

Construção de um Sensor Submerso Multinível para a Medição da Turbidez da Água

Pedro M. Botelho, David M. dos Santos, David M. Couto, Rodolfo C. Rebouças

¹Universidade Federal do Ceará (UFC) - Av. José de Freitas Queiroz, 5003, 63902-580
Cedro – Quixadá – Ceará - Brasil

Abstract. *In this paper, the assembly of a submersible turbidity sensor will be carried out, using phototransistors and infrared LEDs. The built sensor will inform the four turbidity levels of the water that passes through ducts where the light emitters and receivers are coupled, providing indicators to determine the purity levels of the liquid, and can be used in water treatment systems.*

Resumo. *Neste trabalho será realizada a montagem de um sensor de turbidez submersível, utilizando fototransistores e LEDs infravermelhos. O sensor construído irá informar os quatro níveis verticais de turbidez da água que passa por entre dutos onde estão acoplados os emissores e receptores de luz, fornecendo indicadores para determinar os níveis de pureza do líquido, podendo ser utilizado em sistemas de tratamento da água.*

1. Introdução

Um sensor de turbidez é um tipo de sensor que avalia, em um volume de líquido, a condição deste líquido em relação a quantidade excessiva de partículas em suspensão, ou sua turbidez, podendo assim avaliar a qualidade deste líquido. A medição da turbidez é um critério fundamental para indústrias que necessitam de água com padrões de qualidade específicos [SensorEx 2023], como as indústrias alimentícia, agrícola, química, cosméticos e farmacêutica.

A turbidez desempenha um papel crucial no estudo do transporte de sedimentos [Gippel 1989] e no impacto nos ecossistemas aquáticos [Bilotta and Brazier 2008]. Dessa forma, ao analisar a turbidez, é possível obter informações sobre a concentração de partículas suspensas e compreender esses impactos na qualidade da água no habitat dos organismos aquáticos.

A construção de um sensor para medir a turbidez da água traz várias vantagens, incluindo a redução de custos, já que com a possibilidade de adquirir componentes individuais e montá-los independentemente é menos custoso que a compra de um sensor comercial. Sensores de baixo custo estão disponíveis no mercado, na sua maioria projetados para monitorar a turvação da água em linhas de drenagem de máquinas de lavar louça e, portanto, podem não fornecer medições precisas e confiáveis em ambientes externos, como rios e cursos de água [Wang et al. 2018]. Com isso a criação de um sensor de turbidez com foco aos lagos e rios é de grande interesse.

Além disso, a criação de um sensor inteiramente novo proporciona maior flexibilidade, permitindo a personalização de sua estrutura, especificações e recursos conforme a necessidade, sendo então o sensor de turbidez altamente adaptável para atender aos requisitos da aplicação. Dito isto, neste artigo será abordado a construção de um sensor de

turbidez da água de formato cilíndrico submersível, explicitando os passos tomados e as decisões feitas no projeto de forma a construir um sensor de uso flexível.

2. Trabalhos Relacionados

No estudo proposto por [Prerana et al. 2012], um método foi proposto para detectar a turbidez de uma solução usando uma sonda de feixe de fibra óptica, também conhecida como optode, em conjunto com um espelho. Os autores buscaram obter um valor quantitativo para a turbidez e, para isso, analisaram o coeficiente de interação total, que apresenta valores altos em líquidos com alta turbidez. Assim, eles utilizaram um optode para construir seu sensor de turbidez.

Os autores em [Kirkey et al. 2018] utilizaram modulação de baixas frequências com ondas quadradas para lidar com problemas decorrentes de fatores externos. Por meio de um design específico e da implementação de um filtro passa-alta, eles conseguiram desenvolver um circuito com custo reduzido e maior precisão em comparação aos circuitos convencionais. Os sensores tiveram um custo de 70 dólares e uma duração de 4 horas para ser produzidos.

Em [Hussain et al. 2016], é apresentado um sensor de turbidez portátil baseado em smartphones, que mede a turbidez de amostras de água coletadas de diferentes fontes naturais e de água potável. O sensor utiliza o princípio de espalhamento de Mie, onde partículas suspensas na água dispersam um sinal de luz detectado por um sensor de proximidade infravermelho no smartphone. Essa abordagem oferece uma solução portátil, de baixo custo e fácil de usar para medição de turbidez em diferentes aplicações de campo.

3. Fundamentação Teórica

O trabalho apresentado é uma dissertação a respeito da construção de um dispositivo que irá determinar a turbidez da água, que por sua vez pode ser utilizada para determinar seu nível de pureza.

Dito isso, a **turbidez** é a medida do quanto a água perde sua transparência devido às partículas suspensas no líquido, que impedem a passagem dos feixes de luz [Kitchener et al. 2017]. A turbidez é uma medida diretamente proporcional à quantidade de partículas em suspensão.

Na literatura, as unidades mais comumente encontradas são: NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez, medida padrão de turbidez), FNU (Unidades Nefelométricas de Formazina, utilizada na avaliação de água potável) e FAU (Unidades de Atenuação de Formazina, utilizada na avaliação de águas residuais [Kitchener et al. 2017]) [Azis et al. 2015]. Neste trabalho, adotaremos NTU como a unidade de medida padrão.

Dessa forma, ao emitir um feixe de luz por entre o líquido, é possível realizar a leitura dos feixes de luz que atravessaram uma porção do líquido e obter um valor de turbidez baseado na quantidade de luz que atravessou o líquido. O método utilizado nesse trabalho é conhecido como **método de atenuação da luz**, conforme descrito em [Trevathan et al. 2020]. Para que a luz ambiente não afete tanto a leitura será utilizada **luz infravermelha** (IR), sendo uma luz não visível pelo olho humano. Dessa forma, os componentes usados deverão operar com esse tipo de luz.

O **LED** (diodo emissor de luz) infravermelho será o componente usado para emitir os feixes de luz por entre a água, e o **fototransistor** infravermelho será o componente responsável por receber os feixes de luz.

No fototransistor a corrente de emissor é controlada pela recepção de fótons, na base. A leitura do sinal de saída do sensor será verificada em um resistor, conectado ao emissor do fototransistor, já que haverá um fluxo de corrente por entre o transistor, proporcional à quantidade de luz incidente na base, fazendo surgir uma tensão no resistor (também proporcional à luz incidente) e inversamente proporcional à turbidez.

4. Procedimentos Metodológicos

Como dito anteriormente, o objetivo desse trabalho é explicitar a construção de um artigo para a leitura do nível de turbidez da água. Para a obtenção das informações necessárias para esse fim, esse artigo foi separado em três métricas, como mostrado a seguir:

4.1. Construção do Sensor

Como explicitado na seção anterior, a turbidez será verificada pela quantidade de luz infravermelha que ultrapassa a água e chega ao fototransistor. Percebe-se então que o sensor é composto por duas partes: emissor e receptor, conforme mostrado no esquemático abaixo, inspirado no circuito proposto por [Wang et al. 2018], onde o sinal de saída é obtido a partir do resistor de $10\text{ k}\Omega$, conectado ao emissor:

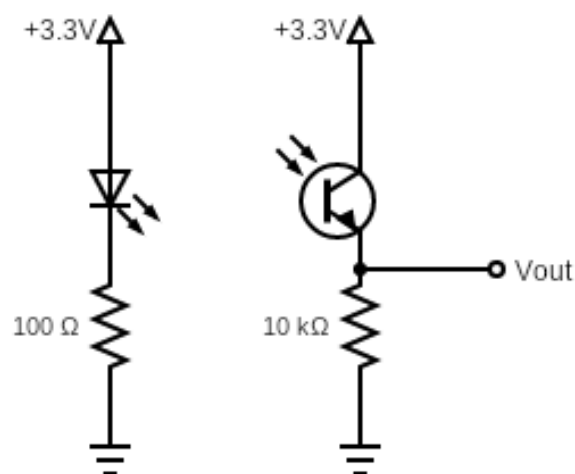


Figura 1. Diagrama esquemático do sensor de turbidez

Sendo que as duas partes do sensor “começam” no mesmo nó, e “terminam” no mesmo nó, é possível construir vários **subsensores** independentes, da forma como mostra a figura, e os dispor no sensor de turbidez em diferentes alturas (níveis), de forma a medir diferentes níveis de turbidez do líquido (muito útil devido à sedimentação e efeito degradê), obtendo maior precisão.

O sensor é construído em seções, que possuem um duto transparente por onde passará a água que a atravessa. Acoplado ao duto, por dentro do sensor, estão o fototransistor e o LED, um de frente para o outro, de forma a emitir e receber os feixes de luz por entre a água. Este formato permite uma análise mais precisa do efeito da turbidez, já que o envólucro por onde irá passar o líquido é menor, permitindo que o emissor e receptor fiquem mais perto, e permitindo que todas as seções tenham uma distância igual entre emissor e receptor.

Para verificar a turbidez em diferentes pontos do líquido, optou-se por distribuir quatro seções no sensor, estando cada um a uma mesma distância. Esta disposição estratégica visa examinar o efeito da turbidez em várias áreas do líquido. Essa abordagem proporciona uma visão do efeito de degradê do líquido, evitando possíveis distorções causadas pelo acúmulo de partículas ao fundo no líquido, sendo isso crucial para garantir leituras mais precisas, já que a sedimentação resulta em uma maior turbidez na parte inferior do recipiente. A implementação desse arranjo contribui para uma leitura mais acurada e abrangente da turbidez total do líquido em estudo.

4.2. Obtenção dos Dados do Sensor

É na porção de líquido que atravessa os dutos que será realizada a leitura (utilizando o método da atenuação da luz), verificando a quantidade de luz que atravessa o líquido no duto pelo sinal de saída lido do fototransistor acoplado aos dutos. Foram verificadas diferentes tensões para diferentes quantidades de turbidez da água, onde foram acrescentadas impurezas à água, inicialmente limpa, aumentando o número de partículas em suspensão.

A obtenção desses dados foi feita de maneira automatizada, por meio de um microcontrolador, que irá obter os dados do sensor periodicamente, e mandá-los para um computador por meio do cabo USB. Posteriormente os dados serão processados e um modelo matemático que descreva a turbidez a partir da tensão de saída do sensor será aproximado. Os códigos utilizados estão disponíveis em [GitHub 2023].

4.3. Mapeamento de Tensão para Turbidez

Quanto à utilização do sensor, deve-se ter uma forma de mapear valores de tensão para valores de turbidez. Para estabelecer essa relação é necessário obter um modelo matemático, que levará em conta a construção do circuito, variáveis externas, condições do sensor, etc, bem como um grande conjunto de leituras do sensor.

As informações coletadas serão usadas para aproximar gráficos e aproximar modelos matemáticos, de forma a converter valores de tensão, lidos do sensor, em valores de turbidez da água, que podem dar indicações do nível de pureza da água.

5. Resultados

Com base em uma série de cenários que representam quatro níveis distintos de turbidez na água contida no recipiente, observamos uma redução consistente na tensão no receptor à medida que adicionamos sedimentos à água, intensificando a turbidez, conforme indicado pela referência de NTU da água em [Hussain et al. 2016].

Os valores específicos de NTU das amostras utilizadas, apresentados na Tabela 1, foram derivados do estudo em [Azis et al. 2015], proporcionando uma representação

precisa da turbidez de cada amostra d'água. Importante destacar que a precisão dessas medições é diretamente influenciada pelas amostras de turbidez usadas, conforme detalhado na tabela referenciada abaixo. Os níveis médios de tensão, resultantes da análise de 5000 leituras para cada cenário, foram cuidadosamente registrados para cada seção, como descrito na Tabela 1.

Turbidez	Sensor 01	Sensor 02	Sensor 03	Sensor 04
1 NTU	1760.35 mV	1781.70 mV	1796.39 mV	1805.78 mV
5 NTU	1702.55 mV	1745.49 mV	1784.10 mV	1798.96 mV
10 NTU	1447.78 mV	1622.82 mV	1817.27 mV	2039.09 mV
20 NTU	1376.98 mV	1489.87 mV	1615.43 mV	1746.01 mV
40 NTU	1348.02 mV	1562.49 mV	1822.98 mV	2125.99 mV
60 NTU	1329.22 mV	1407.58 mV	1461.01 mV	1518.79 mV
80 NTU	1254.89 mV	1313.62 mV	1385.90 mV	1463.65 mV
100 NTU	1183.58 mV	969.03 mV	822.81 mV	702.54 mV
120 NTU	899.11 mV	752.64 mV	627.98 mV	540.46 mV

Tabela 1. Médias das leituras dos sensores para cada amostra

O sensor 1 está mais acima e o sensor 4 está mais abaixo, com um espaçamento uniforme. Com uma maior turbidez, e precipitação de sedimentos ao fundo, os sensores mais abaixo tem uma menor tensão de saída. Com a utilização de tubos transparentes iguais nas seções foi possível aproximar mais os resultados entre os sensores quando em níveis de turbidez mais baixos, já que os emissores e receptores estarão a uma mesma distância em cada seção. Com uma menor distância entre os emissores e receptores foi possível aumentar a tensão de saída, porém dificultou a polarização do fototransistor sendo a emissão de luz muito intensa.

Cada conjunto opera no máximo a 30 mA, a uma tensão de 3.3 V, o que permite usar o sensor com sistemas de baixa potência. Sendo o dispositivo altamente personalizável é possível incrementar seções (que por sua vez necessitam de baixa potência e baixas tensões), partindo do requisito do projeto.

Alguns problemas foram encontrados no projeto, além de mal contato e dificuldades de montagem. O primeiro impasse foi a necessidade do sensor ter uma estrutura impermeável, e a solução foi vedar possíveis entradas de ar com cola quente, o que foi muito conveniente, por também permitir junção da estrutura, porém não proveu impermeabilidade, o que permitiu que água entrasse e danificasse o sensor. Outro problema foi a grande quantidade de cabos dentro de uma estrutura pequena, e o enrolamento dos fios de cada par facilitou a organização, usando fios emborrachados para evitar problemas.

A medição por entre tubos transparentes se mostrou um sucesso, já que por mais que sua transparência altere os níveis de propagação da luz, os pares ficam bastante próximos, o que permite uma maior tensão de saída e uma maior precisão, se mostrando uma abordagem melhor que utilizar um sensor montado em um recipiente.

6. Conclusão

Em síntese, a turbidez emerge como um fator crucial para a indicação da qualidade da água, e a medição desse parâmetro torna-se simples com o novo design do sensor proposto

neste artigo, empregando componentes facilmente encontrados no mercado. Nesse contexto, a preferência por um sensor submerso, ressalta-se como uma escolha estratégica, visando evitar possíveis distorções causadas por acúmulo de partículas no fundo. Ainda, a utilização de diversos níveis traz ainda mais precisão ao projeto.

Sendo a água um elemento bastante utilizado no dia a dia, a utilização deste sensor tem grande grau de importância. Apesar de eficiente para dar indicativos da qualidade da água, o sensor de turbidez não indica se a água é potável, devendo ser utilizados outros processos para garantir a pureza da água.

No geral, este trabalho serve como base para outros projetos de maior complexidade, como por exemplo o monitoramento do nível de poluição dos rios e mares e o monitoramento de águas no setor da agropecuária, na qual se demanda uma alta qualidade de água, podendo ter integração de diversos sistemas, por meio de IoT.

Referências

- Azis, A., Yusuf, H., Faisal, Z., and Suradi, M. (2015). Water turbidity impact on discharge decrease of groundwater recharge in recharge reservoir. *Procedia Engineering*, 125:199–206.
- Bilotta, G. S. and Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*, 42(12):2849–2861.
- Gippel, C. J. (1989). The use of turbidimeters in suspended sediment research. *Hydrobiologia*, 176(1):465–480.
- GitHub (2023). Repositório do Projeto. https://github.com/boltragns/turbidity_sensor.
- Hussain, I., Ahamad, K., and Nath, P. (2016). Water turbidity sensing using a smartphone. *RSC Adv.*, 6:22374–22382.
- Kirkey, W. D., Bonner, J. S., and Fuller, C. B. (2018). Low-cost submersible turbidity sensors using low-frequency source light modulation. *IEEE Sensors Journal*, 18(22):9151–9162.
- Kitchener, B. G., Wainwright, J., and Parsons, A. J. (2017). A review of the principles of turbidity measurement. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 41(5):620–642.
- Prerana, Shenoy, M. R., Pal, B. P., and Gupta, B. D. (2012). Design, analysis, and realization of a turbidity sensor based on collection of scattered light by a fiber-optic probe. *IEEE Sensors Journal*, 12(1):44–50.
- SensorEx (Accessed 2023). Understanding the science behind turbidity sensors and how they work. <https://sensorex.com/understanding-the-science-behind-turbidity-sensors-and-how-they-work/>.
- Trevathan, J., Read, W., and Schmidtke, S. (2020). Towards the development of an affordable and practical light attenuation turbidity sensor for remote near real-time aquatic monitoring. *Sensors*, 20(7).

Wang, Y., Rajib, S. M. S. M., Collins, C., and Grieve, B. (2018). Low-cost turbidity sensor for low-power wireless monitoring of fresh-water courses. *IEEE Sensors Journal*, 18(11):4689–4696.