é o que transforma um sinal granulado em um número reprodutível.

Turbidez não é compensada por temperatura, e não deve ser. O espalhamento praticamente não responde à temperatura. O que responde é a solubilidade dos gases: amostra fria que aquece dentro do copo libera microbolhas e a leitura sobe sozinha, sem que nada tenha mudado na amostra.

Erros que estragam a calibração

- Agitar o padrão com força. Formazina precisa ser homogeneizada por inversão suave e repetida; sacudir cria bolhas que o instrumento lê como turbidez.
- Calibrar num copo e medir em outro. Na medição por imersão a geometria faz parte da calibração; troque o copo e a reta muda.
- Encostar o sensor na parede ou no fundo. A superfície devolve luz para o detector e levanta o ponto.
- Reaproveitar padrão que já recebeu o sensor. O que volta do sensor contamina o frasco; separe a alíquota de uso e descarte depois.
- Usar diluição caseira do padrão alto para gerar um ponto baixo. Formazina diluída se degrada bem mais rápido que a suspensão de estoque, e o valor deixa de ser confiável em poucos dias.
- Calibrar sob luz ambiente forte. O mesmo copo lido na bancada iluminada e na sombra dá resultados diferentes.

Verificação entre calibrações

Entre calibrações, a checagem barata é ler um padrão que não foi usado no ajuste e comparar com o valor atribuído. Se ele passar dentro dos mesmos $\pm 5\%$, a reta continua válida. Se falhar só no ponto baixo, comece pela limpeza da janela óptica: quase sempre é sujeira, não deriva do sensor.

Perguntas frequentes

Posso calibrar em um ponto só?

Não. O instrumento exige no mínimo dois pontos, porque com um só não há reta a ajustar nem linearidade a verificar; o resultado seria um fator de escala sem controle de intercepto.

O ponto de 0 NTU é obrigatório?

Não é obrigatório, e faz mais diferença em quem trabalha em faixa baixa. Ele fixa o intercepto e denuncia luz espúria e sujeira óptica. Em rotina de 20 a 200 NTU, calibrar em 20 e 200 já resolve.

Meu R^2 deu 0,98, o que faço?

Procure causa física antes de repetir. Limpe a janela óptica, verifique bolhas aderidas, confirme que o mesmo copo foi usado em todos os pontos e refaça longe de luz direta. Erro sistemático em todos os pontos raramente é padrão vencido.

Quanto tempo dura um padrão de formazina?

A validade é a do frasco, declarada no certificado do lote, e vale para a suspensão fechada e armazenada como indicado. Alíquota diluída em casa não herda essa validade e degrada em dias.

Por que meu padrão de 800 NTU lê diferente depois de uma semana no armário?

Formazina sedimenta. Antes de usar, homogeneíze por inversão suave até a suspensão ficar uniforme, sem sacudir. Se houver depósito que não volta, o frasco perdeu validade prática.

Preciso recalibrar ao trocar de faixa?

Se a nova faixa fica fora dos pontos calibrados, sim. Medir 700 NTU com uma reta levantada em 0 e 20 NTU é extrapolar, e o erro cresce com a distância.

Referências

1. BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. (ed.) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. APHA/AWWA/WEF, 2017. Método 2130 B, Nephelometric Method.
2. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *ISO 7027-1: Water quality. Determination of turbidity. Part 1: Quantitative methods*. 2016. define a fonte de 860 nm e as unidades FNU e FAU.
3. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY *Method 180.1: Determination of Turbidity by Nephelometry*. rev. 2.0 1993. define a unidade NTU com fonte de tungstênio.
4. SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Principles of Instrumental Analysis*. 7. ed. Cengage Learning, 2018. espalhamento de luz, turbidimetria e nefelometria.

Hydrocore Analítica Ltda. · CNPJ 37.683.010/0001-89 · Rua Alice Alem Saadi, 111 - Sala 03, Ribeirão Preto/SP - CEP 14096-570

Revisado por Marcos Daniel Bueno Rosa, CRQ IV 04167649 em 2026-07-31. Emitido em 31/07/2026.

Documento **BIB-CFBBF81830**, conferível em www.hydrocore.com.br/biblioteca/calibracao-de-turbidez-com-formazina-e-o-teste-de-linearidade

Conteúdo sob licença Creative Commons BY-NC 4.0: uso livre para estudo e ensino, com citação da fonte. Uso comercial não autorizado.