



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**



CICERO ERNANDES DE MELO SANTOS

**TURBIDUINO: ELABORAÇÃO DE UM COMPLETO TURBIDÍMETRO DE
BAIXO CUSTO COM TRANSMISSÃO REMOTA**

SERRA TALHADA, PERNAMBUCO

MAIO, 2022

CICERO ERNANDES DE MELO SANTOS

**TURBIDUINO: ELABORAÇÃO DE UM COMPLETO TURBIDÍMETRO DE
BAIXO CUSTO COM TRANSMISSÃO REMOTA**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-UAST), como parte dos requisitos para Obtenção do Título de Graduado em Licenciatura em Química.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Batista de Lima

SERRA TALHADA, PERNAMBUCO

MAIO, 2022

TurbiDuino: Elaboração de um completo turbidímetro de baixo custo com transmissão remota

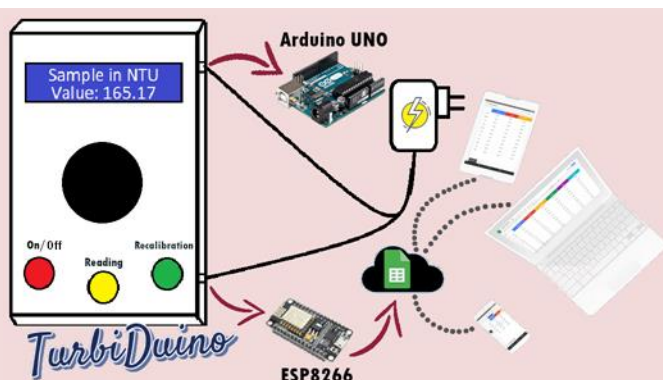
Cicero Ernandes de Melo Santos¹, Pedro Lemos de Almeida Júnior² e Marcelo Batista de Lima³

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada PE CEP: 56909-53, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão de Pernambuco, Campus Salgueiro, CEP: 56000-000, Salgueiro, Pernambuco, Brasil

ABSTRACT: O presente estudo descreve o desenvolvimento de um turbidímetro de baixo custo baseado na plataforma de código aberto Arduino. Dentre suas funcionalidades, o dispositivo conta com um sistema de calibração interna embutido no código do microcontrolador, com os resultados de análise apresentados na tela LCD do dispositivo e em uma planilha eletrônica através do envio remoto dos resultados em tempo real. Dois tipos de detectores foram testados com a finalidade de identificar a melhor estabilidade do sinal analítico. Também foram estudados os métodos nefelométricos e turbidimétricos. Ambos os sensores apresentaram estabilidade satisfatória, no entanto, verificou-se que o sensor fotodiodo apresentou melhor estabilidade de sinal com o método nefelométrico. O dispositivo pode ser empregado como uma ferramenta para estudos acadêmicos e para o desenvolvimento de novas pesquisas científicas baseadas em instrumentação e medidas de precipitados em suspensão.

PALAVRAS-CHAVE: Química Analítica, Instrumentação Analítica, Turbidimetria, Nefelometria, Aparelhos de Laboratório, Aprendizagem Baseada em Computador.



INTRODUÇÃO

A água doce é um bem escasso que necessita de um monitoramento adequado para que seja garantido o seu consumo. Destacam-se como parâmetros de qualidade, a cor, turbidez, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, matéria orgânica e inorgânica, microorganismos. A turbidez, por sua vez, corresponde ao material particulado em suspensão, sendo um padrão de potabilidade. Associa-se a turbidez da água a presença de matéria orgânica e inorgânica capazes de abrigar microorganismos patogênicos¹.

Existem métodos consolidados de análise que são empregados para medição de turbidez em água doce, bem como particulados em medicamentos e bebidas, esses métodos possuem em comum o emprego de uma fonte de radiação eletromagnética (REM), geralmente uma lâmpada de tungstênio, com filtro de luz azul,

ou um diodo emissor de luz (LED) direcionado a um compartimento onde a amostra fica retida. Nesse tipo de medição, a REM espalhada pelas partículas suspensas e não-absorventes da amostra é medida por um fotodetector. O sinal medido corresponde a uma diminuição da potência do feixe incidente que é relacionada com a concentração do particulado^{2,3,4}.

É bem conhecido que, a turbidimetria utiliza a medida de atenuação da REM incidente na amostra em um ângulo de 180°. Por sua vez, a nefelometria mede o espalhamento da REM em um ângulo de geralmente 90°. Ambos sendo adequados a partículas cuja dimensão varie de 1nm a 1µm^{5,7}.

Alternativas de menor custo à instrumentos comerciais de medição

analítica, como os turbidímetros vem surgindo ao longo das últimas décadas. Sobretudo, no contexto de formação técnica e para serem aplicados em escolas e universidades públicas de regiões onde o orçamento para a aquisição de instrumentos de medida para estudo e pesquisa não é prioridade.

Parte destes aparelhos alternativos utilizam um voltímetro para a quantificação da REM, algo que demanda maior esforço técnico⁵, ou mesmo fazem o uso de componentes mais dedicados ou sofisticados, como impressoras 3D⁶. Além disso, há casos, em que se utilizam de microcontroladores com algoritmos que não suportam a aquisição e processamento da calibração dos dados obtidos, exigindo-se o uso de uma forma de processamento externo ao aparelho, como um computador.

Neste contexto, a plataforma de código aberto Arduino torna-se uma alternativa adequada para a instrumentação analítica, possibilitando a integração entre aparelhos desenvolvidos e os seus componentes. O Arduino consiste de um pequeno computador de baixo custo, que pode ser programado para processar entradas e saídas de dados entre o dispositivo e periféricos conectados a ele, como sensores de luz, pressão, umidade, temperatura, condutividade, pH e gases^{8,9}.

Em vista das possibilidades, este trabalho de pesquisa teve como objetivo construir um turbidímetro alternativo, com baixo custo e integrado remotamente com planilhas online, cunhado de TurbiDuino. Ressalta-se que um projeto desta natureza permite o desenvolvimento prático de diferentes competências e habilidades em um contexto interdisciplinar (figura 1).

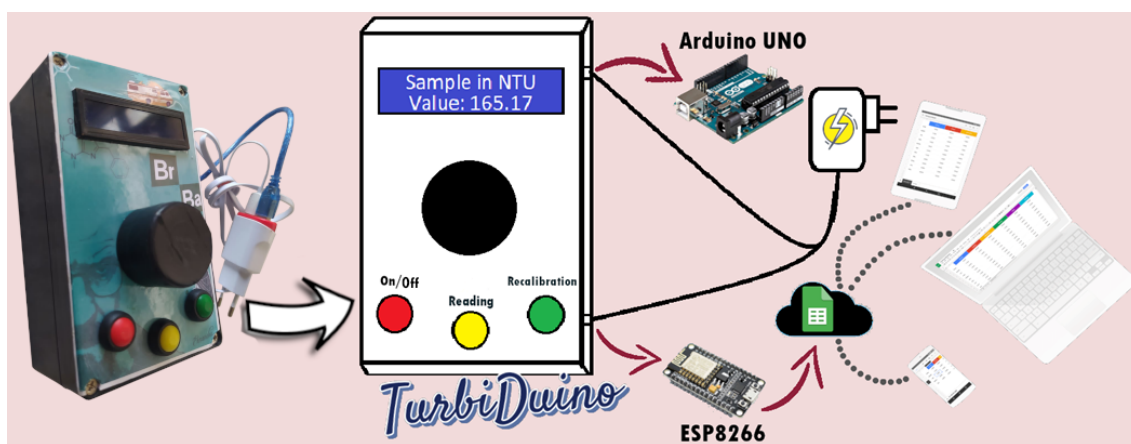


Figura 01. Lado esquerdo temos imagem real do Turbidímetro personalizado com integração a planilhas online através dos microcontroladores Arduino Uno e ESP8266. Lado direito mostra a imagem representativa do dispositivo com maiores detalhes acerca de suas funcionalidades.

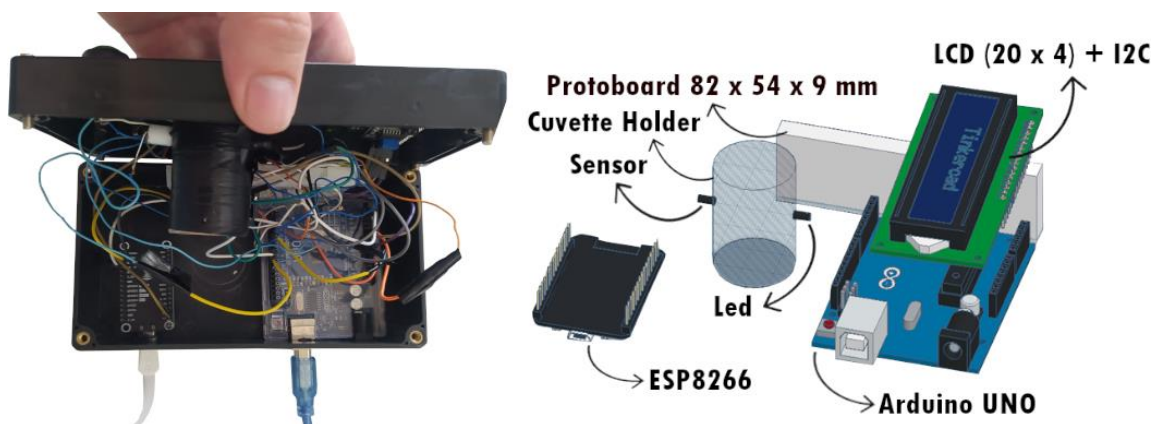


Figura 02. Lado direito temos uma imagem real dos componentes internos do aparelho e no lado esquerdo temos a representação gráfica simplificada do aparelho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Componentes eletrônicos

Todo o circuito básico de fiação e controle de componentes eletrônicos do TurbiDuino foi baseado em Arduino (**figura 2**). Assim, os componentes eletrônicos utilizados no projeto foram: um Arduino (UNO), um microcontrolador de acesso WIFI (ESP8266), um display de cristal líquido (20 x 4 caracteres) com modulo I2C previamente embutido, uma fonte de alimentação com duas entradas USB para o Arduino e para o ESP8266 (5V output), alguns resistores, três interruptores, uma protoboard (dimensões: 82 x 54 x 9 mm) e alguns jumpers.

Como fonte de radiação eletromagnética e fotodetector, foram testadas duas variações, sendo um fototransistor com sensibilidade na região do infravermelho e seu respectivo led infravermelho e um fotodiodo com um led branco. Detalhes em [informações de suporte](#).

Componentes mecânicos

Componentes Mecânicos

Por se tratar de um projeto de baixo custo, e de fácil aquisição, foram feitas algumas adaptações no projeto para que não houvesse a necessidade de uso de impressora 3d para a conclusão. Nesse sentido, em fase de prototipagem inicial, primeiramente foi utilizado uma simples caixa de papelão para os testes dos componentes eletrônicos, posteriormente foi feita a implementação em estrutura mais adequada. Como pode ser observado na **figura 1**, os componentes utilizados no protótipo funcional foram: uma caixa de plástico de junção (dimensões 158 x 90 x 60 mm), base de bobina de plástico filme Pvc para acoplar sensor e led, um tampão comum de cano para proteção contra iluminação externa e uma cubeta de vidro para inserção de amostras.

Código

Dois algoritmos em linguagem de programação C foram desenvolvidos no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) oficial da Arduino.

O primeiro código foi específico para o microcontrolador Arduino UNO, responsável por fazer o controle da fonte de radiação eletromagnética, sensor, display e de

três interruptores. O algoritmo é responsável por fazer aquisição e armazenamento dos dados, resolver equação de calibração pelo método dos mínimos quadráticos, bem como o processamento dos dados de amostras após calibração, com posterior envio dos dados para o ESP8266.

Já o segundo código, foi específico para o microcontrolador ESP8266, e é responsável por receber os dados de turbidez calculados no Arduino UNO e enviar para uma planilha online em tempo real, incluindo a hora e data exata do momento da análise em acordo com a representação da **figura 1**.

Testando o TurbiDuino

De modo a verificar a estabilidade do circuito do TurbiDuino, bem como a reprodutibilidade dos sensores avaliados (módulo fotodiodo e fototransistor), foi realizado dois testes, de uma hora cada, com medições de tensão a cada um minuto, ou seja, 60 leituras com cada sensor. Como pode ser observado na **figura 3**, o circuito proposto nesse projeto apresentou boa estabilidade e satisfatória reprodutibilidade dos sensores avaliados.

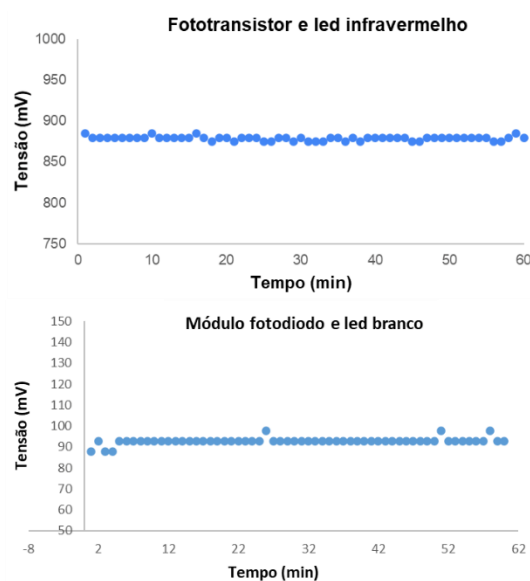


Figura 3. Teste de reprodutibilidade /estabilidade do circuito do projeto com dois tipos de sensores e fonte de radiação eletromagnética durante uma hora.

O valor médio de tensão obtido em milivolts (mV) para o fotodiodo foi de 92,86 mV, portanto, pode-se dizer que os valores flutuaram entre 87,98 e 92,86 mV, não apresentando valor anômalo no teste. Já o fototransistor, apresentou valor médio de

tensão de 878,95 mV com flutuação entre 874,88 e 884,65 mV. Assim, o teste realizado comprova que os dois sensores são reprodutíveis e confiáveis para rotinas exaustivas de trabalho, sendo potencialmente relevante para aplicações de monitoramento remoto e contínuo da qualidade da água.

A estabilidade observada no TurbiDuino e reprodutibilidade dos sensores fototransistor e fotodiodo é de grande importância para a confiabilidade das medições feitas no aparelho, pois, constatamos a relevância de tais características durante os testes realizados com o sensor LDR (Light Dependent Resistor) em que foi observado instabilidade e incoerências desse sensor ao longo das medições, prejudicando a calibração e posterior cálculo de turbidez das amostras, sendo inviável seu uso em períodos contínuos de tempo, apesar de sua sensibilidade e baixo custo.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos e conjunto de funcionalidades alcançados no projeto de turbidímetro demonstra relevante potencial educativo para aulas de laboratório, uma vez que tal dispositivo teve um custo muito inferior quando comparado a um aparelho comercial.

O implemento de projetos de turbidímetro de baixo custo é de vital importância para a consolidação de conhecimentos relacionados ao tema da água, análises químicas, eletrônica e programação, algo que é muitas vezes negligenciado em países subdesenvolvidos como o Brasil, em decorrência do elevado preço de aparelhos comerciais. Ressalta-se que um projeto de turbidímetro como este é de grande utilidade para trabalhar conceitos de forma interdisciplinar com diferentes áreas.

Em futuro breve, será feito o teste de sensores ainda mais sensíveis de modo a aumentar a robustez do aparelho proposto. Além disso, será investigado formas de análises de mais de um parâmetro químico, uma vez que a robustez e conhecimentos adquiridos ao longo do projeto visa o aprimoramento contínuo e implemento de alternativas eficazes para a área de instrumentação analítica.

REFERÊNCIAS

- (1) Bayram, A.; Yalcin, E.; Demic, S.; Gunduz, O.; Solmaz, M. E. Development and application of a low-cost smart-phone-based turbidimeter using scattered light. *Applied optics*, **2018**, 57, 21, 5935-5940; DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.57.005935>.
- (2) GILLETT, D.; MARCHIORI, A. A low-cost continuous turbidity monitor. *Sensors*. **2019**, 19, 14, 3039; DOI: doi.org/10.3390/s19143039.
- (3) Wang, Y.; Rajib, S. M. S. M.; Collins, C.; Grieve, B. Low-cost turbidity sensor for low-power wireless monitoring of fresh-water courses. *IEEE Sensors Journal*. **2018**, 18, 11, 4689-4696; DOI: [10.1109/JSEN.2018.2826778](https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2826778).
- (4) Mello, R. R. P. B.; Villardi, R. M.; Mello, S. C. R. P.; Miranda, M. G. Desafios No Acesso À Água E Saneamento Básico No Brasil E O Controle Da Covid-19. *Revista Augustus*. **2020**, 25, 51, 281-293; DOI: doi.org/10.15202/1981896.2020v25n51p281.
- (5) O'DONOGHUE, J. Simplified low-cost colorimetry for education and public engagement. *Journal of Chemical Education*. **2019**, 96, 6, 1136-1142; DOI: doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00301.
- (6) Wong, Y. J.; Nakayama, R.; Shimizu, Y.; Kamiya, S. S.; Idlan, Z. M. R.; Nik, M. N. S. Toward industrial revolution 4.0: Development, validation, and application of 3D-printed IoT-based water quality monitoring system. *Journal of Cleaner Production*. **2021**, 324, 129230; DOI: doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129230.
- (7) KOVAČIĆ, M.; AŠPERGER, D. Low-Cost Turbidimeter, Colorimeter, and Nephelometer for the Student Laboratory. *Journal of Chemical Education*. **2019**, 96, 11, 2649-2654; DOI: doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00252.
- (8) Jin, H. Qin, Y., Pan, S., Alam, A. U., Dong, S., Ghosh, R., Deen, M.J. Open-source low-cost wireless potentiometric instrument for pH determination experiments. *Journal of Chemical Education*, 95, 326-330, **2018**.
- (9) Zhang, Q., Brode, L., Cao, T., Thompson, J. E. Learning laboratory chemistry through electronic sensors, a microprocessor, and student enabling software: a preliminary demonstration. *Journal of Chemical Education*, 94, 1562-1566, **2017**.

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda iluminação, amor, discernimento, cuidado e proteção durante essa jornada repleta de percalços e aprendizagens.

A minha família por todo o apoio prestado, cuidado, afeto e conselhos necessários para continuar firme e forte com a conclusão dessa etapa de minha vida. Nada disso seria possível sem vocês!

Aos meus professores que tiveram uma influência significativa em minha formação, especialmente o meu orientador, Prof^o Dr. Marcelo Batista, que me proporcionou conhecimentos e oportunidades que vão além do laboratório e da sala de aula, ao qual tenho gratidão e respeito. Bem como demais professores que tiveram passagens mais breves, porém, não menos importante, como a professora Dr^a Elaine Cristina através do PIBID, o professor Dr^o Bruno Silva Leite através de grupo e projeto de pesquisa que me proporcionou muito conhecimento e o professor Pedro Lemos, que gentilmente compartilhou um pouco de seu conhecimento para a conclusão desse trabalho e prestou apoio sempre que necessário.

Aos meus colegas técnicos da COMPESA, Rafael e Tiago, que conheci durante o estágio, que também me proporcionaram momentos de muita aprendizagem e de boas conversas.

Aos meus colegas do curso de Licenciatura em Química, que proporcionaram prazerosos momentos de descontração, afeto e empatia, bem como ajudas em momentos difíceis do curso.

Aos meus colegas de apartamento que me proporcionaram momentos inesquecíveis, me ensinaram verdadeiras lições de vida, e oportunidades de amadurecimento. Bem como demais colegas que de forma direta ou indireta me ajudou de alguma forma, obrigado!

Existe um tempo certo para cada coisa, momento oportuno para cada propósito debaixo do Sol: tempo de nascer, tempo de morrer; tempo de plantar, tempo de colher.

Eclesiastes - Bíblia Sagrada