

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

LUCAS ABREU GOMES

**CONSTRUÇÃO DE UM VOLTÍMETRO EMPREGANDO INTERFACE ESP-32
PARA DETERMINAÇÃO DE PH E HALETOS**

ALFENAS/MG

2025

LUCAS ABREU GOMES

**CONSTRUÇÃO DE UM VOLTÍMETRO EMPREGANDO INTERFACE ESP-32
PARA DETERMINAÇÃO DE PH E HALETOS**

Trabalho de conclusão de curso da Universidade Federal de Alfenas como parte dos requisitos para a conclusão de curso de graduação em Química Bacharelado.

Área de concentração: Química Analítica.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Orival Luccas.

**ALFENAS/MG
2025**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Gomes, Lucas Abreu.

Construção de um voltímetro empregando interface ESP-32 para
determinação de pH e haletos / Lucas Abreu Gomes. - Alfenas, MG, 2025.
44 f. : il. -

Orientador(a): Pedro Orival Luccas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) -
Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.
Bibliografia.

1. Potenciometria. 2. Eletrodos íon-seletivos. 3. Microcontrolador. 4.
PHmetro. 5. Instrumentação de baixo custo. I. Luccas, Pedro Orival, orient.
II. Título.

LUCAS ABREU GOMES

**CONSTRUÇÃO DE UM VOLTÍMETRO EMPREGANDO INTERFACE ESP-32
PARA DETERMINAÇÃO DE PH E HALETOS**

A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 03 de Dezembro de 2025

Prof. Dr. Pedro Orival Luccas
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Prof. Dr. Giovana de Fátima Lima Martins
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

Mestrando Jéσιο Daniel Tempesta
Universidade Federal de Alfenas

Assinatura:

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de construir um dispositivo para fazer medidas de pH e concentrações de haletos empregando componentes eletrônicos de baixo custo como ESP-32, módulos de medida de pH, ambiente de desenvolvimento Integrado (IDE) de Arduino para controle do sistema e aquisição de dados e uma impressora 3D para construção das peças. A aquisição dos sinais foi feita através de uma entrada analógica da interface e as variáveis número e tempo de leitura foram estudadas e otimizadas. A exatidão nas medidas de pH foi checada através de comparação com resultados obtidos com equipamentos comerciais e os dados foram condizentes (teste t). O sistema também foi aplicado na titulação de ácido acético em amostras de vinagre e as medidas em triplicatas apresentaram coeficiente de variação sempre inferior a 0,25% atestando a boa precisão das medidas. Para avaliar a exatidão nas medidas de fluoreto fez-se testes de adição e recuperação, os resultados apresentaram recuperação entre 91 e 103 %. O custo do material empregado para construção do equipamento foi de aproximadamente R\$433,49. Trata-se de uma alternativa plausível para aplicações em aulas práticas de Química Analítica Instrumental, bem como na determinação de pH e fluoreto em amostras aquosas.

Palavras-chave: potenciometria; pHmetro; eletrodo íon-seletivo; instrumentação de baixo custo; Microcontrolador.

ABSTRACT

The present work aimed to build a device for measuring pH and halide concentrations using low-cost electronic components such as the ESP-32, pH measurement modules, the Arduino Integrated Development Environment (IDE) for system control and data acquisition, and a 3D printer for constructing the parts. Signal acquisition was performed through an analog input of the interface, and the variables number and reading time were studied and optimized. The accuracy of the pH measurements was checked by comparison with results obtained from commercial equipment, and the data was consistent (t-test). The system was also applied to the titration of acetic acid in vinegar samples, and the measurements in triplicate showed a coefficient of variation always below 0.25%, attesting to the good precision of the measurements. To evaluate the accuracy of fluoride measurements, addition and recovery tests were performed, and the results showed recoveries between 91% and 103%. The cost of the materials used to build the equipment was approximately R\$433.49. This is a plausible alternative for applications in practical classes of Instrumental Analytical Chemistry, as well as for the determination of pH and fluoride in aqueous samples.

Keywords: potentiometry; measurement; ion-selective electrode; low-cost instrumentation; microcontroller.

Lista de figuras

Figura 1: Impressora modelo: Creality Ender-3 V2	14
Figura 2: Esquema de conexão do sistema potenciométrico com ESP32 e display LCD.....	14
Figura 3: Diagrama do funcionamento	16
Figura 4: Captura de tela da interface web do potenciômetro construído	17
Figura 5: Potenciômetro montado	22
Figura 6: Variação da diferença de potencial com o tempo	23
Figura 7: $\Delta\text{pH} \times \text{Tempo}$	23
Figura 8: Curva de Calibração.....	24
Figura 9: pH bancada \times pH construído.....	26
Figura 10: Titulação de ácido acético em vinagre	27
Figura 11: Primeira Derivada.....	28
Figura 12: Segunda Derivada.....	28
Figura 13: Diferença de potencial \times pF ($-\log [\text{Concentração de flúor}]$)	29

Lista de tabelas

Tabela 1: Teste comparativo de diferentes amostras.....	25
Tabela 2: Titulação de Ácido Acético em vinagre por NaOH	27
Tabela 3: Teste de adição e recuperação de flúor em amostras de água.....	30
Tabela 4: Critério de aceitação para recuperação.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 POTENCIOMETRIA	9
1.2 MICROCONTROLADOR ESP-32	11
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS GERAIS	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1 DESENVOLVIMENTO DO VOLTÍMETRO	13
3.2 SOFTWARE	15
3.3 REAGENTES E SOLUÇÕES	17
3.3.1 PREPARO DAS SOLUÇÕES	18
3.3.2 AMOSTRAS	18
3.3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS	18
3.4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	19
3.4.1 ESTUDO DO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO SINAL	19
3.4.2 TESTE COMPARATIVO COM O PHMETRO CONVENCIONAL	19
3.4.3 TITULAÇÃO DE ÁCIDO ACÉTICO EM VINAGRE	20
3.4.4 DETERMINAÇÃO POTENCIOMÉTRICA COM ELETRODO DE FLÚOR	20
3.4.5 TESTE DE ADIÇÃO E RECUPERAÇÃO	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 MONTAGEM DO POTENCIÔMETRO	22
4.2.1 TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO	22
4.2.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ELETRODO DE VIDRO	24
4.2.3 TESTE COMPARATIVO COM PHMETRO CONVENCIONAL	24
4.2.4 TITULAÇÃO DE ÁCIDO ACÉTICO NO VINAGRE	26
4.3 ELETRODO ÍON-SELETIVO DE FLUOR	29
4.3.1 LIMITE DE DETECÇÃO ELETRODO DE FLUOR	29
4.3.2 TESTE DE ADIÇÃO E RECUPERAÇÃO	29
5. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	32
APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE DO ESP32 PARA O POTENCIÔMETRO	34
APÊNDICE B – CÓDIGO DA PÁGINA WEB DO MONITOR DE PH	37

1. INTRODUÇÃO

A potenciometria é uma técnica analítica baseada na medida de potencial ou tensão, entre dois eletrodos imersos na solução de interesse. Essa diferença de potencial está diretamente relacionada à concentração ou atividade do analito e é usada para obter informações quantitativas de várias espécies químicas incluindo íons H^+ e haletos (DIMESKI et al.; 2010).

Haletos, tais como fluoreto (F^-) cloreto (Cl^-), brometo (Br^-), e iodeto (I^-), são um grupo de ânions comumente encontrados em vários sistemas, incluindo fluidos biológicos (DIMESKI et al.;2010), amostras ambientais como matéria geológica (ARUSCAVAGE et al.;1983) e processos industriais. O monitoramento e a quantificação dos haletos são cruciais em vários campos, desde o diagnóstico clínico até o monitoramento ambiental e o controle de qualidade (MENDES *et al.*, 2020).

O uso do microcontrolador ESP32 para a construção desse tipo de equipamento, tem como vantagem a possibilidade de automação para essas análises e ainda um baixo custo de implementação, sendo versáteis e podendo ser modificados e reprogramados para realização de outras análises como análises colorimétricas (CADEADO *et al.*, 2022) ou talvez melhorados possibilitando a automação de todo o processo.

No presente trabalho construiu-se um dispositivo para determinações potenciométricas utilizando componentes de baixo custo como o microcontrolador ESP-32 e eletrodos íon seletivos desenvolvendo um software robusto o suficiente para medições confiáveis, o compartimento para alojar os componentes foi impresso com impressora 3D.

1.1 POTENCIOMETRIA

O componente chave na potenciometria é o uso de um eletrodo indicador e um eletrodo de referência. O eletrodo indicador é sensível à variação de concentração de íons, ou espécies eletroativas, em uma solução, portanto sofre uma alteração de potencial à medida que a concentração ou atividade aumenta ou diminui. O potencial do eletrodo de referência, por outro lado, permanece constante durante as medidas e fornece um potencial de referência estável contra o qual o potencial do eletrodo

indicador é comparado. Eletrodos íon-seletivos são projetados para responder seletivamente a um determinado íon ou haletos e gerar um potencial elétrico proporcional à sua concentração na amostra(FERNANDES et al.; 2001).

O processo de medição começa pela imersão dos eletrodos indicador e de referência na solução da amostra. A diferença de potencial, entre os dois eletrodos, é então medida usando um voltímetro de alta impedância. A diferença de potencial é tipicamente apresentada como uma força eletromotriz (FEM) ou leitura de tensão e a unidade mais comum é mV (milivolt) (DA SILVA et al.; 2001).

Para relacionar a diferença de potencial medida com a concentração ou atividade do analito, uma curva de calibração é estabelecida para tal. Faz-se a medida da diferença de potencial em várias concentrações ou atividades conhecidas da substância. Analisando a curva resultante, é possível determinar a concentração ou atividade do analito em uma amostra desconhecida com base em sua diferença de potencial medida(SILVA, et al.;2009).

A potenciometria oferece diversas vantagens, como seletividade, sensibilidade e simplicidade de operação. Além disso, as medições potenciométricas podem ser realizadas rapidamente e requerem equipamentos relativamente baratos(LUZ; 2018).

A técnica de potenciometria pode ser aplicada de duas formas principais, sendo elas a potenciometria direta que é o método mais simples, onde a concentração de um analito é determinada diretamente a partir da medida do potencial de um eletrodo íon-seletivo, após a calibração do sistema com soluções padrão de concentrações conhecidas. A técnica também pode ser aplicada em potenciometria indireta como a titulação potenciométrica onde a potenciometria é utilizada para monitorar a variação do potencial do eletrodo indicador durante uma titulação. O potencial é então plotado em função do volume de titulante adicionado, e o ponto final da titulação é determinado pela variação brusca do potencial, ou através da análise da primeira ou segunda derivada da curva gerada.

Assim, potenciometria é uma técnica analítica valiosa que utiliza a medida da diferença de potencial entre dois eletrodos para determinar a concentração ou atividade de íons ou substâncias em uma solução. Sua versatilidade e facilidade de uso o tornam um método amplamente empregado em muitos ambientes científicos e industriais.

1.2 MICROCONTROLADOR ESP-32

Os microcontroladores ESP32 são uma versátil família de *system-on-a-chip* (SoC) que combinam recursos Wi-Fi e *Bluetooth* que são amplamente utilizados em várias aplicações que vão desde dispositivos de Internet das Coisas (*IoT*) até sistemas para a automação da coleta e processamento de dados em experimentos. Os microprocessadores ESP32 possuem uma arquitetura dual-core que permite a multitarefa eficiente e simultânea, possui 23 GPIOs (*General Purpose Input/Output*) por onde podem ser acessados os conversores analógico-digitais (ADC) que possuem uma resolução de 12 bits capaz de produzir um sinal analógico que varia de 0 a 4095 representando uma tensão de 0 a 3,3V (ESPRESSIF SYSTEMS, 2019). Além disso, os microcontroladores são equipados com um rico conjunto de interfaces periféricas e uma ampla gama de recursos, tornando-os altamente versáteis e adequados para várias aplicações (BABIUCH et al.;2019).

A facilidade de programação é outro aspecto significativo dos microprocessadores ESP32. Eles podem ser programados usando várias linguagens de programação, incluindo o popular *framework Arduino*, *Micropython* e *ESP-IDF* (*Espressif IoT Development Framework*). Essa ampla gama de opções de desenvolvimento garante a flexibilidade na hora de escolher o software e linguagem de programação de acordo com a necessidade. A praticidade do microcontrolador também o permite ser operado de várias formas, podendo ser ligado diretamente na tomada com uma fonte adequada, ou alimentado por pilhas. (RAI et al.;2019).

Portanto, estes microcontroladores fornecem uma combinação de poder de processamento, conectividade sem fio e baixo custo, tornando-os uma boa escolha para uma ampla gama de aplicações tais como como interfaces para produção de análises potenciométricas. A versatilidade do ESP32 o permite ser empregado em diferentes instâncias e oferecem uma solução repleta de recursos que pode simplificar processos e análises e permitir poupar tempo agilizando pesquisas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo do trabalho foi a construção de um voltímetro, de baixo custo, para medidas de pH e concentração de espécies eletroativas, como fluoreto, utilizando um microcontrolador ESP32, um módulo Arduino de medidas de pH e eletrodos íon-seletivos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram o desenvolvimento do hardware necessário, sendo esse o circuito eletrônico utilizado e a criação da caixa pela impressora 3D.

A programação da interface da página da web e código utilizado pelo microcontrolador empregando a IDE do Arduino.

Teste de desempenho do equipamento em soluções padrão. Aplicação do equipamento para determinação de pH e comparação com sistema comercial.

Aplicação do equipamento na determinação de ácidos fortes e fracos através de titulações ácido base.

Aplicação e teste de exatidão na determinação de fluoreto em amostras aquosas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos no laboratório de química Q204 da Universidade Federal de Alfenas.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO VOLTÍMETRO

A caixa do dispositivo (potenciômetro) foi desenvolvida com uma impressora 3D de modelo *Creality Ender-3V2* (Figura 1) para acomodar todas as partes do sistema.

Toda a caixa foi projetada no programa *Autodesk Fusion* e convertida para o formato de arquivo STL para ser “fatiada” no software *Ultimaker Cura* usado pela impressora.

Para construção do Voltímetro empregou-se os seguintes componentes eletrônicos (Figura 2): Um ESP32 (modelo), um módulo Arduino PH4502C com eletrodo de vidro combinado, um display LCD 1602 com interface I2C, um notebook (acer aspire 5).

O eletrodo de vidro combinado foi conectado à interface ESP32, através de uma das portas conversoras analógica-digital de 12 bits, a conversão dos sinais digitais em valores de pH foram feitas através do software desenvolvido, e plotadas na tela do computador.

Para cada ponto gerado o microcontrolador faz uma média de vinte mil leituras do sinal e o valor do número de leituras pode ser alterado conforme a necessidade dentro do programa utilizado no navegador.

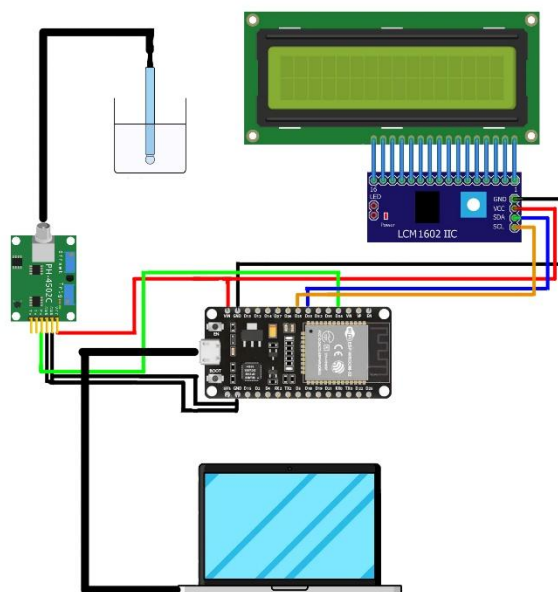
A comunicação entre a interface ESP32 e o computador foi feita através da porta USB, a qual também serviu para a alimentação do dispositivo.

Figura 1: Impressora modelo: Creality Ender-3 V2



Fonte: Site do fabricante

Figura 2: Esquema de conexão do sistema potenciométrico com ESP32 e display LCD.



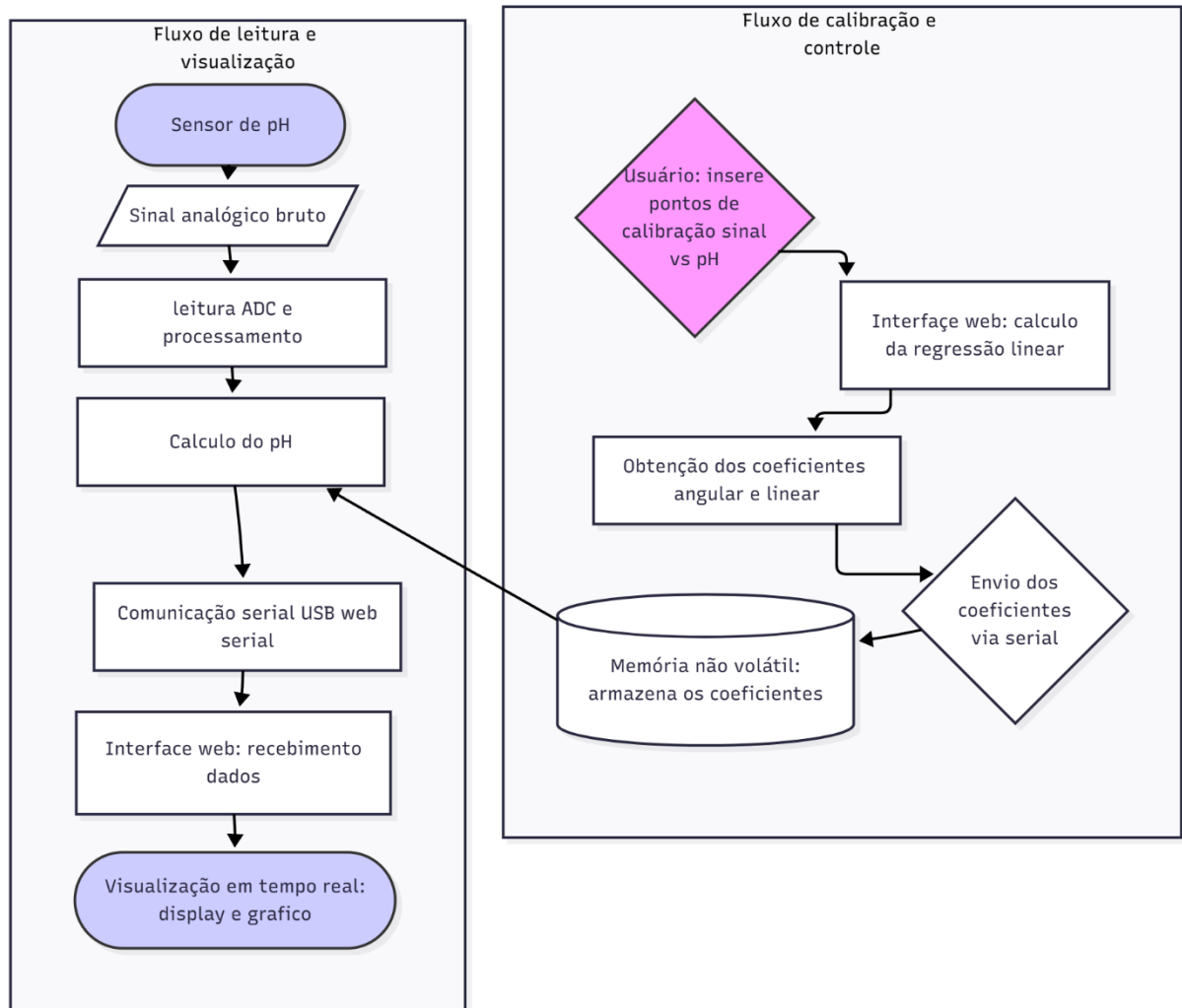
Fonte: Produzida pelo autor

3.2 SOFTWARE

O código “*backend*” usado pelo microcontrolador (Apêndice A) foi escrito em C++ e compilado pelo programa Arduino IDE enquanto o programa principal “*Frontend*” é rodado em um navegador e foi criada utilizando principalmente *JavaScript*, *HTML* e *CSS* (Apêndice B). A página é utilizada para a visualização e extração dos dados, mas também, pode ser usada para alterar-se a curva de calibração do eletrodo que está sendo usado no momento. A Figura 3 apresenta o fluxograma do software desenvolvido.

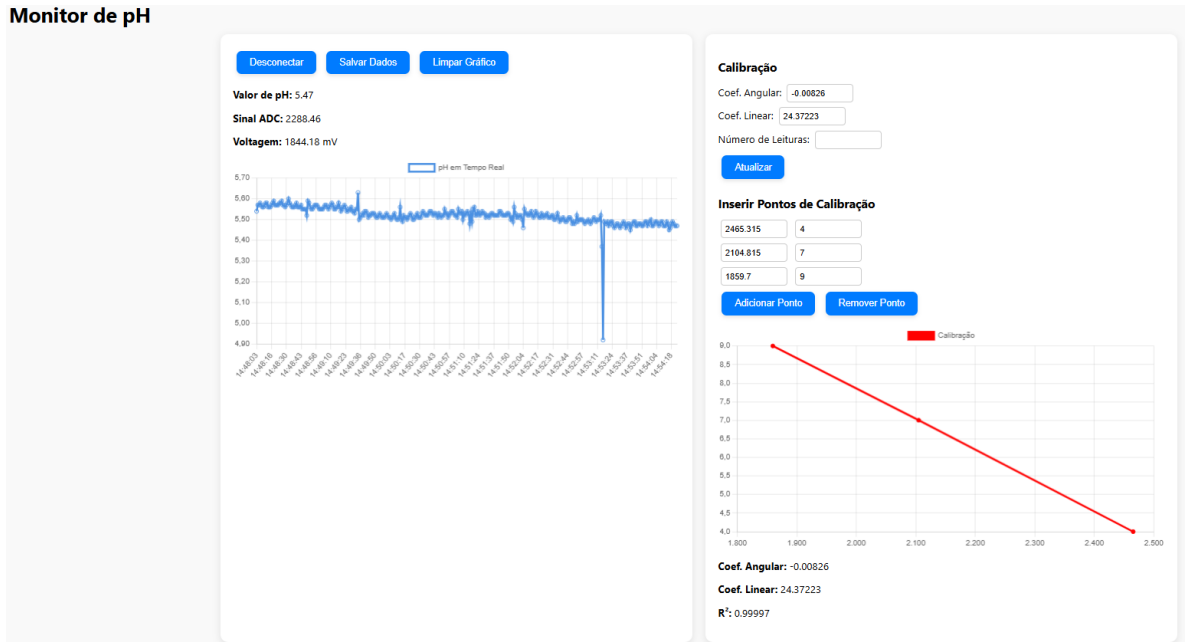
A Figura 4 mostra uma captura de tela da página criada no navegador onde é possível visualizar a flutuação do Sinal de pH com o tempo, uma pequena área para a calibração dos eletrodos, todos os dados gerados podem ser salvos gerando assim, um arquivo de texto (.txt) que pode ser colado direto no Excel ou outro programa para o posterior tratamento de dados.

Figura 3: Diagrama do funcionamento



Fonte: Produzida pelo autor

Figura 4: Captura de tela da interface web do potenciômetro construído



Fonte: Produzida pelo autor

3.3 REAGENTES E SOLUÇÕES

Foram utilizados os seguintes reagentes o durante os experimentos:

- Hidróxido de sódio (NaOH) P.A. (ALPHATEC)
- Biftalato de potássio P.A. (DINÂMICA REAGENTES ANALÍTICOS)
- Ácido acético glacial P.A. (ANIDROL PRODUTOS PARA LABORATÓRIO)
- Cloreto de sódio (NaCl) P.A. (IMPEX ANALITICOS)
- Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) P.A. (DINÂMICA REAGENTES ANALÍTICOS)
- Fluoreto de sódio (NaF) P.A. (ECIBRA)
- Solução tampão de pH 4 (CRQ)
- Solução tampão de pH 7 (ACS CIENTÍFICA)
- Solução tampão de pH 9 (CRQ)

3.3.1 PREPARO DAS SOLUÇÕES

Solução de hidróxido de sódio (NaOH) $0,1 \text{ molL}^{-1}$: preparada por dissolução de NaOH sólido em água destilada e posteriormente padronizada por titulação com biftalato de potássio, obtendo-se a concentração de $0,1046 \text{ molL}^{-1}$.

Solução estoque de fluoreto de sódio (NaF) $0,9 \text{ molL}^{-1}$: preparada a partir de NaF sólido e utilizada para as soluções padrão da curva analítica, obtidas por diluições sucessivas nas faixas de $0,1$ a $1 \times 10^{-9} \text{ molL}^{-1}$.

Tampão TISAB II + EDTA: preparado misturando 57 mL de ácido acético glacial, 58,0 g de NaCl e 4,0 g de EDTA, dissolvidos em aproximadamente 800 mL de água destilada. O pH foi ajustado para 6,0 com solução de NaOH 5 molL^{-1} e o volume completado para 1 L. Essa solução foi utilizada para controlar a força iônica das soluções analisadas e complexar interferentes durante as medidas de fluoreto.

Para os testes utilizando o eletrodo combinado de vidro, foram usadas soluções tampão de pH 4, 7 e 9.

Todas as soluções de estoque e tampão feitas foram armazenadas em frascos de vidro âmbar.

3.3.2 AMOSTRAS

As amostras foram adquiridas no comercial local (Alfenas-MG):

- Refrigerante (previamente desgaseificado por ultrassom)
- Vinagre
- Sabonete líquido
- Soro fisiológico
- Solução de bicarbonato de sódio
- Água mineral
- Água sanitária

3.3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS

O preparo das amostras se deu da seguinte forma:

As amostras de Vinagre e água sanitária foram preparadas por diluição com água em uma proporção de 1:10 (v/v), a amostra de bicarbonato de sódio foi preparada em uma proporção de 1:10 (m/v), a amostra de sabonete líquido foi diluído 0,5 g em 50 mL de água destilada e as amostras de refrigerante, soro fisiológico e água mineral foram usadas diretamente no pHmetro sem necessidade de nenhum preparo anterior.

3.4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para o eletrodo combinado de vidro foram realizados testes de tempo de estabilização do eletrodo, calibração do equipamento utilizando tampões, titulação potenciométrica de uma amostra de vinagre e testes comparativos com o pHmetro comum de bancada.

Os testes utilizando o eletrodo íon-seletivo de flúor foram: curva de calibração, cálculos do limite de detecção e quantificação e teste de adição e recuperação.

3.4.1 ESTUDO DO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO SINAL

Para determinar o tempo de estabilização do sinal, foram testados tampões de pH 4, 7 e 9 em conjunto com soluções de HCl e NaOH 0,1 molL⁻¹

O eletrodo foi imerso na solução e o potencial foi monitorado durante 10 minutos, registrando-se os valores durante todo o período.

O objetivo foi identificar o tempo necessário para que o sinal atingisse um estado estacionário.

3.4.2 TESTE COMPARATIVO COM O PHMETRO CONVENCIONAL

Para avaliar o desempenho do sistema de medição desenvolvido, foi realizado um teste comparativo entre o pHmetro construído e um pHmetro de bancada comercial de modelo mPA-210P da marca MS Tecnopon disponível no laboratório.

As medições foram efetuadas sob as mesmas condições experimentais, utilizando diferentes amostras com faixas de pH variadas, de modo a verificar a

precisão e linearidade do sistema desenvolvido em relação ao equipamento de referência.

Para cada amostra, foram medidos os valores de pH em ambos os equipamentos, e os resultados foram posteriormente comparados por meio do gráfico (Figura 9) e do teste t pareado, a fim de verificar se havia diferença estatisticamente significativa entre os métodos.

3.4.3 TITULAÇÃO DE ÁCIDO ACÉTICO EM VINAGRE

Para a determinação da concentração de ácido acético no vinagre, foi preparada uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) $0,1 \text{ molL}^{-1}$, posteriormente padronizada, obtendo-se uma concentração exata de $0,1046 \text{ molL}^{-1}$.

A titulação foi realizada empregando vinagre comercial previamente diluído, adicionando-se 5 mL de vinagre em um balão volumétrico de 50 mL e completando-se o volume com água destilada.

Em seguida, alíquotas de 10 mL da solução diluída foram tituladas em triplicata com a solução de NaOH padronizada.

O ponto de equivalência foi determinado a partir da segunda derivada da curva de titulação obtida (Figura 12).

3.4.4 DETERMINAÇÃO POTENCIOMÉTRICA COM ELETRODO DE FLÚOR

O eletrodo íon-seletivo utilizado foi o modelo PF-2-01, cuja ficha técnica indica uma faixa de detecção para íons fluoreto entre 1×10^{-1} e $1 \times 10^{-6} \text{ molL}^{-1}$.

Para a calibração do eletrodo, as soluções padrão foram preparadas e posteriormente diluídas na proporção de 1:10, adicionou-se também a solução estoque de TISAB II antes de completar o volume.

As medições foram realizadas durante 6 minutos, registrando-se os valores de potencial (ddp) ao longo do tempo. Para o cálculo do ponto representativo de cada padrão, considerou-se a média dos 60 últimos valores registrados e a partir desses valores médios foi construída a curva analítica do eletrodo (Figura 13).

3.4.5 TESTE DE ADIÇÃO E RECUPERAÇÃO

Para o teste de adição e recuperação foram selecionadas quatro amostras de água mineral e uma amostra de água de torneira proveniente do próprio laboratório. O preparo das amostras foi realizado em balões volumétricos de 50 mL, contendo 40 mL da amostra, 5 mL de TISAB II e 5 mL de água destilada.

Nas amostras em que o padrão foi adicionado, os 5 mL de água destilada foram substituídos por 5 mL da solução padrão de fluoreto com concentração de 1×10^{-3} molL⁻¹ (pF 3).

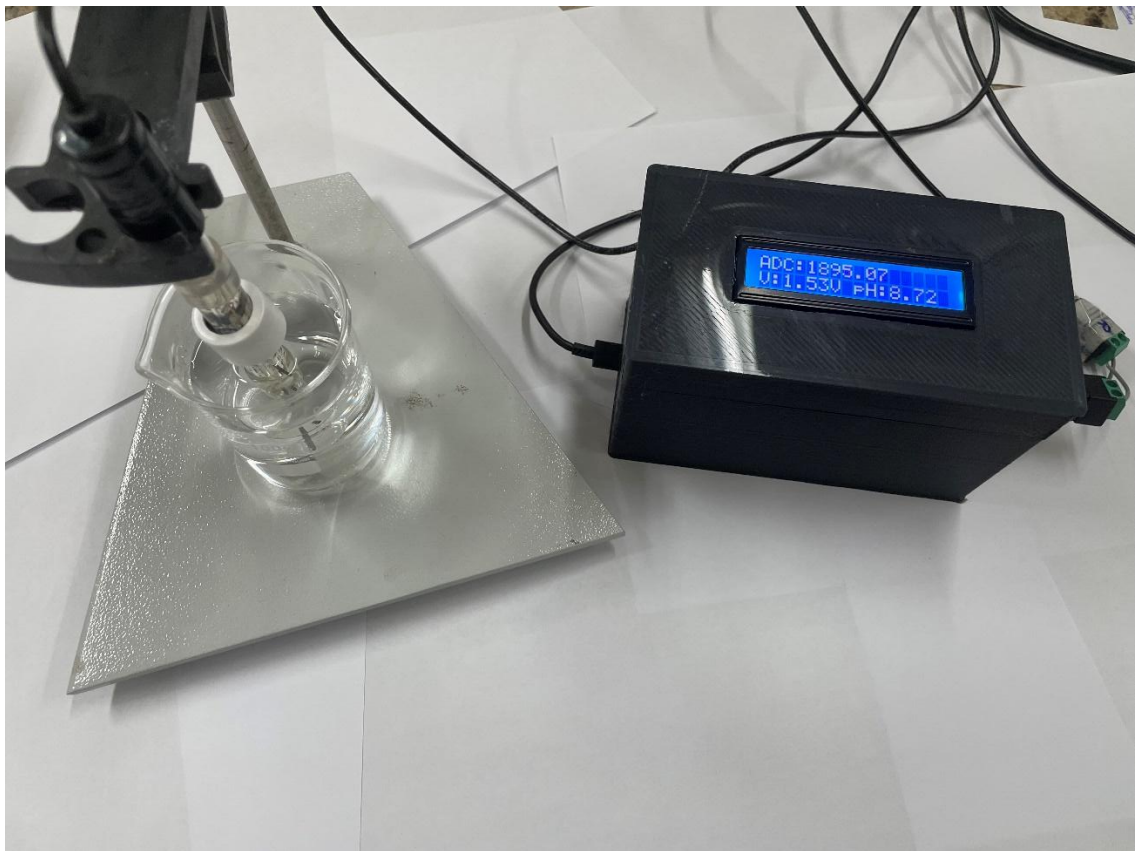
As medições foram conduzidas sob as mesmas condições utilizadas na calibração, registrando-se os dados durante 6 minutos e considerando-se os últimos 60 valores para o cálculo da concentração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MONTAGEM DO POTENCIÔMERO

A montagem do sistema foi realizada seguindo o esquema mostrado na Figura 2 dentro da caixa impressa pela impressora 3D.

Figura 5: Potenciômetro montado



Fonte: Produzida pelo autor

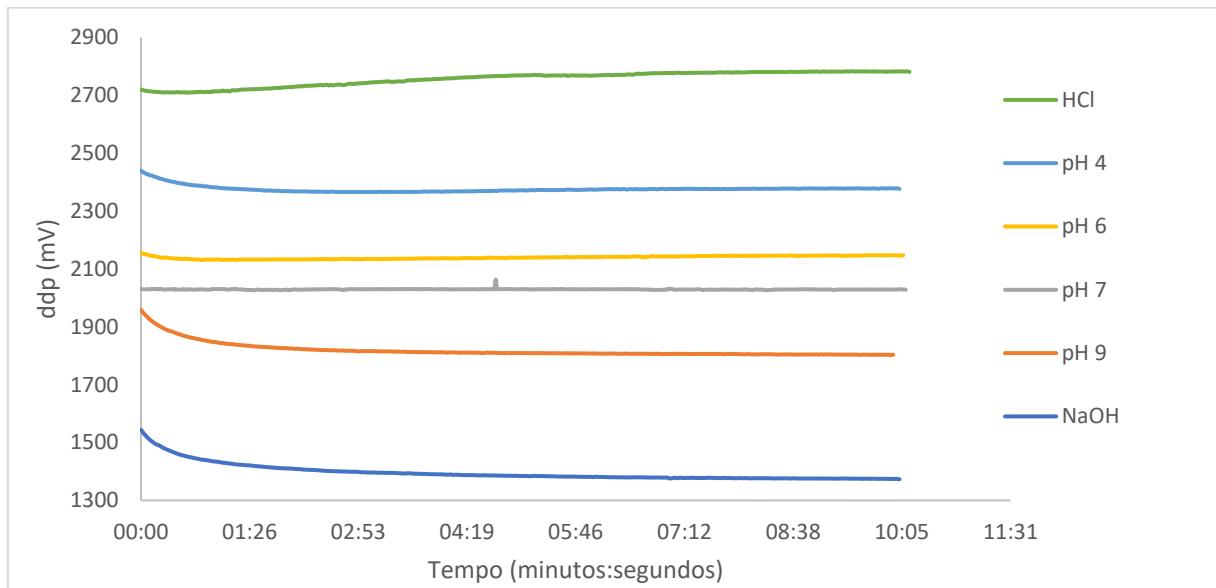
4.2.1 TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO

O monitoramento do sinal do eletrodo ao longo de 10 minutos está apresentado na Figura 6 e pode ser melhor observado na Figura 7, onde é possível observar a diminuição gradual das variações no potencial até atingir um nível estável.

Com base nos dados obtidos, foi definido que 6 minutos representam o tempo necessário para a estabilização do eletrodo, uma vez que após esse período as oscilações ocorrem apenas na última casa decimal do valor do potencial.

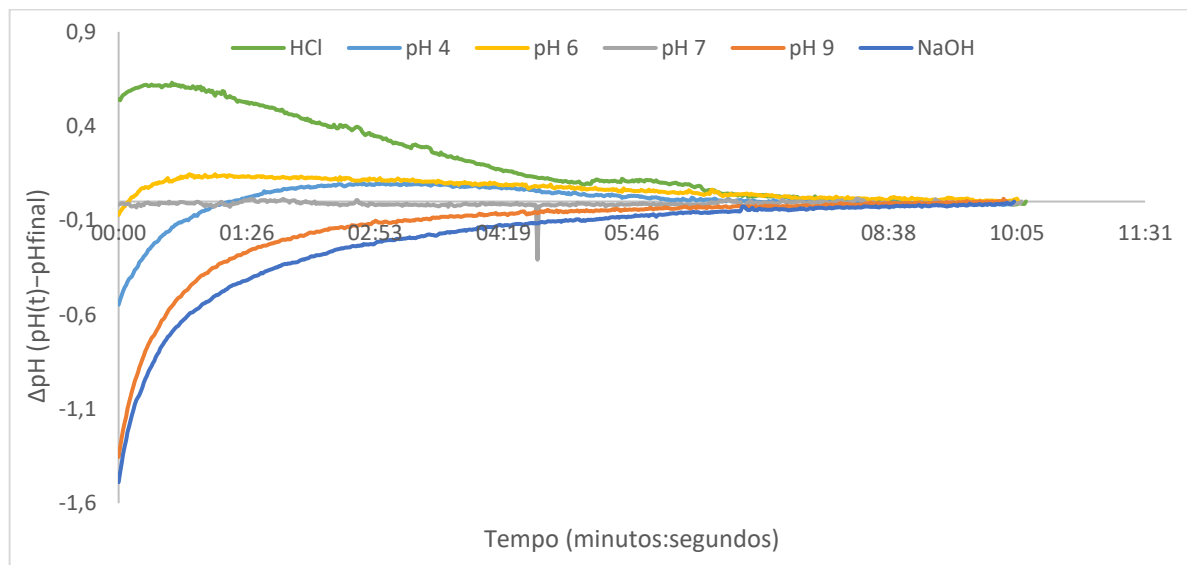
Assim, todas as medições subsequentes foram realizadas considerando um tempo mínimo de 6 minutos, sendo mais que o suficiente para garantir a reprodutibilidade dos resultados.

Figura 6: Variação da diferença de potencial com o tempo



Fonte: Produzida pelo autor

Figura 7: $\Delta\text{pH} \times \text{Tempo}$

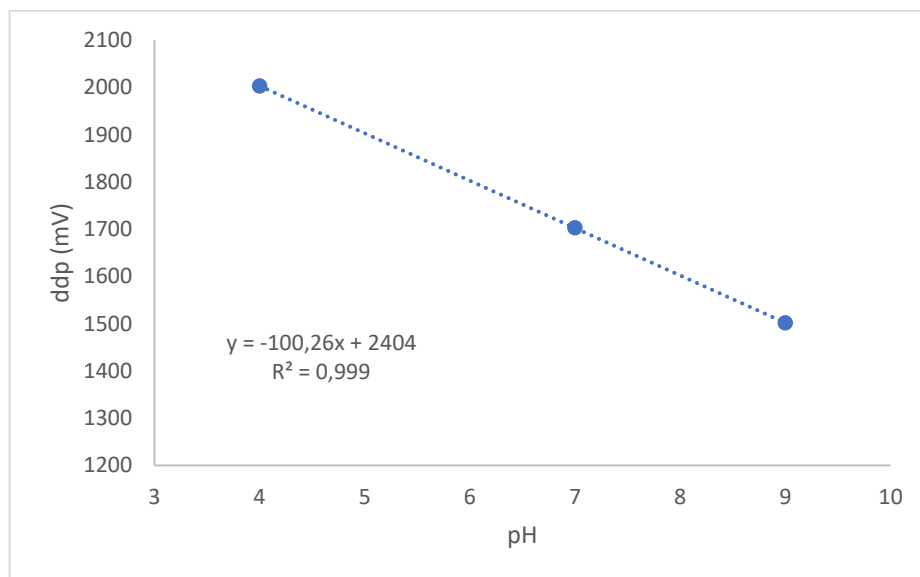


Fonte: Produzida pelo autor

4.2.2 CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ELETRODO DE VIDRO

Após a determinação do tempo adequado de estabilização do eletrodo, o sistema foi calibrado seguindo estes mesmos parâmetros, foram usadas soluções tampão de pH 4, 7 e 9 para a calibração do eletrodo de vidro, e com a calibração e posterior cálculo da coeficientes angular e linear da curva de calibração (Figura 8) verificou-se que o eletrodo apresentou uma resposta sobre Nernstiana, que pode ser observado pelo resultado do coeficiente angular de 100,26 mV/pH, esse fato se deve a uma possível ampliação do sinal adquirido, pelo circuito eletrônico, antes da aquisição.

Figura 8: Curva de Calibração



Fonte: Produzida pelo autor

4.2.3 TESTE COMPARATIVO COM PHMETRO CONVENCIONAL

A

Tabela 1 apresenta os valores de pH obtidos para cada amostra com o sistema desenvolvido e com o pHmetro de bancada. Observa-se que os resultados foram próximos entre si em todas as amostras analisadas com erros percentuais entre -

10,71% e 1,27%, sendo um erro mais pronunciado apenas na região de pH mais ácido.

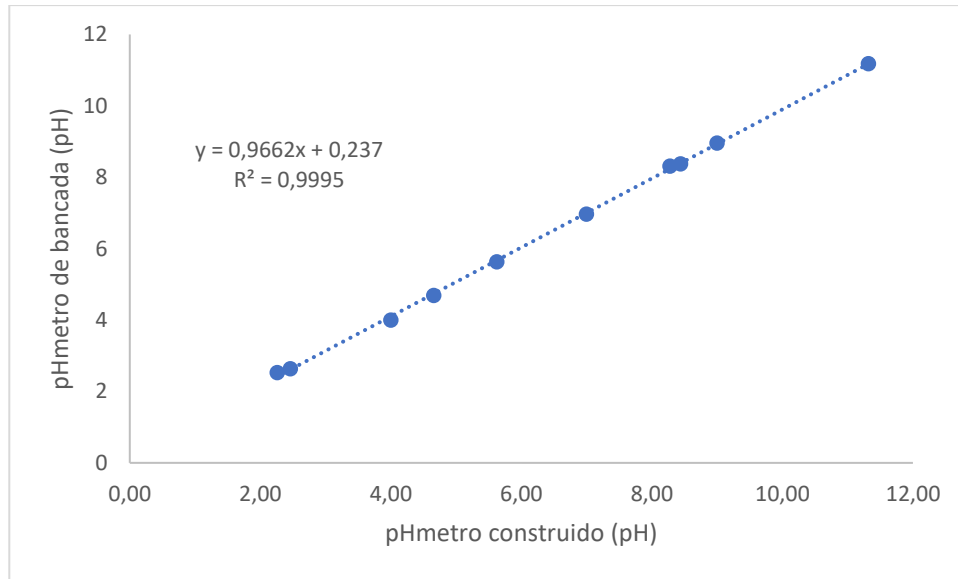
Tabela 1: Teste comparativo de diferentes amostras

Amostras	Sistema	pHmetro de bancada	Erro %
Refrigerante	2,26	2,53	-10,71%
Vinagre	2,46	2,64	-6,70%
Tampão pH 4	4,00	4,00	0,03%
Sabão	4,66	4,69	0,62%
Soro fisiológico	5,62	5,63	0,09%
Tampão pH 7	7,00	6,97	0,38%
Bicarbonato	8,28	8,31	-0,35%
Água potável	8,44	8,38	0,70%
Tampão pH 9	9,00	8,96	0,47%
Água sanitária	11,32	11,18	1,27%

Fonte: Produzida pelo autor

A representação gráfica dos dados (Figura 9) demonstra uma forte linearidade entre os valores de pH obtidos pelos dois instrumentos. O coeficiente angular da reta próximo de 1 indica que as medições realizadas com o sistema desenvolvido apresentam excelente concordância com os valores obtidos pelo pHmetro de bancada.

Figura 9: pH bancada × pH construído



Fonte: Produzida pelo autor

Para verificar a diferença entre os valores obtidos com o pHmetro de bancada e o pHmetro desenvolvido no laboratório, aplicou-se o teste t pareado. O resultado obtido foi $t(8) = 0,65$, com $p = 0,537$ (bicaudal), indicando que não houve diferença estatisticamente significativa entre os dois métodos.

O p-valor superior a 0,05 mostra que os resultados do pHmetro desenvolvido são estatisticamente equivalentes aos do pHmetro de bancada comercial. Isso sugere que o equipamento construído apresenta desempenho adequado para medições de pH em condições experimentais semelhantes, corroborando sua viabilidade como alternativa de baixo custo para análises de pH.

4.2.4 TITULAÇÃO DE ÁCIDO ACÉTICO NO VINAGRE

O Primeiro passo para a realização da titulação foi a produção de uma solução de Hidróxido de sódio $0,1 \text{ molL}^{-1}$ que foi posteriormente padronizada e determinada a sua concentração sendo de $0,1046 \text{ molL}^{-1}$.

A titulação escolhida foi a Titulação de Ácido Acético em Vinagre, então foram diluídos 5mL de vinagre em um balão volumétrico de 50mL, e a titulação foi realizada em triplicada usando-se alíquotas de 10mL do balão.

As titulações do vinagre com solução de NaOH $0,1046 \text{ mol L}^{-1}$ resultaram em volumes de equivalência médios de $6,819 \pm 0,017 \text{ mL}$, determinados a partir da primeira derivada da curva de titulação (Figura 11).

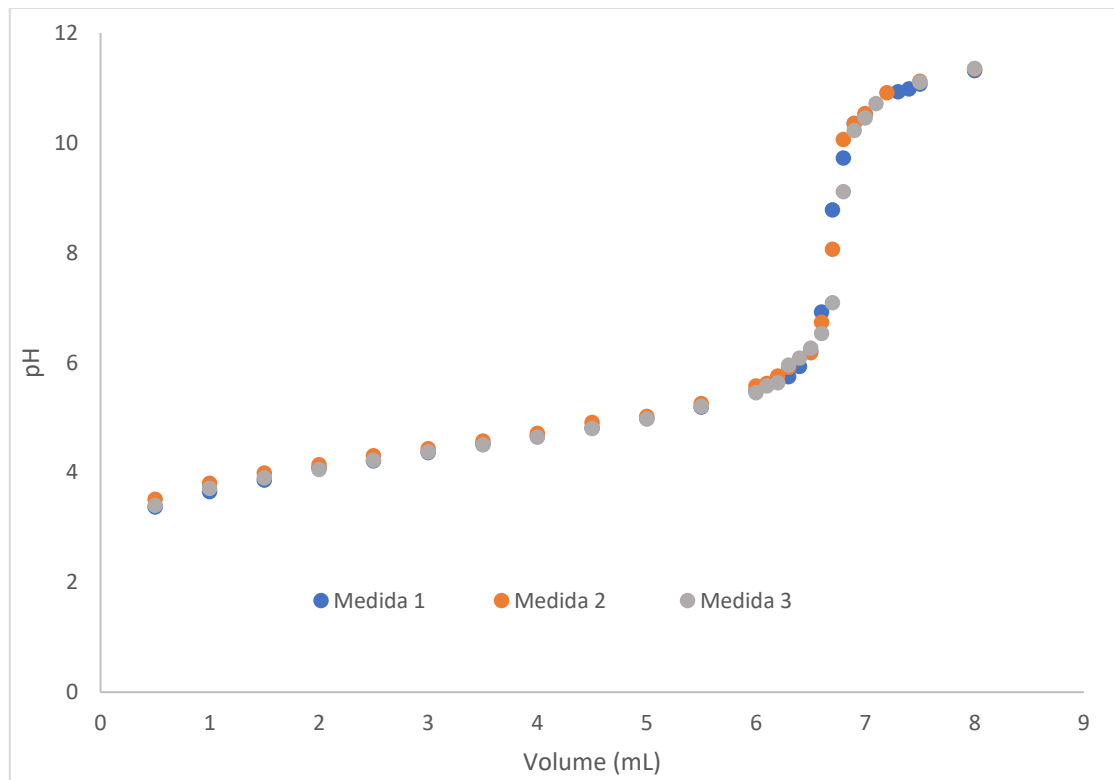
A partir desses valores, calculou-se a concentração média de ácido acético de $0,713 \pm 0,002 \text{ mol L}^{-1}$, o que corresponde a $4,28 \pm 0,01 \%$ (m/v). Os resultados obtidos estão em conformidade com os valores esperados para vinagres comerciais, que geralmente apresentam teor de ácido acético entre 4 e 6% (m/v).

Tabela 2: Titulação de Ácido Acético em vinagre por NaOH

Titulação	V_{eq} (mL)	C_{vinagre} (mol L^{-1})	Ácido (g L^{-1})	% (m/v)
1	6,80	0,711	42,7	4,27
2	6,82	0,714	42,9	4,29
3	6,83	0,715	43,0	4,30
Média \pm DP	$6,82 \pm 0,02$	$0,71 \pm 0,02$	$42,8 \pm 0,1$	$4,28 \pm 0,01$

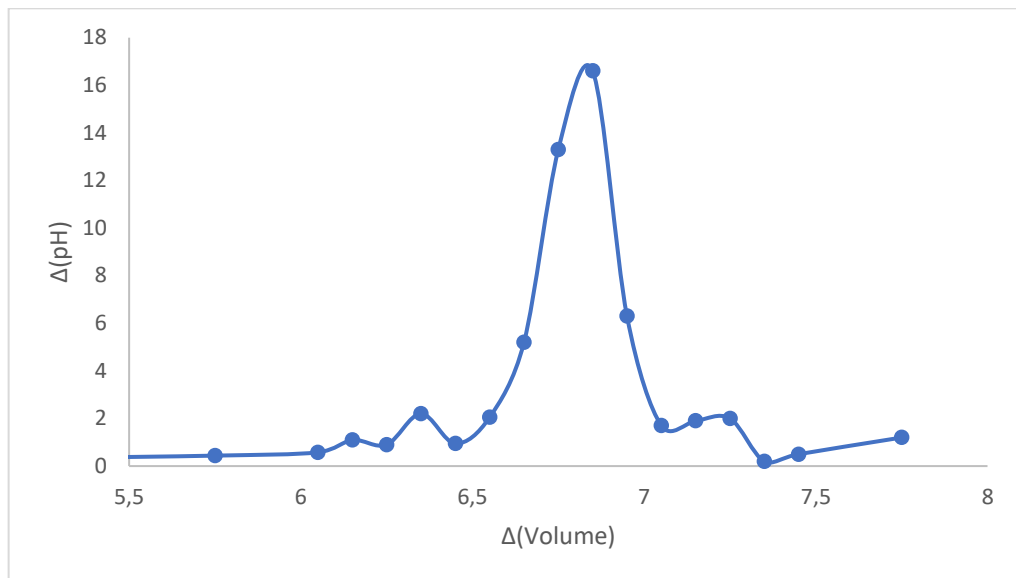
Fonte: Produzida pelo autor

Figura 10: Titulação de ácido acético em vinagre



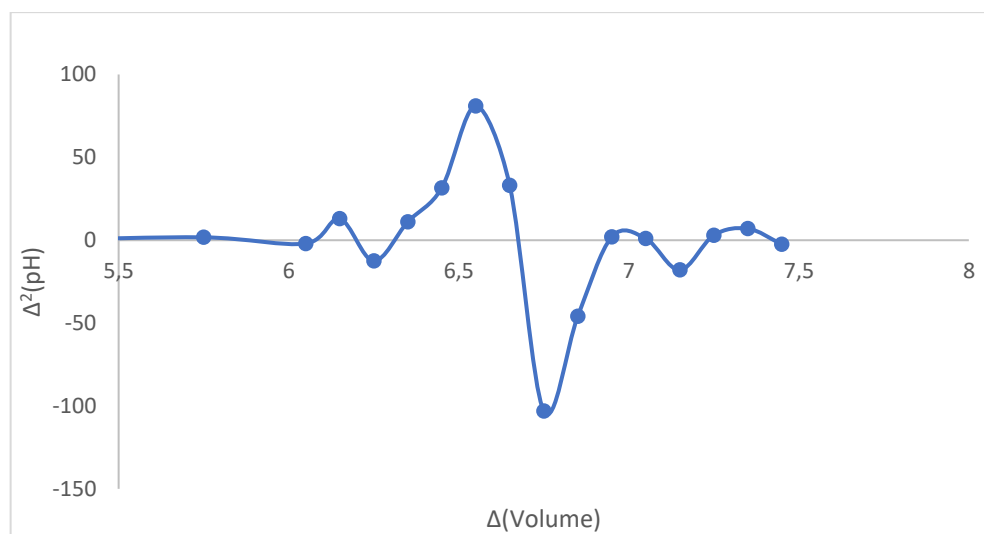
Fonte: Produzida pelo autor

Figura 11: Primeira Derivada



Fonte: Produzida pelo autor

Figura 12: Segunda Derivada



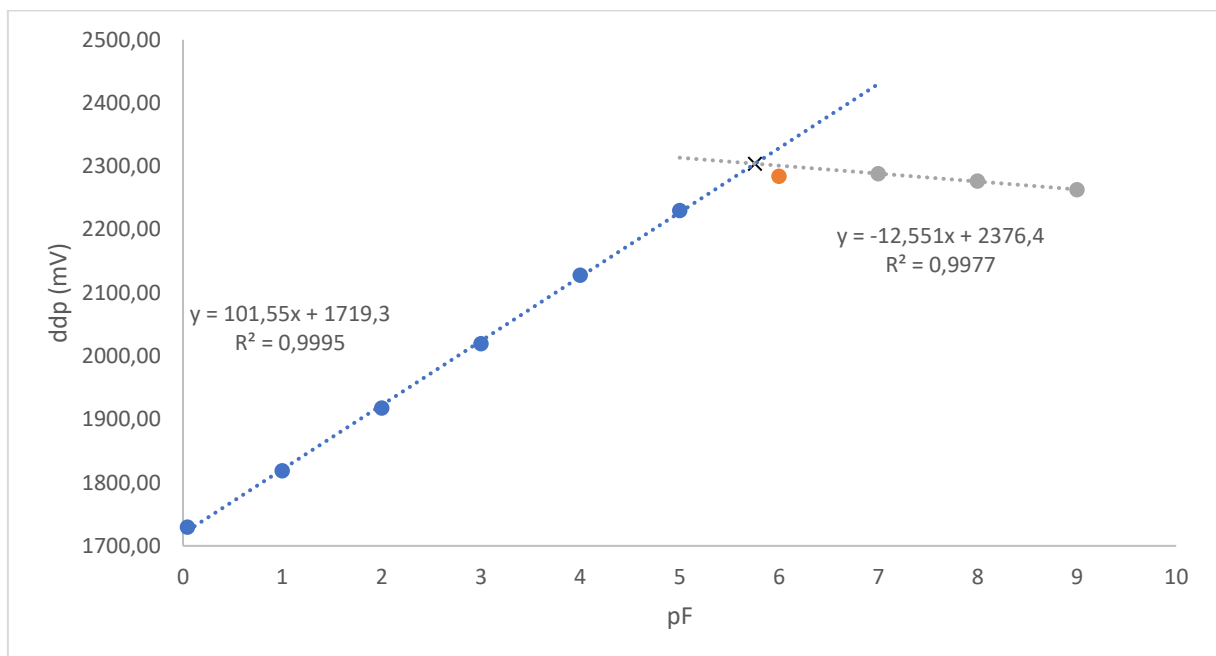
Fonte: Produzida pelo autor

4.3 ELETRODO ÍON-SELETIVO DE FLUOR

A curva de calibração obtida para o eletrodo PF-2-01 apresentou comportamento linear dentro da faixa de concentração avaliada, conforme esperado para eletrodos íon-seletivos de fluoreto.

Os resultados mostraram boa estabilidade de potencial e repetibilidade das medições, indicando que o tempo de 6 minutos foi adequado para o equilíbrio da resposta eletroquímica e para a determinação confiável do potencial de cada padrão.

Figura 13: Diferença de potencial x pF (-log [Concentração de flúor])



Fonte: Produzida pelo autor

4.3.1 LIMITE DE DETECÇÃO ELETRODO DE FLUOR

Com os pontos então plotados no gráfico, foram feitos os ajustes lineares com os pontos de concentração $0,9$ a 1×10^{-5} molL⁻¹ e de 1×10^{-7} a 1×10^{-9} molL⁻¹ para a determinação do limite de detecção (LD) que é determinado através do ponto de intersecção das duas retas, o qual foi igual a $1,74 \times 10^{-6}$ molL⁻¹.

4.3.2 TESTE DE ADIÇÃO E RECUPERAÇÃO

Os resultados obtidos no teste de adição e recuperação indicaram porcentagens de recuperação entre 91% e 103% (Tabela 3).

Esses valores estão dentro da faixa considerada aceitável para esse tipo de análise, que segundo o INMETRO (2020) varia entre 80% e 110% para as concentrações avaliadas (Tabela 4).

Portanto, os resultados demonstram que o método utilizado apresenta boa exatidão e é adequado para a determinação da concentração de fluoreto nas amostras analisadas.

Tabela 3: Teste de adição e recuperação de flúor em amostras de água

Amostra de água	Conc. Adicionada (mg L⁻¹)	Conc. Obtida (mg L⁻¹)	% Recuperação
1	0	0,26	91,70
	3,63	3,58	
2	0	0,45	103,25
	3,63	4,19	
3	0	0,44	103,20
	3,63	4,18	
4	0	0,64	92,78
	3,63	4,00	
5	0	1,60	101,66
	3,63	5,29	

Fonte: produzida pelo autor

Tabela 4: Critério de aceitação para recuperação

Analito, %	Fração Mássica (C)	Unidade	Recuperação média, %
100	1	100%	98 - 102
10	10 ⁻¹	10%	98 - 102
1	10 ⁻²	1%	97 - 103
0,1	10 ⁻³	0,1%	95 - 105
0,01	10 ⁻⁴	100 ppm (mg/kg)	90 - 107
0,001	10 ⁻⁵	10 ppm (mg/kg)	80 - 110

0,0001	10^{-6}	1 ppm (mg/kg)	80 – 110
0,00001	10^{-7}	100 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	80 – 110
0,000001	10^{-8}	10 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	60 – 115
0,0000001	10^{-9}	1ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	40 – 120

Fonte: inmetro, 2020

5. CONCLUSÃO

Construiu-se o potenciômetro portátil com componentes de baixo custo, a interface web desenvolvida permitiu a visualização e exportação de dados, facilitando o tratamento e a análise dos resultados. As medidas de pH produziram resultados semelhantes aos equipamentos comerciais e indicaram confiabilidade do sistema. A avaliação do eletrodo íon-seletivo de flúor, incluindo a determinação dos limites de detecção e quantificação, bem como os testes de adição e recuperação, apresentaram boas detectabilidade, exatidão e precisão. Este Voltímetro representa uma alternativa promissora para aplicações em aulas práticas de Química Analítica Instrumental e na determinação de analitos por potenciometria, com potencial para automação e melhorias futuras.

REFERÊNCIAS

- ARUSCAVAGE, P. J.; CAMPBELL, E. Y. **An ion-selective electrode method for determination of chlorine in geological materials.** *Talanta*, v. 30, n. 10, p. 745–749, 1983. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0039914083801714>>.
- BABIUCH, M.; FOLTÝNEK, P.; SMUTNÝ, P. **Using the ESP32 microcontroller for data processing.** maio 2019, [S.l: s.n.], maio 2019. p. 1–6.
- CADEADO, A. N. S. *et al.* **A palm-sized wireless device for colorimetric nitrite determination in water.** *Microchemical Journal*, v. 183, p. 108138, 1 dez. 2022.
- DA SILVA, J.; LAIDENS GRAZIELA. **Uma abordagem multidisciplinar nos experimentos de potenciometria.** [S.l: s.n.], 2001.
- DIMESKI, G.; BADRICK, T.; JOHN, A. S. **Ion Selective Electrodes (ises) and interferences—A review.** *Clinica Chimica Acta*, v. 411, n. 5, p. 309–317, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009898109006287>>.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP-WROOM-32: Wi-Fi + Bluetooth Module Datasheet.** [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1179101/ESPRESSIF/ESP-WROOM-32.html>>.
- FERNANDES, J. C. B.; KUBOTA, L. T.; OLIVEIRA NETO, G. DE. **Eletrodos íon-seletivos: histórico, mecanismo de resposta, seletividade e revisão dos conceitos.** *Química Nova*, v. 24, n. 1, fev. 2001. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422001000100020&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.

LUIZ FERNANDO GABRIEL LUZ. **Determinação potenciométrica de íons cloreto utilizando análise por injeção em fluxo com materiais de baixo custo.** Ituiutaba: [s.n.], 19 fev. 2018.

MENDES, A. L. G. *et al.* **A sample preparation method for fluoride detection by potentiometry with ion-selective electrode in medicinal plants.** *Journal of Fluorine Chemistry*, v. 231, p. 109459, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022113920300105>>.

RAI, P.; REHMAN, M. **ESP32 based smart surveillance system.** jan. 2019, [S.I.]: IEEE, jan. 2019. p. 1–3. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8673463/>>.

SILVA, J. G. DA; LEHMKUHL, A.; ALCANFOR, S. K. DE B. **Construção artesanal de um eletrodo íon seletivo a chumbo(II): uma alternativa para disciplinas experimentais.** *Química Nova*, v. 32, n. 4, p. 1055–1058, 2009.

APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE DO ESP32 PARA O POTENCIÔMETRO

O código abaixo foi desenvolvido no Arduino IDE e carregado no microcontrolador ESP32. Ele é responsável pela leitura do sinal analógico do eletrodo, cálculo do valor de pH, exibição dos resultados no display LCD e comunicação serial para envio de dados ao computador. Além disso, implementa uma rotina de calibração e armazenamento dos coeficientes angular e linear em memória não volátil.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Preferences.h> // Biblioteca para salvar em memória não volátil

// Define o endereço I2C e o tamanho do LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Ajuste o endereço I2C se necessário

const int potPin = 34; // Pino do potenciômetro (GPIO 34)
const float vRef = 3.3; // Tensão de referência do ESP32
const int adcMax = 4095; // Valor máximo do ADC

char comando;
int valor = 20000; // Número de leituras para média
float pH;
int potValue = 0;
float Med = 0;
int n = 0;
float medm;
float angular = 1;
float linear = 0;
bool calibra = false;

// Objeto Preferences para gerenciar a memória não volátil
Preferences preferences;

void FSinal() {
  // Lê os valores do potenciômetro e acumula para fazer a média
  Med = analogRead(potPin) + Med;
  n = n + 1;

  if (n > valor) {
    medm = Med / n;
    n = 0;
    Med = 0;

    // Converte ADC para tensão
    float voltage = (medm / adcMax) * vRef;

    // Calcula o pH
    if (calibra) {
      pH = medm;
    } else {
      pH = medm * angular + linear;
    }
  }
}
```

```

    // Envia os valores pelo Serial
    Serial.print("ADC: ");
    Serial.print(medm);
    Serial.print(" | Voltage: ");
    Serial.print(voltage);
    Serial.print("V | pH: ");
    Serial.println(pH);

    // Exibe os valores no LCD
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("ADC:");
    lcd.print(medm);
    lcd.print(" ");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("V:");
    lcd.print(voltage, 2);
    lcd.print("V pH:");
    lcd.print(pH);
}
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(1000);

    // Inicializa o I2C e o LCD
    Wire.begin(33, 25); // Pinos I2C do ESP32 (SDA = GPIO 33, SCL = GPIO
25)
    lcd.begin();
    lcd.backlight();

    // Mensagem inicial no LCD
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Iniciando...");
    delay(2000);
    lcd.clear();

    // Inicia o Preferences para salvar valores na memória não volátil
    preferences.begin("ph-calib", false);

    // Recupera os valores salvos
    angular = preferences.getFloat("angular", 1.0);
    linear = preferences.getFloat("linear", 0.0);
    valor = preferences.getInt("valor", 20000);
}

void loop() {
    if (Serial.available() > 0) {
        comando = Serial.read();
    }

    if (comando == 'R') {
        valor = Serial.parseInt();
        preferences.putInt("valor", valor);
        calibra = false;
    }

    if (comando == 'A') {
        angular = Serial.parseFloat();
        preferences.putFloat("angular", angular);
    }
}

```

```
}  
if (comando == 'L') {  
    linear = Serial.parseFloat();  
    preferences.putFloat("linear", linear);  
}  
if (comando == 'C') {  
    calibra = true;  
}  
  
// Chama a função para calcular e exibir os valores  
FSinal();  
}
```



```

    flex: 1;
    min-width: 360px;
    max-width: 700px;
    background-color: var(--box-light);
    transition: background 0.3s;
  }

[data-theme="dark"] .box {
  background-color: var(--box-dark);
}

button {
  margin: 6px;
  padding: 10px 20px;
  font-size: 15px;
  border: none;
  border-radius: 8px;
  background-color: var(--primary);
  color: white;
  cursor: pointer;
  box-shadow: 0 3px 6px rgba(0,0,0,0.1);
  transition: all 0.2s ease-in-out;
}

button:hover {
  background-color: var(--primary-hover);
  transform: scale(1.03);
}

input {
  padding: 6px;
  margin: 4px;
  width: 90px;
  border-radius: 5px;
  border: 1px solid #ccc;
}

canvas {
  margin-top: 10px;
}

h1, h3 {
  margin-bottom: 10px;
}
</style>
</head>
<body>
  <h1>Monitor de pH</h1>
  <div class="container">
    <div class="box" style="flex: 3">
      <button id="toggleConnection">Conectar ao ESP32</button>
      <button id="saveData">Salvar Dados</button>
      <button id="clearChart">Limpar Gráfico</button>
      <p><strong>Valor de pH:</strong> <span id="phValue">--
</span></p>
      <p><strong>Sinal ADC:</strong> <span id="adcValue">--
</span></p>
      <p><strong>Voltagem:</strong> <span id="voltageValue">--</span>
mV</p>
      <canvas id="phChart" width="600" height="300"></canvas>
    </div>
  </div>

```

```

    <div class="box" style="flex: 1">
      <h3>Calibração</h3>
      <label>Coef. Angular: <input type="number" id="angular"
step="0.01"></label><br>
      <label>Coef. Linear: <input type="number" id="linear"
step="0.01"></label><br>
      <label>Número de Leituras: <input type="number"
id="numReadings"></label><br>
      <button id="updateCalib">Atualizar</button>

      <h3>Inserir Pontos de Calibração</h3>
      <div id="calibrationPoints">
        <div class="point">
          <input type="number" placeholder="Sinal" class="signal">
          <input type="number" placeholder="pH" class="ph">
        </div>
        <div class="point">
          <input type="number" placeholder="Sinal" class="signal">
          <input type="number" placeholder="pH" class="ph">
        </div>
      </div>
      <button id="addPoint">Adicionar Ponto</button>
      <button id="removePoint">Remover Ponto</button>
      <canvas id="calibrationChart" width="200"
height="100"></canvas>
      <p><strong>Coef. Angular:</strong> <span id="slope">--
</span></p>
      <p><strong>Coef. Linear:</strong> <span id="intercept">--
</span></p>
      <p><strong>R²:</strong> <span id="rSquared">--</span></p>
    </div>

    <script>
      const themeMediaQuery =
window.matchMedia("(prefers-color-scheme: dark)");

      function applyTheme(e) {
        document.documentElement.setAttribute("data-theme",
e.matches ? "dark" : "light");
      }

      // Aplica o tema inicial
      applyTheme(themeMediaQuery);

      // Escuta mudanças no tema do sistema
      themeMediaQuery.addEventListener("change", applyTheme);

      let port, writer, reader;
      let reading = false;
      let chart, calibrationChart;
      let phData = [], labels = [], dataHistory = [];
      let calibrationData = [], slope = 0, intercept = 0, rSquared = 0;
      const maxPoints = 3000;

      document.getElementById("toggleConnection").addEventListener("click", async
() => {
        if (port) {

```

```

        await disconnect();
    } else {
        await connect();
    }
});

async function connect() {
    try {
        port = await navigator.serial.requestPort();
        await port.open({ baudRate: 115200 });

        const decoder = new TextDecoderStream();
        const inputDone = port.readable.pipeTo(decoder.writable);
        reader = decoder.readable.getReader();
        writer = port.writable.getWriter();

        document.getElementById("toggleConnection").textContent =
"Desconectar";
        reading = true;

        let lineBuffer = '';
        while (reading) {
            const { value, done } = await reader.read();
            if (done || !reading) break;
            if (value) {
                lineBuffer += value;
                const lines = lineBuffer.split('\n');
                if (lines.length > 1) {
                    const adcMatch = lineBuffer.match(/ADC:\s*([\d.]+)/);
                    const voltageMatch =
lineBuffer.match(/Voltage:\s*([\d.]+)V/);
                    const phMatch = lineBuffer.match(/pH:\s*([\d.]+)/);

                    if (adcMatch)
document.getElementById("adcValue").textContent = adcMatch[1];
                    if (voltageMatch) {
                        const volts = parseFloat(voltageMatch[1]);
                        const millivolts = volts * 1000;

                        document.getElementById("voltageValue").textContent =
millivolts.toFixed(2); // mostra sem casas decimais
                    }

                    if (phMatch) {
                        const phValue = parseFloat(phMatch[1]);
                        document.getElementById("phValue").textContent =
phValue;

                        updateChart(phValue);
                        dataHistory.push({
                            time: new Date().toLocaleTimeString(),
                            phValue: phValue.toFixed(2),
                            adcValue: adcMatch?.[1] || '--',
                            voltageValue: voltageMatch?.[1] || '--'
                        });
                    }
                }
                lineBuffer = lines[lines.length - 1];
            }
        }
    } catch (error) {
        console.error("Erro ao conectar:", error);
    }
}

```

```

        await disconnect();
    }
}

async function disconnect() {
    reading = false;
    if (reader) {
        try {
            await reader.cancel();
        } catch (e) {}
        reader.releaseLock();
    }
    if (writer) {
        writer.releaseLock();
    }
    if (port) {
        await port.close();
    }
    port = null;
    document.getElementById("toggleConnection").textContent =
"Conectar ao ESP32";
}

    document.getElementById("clearChart").addEventListener("click",
() => {
    phData = [];
    labels = [];
    dataHistory = [];

    // Reatribuir as referências ao gráfico
    chart.data.labels = labels;
    chart.data.datasets[0].data = phData;

    chart.update();
});

    document.getElementById("saveData").addEventListener("click", () => {
        let dataStr = "Histórico de Dados de pH:\n";
        dataStr += "hora:\tpH:\tSinal ADC:\tVoltagem:\t\n";
        dataHistory.forEach(entry => {
            let phFormatado = entry.phValue.toString().replace('.',
',');
            let adcFormatado = entry.adcValue.toString().replace('.',
',');
            let voltageFormatado =
entry.voltageValue.toString().replace('.', ',');
            dataStr +=
`${entry.time}\t${phFormatado}\t${adcFormatado}\t${voltageFormatado}\n`;
        });
        const blob = new Blob([dataStr], { type: "text/plain" });
        const a = document.createElement("a");
        a.href = URL.createObjectURL(blob);
        a.download = "historico_dados_pH.txt";
        a.click();
    });

    document.getElementById("addPoint").addEventListener("click", ()
=> {
        const container = document.getElementById("calibrationPoints");
        const div = document.createElement("div");

```

```

        div.className = "point";
        div.innerHTML = `

```

```

        document.getElementById("intercept").textContent =
intercept.toFixed(5);
        document.getElementById("rSquared").textContent =
rSquared.toFixed(5);
    }

function calculateLinearRegression() {
    let n = calibrationData.length;
    let sumX = 0, sumY = 0, sumXY = 0, sumX2 = 0;
    calibrationData.forEach(p => {
        sumX += p.x;
        sumY += p.y;
        sumXY += p.x * p.y;
        sumX2 += p.x * p.x;
    });

    slope = (n * sumXY - sumX * sumY) / (n * sumX2 - sumX * sumX);
    intercept = (sumY - slope * sumX) / n;

    let ssTotal = 0, ssResidual = 0;
    calibrationData.forEach(p => {
        const predictedY = slope * p.x + intercept;
        ssTotal += Math.pow(p.y - (sumY / n), 2);
        ssResidual += Math.pow(p.y - predictedY, 2);
    });

    rSquared = 1 - (ssResidual / ssTotal);
}

function setupCharts() {
    chart = new Chart(document.getElementById("phChart"), {
        type: "line",
        data: {
            labels,
            datasets: [{
                label: "pH em Tempo Real",
                data: phData,
                borderColor: "#4a90e2",
                backgroundColor: "transparent",
                fill: false
            }]
        },
        options: {
            responsive: true,
            animation: false
        }
    });

    calibrationChart = new
Chart(document.getElementById("calibrationChart"), {
        type: "scatter",
        data: {
            datasets: [{
                label: "Calibração",
                data: calibrationData,
                borderColor: "red",
                backgroundColor: "red",
                showLine: true
            }]
        },
        options: {

```

```
        responsive: true,  
        animation: false  
    }  
});  
}  
  
    setupCharts();  
</script>  
</body>  
</html>
```