



CONSTRUÇÃO DE UM TITULADOR AUTOMÁTICO ACOPLADO A UM SENSOR DE TURBIDEZ CONTROLADO POR ARDUINO®

Amanda Silva dos Santos
Clara Maria Andrade de Lelis Marin *
Giovanna Vieira Falzoni
Rashel Angeles Salazar Choque
Viviane Aparecida Cardoso de Sá
Orientador: Professor Dr. Fábio Rizzo Aguiar
Coorientador: Professor Dr. Klauss Engelmann

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo o desenvolvimento de um titulador de turbidez para a verificação e monitoramento da turbidez da água. O projeto busca introduzir um novo formato de titulação automatizada, visando a compreensão da titulação de precipitação em laboratório. Além disso, busca-se a rapidez na análise de inúmeras amostras, maior segurança nos resultados, confiabilidade e a introdução de um novo equipamento no mercado.

O protótipo desenvolvido tem sua aplicação restrita à volumetria de precipitação. Para auxiliar na coleta de dados, foi desenvolvido um software que tem como finalidade apresentar os dados coletados de forma clara e tangível ao usuário. Portanto, o projeto deve ser compreendido como um verificador de qualidade da água, especificamente no que diz respeito à titulação de precipitação para avaliação da turbidez. No entanto, durante a análise, o sensor de turbidez apresentou erros significativos, resultando na perda de exatidão nas leituras das soluções analisadas. Apesar dos desafios enfrentados com o sensor de turbidez e suas leituras imprecisas, o protótipo desenvolvido permite a verificação e monitoramento da turbidez em diversas amostras de água, auxiliado por um software que apresenta os dados coletados de maneira clara. Com essa iniciativa, busca-se melhorar a eficiência, segurança e confiabilidade dos processos de análise, contribuindo para um novo equipamento disponível no mercado e fornecendo uma ferramenta importante para a Química.

Palavras-chave: Arduino®. Volumetria de Precipitação. Titulação. Automação.

ABSTRACT

The present work aims to develop a turbidity titrator for the verification and monitoring of water turbidity. The project seeks to introduce a new format of automated titration, aiming to understand precipitation titration in the laboratory. Additionally, the project aims for quick analysis of numerous samples, improved result accuracy, reliability, and the introduction of a new equipment in the market.

The developed prototype is restricted to precipitation volumetry. To assist in data collection, a software was developed with the purpose of presenting the collected data in a clear and tangible manner to the user. Therefore, the project should be understood as a water quality verifier, specifically regarding precipitation titration for turbidity assessment. However, during the analysis, the turbidity sensor presented significant errors, resulting in a loss of accuracy in the readings of the analyzed solutions. Despite the challenges faced with the turbidity sensor and its inaccurate readings, the developed prototype allows for the verification and monitoring of turbidity in various water samples, aided by a software that presents the collected data clearly. With this initiative, the aim is to improve the efficiency, safety, and reliability of analysis processes, contributing to a new equipment available in the market and providing an important tool for Chemistry.

Keywords: Arduino®. Precipitation Volumetry. Titration. Automation.

Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
* claramaria2352@gmail.com

Recebido em: 29/06/2023

Apresentado à banca em: 27/06/2023

1. INTRODUÇÃO

A Análise Quantitativa foi de extrema ajuda na evolução da química como a conhecemos hoje. Atualmente, essa técnica é amplamente utilizada em processos de controle de qualidade de medicamentos, alimentos, matérias primas etc. Dentro dessa vasta área de conhecimento, é possível encontrar a volumetria que se baseia na adição de reagentes com o apoio da bureta, a fim de determinar a concentração de uma amostra. Para ilustrar a importância dessa técnica, cerca de 17% de todas as análises são feitas por meio de uma titulação. (TERRA e ROSSI, 2005)

A volumetria de precipitação consiste na quantificação de um analito por meio da formação de um composto pouco solúvel no meio. Porém essa técnica deve ser feita em um tempo relativamente curto para ser analisada corretamente. (BACCAN *et. al*, 2001)

Nota-se que, ao utilizar métodos manuais, o analista se depara com diversos empecilhos como a falta de agilidade ou os erros nos resultados, sendo esses os principais obstáculos para empregar tal técnica a nível industrial. (BACCAN *et. al*, 2001). Outra problemática a enfrentar é que as diversas instituições de ensino, inclusive a Etec Irmã Agostina, não possuem um titulador automático.

O desenvolvimento de uma ferramenta para tornar a análise mais rápida iniciou-se há mais de dois séculos e continua atualmente. Como a tecnologia aplicada à Química Analítica tem sido aprimorada com o advento das balanças eletrônicas, tituladores automáticos e instrumentos controlados por computadores, esses equipamentos estão sendo introduzidos nas práticas de laboratório. Além disso, os métodos clássicos têm sido com frequência modificados, no intuito de que todos possam usá-los para análises, e não somente deixados de lado por serem inacessíveis por conta do preço, sem deixar de sacrificar a exatidão ou a precisão. (SKOOG, 2016)

Uma forma de resolver esses problemas passa pela construção de um titulador de baixo custo, utilizando o Arduino® UNO, que é um microcontrolador de código aberto, que pode ser utilizado livremente por qualquer pessoa, para controlar todo o processo da análise de forma automática. O microcontrolador é capaz de analisar informações de diversos componente acoplados a ele, sem necessidade de mais aparelhos eletrônicos. Existem diversos modelos desse equipamento, porém o usado nesse projeto é o Arduino® UNO o qual é baseado, fisicamente, em uma pequena placa tendo como base um microprocessador do modelo ATmega328. (FONSECA, 2011)

Sendo assim, o projeto do titulador automatizado controlado por um Arduino® pode ser usado para análise de precipitação. Nesse sentido,

a automatização da volumetria pode diminuir a incidência de erros e agilizar o processo de titulação, assim facilitando a análise de diversos analistas neste trabalho, podendo ser um forte alicerce na educação, pois pode tornar o acesso a ciência maior.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção, encontram-se descritos todos os materiais e procedimentos utilizados na realização do trabalho.

2.1. MATERIAIS

Para fins analíticos, foram utilizados os materiais descritos na Tabela 1:

Tabela 1: Materiais, seus respectivos modelos e fornecedores utilizados durante o trabalho.

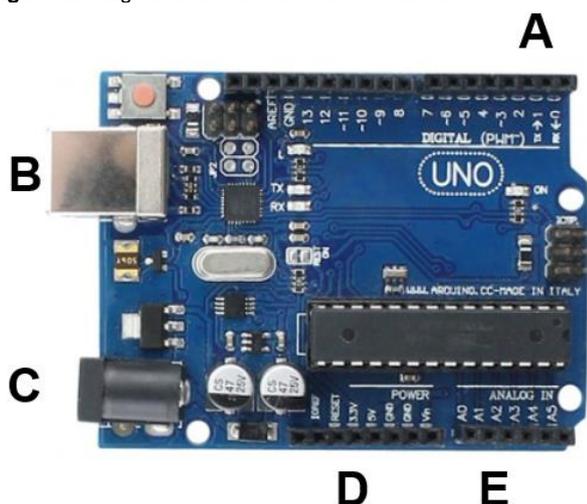
Material	Modelo	Fornecedor
Garra	-	-
Suporte Universal	-	-
Tubo de Vidro	-	-
Balança Analítica	AG200	GEHAKA
Turbidímetro	CG1800	GEHAKA
Elevador	-	-
Béquer 100 mL	-	Plena-Lab
Béquer 250 mL	-	Plena-Lab
Balão Volumétrico 100 mL	-	-
Pipeta Automática 25 µL	-	-
Pipetas Pasteur	-	-
Bagueta de Vidro	-	-
Turbidímetro	-	-
Amido Solúvel P.A.	-	Synth
Impressora 3D	CL2.5	Cliever

Para a construção do nosso protótipo, foram utilizados:

Um Arduino UNO® (Figura 1) controlador que possui um processador ATmega328, com treze portas digitais, sendo que seis delas podem ser usadas como saídas *PWM* (sigla em inglês para *Pulse Width Modulation* – Modulação por Largura de Pulso), seis são portas analógicas e cinco são portas para conexões elétricas. A alimentação externa é feita através do conector *Jack* com positivo no centro, em que o valor de tensão da fonte externa deve estar entre 6 e 20 V. O microcontrolador conta também com uma conector

USB-B, para alimentação externa e entrada e saída de dados.

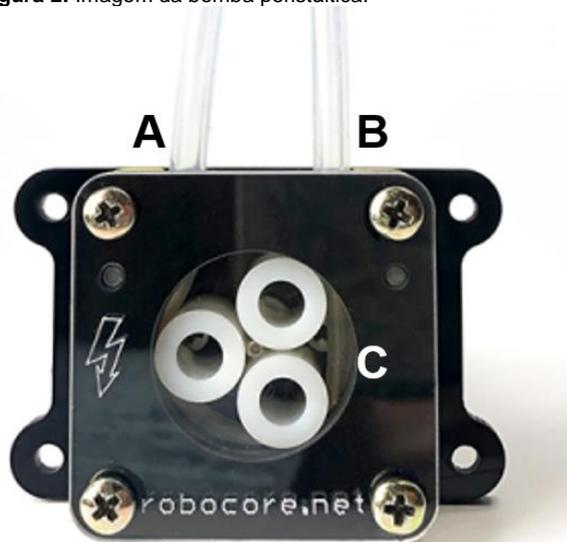
Figura 1: Imagem do microcontrolador Arduino® UNO



A – Portas Digitais; B – Conector USB-B; C – Conector Jack; D – Portas para conexões elétricas; E – Portas Analógicas.
Fonte: adaptado de usainfo.com.br

Uma bomba peristáltica (Robocore) controlada pelo Arduino®, é utilizada com a finalidade de gotejar o titulante como substituição à bureta usada na titulação clássica. Esse tipo de bomba (Figura 2) trabalha a seco, ou seja, sem contato com o titulante, o que permite operar substâncias diversas sem risco de deterioração das peças da bomba. Pode ser facilmente higienizada e não dispõe de peças complexas, como válvulas e rotores com pás, tornando seu funcionamento extremamente simples e sendo essencial para o trabalho em questão.

Figura 2: Imagem da bomba peristáltica.



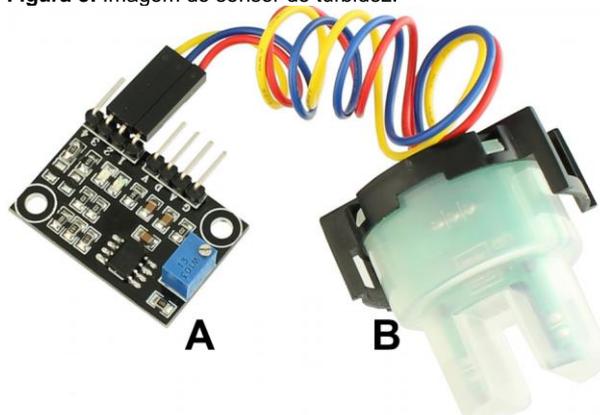
A – Entrada; B – Saída; C – Motor com rotores.
Fonte: Adaptado de rocore.net

Um Sensor de Turbidez modelo ST100 (Figura 3) que emite, em sua extremidade, radiação

eletromagnética infravermelha, imperceptível a visão humana. Esse sensor é capaz de detectar partículas que estejam em suspensão na água, fazendo a medição da transmitância de radiação e da taxa de dispersão. Esses parâmetros mudam de acordo com a quantidade de Sólidos Suspensos Totais (SST), vindo a aumentar a turbidez do líquido sempre que os níveis aumentam.

O sensor é muito eficaz na detecção e verificação da qualidade e a turbidez da água, possibilitando verificar os resultados por meio de sinal analógico junto aos pinos correspondentes no módulo eletrônico que acompanha.

Figura 3: Imagem do sensor de turbidez.



A – Módulo eletrônico de Leitura; B – Detector de SST.
Fonte: usainfo.com.br

2.2. MÉTODOS

Para a automatização do protótipo, houve a escrita e desenvolvimento de um código para a programação do Arduino®. Para a escrita dos comandos, foi utilizado o programa Arduino IDE®, que oferece um ambiente de desenvolvimento integrado que permitiu, para além da escrita e compilações do código, o envio desse para o microcontrolador.

Foi utilizado como base de pesquisas o IDE oficial do Arduino® para a programação correta dos equipamentos do titulador através da linguagem C, como apresentadas nas Tabelas 2, 3, 4, 5, a seguir.

Tabela 2: Códigos para programação C – Testes lógicos

Nome	Função
<code>if(){} </code>	Verifica se o valor entre parênteses retorna verdadeiro e executa o que está dentro das chaves
<code>else{} </code>	Utilizado junto com "if" e é chamado quando o "if" que o antecede tem retorno falso
<code>elif(){} </code>	Utilizado junto com "if" e é chamado quando o "if" que o antecede tem retorno falso, e o que está dentro dos parênteses retorna verdadeiro

Fonte: Arduino® CC

Tabela 3: Códigos para programação C – Ciclos

Nome	Função
<code>while(){} </code>	Executa em ciclo o que se encontra dentro das chaves quando o que está dentro dos parênteses retorna verdadeiro
<code>for(){} </code>	Executa em ciclo o que se encontra dentro das chaves enquanto a variável que se encontra dentro dos parênteses retorna verdadeiro dentro dos padrões delimitados

Fonte: Arduino® CC

Tabela 4: Códigos para programação C – Variáveis

Nome	Função
<code>int</code>	Guarda valores numéricos (inteiros)
<code>String</code>	Guarda valores de textos compilados (caracteres)
<code>float</code>	Guarda valores numéricos (decimais)
<code>char</code>	Guarda valores de caráter

Fonte: Arduino® CC

Tabela 5: Códigos para programação C – Estruturas

Nome	Função
<code>void setup(){} </code>	É executada apenas uma vez quando o Arduino® é ligado
<code>void loop(){} </code>	Fica em ciclo constante após a execução do "void setup"

Fonte: Arduino® CC

Tabela 6: Códigos para programação C – Funções

Nome	Função
<code>Serial.available()</code>	Verifica se há alguma coisa para ser lida no cachê da serial
<code>Serial.read()</code>	Retorna o valor lido na entrada serial
<code>Serial.begin()</code>	Inicia uma conexão serial declarando a velocidade

Fonte: Arduino® CC

Para determinação do fluxo da bomba peristáltica, necessitou-se de uma montagem de duas mangueiras (uma sendo considerada a entrada e a outra saída do líquido a ser bombeado) de silicone acopladas à bomba. Direcionou-se o bombeamento em dois bécueres: um com água, em cima de um elevador, direcionado a entrada, e outro na saída do fluxo da água, que fora colocado na balança analítica a fim da pesagem do líquido. Posteriormente, estabeleceu-se a junção em uma placa de prototipagem conectada ao Arduino®. O

código desenvolvido para a operação da bomba nesses ensaios está transcrito no Apêndice A e permite o acionamento da bomba, por meio de botões, em intervalos de tempo pré-determinados. O botão A aciona a bomba por 90 s, para enchimento e ambientação das mangueiras e os botões B, C e D, adicionam por 60, 1 e 5 s, respectivamente.

Foram realizados diversos testes de determinação da massa de água bombeada em uma balança analítica em função do tempo de acionamento da bomba. E, para determinar o volume de água bombeada, fora medida a temperatura da água e, com base na densidade dessa substância, aplicou-se a Fórmula 1.

$$V_{\text{água}} = \frac{m_{\text{água}}}{\rho_{\text{água}}} \quad (1)$$

Em que:

 $V_{\text{água}}$ = volume em mL; $m_{\text{água}}$ = massa, em g; $\rho_{\text{água}}$ = densidade absoluta, em g·mL⁻¹.

Para a calibração do sensor de turbidez, foi necessária a preparação de padrões de turbidez a partir de soluções de amido, que se apresentaram acessíveis e de fácil manipulação, além disso, foi desenvolvido um segundo código que permitiria o acionamento da bomba em intervalos de tempo apropriados para a transferência do titulante e a interrupção do processo sempre que o sensor acusasse alterações na turbidez da solução (Apêndice B).

Foram preparadas, ao total, quatro soluções de 100 mL com concentrações de 0,05%, 0,10%, 0,15%, 0,20% (m/v) de Amido Solúvel P.A., tendo todas a mesma forma de preparo. Essas soluções foram lidas em um turbidímetro para aferição da turbidez, medida em NTU (sigla em inglês para *Nephelometric Turbidity Unit* – unidade nefelométrica de turbidez).

Nesses ensaios, foram produzidos testes em sequência. Com o turbidímetro devidamente calibrado, a solução de amido a 0,05% fora submetida a análise para a verificação da turbidez e posteriormente no sensor de turbidez do protótipo para a comparação de valores. O mesmo processo foi realizado para a água destilada e água de torneira.

Após isso, purgou-se a bomba utilizando o botão A com a solução de amido 0,05% e, num bécuer de 250 mL, adicionamos 50 mL de água destilada e verificamos a turbidez. Adicionamos 1 mL da solução a partir da função B da bomba e analisamos novamente o valor de turbidez do líquido. Este processo foi repetido dez vezes.

Por fim, para a construção do nosso titulador, foi utilizada uma impressora 3D modelo CL2.5 da

Cliever, disponível em nossa instituição. O modelo foi projetado na plataforma TinkerCad® para acomodar o Arduino®, a placa de prototipagem e outros equipamentos eletrônicos necessários para o funcionamento do titulador automático, como é possível observar nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Projeto do protótipo.

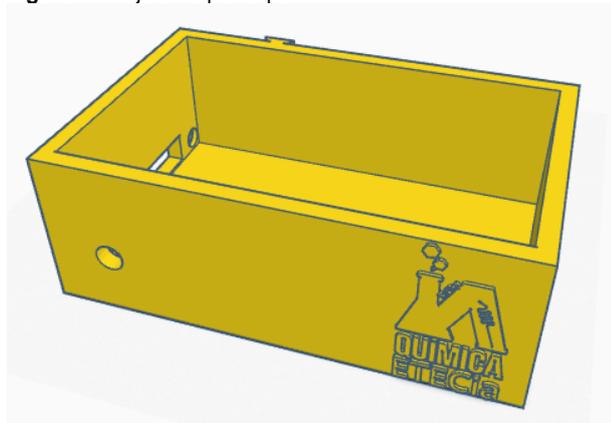
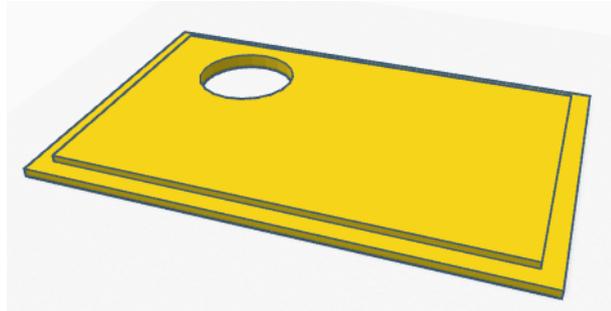


Figura 5: Projeto da tampa do protótipo, com abertura para a Bomba Peristáltica.



Dentro dele foram inseridos todos os componentes eletrônicos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram discutidos e justificados devidamente pelo grupo nos itens que seguem.

Os códigos se mostraram funcionais quer seja para a determinação do fluxo da bomba ou para a automatização da bomba peristáltica e leitura do sinal analógico do sensor de turbidez. Portanto, é aconselhável o uso dele na produção de outros tituladores. Porém, o sensor de turbidez não apresentou boas leituras, tanto da tensão, em volts, quanto da turbidez, em NTU. Esse fato, resultou na semiautomatização do protótipo, com o acoplamento de botões no sistema, que, após a escrita de um novo código, permitem a adição de 0,05; 0,1; 0,5 e 1 mL do titulante, após a intervenção do analista.

A utilização da bomba peristáltica para nos ensaios de determinação do fluxo se mostrou extremamente precisa e eficiente. Nesses ensaios, a temperatura da água foi medida em 23 °C e a

densidade adotada foi de 0,9975 g·mL⁻¹. (CRC, 1985)

De acordo com o fabricante, a bomba utilizada, ao operar sob tensão de 12 V, apresenta fluxo constante de 40 mL. Uma vez que, a fonte utilizada no protótipo fornece 9 V, mediu-se o fluxo médio do botão B (n = 3), que foi de 17,1637±0,3655 mL (V±s). O desvio padrão relativo, de 2,1%, se mostrou aceitável.

A correlação linear entre os valores de volume, em mL, e de tempo, em s, estão representadas nas Figuras 6 e 7.

Figura 6: Correlação linear (V x t) – tempo de bomba 1 s.

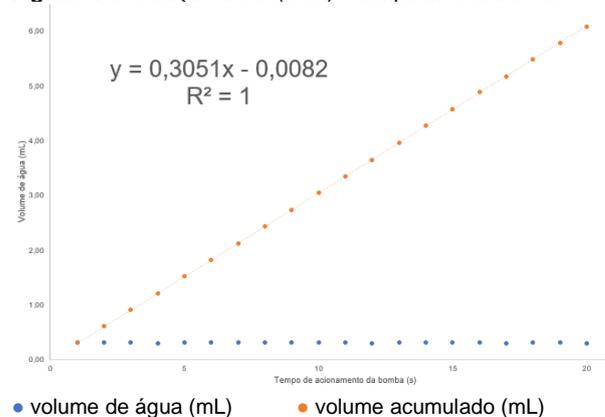
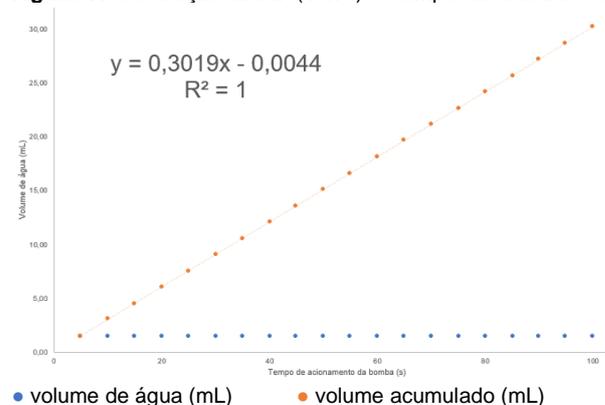


Figura 7: Correlação linear (V x t) – tempo de bomba 5 s.



Analisando os valores, foram determinados os volumes médios (n = 20), apresentados na Tabela 8. E, com base nesses valores, foram calculados os tempos necessários para a vazão do titulante a fim de transferir 1 mL, 0,5 mL, 0,1 mL e por fim 0,05 mL, sendo esses valores aferidos em função da massa de água. (Tabela 9).

Tabela 8: Volumes médios de água baseados nos botões B, C e D

Botão	V _{água} ± s (mL)	s(rel) (%)
B (1 minuto)	17,1637 ± 0,3655	2,1
C (1 segundo)	0,3044 ± 0,0053	1,7
D (5 segundos)	1,5089 ± 0,0124	0,8

Tabela 9: Massas pesadas por intervalo de tempo

VOLUME ideal (mL)	Tempo (s)	Massa (g)	VOLUME real (mL)
1	3,3	0,9889	0,9913
0,5	1,6	0,4881	0,4893
0,1	0,3	0,0959	0,0961
0,05	0,16	0,0504	0,0505

A preparação das soluções de amido foi realizada seguindo a metodologia anteriormente descrita. Na Tabela 10, encontram-se as concentrações, massas ideais e as massas medidas de Amido Solúvel P.A..

Tabela 10: Concentração, massas ideais e reais de amido

Concentração ideal	Massa ideal (g)	Massa real (g)
0,05%	0,0500	0,0563
0,10%	0,1000	0,1003
0,15%	0,1500	0,1530
0,20%	0,2000	0,2070

Com todas as soluções prontas, elas foram lidas no turbidímetro a fim de determinar sua turbidez. A Tabela 11, mostra a turbidez média (n = 4) em casa ensaio.

Tabela 11: Turbidez média para cada solução de amido

Concentração	Turbidez média (NTU)
0,05%	66
0,10%	80
0,15%	80
0,20%	80

Com esses valores, foi possível perceber que o nosso turbidímetro possui um limite de leituras das amostras que se situa no 80 NTU. Portanto, o grupo optou por utilizar apenas a solução a 0,10% para os futuros testes por ser a primeira a apresentar valores de turbidez iguais a 80 NTU.

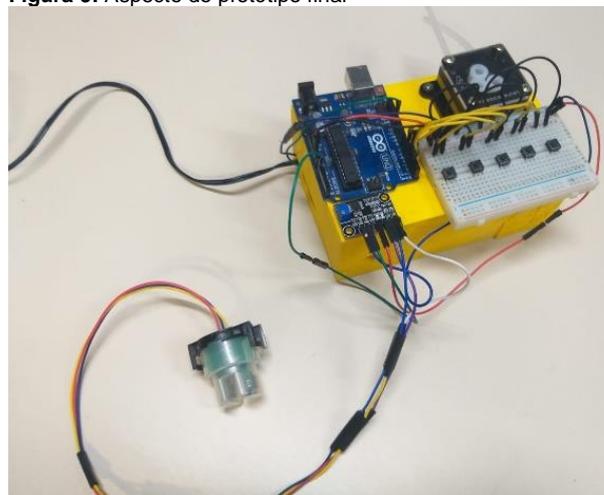
O protótipo foi impresso com filamento PLA (poli-ácido láctico) e foi feito desenhado pensando-se no armazenamento de qualquer dispositivo eletrônico que não necessitasse de sua manipulação durante a titulação, conforme apresentado na Figura 8.

Contudo, as dimensões internas do equipamento não foram suficientes para embarcar todos os componentes, especialmente depois da semiautomação. Por isso, o controlador e a

placa de prototipagem foram alocados na tampa do protótipo (Figura 9).

Figura 8: Protótipo do titulador automático, após impressão.

É possível observar a bomba peristáltica, a fonte, o interruptor e o potenciômetro, para o controle do agitador magnético.

Figura 9: Aspecto do protótipo final

Antes dos testes de titulação, foram realizadas as leituras da tensão no sensor com amostras de água destilada e de água da rede de abastecimento. Em ambos os casos, a tensão medida foi de 3,41 V (que corresponde a 0 NTU), indicando ausência de SSTs. Por fim, foi feita a leitura da solução de amido que, colocada no sensor de turbidez, resultou em 3,41 V, indicando turbidez igual a 0 NTU. Esse resultado contraria a análise visual das amostras (Figura 10).

Figura 10: Comparação visual das amostras de água destilada e de amido utilizadas.

Após esses resultados, os testes foram interrompidos pela constatação de um possível defeito do sensor de turbidez, um importante componente do nosso projeto e, portanto, não foi possível prosseguir com os testes de titulação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme esperado, a bomba peristáltica consegue manter uma linearidade de gotejamento com alta exatidão ($R^2=1$), quando considerada a adição de volume em batelada e periódica. Contudo, por não terem sido produzidos testes com a utilização de $AgNO_3$, que seria o titulante da volumetria, não podemos afirmar que a bomba apresentaria menos erros relativos. De acordo com Santos et al (2018), os desvios de uma titulação semiautomática são da mesma ordem de grandeza dos erros da titulação clássica, mas não nos permitindo afirmar que esse método é mais preciso que a manual.

Concomitantemente, os custos para a produção desse protótipo são baixos quando comparados à um titulador automático vendido atualmente. Em viés de comparação, os tituladores no mercado custam aproximadamente R\$ 45.000,00 e os custos para a produção do nosso protótipo ficaram em torno de R\$ 279,00. Ademais, nosso protótipo é de fácil manuseio, podendo ser útil no ensino da Química em diversas situações.

Em suma, o projeto se apresenta positivo. Contudo, com o defeito no sensor o projeto não pôde ser continuado. Tendo isso em vista, nós propomos o uso de outros sensores, principalmente o de pH ou de condutividade, para a construção de outro protótipo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente aos nossos orientadores Professor Dr. Fabio Rizzo de Aguiar e Professor Dr. Klauss Engelmann pela ótima orientação nesse artigo.

Às nossas famílias que sempre nos apoiaram a terminar esse curso e seguir nossos sonhos.

Ao Professor Dr. Alexandre de Jesus Barros, Professora Thais Taciano dos Santos pelos conselhos diante das dúvidas e carinho nas horas de cansaço e a todos os professores que fizeram parte dessa nossa jornada na Etec Irmã Agostina.

E, por fim, aos nossos amigos que sempre nos deram momentos de descontração e nos ajudaram nos momentos mais difíceis.

REFERÊNCIAS

BACCAN, Nivaldo et al. **Química Analítica Quantitativa Elementar**. 3. ed. rev. e atual. [S. l.]:

Editora Edgard Blucher Ltda., 2001. 313 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=doW6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=qu%C3%ADmica+anal%C3%ADtica+quantitativa&ots=uGfwxDQwTM&sig=sG4xhiPq_zt5j8_6PimxR5z3qs#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 12 set. 2022.

CRC Handbook of chemistry and physics (CRC handbook). Edited by R.C. WEST, M.J. ASTLE, W.H. BEYER. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1985.

PEDROTTI, M.F.; BRUSCHI, L.T.; CARVALHO, G.S.; HEIDRICH, G.M.; MOTTA, G.V.; BIZZI, C.A.; DRESSLER, V.A.; FLORES, E.M.M. Desenvolvimento de um titulador automático de baixo custo utilizando hardware de código livre e detecção fotométrica. 37ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2014.

SANTOS, A. F.; SARTI, B. H.; CARVALHO, B.M. H.; RIBEIRO, M. C. Construção de um titulador semiautomático controlado por Arduino®. Orientador: Prof. Dr. Fábio Rizzo de Aguiar. 2018. 10 f. Trabalho de conclusão de curso (Técnico em Química) - ETEC Irmã Agostina, São Paulo, 2018.

SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, **Fundamentos de Química Analítica**, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006

TERRA, Juliana; ROSSI, Adriana Vitorino. **Sobre o desenvolvimento da análise volumétrica e algumas aplicações atuais**. Quím. Nova 28, [S. l.], p. 1 -6, 1 fev. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Syjm9MjmLdW8pJW43VXKpnK/?lang=pt#>. Acesso em: 15 mar. 2023.

APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DO FLUXO DA BOMBA

Os trechos depois de // são explicações do código e não são interpretados pelo microcontrolador.

```

int pinBomba = 8;
int pinLED = 13;

char leitura;

void setup() {
  pinMode(pinBomba, OUTPUT);
  pinMode(pinLED, OUTPUT);
  digitalWrite(pinBomba, LOW);
  digitalWrite(pinLED, LOW);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  while (Serial.available()) {
    leitura = Serial.read();
    Serial.println(leitura);

    // Ligar a bomba por 90 segundos para encher as mangueiras
    if (leitura == 'A') {
      digitalWrite(pinBomba, HIGH);
      digitalWrite(pinLED, HIGH);
      delay(90000);
      digitalWrite(pinBomba, LOW);
      digitalWrite(pinLED, LOW);
    }
    // Ligar a bomba por 1 minuto para as medições
    else if (leitura == 'B') {
      digitalWrite(pinBomba, HIGH);
      digitalWrite(pinLED, HIGH);
      delay(60000);
      digitalWrite(pinBomba, LOW);
      digitalWrite(pinLED, LOW);
    }
    // Ligar a bomba por 1 segundo para as medições
    else if (leitura == 'C') {
      digitalWrite(pinBomba, HIGH);
      digitalWrite(pinLED, HIGH);
      delay(1000);
      digitalWrite(pinBomba, LOW);
      digitalWrite(pinLED, LOW);
    }
    // Ligar a bomba por 5 segundos para as medições
    else if (leitura == 'D') {
      digitalWrite(pinBomba, HIGH);
      digitalWrite(pinLED, HIGH);
      delay(5000);
      digitalWrite(pinBomba, LOW);
      digitalWrite(pinLED, LOW);
    }
  }
  // Adicionar um tempo limite para as leituras do Serial
  delay(100);
}

```

APÊNDICE B – CÓDIGO ESCRITO PARA OS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA TENSÃO LIDA PELO SENSOR E DA TURBIDEZ

Os trechos depois de // são explicações do código e não são interpretados pelo microcontrolador.

```

const int pinBotaoA = 2;
const int pinBotaoB = 3;
const int pinBotaoC = 4;
const int pinBotaoD = 5;

const int pinBomba = 8;
const int pinLED = 13;

const int SensorTurbidez = A0;

int estadoBotaoA = 0;
int estadoBotaoB = 0;
int estadoBotaoC = 0;
int estadoBotaoD = 0;

int i;
float voltagem;
float NTU;

void setup() {
  pinMode(pinBotaoA, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinBotaoB, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinBotaoC, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinBotaoD, INPUT_PULLUP);

  pinMode(pinBomba, OUTPUT);
  pinMode(pinLED, OUTPUT);
  digitalWrite(pinBomba, LOW);
  digitalWrite(pinLED, LOW);

  voltagem = 0;
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  for (i = 0; i < 800; i++) {
    voltagem += ((float)analogRead(SensorTurbidez) / 1023) * 5;
  }

  voltagem = voltagem / 800;
  voltagem = ArredondarPara(voltagem, 1);

  if (voltagem < 2.5) {
    NTU = 3000;
  }

  else if (voltagem > 4.2) {
    NTU = 0;
    voltagem = 4.2;
  }

  else {
    NTU = -1120.4 * square(voltagem) + 5742.3 * voltagem - 4353.8;
  }

  // Imprime as informações no Monitor Serial do IDE
  Serial.print("Turbidez = ");
  Serial.print(NTU);
  Serial.println(" NTU");
}

```

```

delay(1000);

estadoBotaoA = digitalRead(pinBotaoA);
estadoBotaoB = digitalRead(pinBotaoB);
estadoBotaoC = digitalRead(pinBotaoC);
estadoBotaoD = digitalRead(pinBotaoD);

// Ligar a bomba por 60 segundos para encher as mangueiras
if (estadoBotaoA == LOW) {
    digitalWrite(pinBomba, HIGH);
    digitalWrite(pinLED, HIGH);
    delay(60000);
    digitalWrite(pinBomba, LOW);
    digitalWrite(pinLED, LOW);
}
else if (estadoBotaoB == LOW) {
    digitalWrite(pinBomba, HIGH);
    digitalWrite(pinLED, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(pinBomba, LOW);
    digitalWrite(pinLED, LOW);
}
else if (estadoBotaoC == LOW) {
    digitalWrite(pinBomba, HIGH);
    digitalWrite(pinLED, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(pinBomba, LOW);
    digitalWrite(pinLED, LOW);
}
else if (estadoBotaoD == LOW) {
    digitalWrite(pinBomba, HIGH);
    digitalWrite(pinLED, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(pinBomba, LOW);
    digitalWrite(pinLED, LOW);
}
}

// Sistema de arredondamento para Leitura
float ArredondarPara( float ValorEntrada, int CasaDecimal ) {
float multiplicador = powf( 10.0f, CasaDecimal );
ValorEntrada = roundf( ValorEntrada * multiplicador ) / multiplicador;
return ValorEntrada;
}

```