

## Prototipagem de turbidímetro de baixo custo com impressão 3D para uso no ensino

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4393

Vinicius Nogueira Lopes Polido - vi.erick@hotmail.com  
Instituto Federal Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo

Matheus Alves Lopes - matheus.alves@aluno.ifsp.edu.br  
Instituto Federal Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo

Adriana Marques - adrimarks2012@gmail.com  
Ministério de Igualdade Racial MIR Instituto Federal de Educação Ciência e  
Tecnologia de São Paulo

**Resumo:** *O uso de turbidímetro para análise e controle da qualidade da água é um artifício imprescindível para compreensão da turbidez do fluido com o objetivo de parametrizar a quantidade de partículas suspensas na água e posteriormente tratá-la. A Impressão tridimensional é uma tecnologia ampla e versátil para a livre fabricação de peças a partir de modelos parametrizados e está presente em ambientes fabris, acadêmicos e domésticos. Aprendizado Baseado em Projetos (PBL) é uma metodologia que busca a significação do ensino teórico, desenvolvendo projetos práticos, com o objetivo de lapidar a perspectiva profissional do estudante e os preparar às atuações profissionais. Aliando estes conceitos com o intuito de suprir as necessidades por metodologias de ensino ativas novas e desenvolver o ensino na área do saneamento, este trabalho tem por objetivo apresentar o processo de prototipagem de um turbidímetro de baixo custo, com foco no uso educacional e elaboração de projetos educacionais. Foi concebido um turbidímetro a partir de sensor de turbidez conectado a um Arduino e display LCD e desenvolveu-se uma caixa para comportar os componentes e uma haste para manuseio sem contato direto com o fluido.*

**Palavras-chave:** Prototipagem, Turbidímetro, Impressão 3D, Arduino.

## PROTOTIPAGEM DE TURBIDÍMETRO DE BAIXO CUSTO COM IMPRESSÃO 3D PARA USO NO ENSINO

### 1 INTRODUÇÃO

Dentre as estimativas para a demanda hídrica, apresentadas no Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água (WWDR – *World Water Development Report*) da Organização Nacional das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), é esperado um crescimento de 55% até 2050, levantando a importância de uma boa política de recursos hídricos e controle de qualidade da água de modo a garantir este recurso às gerações futuras.

Para tanto, desenvolver e simular a prática do tratamento de água em escolas é uma opção de metodologia ativa na qual os alunos poderão “vivenciar” a rotina de laboratório para controle da qualidade da água, além de chamar a atenção ao tema e dar luz a novos agentes de saneamento.

Porém na busca pela prática laboratorial do tratamento de água, encontra-se como limitante a aquisição de materiais e equipamentos para verificação da qualidade, dentre eles o turbidímetro, cujo preço elevado afasta a sua utilização em atividades escolares.

Com o intuito de elaborar um turbidímetro de baixo custo esta pesquisa buscou alinhar a prototipagem com uso de impressora 3D e equipamentos de corte a laser na elaboração de um turbidímetro para uso educacional, permitindo o desenvolvimento de práticas de aula de aprendizagem baseadas em projetos (PBL – *Project Based Learning*).

### 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 IMPRESSÃO 3D

A impressão parametrizada tridimensional é uma tecnologia que pode ser aplicada em escala universal. Seu meio de aplicação percorre ambientes domésticos, comerciais, acadêmicos e fabris e as áreas de aplicação mais presentes são: biologia, química, medicina e engenharia. (LOPES; MARQUES, 2023)

A partir da livre modelagem 3D, é possível a prototipagem do objeto com distintos métodos de produção e materiais. Cita-se a Modelagem de Deposição Fundida (FDM), a Fabricação por Filamento Fundido (FFF), a Sinterização Seletiva a laser (SLS) e a Estereolitografia (SLA), como os sistemas mais comuns e o PLA e ABS como os materiais mais utilizados. (OERTEL; SHEN, 2022)

Criada em 1985, por Charles Hull, a estereolitografia é a tecnologia precursora da impressão 3D, nomeada como manufatura aditiva e caracterizada por fabricar objetos com versatilidade em camadas graduais e com base em modelos digitais. (OERTEL; SHEN, 2022)

CANEVAROLO JÚNIOR, (2006) versa a respeito do ABS, classificando-o como copolímero, fruto das reações Acrilonitrila, Butadieno e Estireno e por ser derivado do petróleo, o material emite gases tóxicos ao ter elevação de temperatura.

Segundo LACHNIT E SANTANA, (2018) as proporções da composição química do ABS são variáveis e indicadas entre: 15 e 35% de Acrilonitrila, 5 a 30% para Butadieno e 40 a 60% de Estireno. Ainda, conforme HARPER (2002), confere-se a resistência química e eficiência térmica para a Acrilonitrila; resistência mecânica e conservação de propriedade em temperaturas baixas, ao Butadieno e Rigidez, trabalhabilidade e acabamento eficientes, ao Estireno.

Para OERTEL e SHEN, (2022) é possível a realização de estudos e cálculos de fenômenos hidráulicos a partir de modelos de estruturas complexas, fabricadas em escala piloto que ao serem comprados aos modelos das tecnologias alternativas, possivelmente de menor precisão, podem apresentar maior viabilidade e eficácia.

SASSAKI et al. (2022) discorrem sobre o uso da Impressão tridimensional no ensino de oftalmologia, com modelos elaborados a partir da Tomografia Computadorizada (TC). Os autores ressaltam que, embora haja ligeiras perdas, as peças anatômicas conseguem reproduzir estruturas moles e ósseas, satisfatoriamente, o que demonstra como a prototipagem pode favorecer a prática educacional.

## 2.2 CORTADORA A LASER

De acordo com Hilton (2007) os primeiros experimentos com corte de materiais com o uso de laser foram feitos em maio de 1967, por Peter Houdcroft. Nesses experimentos foi utilizado um laser focado de CO<sub>2</sub> com o intuito de cortar uma folha de aço de 1 mm. Esses experimentos viriam a evoluir de forma a ser amplamente utilizado na indústria.

Segundo Mitchell e Obudho (2023), uma cortadora a laser é uma máquina que utiliza de um laser fino e focado que derrete alguns materiais, criando assim um corte fino e preciso. Muito utilizados no corte de madeira, vidro, papel, plásticos e metais, só dependendo do tipo e da potência do laser.

Conforme a Micron Laser Technology o uso do corte a laser vem sendo utilizado cada vez mais em prototipagens, principalmente devido ao Computer-Aided Design (CAD)/Computer Aided Manufacture (CAM). Esse programa executa movimentos específicos e muito precisos, com as medidas exatas que o usuário inseriu no software, sem a necessidade de supervisão humana, tornando o processo de prototipagem muito mais fácil, além de economizar tempo e dinheiro.

## 2.3 TRATAMENTO DE ÁGUA E TURBIDÍMETRO

De modo a adequar a água para o uso pretendido são adotados diversas técnicas e metodologias, as quais compreendem o tratamento de água (BRANDÃO, 2011). Para efetivamente tratar a água é necessário ter-se informações quanto a sua composição, usos, principais parâmetros e normas, sendo a Portaria n° 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (MS) que estabelece os padrões de potabilidade para água no Brasil.

Dentre os parâmetros de controle utilizados durante o tratamento de água, a turbidez destaca-se por representar a quantidade de partículas suspensas na água, analisando a

passagem de luz. Sua medida inferi o grau de sólidos suspensos e por tanto partículas estranhas. Sua remoção é o objetivo das metodologias de separação sólido/líquido por coagulação/floculação seguida de sedimentação e filtração, conhecido como ciclo de tratamento completo. (FUNASA, 2013)

No Brasil, a Portaria 888/2021 estabelece o VMP de 5 unidade de turbidez (uT) para o padrão organoléptico de potabilidade, apresentando diferentes VMP's de Turbidez.

Dentro de uma planta de tratamento a rápida obtenção da turbidez da água é fundamental para controle das concentrações de coagulante e verificação da eficiência do floculante. (TASSINARI, *et al.*, 2015) Deste modo o turbidímetro (equipamento para medição digital de turbidez) é essencial no estudo de tratabilidade.

## 2.4 PROJECT BASED LEARNING (PBL)

As metodologias de ensino convencionais estão demonstrando-se desatualizadas para as necessidades atuais do mercado de trabalho, sendo favorecidas o raciocínio crítico, trabalho em equipe e habilidades práticas. Uma vez que as Instituições de Ensino Superior têm o intuito de preparar os discentes, as metodologias que se aproximam mais da prática laboral tornam-se mais atrativas. Sendo a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL) uma das metodologias ativas que mais se destaca, na qual os alunos trabalham em projetos que estejam alinhados com suas áreas de atuação, que propicie o trabalho em grupo, pesquisa e debate, motivando os grupos a buscarem ativamente pelo conhecimento para desenvolvimento do projeto. (SILVA, 2023)

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do turbidímetro levantou-se projetos já existentes que pudessem agregar à concepção do equipamento. Sendo adquirido o sensor de turbidez para Arduíno da UsinaInfo, cujo funcionamento está atrelado à conexão e programação de um Arduíno, com a possibilidade de ligar-se um display de LCD para realização de leitura simultânea. O turbidímetro estaria completo com a criação de uma haste para acoplamento do sensor e de um corpo para armazenar o Arduíno e o display, permitindo a fácil leitura da medição.

### 3.1 PROTOTIPAGEM DA HASTE

Iniciou-se a execução do projeto pela fabricação de suporte com haste para acoplamento do sensor de turbidez, permitindo submergi-lo sem contato direto do operador com o líquido analisado. A peça foi modelada em BIM através da ferramenta (REVIT) e fabricada com material ABS, de menor custo do mercado.

Para elaboração da haste foi necessário a adoção de: Ferramenta Revit para modelagem; Ferramenta Ultimaker Cura para fatiamento; Paquímetro para medir o sensor e Impressora 3D com filamento ABS.

De modo a prototipar a peça com encaixe milimétrico ao sensor, a produção partiu-se da modelagem em escala real (1:1), utilizando-se ferramenta Revit e posteriormente exportando-se o modelo com as unidades de projeto em milímetro e formato "STL", adequado ao fatiador Ultimaker Cura.

No Ultimaker Cura, é parametrizado o software à impressora utilizada e configurada a plotagem com parâmetros de densidade, formato, resistência, acabamento e material utilizado (ABS).

A impressora utilizada foi a GTMax 3D H4 Core e a partir do modelo, configurou-se no fatiador, os parâmetros: dimensões volumétricas de espaço para impressão, aquecimento de base e bico, código de programação GCode, quantidade e dimensões do extrusor.

Por conseguinte, configura-se os parâmetros de fatiamento quanto ao modelo a ser plotado. Este passo compreende percentualmente a densidade da peça que por considerar-se uma peça de esforço mecânico, aponta-se 99% de preenchimento do material, altura de linha de 0,15 mm, espessura em 0,8 mm e quantidade de 4 camadas ou "paredes" por nível, devido a qualidade de menor acabamento. O padrão do preenchimento do material varia conforme formato da peça utilizada, para peças menos curvilíneas utiliza-se de "linha", e peças com seções mais curvas de "giroide".

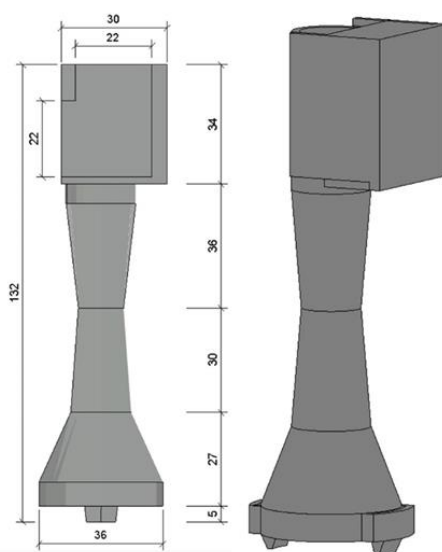
Configura-se a temperatura de plotagem com objetivo de melhor aderência das camadas, assim utilizando a máxima suportada pela impressora, 230°C ao derretimento do filamento ABS. Para adesão da peça sobre a mesa de plotagem, a temperatura em 60°C. Pulo no eixo Z e retração do material durante mudança de nível de plotagem para evitar que o excesso de filamento derretido extravase durante o percurso do extrusor.

Para manter a base da peça fixa na mesa de plotagem durante a impressão, utiliza-se o formato "brim" (encher até a borda). Este parâmetro cria uma base preenchida em camada única, a contornar a peça, de modo a evitar que a criação descole da mesa. A velocidade de 60 mm/s contribui para perfeita plotagem, nos mínimos detalhes da peça.

Por conseguinte, importa-se o projeto da peça em formato STL, pressiona-se o botão de fatiamento e exporta-se o material em formato "gcode" ao qual corresponde a impressora em questão.

Em sequência o arquivo fatiado em formato "gcode" é transferido a impressora utilizando de cartão SD para então iniciar-se a plotagem. Uma vez que a mesa de impressão é de vidro, foi necessário a aplicação de adesivo de filamentos sobre o prato, previamente ao início da execução, para fixação da peça.

Figura 1 – Haste modelada no software Revit



Fonte: Autoral.



Na figura 1 é possível observar-se o modelo tridimensional elaborado da haste e na figura 2 como ficou após plotagem em impressora 3D. A peça tem altura total em 132 mm garantindo espaço suficiente para operação, acoplamento de caixa com seção retangular para manter o módulo do sensor e cabeça cilíndrica com dentes para acoplamento por pressão de sensor. Ressalta que o local para acoplar o sensor apresenta diâmetro externo de 36 mm e interno de 28 mm, conforme modelo da UsinalInfo e requer dimensão exata para acoplamento precisa. O centro do cilindro é vazado para permitir a passagem dos jumpers que ligam o sensor ao seu módulo.

### 3.2 CORPO PRINCIPAL DO TURBIDÍMETRO

Para o corpo do turbidímetro, onde será armazenado o Arduíno, o display de LCD e uma protoboard, foi elaborado o modelo tridimensional com uso da ferramenta Revit e procedeu-se com a mesma metodologia e preparo utilizado para execução da Haste, entretanto quando do fatiamento foi observado um elevado tempo de plotagem, superior a 3 horas para a base e superior a 4 horas para a tampa de fechamento. Deste modo, optou-se por outra metodologia mais rápida, porém de custo mais elevado, a execução do corpo com acrílico a partir do corte em equipamento específico, para Corte a Laser.

O projeto do corpo principal foi elaborado em software de desenho assistido por computador (CAD) em plano de duas dimensões, sendo dimensionada cada face como uma peça a parte para fixação posterior com cola para acrílico. Para tanto foram tiradas as medidas do Arduíno, do Protoboard e do display de LCD adquiridos.

O projeto em CAD deve ser salvo com extensão de arquivo “.dxf” para leitura do software da cortadora (RdWorks) utilizada, no qual são determinados os parâmetros de operação do laser, sendo a velocidade de movimento do laser, o tipo de acabamento das camadas (*layer*) do projeto - Corte, Gravação (linha) ou Preenchimento (gravação em área) – e definição da potência máxima e mínima do laser. Sendo adotado conforme manual, para o acrílico de 3mm considerado, velocidade do laser de 10 mm/s, e potências máximas e mínimas de 65% e 60% da capacidade do laser.

O protótipo do turbidímetro foi feito com placas de acrílico conforme a disponibilidade, porém o projeto também foi pensado para produção em série com placas de pelo menos 40x20cm, podendo ser cortadas todas as peças em menos de 10 minutos.

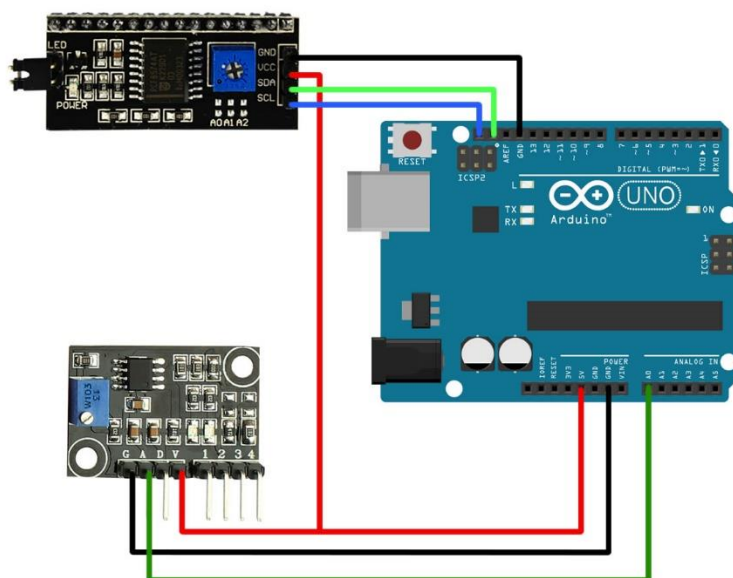
### 3.3 CONFIGURAÇÃO DO SENSOR

Após produzida a Haste e o corpo principal do turbidímetro foi preparado o sensor. Inicialmente os fios fornecidos com o sensor foram conectados a ele e passados pelo orifício central da haste, para então devida acoplamento do sensor. Os conectores foram ligados ao módulo e este foi conectado a um Arduino UNO conforme indicado por Straub (2020), porém com a ligação passando pela protoboard, sendo utilizados de três jumpers (dois para alimentação, pinos G e V e um para comunicação analógica, pino A) do módulo para protoboard e três jumpers da protoboard para o Arduino.

A protoboard é utilizado para intermediar as ligações, possibilitando ligar o módulo I2C do LCD e o módulo do sensor de turbidez na mesma porta de alimentação do Arduino, sem necessidade de unir os fios. A ligação do LCD na protoboard se dá por 4 jumpers, sendo o pino GND para alimentação terra, o pino VCC para alimentação junto ao sensor na porta de 5 Volts do Arduino e os pinos SDA e SCL do módulo I2C para o Arduino. Na figura

3 é possível visualizar o esquema de ligação apresentado por Straub (2020), sem uso da protoboard.

Figura 3 - Ligação do Módulo do Sensor de Turbidez e do Display I2C no Arduino



Fonte: STRAUB, 2020

A programação do Arduino é possível ao ligá-lo a um computador através de uma porta USB com uso de um cabo USB-B. O Arduino é programável a partir de um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE), um software gratuito denominado Sketch que permite desenvolver o código do programa do sensor e executar o upload para a placa de prototipagem Arduino.

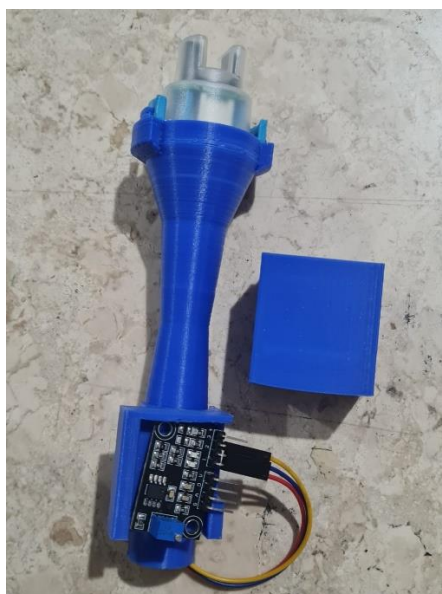
Para o desenvolvimento deste projeto utilizou-se do código apresentado por Straub (2020), sendo necessário realizar a instalação da biblioteca do Display LCD direto da IDE. O que é possível através das abas "ferramentas", "Gerenciar Bibliotecas" e pesquisando pelo nome da biblioteca, LiquidCrystal\_I2C por Marco Schwartz.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após todo o processo de prototipagem e produção dos componentes do turbidímetro, assim como programação e ligação do sensor, display e placa de prototipagem Arduino, obteve-se um produto a ser aperfeiçoado, uma vez que foram encontradas várias dificuldades e percalços durante a execução do projeto sendo levantadas melhorias pertinentes após montagem das peças.

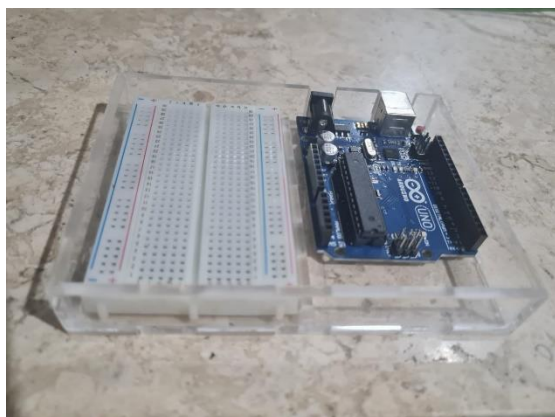
Na Figura 4 é apresentada a haste final plotada na impressora 3D com o sensor acoplado e ligado ao módulo, este já em seu compartimento a ser colado à haste. Já nas Figuras 5 e 6 é apresentado o resultando atual do corpo do turbidímetro em acrílico, sendo na Figura 5 a tampa com abertura para fixação do display LCD e na Figura 6 a base com o Arduino e a Protoboard.

Figura 4 - Haste Impressa com Sensor e Módulo



Fonte: Autoral.

Figura 5 – Base com Arduíno e Protoboard



Fonte: Autoral.

Figura 6 – Tampa com Visor LCD



Fonte: Autoral.

Dentre os percalços encontrados durante a prototipagem da Haste é possível citar:

- o dente projetado precisou ser alterado diversas vezes, ou por ser muito fino, ou por não resistir ao esforço de prender o sensor;
- os parâmetros de plotagem tiveram de ser testados de modo a melhorar a produção e reduzir os erros durante a impressão;
- Após a plotagem observou-se folga do sensor no local de encaixe por pressão e a solução obtida foi de medir o sensor novamente com paquímetro, nos pontos de folga e remodelar conforme ajuste, sendo necessário forçar a acoplagem;
- foi observado que na plotagem sem utilização de suporte (apoando o filamento camada a camada por meio de leve declive das partes da peça), ocorreu projeção de ABS sobre o orifício central, assim preenchendo parte do furo com diversos fios



dispersos no ponto de afunilamento da haste, fios estes que tiveram de ser perfurados posteriormente para correta passagem dos conectores do sensor.

Já na produção do corpo foram percebidos problemas devido à metodologia escolhida (Corte a Laser) e outros em decorrência do projeto além de algumas melhorias, citando-se que:

- a) a produção inicial do corpo do turbidímetro apresentou falhas por não ter sido considerada a espessura do material nas medidas da tampa, e após correção apresentou um encaixe bem justo, entretanto foi observado a possibilidade de melhoria da fixação da tampa com uso de pequenos parafusos auto atarraxastes nas laterais;
- b) devido ao design chanfrado da tampa, de modo a permitir uma melhor visualização do display, houve a necessidade de correção manual dos encaixes, com uso de serra e lima, uma vez que a cortadora executa o corte reto o que resulta em sobreposição ou folga das peças, quando projetadas alinhadas. Ficando evidente a necessidade de melhoria do projeto 2D para evitar essa correção individual do produto.
- c) a base foi projetada para posicionamento justo da Protoboard, cuja fixação dar-se-á por fita adesiva, entretanto a placa de prototipagem Arduino ficou folgada, surgindo necessidade de prever fixação da mesma à base com uso de pequenos parafusos. O mesmo ocorre com a fixação do display LCD;
- d) Observou-se a possibilidade de melhoria com a prototipagem de um espaço para apoio da haste do turbidímetro junto ao seu corpo.

As dificuldades observadas e vencidas servem de demonstrativo de como o desenvolvimento ativo de um projeto favorece o aprendizado e desenvolve ceticismo e senso investigativo e crítico. Promovendo a evolução progressiva do conhecimento do teórico para o prático. O que é possível ser transportado para uma aula a partir da adoção de PBL no ensino dos alunos.

Para a engenharia a prototipagem do turbidímetro compreende distintas disciplinas, desde a engenharia mecânica ou elétrica até a ambiental ou civil, permitindo a formação de turmas multidisciplinares e expandir a visão dos discentes o que contribuí como ideia distinta do padrão de ensino em Instituições de Ensino Superior (IES), atendendo à necessidade das IES por novas metodologias que aperfeiçoem e preparem os formados para o mercado de trabalho, assim como levantado por Silva e Marques (2022).

#### 4.1 VIABILIDADE ECONÔMICA

De modo a propor a adoção do turbidímetro em escolas diversas, seja IES ou outros graus de ensino, assim como possibilitar a adoção do equipamento por comunidades tradicionais ou pequenas populações que muito se beneficiariam de um fácil acesso à parâmetros de qualidade das águas que utilizam, foi realizado o levantamento dos custos para produção inicial de um turbidímetro, correspondendo a material, equipamentos e componentes, além do preço por Turbidímetro isolado. Devendo salientar-se que para este levantamento não foi verificado o consumo energético para operação da Impressora 3D ou

da cortadora a Laser, nem dos parafusos e cola necessários para o projeto final. Os preços apresentados são médios conforme busca em diferentes fornecedores online. Os valores levantados são apresentados na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Valores levantados para os materiais e equipamentos

IMPRESSÃO 3D		CORTE A LASER		SENSOR DE TURBIDEZ	
Material	Custo	Material	Custo	Material	Custo
Impressora	R\$ 8.520,00	Cortadora	R\$ 8.280,00	Arduíno	R\$ 92,90
Licença Revit (1 ano)	R\$ 11.103,00	Acrílico 2mm	R\$ 36,61	Sensor	R\$ 139,84
Filamento - Haste	R\$ 4,05	50x50cm		Visor + I2C	R\$ 35,50
Filamento - Base	R\$ 2,43	Acrílico 3mm	R\$ 53,85	Protoboard	R\$ 11,90
Filamento - Tampa	R\$ 4,41	50x50cm		Jumpers	R\$ 5,04
Ultimaker Cura	R\$0,00	MDF 3mm	R\$ 5,93		
		50x50cm			

Fonte: Autoral.

Dos preços considerados para prototipagem com impressora 3D é possível a busca por outros softwares de modelagem mais baratos ou gratuitos. No caso do custo somente de um turbidímetro, foi obtido um valor de R\$ 285,18 para aquisição dos componentes eletrônicos, para produção da haste em impressão 3D de R\$ 4,05 e para produção do corpo com impressão 3D de R\$ 6,84, com Corte a Laser varia conforme o material sendo placas acrílicas de espessuras menores mais baratas. Uma vez que o acrílico se mostrou uma opção bem mais cara, verificou-se o custo para aquisição de MDF de 3mm, a R\$ 5,93 uma placa de 50x50cm o que baratearia a utilização da cortadora como metodologia, o que seria preferível uma vez que o tempo para produção do corpo principal com a impressora 3D excederia 7h.

Ao fim o custo de um turbidímetro sairia aproximadamente entre 295 e 340 reais a depender do método de produção do corpo, o que totalizaria entre 590 mil e 680 mil para atender 1.000 escolas com dois turbidímetros por escola, desconsiderando os custos de aquisição de licenças dos softwares e de equipamentos.

Ao comparar o preço com turbidímetros comerciais, o preço varia muito conforme marca e precisão, porém entre os mais baratos encontrados em território nacional variam entre 600 e 800 reais para leitura até 200NTU e entre 1250 a 2000 reais com leitura até 1000NTU, podendo sim alcançar valores na casa das dezenas de milhares. Deste modo, mesmo se após calibrado os valores observáveis pelo sensor adquirido da UsinalInfo não alcancem os 3000NTU codificados, o barateamento do custo do turbidímetro é evidente e mostra-se como uma opção viável para adoção em práticas educacionais.

## 5 CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento do projeto foram encontradas várias dificuldades que serviram para demonstrar como o processo é transformador e que todas as etapas da prototipagem podem ser utilizadas para o desenvolvimento intelectual e ensino. Sendo o fruto do projeto o equipamento para medição de turbidez.

Para os casos em que a elaboração, concepção e prototipagem não seja possível, o uso do equipamento em projetos em sala de aula trás o conhecimento para mais perto do aluno e no caso mais específico do ensino na engenharia, desenvolve os conceitos de

saneamento e permite elucidar os processos e fundamentos do tratamento. Assim como apresenta Polido (2023), a falta de equipamentos apropriados para medição de turbidez empobrece e dificulta o estudo de tratabilidade.

O levantamento do preço de produção demonstrou seu baixo custo em relação aos modelos de equipamentos dominantes do mercado, que já apresentam maior confiabilidade e são atestados. Sendo evidente a necessidade de maiores testes, com a calibração do sensor ao comparar-se a outros turbidímetros de maior precisão.

O turbidímetro elaborado permitirá o desenvolvimento de práticas laboratoriais não só para engenharia, mas para escolas em todos os níveis educacionais pertinentes, podendo atender escolas públicas e possibilitar o ensino prático de saneamento em comunidades cujo saneamento básico é mais precário.

Indo além do ensino, a elaboração deste equipamento a baixo custo é um passo para disponibilizar a verificação da qualidade da água a comunidades tradicionais que trabalham com ecologia, ou pequenas populações que se abastecem de fontes locais e que não são dotadas de sistemas de abastecimento de água para consumo humano (SAA).

O equipamento apresentado ainda é uma obra em produção e seu desenvolvimento continuado é necessário para aperfeiçoamento e preparo para uso futuro.

## REFERÊNCIAS

BRANDÃO, Valéria Aparecida da Costa. **A importância do tratamento adequado da água para eliminação de microorganismos**. 2011. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Consórcio Setentrional de Educação a Distância, Universidade Estadual de Goiás, Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 85, p. 127. 07 maio 2021. Seção 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 24 set. 2022.

BRASIL; MINISTÉRIO DA SAÚDE; FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual Prático de Análise de Água** [Recurso Eletrônico]. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manual\\_pratico\\_de\\_analise\\_de\\_agua\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf). Acesso em: 02 fev. 2023

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. **CIÊNCIAS DOS POLÍMEROS, um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2 ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2006. v. 1

HILTON, Paul. **THE EARLY DAYS OF LASER CUTTING**. Lappeenranta: Nordic Conference in Laser Processing of Materials. Agosto 2007. Disponível em: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/the-early-days-of-laser-cutting-august-2007>. Acesso em: 15 maio 2023.

LACHNIT, Marco Antônio.; SANTANA, Ruth Marlene Campomanes. **Compósito termoplástico de PA-6/ABS e PA-6 copoliéster reforçado com fibra de vidro para aplicação em palmilha de montagem para calçado.** 2018. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/181824/001075616.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 mar. 2023.

LOPES, Matheus; MARQUES, Adriana. **Aplicação de prototipagem de turbina para ensino: Disciplina obras hidráulicas.** Monografia (graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo. 2023

MICRON LASER TECHNOLOGY. **Advantages of Laser Cutting in Prototypes.** Hillsboro, Estados Unidos da América: Micron Laser Technology, Inc, 2023. Disponível em: <https://www.micronlaser.com/laser-cutting-in-prototypes/#>. Acesso em: 15 maio 2023.

MITCHELL, Ian; OBUDHO, Brian; ALL3DP. **What is a Laser Cutter? – Simply Explained,** 27 fev. 2023. Disponível em: <https://all3dp.com/2/what-is-a-laser-cutter-simply-explained/>. Acesso em: 15 maio 2023.

OERTEL, Mario; SHEN, Xiaoyang. 3D Printing Technique for Experimental Modeling of Hydraulic Structures: Exemplary Scaled Weir Models. **Water (Switzerland)**, v. 14, n. 14, 1 jul. 2022.

POLIDO, Vinicius Nogueira Lopes. **Ruptura Irreversível de Flocos: Alcalinidade na Cinética de Floculação.** Monografia (graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo. 2023

SASSAKI, Yuka Kimura *et al.* Three-dimensional printing of orbital computed tomography scan images for use in ophthalmology teaching. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, v. 81, 2022.

SILVA, Robson Luis. **Aprendizagem Baseada em Projetos: Aulas de Topografia para Ensino Superior.** Monografia (graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São Paulo. 2023

SILVA, Robson Luís; MARQUES, Adriana. Uso de estação total no ensino: Estado da arte no mundo. In: XIII Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP, 2022, São Paulo. **Anais.** São Paulo. Disponível em: <https://ocs.ifsp.edu.br/index.php/conict/xiiiiconict/paper/view/9031>. Acesso em: 15 maio 2023



STRAUB, Matheus Gebert. **Sensor de turbidez – Projeto de leitura da qualidade da água.** Santo Ângelo: USINAINFO Eletrônica e Robótica, 12 fev. 2020. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-turbidez-projeto-de-leitura-da-qualidade-da-agua/>. Acesso em: 15 maio 2023.

TASSINARI, Bianca *et al.* Application of turbidity meters for the quantitative analysis of flocculation in a jar test apparatus. Estados Unidos da América: **Journal of Environmental Engineering**, vol. 141, 2015.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (UNESCO). **The United Nations world water development report 2015: water for a sustainable world.** Paris, França. 2015. E-book (139p.) (World Water Development Reports), pp. 1-16. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>. Acesso em: 24 set. 2022

## LOW COST TURBIDITY METER PROTOTYPING WITH 3D PRINTING FOR TEACHING

**Abstract:** *The use of a Turbidimeter for analysis and control of water quality is an essential device for understanding the turbidity of the fluid in order to parameterize the amount of suspended particles in water and subsequently treat it.*

*Three-dimensional printing is a wide and versatile technology for the free manufacture of parts from parameterized models and is present in industrial, academic and domestic environments.*

*Project Based Learning (PBL) is a methodology that seeks the meaning of theoretical teaching, developing practical projects aiming refine the student's professional perspective and preparing them for professional activities.*

*Bringing together these concepts to meet the needs for new active teaching methodologies and to develop teaching in the sanitation area, this work aims to present the prototyping process of a low cost turbidimeter, focusing on educational use and development of educational projects. A turbidity meter was conceived from a turbidity sensor connected to an arduino and LCD display and a box was developed to hold the components and a rod for handling without direct contact with the fluid.*

**Keywords:** *prototyping, turbidity meter, 3D printing, Arduino.*