

ITERLANDES MACHADO JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE TITULADOR AUTOMÁTICO BASEADO NA
PLATAFORMA *OPEN SOURCE* ARDUINO COMO FERRAMENTA
INVESTIGATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M149
2019 Machado Junior, Iterlandes, 1979-
Desenvolvimento de titularador automático baseado na
plataforma open source Arduino como ferramenta investigativa
no ensino de química / Iterlandes Machado Junior. – Viçosa,
MG, 2019.
xv, 133f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Efraim Lázaro Reis.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.98-105.

1. Potenciometria. 2. Software gratuito. 3. Captopril.
4. Aprendizagem ativa. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Química. Programa de Pós-Graduação
Profissional em Química em Rede Nacional. II. Título.

CDD 22 ed. 543.4

**DESENVOLVIMENTO DE TITULADOR AUTOMÁTICO BASEADO NA
PLATAFORMA *OPEN SOURCE* ARDUINO COMO FERRAMENTA
INVESTIGATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Química em Rede Nacional, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de abril de 2019.



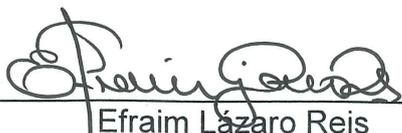
Odilaine Inácio de Carvalho Damasceno



Per Christian Braathen



César Reis
(Coorientador)



Efraim Lázaro Reis
(Orientador)

*Aos meus pais Maria Geralda e Iterlandes Machado por me darem
a vida e zelarem de todas as formas possíveis por mim.
À minha esposa, amiga e companheira, Márcia Onísia da Silva e
aos meus queridos filhos Maria Eduarda e Heitor Filipe, por se
constituírem como a melhor parte da minha existência.
São todos eles o meu maior estímulo e grande amor.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por conceder-me forças para as lutas de cada dia.

A minha mãe Maria Geralda, modelo de disciplina e respeito, por acreditar em mim e tornar tudo isso possível.

Ao meu pai Iterlandes, que sempre me incentivou em buscar somente aquilo que acredito verdadeiramente.

Em memória de minha vovó Terezinha, a mãe-Zú e ao vovô Filipe, que lutaram pela felicidade de toda a nossa família.

Em memória de minha irmã Ednajara, pelos bons tempos de infância.

Em memória dos amigos João Fernandes de Souza, Marcos Antônio da Silva e Murilo Cruz Leal por fazerem de suas vidas uma fonte de inspiração.

Ao Professor Doutor Efraim Lázaro Reis, sempre acompanhando de perto o meu fazer Educação com a Química.

Ao amigo Gervásio Paulo da Silva, pelo compartilhamento de sua experiência como professor/pesquisador.

Aos amigos Wagner Pereira, Luiz Fernando, Júlio César e Marcela Moreira pela cumplicidade e companheirismo na realização desse trabalho.

A todos da secretaria do DEQ e demais companheiros de trabalho que fizeram parte dessa estória e sempre permanecerão vivos em meu coração.

BIOGRAFIA

ITERLANDES MACHADO JUNIOR, filho de Maria Geralda Rodrigues Machado e Iterlandes Machado, nasceu em Curvelo/MG, em 1979. Em 2010, casa-se com Márcia Onísia tendo dois filhos, Maria Eduarda e Heitor Filipe. Possui formação técnica em Química pela Escola Técnica Municipal de Sete Lagoas (ETMSL), graduação em Química (Licenciatura) pela Universidade de Uberaba (UNIUBE) e especialização em Educação Ambiental pelas Faculdades Integradas de Jacarepaguá (FIJ), bem como em Docência no Ensino Superior pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL). Na cidade mineira de Sete Lagoas, atuou no laboratório químico de controle de qualidade da indústria Tecnosulfur - Sistema de Tratamento de Metais Líquidos S/A. Nesse período conseguiu aproveitar boas oportunidades após investir em sua formação média profissionalizante. Todavia, teve influência marcante pelo Prof. João Fernandes de Souza (*in memoriam*) para a escolha da sua carreira docente. Durante a graduação, fez a opção pela modalidade de Licenciatura e, sob orientação do Prof. Per Christian Braathen, publicou o artigo Termômetro de Iodo: Discutindo Reações Químicas e Equilíbrio de Sublimação Usando Material de Baixo Custo e Fácil Aquisição pela Revista Química Nova na Escola (QNEsc). A partir da sua formação inicial e nos anos que se sucederam, tendo lecionado em diversas escolas da rede pública de Minas Gerais, vivenciou momentos em que procurava reproduzir a atuação de professores que admirava até conseguir tomar decisões fruto de sua própria reflexão na/sobre a ação docente. Desde 2010, atua como Técnico-Administrativo da Educação buscando implementar e modificar detalhes instrumentais que viabilizem de forma mais didática e econômica aspectos necessários nos laboratórios de ensino de química da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Tem buscado ampliar os conhecimentos na área de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) baseado na construção de instrumento analítico por meio de metodologias ativas (prototipagem com Arduino, M-Learning, Experimentação Investigativa e YouTube).

"Se, na verdade, não estou no mundo para simplesmente a ele me adaptar, mas para transformá-lo; se não é possível mudá-lo sem um certo sonho ou projeto de mundo, devo usar toda possibilidade que tenha para não apenas falar de minha utopia, mas participar de práticas com ela coerentes." Paulo Freire (1921-1997)

"Não se aprende Química só com observações, experimentos. Se não há um instrumento teórico-conceitual na "mão", nos olhos da pessoa, ela verá coisas, não Química."

Murilo Cruz Leal (1964-2016)

"Podemos julgar nosso progresso pela coragem dos nossos questionamentos e pela profundidade de nossas respostas, nossa vontade de abraçar o que é verdadeiro ao invés daquilo que nos faz sentir bem." Carl Sagan (1934-1996)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Sobre o papel da experimentação no ensino de química	5
2. PROBLEMA DE PESQUISA	8
3. JUSTIFICATIVA	8
4. OBJETIVOS	15
4.1 Objetivo geral	15
4.2 Objetivos específicos	15
5. METODOLOGIA	16
6. REFERENCIAL TEÓRICO	18
6.1. A teoria de dissociação eletrolítica	18
6.2. O desenvolvimento do conceito de pH	21
6.3. Relação entre a constante de equilíbrio de ácido e o conceito de pH	26
6.4. Fundamentos básicos de potenciometria	26
6.5. Princípios da titulação de neutralização	31
6.6. Arduino	33
6.7. Projetos de química com Arduino	36
6.8. Características do captopril	50
6.8.1. Titulação Potenciométrica de Captopril	52
6.9. Avaliação do desempenho do titulador automático	54
7. PARTE EXPERIMENTAL	57
7.1. Reagentes e soluções	57
7.2. Materiais e equipamentos	59
7.3. Construção do titulador automático	60

7.4.	Comunicação de dados.....	72
7.5.	Programação da plataforma Arduino	76
7.6.	Procedimentos e instrumentação analítica.....	79
7.7.	Proposta de experimentação investigativa no ensino de química	82
8.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
8.1.	Resultados da avaliação do desempenho do titulador automático.....	83
8.1.1.	Estudo da vazão	83
8.1.2.	Curva de calibração para o sinal analítico	87
8.1.3.	Validação da titulação potenciométrica.....	89
8.2.	Determinação do teor (mg/comprimido) e valor de pKa do captopril em comprimido farmacêutico	92
8.3.	Socialização da nova tecnologia educacional	95
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
	APÊNDICES.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico, em porcentagem, em Produção de Material Didático na área do Ensino de Química distribuída regionalmente.....	3
Figura 2. Questão extraída da prova ENEM 2014.....	12
Figura 3. Arnaldo de Villa Nova (1235-1311), alquimista, astrólogo e médico espanhol.....	18
Figura 4. Svante Arrhenius (1859-1927), físico e químico sueco em seu laboratório, 1909.....	19
Figura 5. Walther Nernst (1864-1941) em uma palestra no final dos anos 1920.....	21
Figura 6. Sørensen (1868-1939), bioquímico que desenvolveu a escala de pH em 1909.....	23
Figura 7. Esquema de uma cela típica para determinações potenciométricas.....	27
Figura 8. Esquema dos eletrodos de referência prata-cloreto de prata e de calomelano.....	28
Figura 9. Eletrodo de vidro de Haber e Klemensiewicz.....	28
Figura 10. (a) Vista longitudinal da estrutura de um vidro de silicato. (b) Modelo exibindo a estrutura tridimensional da sílica amorfa com íons Na ⁺ (azul-escuros grande) e vários íons H ⁺ azul-escuros pequenos incorporados.....	29
Figura 11. Sistema de eletrodo típico para medida de pH.....	30
Figura 12. Primeiro modelo de peagâmetro construído no Brasil, 1964: (a) seletor de temperatura; (b) seletor de escala; (c) seletor de pH de tampão (calibração); (d) ajuste de zero (grosso/fino). O visor mostra escalas de pH e de milivoltagem. Dimensões: 30 cm de comprimento, 28 cm de largura e 20 cm de altura; m = 3,5 kg. Acervo do Museu da Química Professor Athos da Silveira Ramos.....	30
Figura 13. (a) Curva característica da titulação potenciométrica; (b) Primeira derivada; (c) Segunda derivada.....	32
Figura 14. Placa Arduino e seus componentes.....	34
Figura 15. Entendendo o IDE Arduino.....	35
Figura 16. Vista frontal do fotômetro proposto.....	36
Figura 17. Fotômetro completo com interface do microcontrolador.....	37
Figura 18. Foto da montagem experimental para determinação da entalpia de decomposição do peróxido de hidrogênio.....	37
Figura 19. (A) Dois termômetros (em escala) com termopar e tela LED de 1,2 pol. e sensor direto conectado à display de matriz de pontos de 5 polegadas e (B) configuração de um medidor de pH com display LED.....	38
Figura 20. Construção de um potenciostato usando uma placa de circuito impresso personalizada.....	38
Figura 21. Integrando um Laboratório de Química Instrumental na Internet Industrial: Construção, Programação e Experimentação com Titulador Automático.....	39
Figura 22. Visão geral do projeto e construção de um prato personalizado usando o MEC.....	40
Figura 23. Sensor de condutividade elétrica.....	40
Figura 24. Sensor de pH com transmissão de dados por Bluetooth.....	42

Figura 25. Potenciostato de baixo custo.....	42
Figura 26. Montagem experimental para realização da destilação em escala micro e aquisição de dados, onde A-Condensador, B-Coluna Vigreux, C-Maçarico para aquecimento, D-Plataforma Arduino com visor LCD e E- Sensor de temperatura LM35.....	43
Figura 27. Sistema utilizado para a coleta de dados de luminosidade da reação oscilante de Briggs-Rauscher, onde A-LDR, B-Amostra, C-Laser para arduino, D- Agitador Magnético, E-Plataforma Arduino com protoboard e F-Visor LCD 16x2.....	43
Figura 28. Transmissão do experimento on-line "determinação da entalpia de decomposição do peróxido de hidrogênio" para turma de QF-632 (6º semestre Química - Universidade Estadual de Campinas).....	44
Figura 29. Transmissão de experimento on-line "determinação da ordem da reação em relação ao íon tiosulfato na sua reação com H+" para a turma de QF 531 (5º semestre Química - Universidade Estadual de Campinas).....	44
Figura 30. Transmissão do experimento on-line "construção de um diagrama de miscibilidade fenol-água" para alunos da disciplina K6FQ2 (Físico-química 2, do 6º semestre de licenciatura em Química no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo- IFSP).....	45
Figura 31. Regulador / Medidor de pH - Arduino.....	45
Figura 32. Termômetro de Acessibilidade.....	46
Figura 33. Termômetro vocalizado de laboratório adaptado para DV.....	47
Figura 34. Termômetro vocalizado de laboratório adaptado para DV.....	48
Figura 35. O pHmetro vocalizado desenvolvido pelo grupo de tecnologia assistiva do laboratório de pesquisas em ensino de química e inclusão da UFG.....	48
Figura 36. O pHmetro vocalizado desenvolvido por Soong e colaboradores.....	49
Figura 37. Apresentação do site Brincando com Ideias.....	50
Figura 38. Inibidores ECA.....	51
Figura 39. Fórmula estrutural do captopril.....	52
Figura 40. Curva de titulação potenciométrica do captopril com NaOH $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$	53
Figura 41. Protoboard de montagem do titulador automático.....	60
Figura 42. Principais componentes do sistema de titulação potenciométrica automatizada (sem o gabinete de computador e fonte de 12 v), sendo (A) Rotor Dosador Com Motor 12 Vdc P/ Bomba Peristáltica, (B) Tubo Silicone 3x5 mm Ts-200, (C) Fonte 9V 1A Bivolt, (D) Cooler Micro-Ventilador 40mm x10mm 12V, (E) Módulo Sensor + pH Eletrodo Sonda Bnc Arduino/phmetro, (F) Módulo Relé 2 Canais 5V com acoplador óptico, (G) HC-05 - Módulo Bluetooth, (H) LED 5mm Vermelho Difuso e LED 5mm Verde Difuso, (I) Potenciômetro Linear Rotativo 100k e Knob para Potenciômetro 16mm, (J) Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água, (K) Arduino Uno R3 + Cabo USB – Compatível, (L) Display LCD 16x2 Azul + Adaptador LCD I2C, (M) Haste universal, (N) Jumpers 10cm Macho-Macho e Macho-Fêmea, (O) Protoboard 830 pontos.....	61
Figura 43. Principais componentes do sistema de agitação. (A) Tubo externo de caneta esferográfica, (B) Tubo Silicone 3x5 mm Ts-200, (C) Tubo interno de caneta esferográfica, (D) Ponteira de caneta esferográfica, (E) Tubo capilar de plástico.....	61
Figura 44. Principais componentes do sistema de agitação. (A) Cooler Micro-Ventilador 40mm x10mm 12V, (B) Imã de neodímio extraído de leitor de cd/dvd, (C) Potenciômetro Linear Rotativo 100k e Knob para Potenciômetro 16mm, (D) Caixa Quadro Passagem Elétrica 10cm Pvc Steck Km Disjuntor.....	62

Figura 45. Circuito integrado de Jack Kilby (1958).....	66
Figura 46. Símbolo de um Amplificador Operacional e os principais “pinos”.....	66
Figura 47. Dedução da equação do circuito Amplificador Não-Inversor.....	68
Figura 48. Diagrama esquemático de um módulo de pH.....	69
Figura 49. Módulo DIY MORE PH-4502C e sensor de pH E-201C.....	70
Figura 50. Comunicação com display LCD.....	72
Figura 51. Interface de controle do software PLX-DAQ (Data Acquisition for Excel).....	73
Figura 52. Módulo Bluetooth RS232 HC-05.....	74
Figura 53. Fluxograma representativo da lógica de programação do titulador automático.....	76
Figura 54. Ferramenta de aquisição de dados de paralaxe (PLX-DAQ) integrado ao Excel.....	78
Figura 55. Interface para monitoramento de sensor de pH desenvolvida com o Virtuino.....	78
Figura 56. Sistema de titulação potenciométrica convencional.....	80
Figura 57. Sistema proposto de titulação potenciométrica automatizada.....	80
Figura 58. Esquema de funcionamento do sistema de titulação potenciométrica automatizada.....	81
Figura 59. Caminhos percorridos no processo de construção do conhecimento químico.....	83
Figura 60. Sistema para medida de vazão da válvula peristáltica.....	84
Figura 61. Curva analítica mínimos quadrados para o tempo de injeção.....	85
Figura 62. Curva analítica mínimos quadrados para o intervalo de leitura.....	87
Figura 63. Curva analítica mínimos quadrados para calibração do eletrodo de pH.....	88
Figura 64. Curva de titulação potenciométrica para padronização de NaOH.....	89
Figura 65. Curva de titulação potenciométrica para padronização de HCl.....	91
Figura 66. Curva de titulação potenciométrica para análise de captopril.....	92
Figura 67. QR Code do Procedimento I. Padronização de NaOH.....	94
Figura 68. QR Code do Procedimento II. Padronização de HCl.....	94
Figura 69. QR Code do Procedimento III. Determinação do teor e valor de pka do captopril.....	95
Figura 70. Comunicação científica acerca da nova tecnologia educacional.....	96
Figura 71. Comunicação científica da nova tecnologia educacional.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índices de acertos nas provas do ENEM 2009-2018.....	13
Tabela 2. Potenciais Formais para Eletrodos de Referência em Função da Composição e Temperatura.....	28
Tabela 3. Lista de custos do instrumento desenvolvido.....	62
Tabela 4. Curva analítica para o tempo de injeção.....	85
Tabela 5. Curva analítica para o intervalo de leitura.....	86
Tabela 6. Dados obtidos pela padronização de NaOH.....	90
Tabela 7. Dados obtidos através da padronização de HCl.....	91
Tabela 8. Resultados obtidos pelo método da primeira derivada. T = 26,7 °C.....	93
Tabela 9. Resultados obtidos com o uso do indicador fenolftaleína. T = 26,7 °C.....	93

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABP	Aprendizagem baseada em problemas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CTP	Captopril
CTPM	Colégio Tiradentes da Polícia Militar de Minas Gerais
DEQ	Departamento de Química
ECA	Enzima conversora de angiotensina
EDR	Enhanced Data Rate
E_{ind}	Potencial do eletrodo indicador
E_J	Potencial de junção
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
ENH	Eletrodo Normal de Hidrogênio ($E^\circ = 0\text{ V}$)
E_{ref}	Potencial do eletrodo de referência
ETMSL	Escola Técnica Municipal de Sete Lagoas
FabLabs	Fabulous Laboratories (Laboratórios Fabulosos)
FEM	Força eletromotriz (ΔE)
FIJ	Faculdades Integradas de Jacarepaguá
I2C	Inter-Integrated Circuit (Circuito Inter-Integrado)
ICs	Circuitos integrados
IDE	Integrated Development Environment (Ambiente Integrado de Desenvolvimento)
ISEs	Eletrodos íon-seletivos
ISM	Industrial, Scientific, Medical),
K	Potencial de assimetria
K_a	Constante de dissociação ácida
K_b	Constante de dissociação básica
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LCD	Liquid crystal display (display de cristal líquido)
LED	Light Emitting Diode (Diodo emissor de luz)
MEC	Ministério da Educação
MECs	Componentes Evolutivos Multifluídicos
MOODLE®	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
PC	Personal computer (Computador pessoal)

PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
pH	Potencial hidrogeniônico
PLX-DAQ	Parallax Data Acquisition for Excel
PROFQUI	Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional
PVC	Polyvinyl chloride (Policloreto de polivinila)
QNEsc	Revista Química Nova na Escola
QR Code	Quick Response Code (Código de resposta rápida)
RPM	Rotações por minuto
SRAM	Static Random Access Memory (Memória estática de acesso aleatório)
SSE	Soma dos erros quadrados (Sum of square erros)
TAMAB	Titulador Automático Microcontrolado por Arduino com Aquisição de dados via Bluetooth
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIC	Tecnologia da informação e comunicação
UFV	Uniersidade Federal de Viçosa
UNICSUL	Universidade Cruzeiro do Sul
UNIUBE	Universidade de Uberaba
USB	Universal Serial Bus

RESUMO

MACHADO JUNIOR, Iterlandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2019. **Desenvolvimento de titulador automático baseado na plataforma *open source* Arduino como ferramenta investigativa no ensino de química.** Orientador: Efraim Lázaro Reis. Coorientador: César Reis.

Esse estudo teve como foco principal a construção de um titulador automático de baixo custo e fácil aquisição. Para tanto, usou-se a plataforma *Open Source* Arduino na perspectiva de possibilitar o desenvolvimento de atividades investigativas no ensino de química. A aquisição dos dados experimentais foi realizada via Bluetooth através da integração com o Smartphone e via cabo USB diretamente para a planilha da Microsoft Excel. Os resultados foram comparados com a titulação potenciométrica clássica, não apresentando diferenças estatisticamente significativas com aplicação do teste t pareado a 95% de confiança. A proposta de ensino por investigação teve por finalidade determinar experimentalmente o valor de pK_a do captopril, medicamento usado como anti-hipertensivo. Essa metodologia de aprendizagem ativa privilegia o trabalho em grupos colaborativos e a participação do estudante na construção de seu conhecimento. Um maior aprofundamento acerca das possibilidades de formação docente por meio da aplicação desse instrumento e de outros projetos de química com Arduino em cursos de capacitação profissional a nível de graduação e/ou pós-graduação carece de ser problematizado.

ABSTRACT

MACHADO JUNIOR, Iterlandes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2019. **Development of automatic titrator based on the open source platform Arduino as an investigative tool in the teaching of chemistry.** Adviser: Efraim Lázaro Reis. Co-adviser: César Reis.

This study had as main focus the construction of an automatic titrator of low cost and easy acquisition. For that, the *Open Source* Arduino platform was used in order to enable the development of research activities in the teaching of chemistry. The acquisition of the experimental data was performed via Bluetooth through integration with the Smartphone and via USB cable directly to the Microsoft Excel worksheet. The results were compared with the classical potentiometric titration, showing no statistically significant differences with the t-test applied at 95% confidence level. The purpose of the research teaching proposal was to experimentally determine the pK_a value of captopril, that it is used with antihypertensive drug. This active learning methodology privileges work in collaborative groups and student participation in the construction of their knowledge. Further research on the possibilities of teacher training through the application of this instrument and other chemistry projects with Arduino in professional qualification courses at undergraduate and / or postgraduate level needs to be problematized.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O desenvolvimento da Educação em Química no Brasil abrange diferentes áreas de interesse, sendo Currículo e Avaliação, Ensino e Aprendizagem, Ensino e Cultura, Ensino em espaços não formais, Experimentação no Ensino, Formação de professores, História e Filosofia da Ciência no Ensino, Linguagem e Cognição, Materiais Didáticos e Tecnologia da Informação e Comunicação no Ensino (SCHNETZLER, 2008).

Para Cachapuz e colaboradores (2005), dentro dessas áreas, as principais linhas de pesquisa abrangem desde concepções alternativas, resolução de problemas, práticas de laboratório, trabalhos de campo, materiais didáticos, relações ciência-tecnologia-sociedade, linguagem e comunicação, currículo, concepções epistemológicas de professores, questões axiológicas (gênero, diversidade cultural e relações de poder) ao uso de novas tecnologias.

O Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) apresenta-se como uma política institucionalizada, iniciado no ano de 2017, com a finalidade de capacitar docentes para o ensino de Química na Educação Básica, criando novas possibilidades para problematização e reflexão na/sobre a ação docente e para trocas de experiências entre seus pares e com os professores orientadores através da elaboração de produto educativo no exercício da profissão.

Esse projeto encontra-se inserido na área de Tecnologia da Informação e Comunicação no Ensino, com ênfase em Instrumentação Analítica no desenvolvimento e uso de novas tecnologias.

Os professores que constroem seus materiais avançam no seu conhecimento, constroem conhecimentos pela própria ação, não ficam sob a tutela do livro didático, encontram lacunas no conhecimento construído e aceitam o conhecimento, mas não de forma definitiva (SANTOS *et al.*, 2010).

Assim,

“o professor é enriquecido nesse processo pelos conhecimentos que constrói, garantindo um ensino diferenciado aos alunos e propiciando uma reflexão mais ampla sobre o processo ensino-aprendizagem” (CUNHA *et al.*, 2015, p. 184).

Segundo Filatro e Cavalcanti (2018, p. 12), a evolução tecnológica tem provocado mudanças consideráveis na forma como crianças, jovens e adultos aprendem pela adoção um conjunto de metodologias ativas que permitem que estudantes e profissionais assumam o protagonismo de sua aprendizagem.

Segundo as quais podem ser definidas como

“estratégias, técnicas, abordagens e perspectivas de aprendizagem individual e colaborativa que envolvem e engajam os estudantes no desenvolvimento de projetos e/ou atividades práticas” (FILATRO & CAVALCANTI, 2018, p. 12)

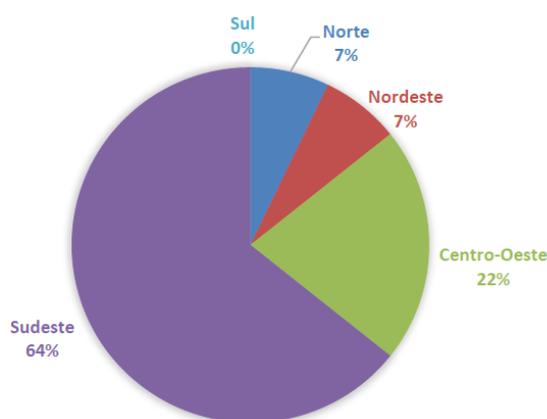
De uma gama de opções as autoras supracitadas destacam a aprendizagem baseada em problemas (ABP), aprendizagem baseada em projetos, o movimento maker, a instrução por pares, os alunos como *designers* e o design thinking. A construção do titulado automático se encaixaria justamente no movimento maker como uma extensão da cultura Faça-Você-Mesmo (Do-It-Yourself, DIY).

No âmbito da educação escolar, especialmente no ensino de Ciências Naturais e Matemática, os professores tem adotado os princípios do movimento maker e, usando materiais recicláveis ou de baixo custo, implementam a aprendizagem experiencial em sala de aula (FILATRO & CAVALCANTI, 2018, p. 44).

De acordo com Alegria (2017), uma das principais referências a esse universo é a revista *Make Magazine*, que surgiu em 2005, reunindo e divulgando as principais premissas desse modo de pensar e agir. Outra referência são os *FabLabs* (*Fabulous Laboratories*, ou Laboratórios Fabulosos em português), um movimento que aplica o princípio do movimento dos fazedores ao ambiente escolar, criando oportunidades de aprendizagem a partir do fazer coletivo.

A produção de material didático em ensino de química no Brasil, baseada em dados obtidos no sítio da CAPES e do CNPq, entre o período de 2009 e 2014 é representada na figura 1.

Figura 1. Gráfico, em porcentagem, em Produção de Material Didático na área do Ensino de Química distribuída regionalmente.



Fonte: CUNHA *et al.*, 2015, p. 189.

Segundo Cunha e colaboradores (2015, p. 182), a produção de material didático para o ensino de química é uma área de pesquisa que ainda necessita de atenção, haja vista que se configura como um campo novo, necessitando de um olhar diferenciado e um aumento expressivo no número de pesquisadores, mas para isso é preciso mais diálogos.

De acordo com a pesquisa TIC Educação 2016, do Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), 54% dos professores não cursaram na graduação disciplina específica sobre como usar computador e internet em atividades com os alunos. Além disso, 70% não realizaram formação continuada sobre o tema no ano anterior ao levantamento. Dos que realizaram, 20% afirmaram que a capacitação “contribuiu muito” para a atualização na área. E completa,

“nesse cenário, a busca por novas formas de explorar os recursos tecnológicos acaba por depender da iniciativa do próprio professor. (...) Dada a formação insuficiente, torna-se mais difícil explorar as potencialidades pedagógicas das novas tecnologias. E, em muitos casos, isso pode levar a uma certa resistência com relação ao seu uso, fazendo com que métodos mais tradicionais sigam sendo reproduzidos. (...) Outro fator que gera desconfiança é o medo de a tecnologia atuar como um distrator” (FONTOURA, 2018).

Um olhar sobre a realidade do ensino sugere que a atitude reflexiva nem sempre está presente por limitações no processo de informação humana, na detecção de regularidades que possam ser objeto de controle e investigação, na socialização profissional durante a formação e trabalho escolar, no compartilhamento do conhecimento entre os professores e pelo próprio sistema de formação inicial inadequado ao exercício de uma função de crítica e investigação (SACRISTAN, 1999, p. 83).

Não é o produto didático que irá gerar conhecimento científico na sala de aula, mas sobretudo a competência operacional de quem utiliza os recursos e projetos vinculados, o compartilhamento científico transversal de todo o conhecimento produzido, o meio pelo qual transformamos a nossa realidade, da instituição que fazemos parte e da sociedade como um todo pela ação e reflexão do/no/sobre o laboratório científico e escolar.

1.2. Sobre o papel da experimentação no ensino de química

De acordo com as Orientações Educacionais aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), o aprendizado de Química no ensino médio

“deve possibilitar ao aluno a compreensão tanto dos processos químicos em si, quanto da construção de um conhecimento científico em estreita relação com as aplicações tecnológicas e suas implicações ambientais, sociais, políticas e econômicas” (BRASIL, 2006, p. 109).

O ensino de química deve estar relacionado à formação do cidadão, apresentando ao estudante uma concepção de ciência como atividade humana em construção, que leve em consideração o papel social da ciência (OLIVEIRA & LEITE, 2016).

Segundo o que foi estabelecido nos PCN, “para dar conta de tais interpretações, são necessárias competências e habilidades de reconhecer os limites éticos e morais do conhecimento científico, tecnológico e das suas relações” (BRASIL, 2000, p. 34). Todavia, vale ressaltar que atualmente a competência é baseada em três dimensões – *Knowledge, Know-How and Attitudes* (conhecimento, habilidade e atitude), englobando não somente as questões técnicas, mas também de cognição, necessárias à execução de um determinado trabalho (VIEIRA, 2002, p.23). Essas competências dizem respeito

aos domínios da representação e comunicação; investigação e compreensão; e da contextualização sociocultural (BRASIL, 2002, p. 88).

Para tanto, Leal (2009, p. 27) afirma que “o estudo da Química e seu ensino devem, necessariamente, buscar a permanente articulação dos aspectos fenomenológicos, teórico e representacional, que devem comparecer de modo cooperativo na abordagem dos diversos temas químicos”.

Nesse sentido, merecem especial atenção no ensino de Química as atividades experimentais (BRASIL, 2002, p. 108). Assim,

“além de operar como recurso cotidianamente presente nas atividades de grupos de pesquisa e em laboratórios industriais (pesquisa, produção e controle de qualidade), a atividade experimental tanto participa dos avanços e novas descobertas em Química, como contribui decisivamente para que uma correta compreensão do sentido da Química e de seus vários temas seja alcançada pelos estudantes” (LEAL, 2009, p. 27).

Deve-se destacar que em diferentes estudos (Gil-Perez, 1986; Axt, 1991; Silva e Zanon, 2000; Praia *et al.*, 2002; Leal, 2003), são relatados o predomínio de uma visão empirista/indutivista da atividade experimental sobre a qual defende-se a observação como o principal meio de produção do conhecimento científico. Esta visão,

“desvaloriza a criatividade do trabalho científico e leva os alunos a compreenderem a ciência como um conjunto de verdades inquestionáveis e introduz rigidez e intolerância contra as suas opiniões” (GIL-PEREZ, 1986, p. 111).

Segundo Gazola e colaboradores (2011, p. 3), “cabe ao professor perceber a importância do processo de planejamento e elaboração de registros relativos à atividade experimental proposta, buscando a incorporação de

tecnologias, estimulando a emissão de hipóteses como atividade central da investigação científica e mostrando a importância da discussão das hipóteses construídas durante a realização da atividade”.

Com isso elimina-se a dicotomia entre teoria e prática dando lugar a produção de conhecimento pela negociação de novos significados. Nesse aspecto, a qualificação docente tem um lugar central nesse processo de experimentação investigativa. Todavia,

“não basta apenas o docente dominar o conteúdo em questão, mas sim tornar-se um questionador, argumentando e propondo desafios, ou seja, atuando como orientador do processo de ensino” (AZEVEDO, 2004).

De acordo com Giani (2010, p. 29), é nessa perspectiva que o trabalho experimental deve ser entendido, como uma atividade investigativa e cooperativa, facilitadora de aprendizagem significativa. (...) Uma alternativa de aproximar o cotidiano da escola é a criação de atividades experimentais que usem situações-problema que possibilitem aos alunos a construção e o despertar de sua criatividade e potencialidade. Afinal,

“não se aprende Química só com observações, experimentos. Se não há um instrumento teórico-conceitual na “mão”, nos olhos da pessoa, ela verá coisas, não Química” (LEAL, 2011).

É preciso tornar a aprendizagem mais significativa na medida em que novos conceitos passam a fazer parte do nosso dia-a-dia, mediado pela discussão sobre suas implicações para o meio ambiente e pela tomada de consciência sobre suas relações com o Mundo, com os materiais e suas transformações.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

A potenciometria é uma técnica bem conhecida dos químicos, sendo os eletrodos íon-seletivos (ISEs), apenas uma pequena parte deste campo da eletroanalítica. A base da potenciometria foi estabelecida por Nernst, em 1888, descrevendo a origem do potencial de eletrodo entre um metal e uma solução contendo íons deste metal, e o potencial redox entre um metal inerte e uma solução contendo um sistema redox (FERNANDES *et al.*, 2001).

Entretanto, mesmo depois de 120 anos de criação do primeiro sensor potenciométrico (o eletrodo-padrão de hidrogênio - EPH) usado para medida da acidez de uma solução aquosa, por Walther Nernst, nossas escolas públicas carecem de laboratórios didáticos, materiais e equipamentos de qualidade, docentes especializados e com autonomia, dedicação exclusiva e planos de carreira adequados para que possam proporcionar um ensino de qualidade.

Diante disso, pergunta-se: ***Como tornar viável a utilização da técnica potenciométrica para o ensino de pH na Educação Básica?***

O foco de interesse converge, portanto, para a produção de um equipamento de baixo custo e fácil aquisição que possibilite a automatização de um titulador buscando ainda facilitar a aquisição de dados via Bluetooth através da integração com o smartphone.

3. JUSTIFICATIVA

É possível destacar inúmeros contextos que justificam a melhor compreensão do conceito de pH na resolução de problemas do dia-a-dia. O professor Oliveira (2009) seleciona doze motivos em que o conceito de pH se

torna imprescindível, tais como: (1) cloração da água para abastecimento público com o uso do ácido hipocloroso (HClO) como bactericida; (2) redução da mortalidade de peixes pela conversão de amônia em seu par conjugado amônio; (3) controle da velocidade de migração de um composto pela formação de carga em sua espécie conjugada na técnica de eletroforese; (4) dissolução de espécies metálicas ou sua presença em sedimentos de rios; (5) extração por solventes de espécies neutras na fase aquosa; (6) controle da espécie predominante do meio em função de sua solubilidade; (7) retenção de compostos iônicos em resinas trocadoras de íons; (8) tratamento de sílica para troca iônica; (9) dependência do potencial redox de compostos do sistema ácido-base; (10) explica a acidez da chuva pelo equilíbrio ácido-base formado após a absorção de espécies neutras na atmosfera; (11) transporte da espécie neutra através de membranas celulares ou mucosas, em detrimento de espécies iônicas, fenômeno denominado teoria pH-partição; (12) interação de um composto com as fases móvel e estacionária em análise por cromatografia líquida.

A professora Helmenstine (2017a) traz ainda treze ideias inovadoras para feiras de ciências acerca do conceito de pH e equilíbrio ácido-base, a saber: (1) meça a quantidade de vitamina C (ácido ascórbico) no suco de laranja (ou outro suco), antes e após exposição a luz e ao calor; (2) simule a chuva ácida adicionando um ácido à água e avalie, com o uso de um papel indicador de pH, se a acidez é alterada depois que a água passa por diferentes tipos de solo ou através dos sistemas radiculares da planta; (3) avalie se acidez das maçãs (ácido málico) é afetada pela sua maturação; (4) tente fazer seu próprio indicador de pH a partir de plantas comuns ou produtos químicos encontrados em sua região; (5) meça o pH das bebidas ácidas comuns (refrigerantes, limonada, suco de laranja, suco de tomate, leite, etc.) e examine

com que facilidade elas corroem o metal (como o ferro); (6) avalie se todas as marcas de suco de laranja contêm a mesma quantidade de ácido ascórbico; (7) compare os efeitos de diferentes sucos de frutas ácidas e líquidos (por exemplo, vinagre) na prevenção do escurecimento da maçã; (8) avalie qual saliva do animal tem o pH mais baixo (humanos, cães ou gatos?); (9) avalie o efeito do pH no crescimento ou na sobrevivência de dáfnias (um crustáceo aquático); (10) pesquise sobre como o pH da água afeta o desenvolvimento do girino; (11) avalie se chuva ácida (real ou simulada) afeta o número e o tipo de organelas vistas em algas sob o microscópio; (12) avalie qual é o melhor condutor de eletricidade (um ácido ou uma base?); (13) avalie se o pH da água afeta o crescimento ou a sobrevivência das larvas do mosquito.

Analisou-se as questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) realizado entre os anos de 2009 e 2018. Vale lembrar que até o ano de 2008, a prova era composta com 63 questões interdisciplinares, desarticulados dos conteúdos ministrados no ensino médio. Com a reestruturação, o exame passou a ser composto por perguntas objetivas em quatro áreas do conhecimento: linguagens, códigos e suas tecnologias (incluindo redação); ciências humanas e suas tecnologias; ciências da natureza e suas tecnologias e matemáticas e suas tecnologias.

No período analisado, pôde-se identificar questões relacionadas ao equilíbrio iônico da água e valores de medida do pH em diferentes situações-problema. As questões propostas pelo exame, tiveram como tema principal: o controle do pH do meio para garantir a maior eficiência de sabões (BRASIL, 2009); a influência do cimento-solo e do desenvolvimento de espécies de plantas exóticas sobre o ecossistema (BRASIL, 2010); a desmineralização do esmalte

dentário por refrigerantes (BRASIL, 2011); a eliminação do odor característico de peixe (BRASIL, 2012); a desinfecção da água controlada pelo ácido hipocloroso (BRASIL, 2013); a correção do pH de resíduo líquido aquoso em um processo industrial (BRASIL, 2014); neutralização da acidez de efluentes industriais (BRASIL, 2015); mitigar a contaminação ambiental proveniente da combustão da borracha vulcanizada para a geração de energia (BRASIL, 2016); a influência do equilíbrio ácido-base no processo de extração do lapachol da serragem do ipê (BRASIL, 2017); manejo do solo utilizando calcário (BRASIL, 2018).

Muitas dessas questões, por serem puramente objetivas, não possibilitam retomar o processo de reelaboração, análise, dedução, síntese, interpretação e estabelecimento de relações entre fenômenos, o qual, espera-se já ter sido realizado pela observação, obtenção, tratamento e interpretação no laboratório escolar. Por exemplo, no ENEM de 2014, foi apresentada uma situação de tratamento de efluente industrial a partir do controle do pH visando minimizar possíveis impactos ambientais (BRASIL, 2014), ilustrado pela questão apresentada na figura 2.

Figura 2. Questão extraída da prova ENEM 2014.

QUESTÃO 70 =====

Visando minimizar impactos ambientais, a legislação brasileira determina que resíduos químicos lançados diretamente no corpo receptor tenham pH entre 5,0 e 9,0. Um resíduo líquido aquoso gerado em um processo industrial tem concentração de íons hidroxila igual a $1,0 \times 10^{-10}$ mol/L. Para atender a legislação, um químico separou as seguintes substâncias, disponibilizadas no almoxarifado da empresa: CH_3COOH , Na_2SO_4 , CH_3OH , K_2CO_3 e NH_4Cl .

Para que o resíduo possa ser lançado diretamente no corpo receptor, qual substância poderia ser empregada no ajuste do pH?

- A CH_3COOH
- B Na_2SO_4
- C CH_3OH
- D K_2CO_3
- E NH_4Cl

Fonte: BRASIL, 2014.

Considerando-se a complexidade da questão acima, seria razoável a cobrança de questões dessa natureza somente na condição de que nossos estudantes tivessem melhores condições de desenvolver experimentos investigativos no ensino básico. Por exemplo, para uma simples medida direta de pH é preciso desembolsar cerca de R\$1500,00 na compra de um pHmetro de bancada. Dessa forma, diante da escassez de recursos e com pouca ênfase em práticas no laboratório de química, nos deparamos com dificuldades comuns entre os alunos quando apresentados ao conceito de pH e sua definição matemática, tais como:

- consideram o valor do pH apenas como um número que mede o grau de acidez e não de basicidade;
- faz referência ao valor do pH como o nível de acidez do meio;

- consideram ácido o meio que contem a espécie ácida, básica o meio que contem a espécie básica e neutra o meio desprovido das dessas duas espécies;
- não conseguem aplicar a definição de função logarítmica e de suas propriedades na medida do pH.

Por consequência, verifica-se os baixos índices de acertos nas questões relacionadas ao equilíbrio iônico da água e valores de medida do pH das provas do ENEM no período analisado (tabela 1).

Tabela 1. Índices de acertos nas provas do ENEM 2009-2018.

Ano	Questão da Prova	Código SPRWEB	Dificuldade	Percentual de acertos
2009	Prova Azul / 12	90096	Elevada	45%
2010	Prova Azul / 85	100361	Média	18%
2011	Prova Azul / 75	108608	Média	21%
2012	Prova Azul / 69	121974	Média	43%
2013	Prova Azul / 64	127959	Elevada	21%
2014	Prova Azul / 70	135455	Elevada	14%
2015	Prova Azul / 71	149334	Elevada	25%
2016	Prova Azul / 78	165258	Elevada	20%
2017	Prova Amarelo / 120	175016	Elevada	14%
2018	Prova Amarelo / 132	182116	Elevada	Não informado

Fonte: Banco de Questões do Super Pro® Web. 2019.

Esses obstáculos ao aprendizado precisam ser problematizados, afim de que o professor possa mediar o aluno em sua melhor compreensão. Além disso, a construção de uma atividade investigativa e dialógica, possibilita aos alunos estabelecer relações com diversos contextos e materiais utilizados no seu dia-a-dia.

O fato de associarmos o estudo do conceito de pH apenas ao equilíbrio ácido-base em solução aquosa sem mencionar os processos eletroquímicos de superfície envolvidos na sua medição com o uso de eletrodos de pH também carecem de atenção. Apesar dos medidores de pH serem citados nos livros de Química da Educação Básica, não se verifica uma melhor contextualização acerca do seu potencial de aplicação.

Pelas razões apresentadas, as principais motivações desse estudo são:

- a) a carência de um projeto de química para análise potenciométrica, com acompanhamento remoto no laboratório didático ou em sala de aula;
- b) a necessidade de desenvolvimento de um instrumento potenciométrico para acompanhamento de reações ácido-base com materiais de custo relativamente baixo e de fácil aquisição.

A hipótese inicial é de que o uso do microprogramador Arduino permite o desenvolvimento de um titulador automatizado e de fácil aquisição de dados tornando possível o desenvolvimento dessa técnica.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

- Produzir um material didático para o ensino do conceito ácido-base baseado em plataforma de prototipagem eletrônica *Open Source* Arduino.

-

4.2 Objetivos específicos

- Interfacear display LCD, termômetro digital e pHmetro a um microprogramador;
- Construir um agitador magnético automático;
- Integrar ao microprogramador uma válvula peristáltica e o agitador automático por meio de um módulo relé para o desenvolvimento do titulador automatizado;
- Calibrar o pHmetro e a válvula peristáltica;
- Integrar um sistema de aquisição de dados pelo Excel via conexão USB e de transmissão de dados via Bluetooth para Smartphones Android;
- Propor uma sequência didática sobre Potenciometria no Ensino Médio: determinação da constante de dissociação (K_a) de captopril em comprimidos farmacêuticos;
- Promover a divulgação científica do titulador automatizado.

5. METODOLOGIA

O presente estudo apresentou uma abordagem quali-quantitativa através do desenvolvimento de um produto educacional direcionado tanto para o Ensino Médio quanto para o Ensino Superior a partir de subsídios metodológicos da **pesquisa bibliográfica**, bem como da **pesquisa experimental** (GIL, 2002; TOZONI-REIS, 2009). São esses subsídios:

- Pesquisa bibliográfica acerca do tema em estudo, a fim de compreender o desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia educacional em outras situações do cotidiano, bem como identificar as suas limitações e as lacunas deixadas por outros pesquisadores;
- Participação em cursos de eletrônica básica e/ou lógica de programação com Arduino;
- Pesquisa experimental com vistas à construção, calibração e programação de um titulador automático usando o microcontrolador de código aberto Arduino e um potenciômetro com eletrodo de pH, com transmissão de dados via Bluetooth;
- Divulgação da nova ferramenta de ensino nos laboratórios didáticos de química da UFV, em congressos, em periódicos especializados e em diferentes meios de comunicação não presenciais, tais como: redes sociais, canais do YouTube, página do PROFQUI - UFV, dentre outros.

O conceito de **aprendizagem experimental** foi proposto inicialmente pelo educador americano John Dewey (1859-1952), o qual defende que para que haja integração realidade e aprendizagem, são necessárias cinco condições básicas, a saber: (1) aprendizagem pela prática, (2) reconstrução consciente da experiência vivenciada, (3) aprendizagem por associação, (4) aprendizagem

diversificada e (5) aprendizagem integrada à vida e à nossa realidade (FILATRO & CAVALCANTI, 2018, p. 26, grifo próprio).

Não se propõe discutir os processos termodinâmicos em que se baseiam a lei de Nernst introduzindo o conceito de atividade química e os coeficientes de atividades dos reagentes por entender que, historicamente, a termodinâmica química ainda não havia se desenvolvido. Também, tal narrativa está muito além das habilidades e competências exigidas pelo Ministério da Educação para os currículos de química da Educação Básica. Dessa forma,

“o tratamento matemático não deve ser esquecido, e sim, minimizado, considerando em segundo plano, na maioria das vezes, para que se possa, em primeiro plano, tratar a interpretação química da solução em questão” (OLIVEIRA, 2009, p.15).

Um ponto fundamental da abordagem é considerar que **grande parte dos problemas reais tem um pH definido** e, por isso, há a necessidade de se obter outros parâmetros, tais como as concentrações das espécies conjugadas em equilíbrio (OLIVEIRA, 2009, p. 15, grifo do autor).

6. REFERENCIAL TEÓRICO

6.1. A teoria de dissociação eletrolítica

Segundo Chagas (1999, p.28, grifo do autor), o comportamento ácido-base é conhecido de longa data. Os termos 'ácido' e 'sal' datam da Antiguidade, 'álcali', da Idade Média e 'base' do século XVIII.

O teste de acidez e basicidade sofreu um desenvolvimento significativo desde o surgimento do papel de tornassol, utilizado pela primeira vez no início dos anos 1300 pelo alquimista, astrólogo e médico espanhol Arnaldus de Villa Nova (figura 3), que inicialmente implantou corantes azuis extraídos de líquens na Holanda para determinar a acidez de soluções aquosas.

Figura 3. Arnaldo de Villa Nova (1235-1311), alquimista, astrólogo e médico espanhol.



Fonte: ALCHETRON, 2018.

Somente no século XVII, Boyle estudou esses indicadores, inclusive o corante vermelho do pau-brasil. Os indicadores começaram a ser utilizados em titulações no século XVIII (CHAGAS, 1999, p.28).

Como parte da teoria da dissociação eletrolítica, em 1887, Svante Arrhenius (figura 4) defende a ideia de que ácido é toda substância que gera H^+

em água e base é aquela que produz OH^- e que o contato entre essas duas espécies acarreta na formação de água.

Figura 4. Svante Arrhenius (1859-1927), físico e químico sueco em seu laboratório, 1909.



Fonte: HELMENSTINE, 2017b.

Essa teoria foi muito importante, pois

“além de dar conta de um grande número de fenômenos já conhecidos, provocou o desenvolvimento de várias linhas de pesquisa, inclusive contribuindo para estabelecer as bases científicas da química analítica” (CHAGAS, 1999, p.28)

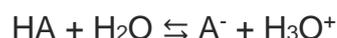
A constante de dissociação ácida (K_a) é a medida da força de um ácido e a constante de dissociação básica (K_b) é a medida da força de uma base.

O valor de $\text{p}K_a$ é simplesmente o $-\log$ dessa constante. Da mesma forma, K_b é a constante de dissociação de base, enquanto $\text{p}K_b$ é o $-\log$ da constante.

Os valores de K_a , $\text{p}K_a$, K_b e $\text{p}K_b$ são úteis para prever se uma espécie doará ou aceitará prótons. Eles descrevem o grau de ionização de um ácido ou base e são verdadeiros indicadores de força de ácido ou base, porque a adição de água a uma solução não altera a constante de equilíbrio.

As constantes de dissociação de ácido e base são geralmente expressas em termos de mol por litro (molL^{-1}).

Segundo o conceito de Brønsted-Lowry, para uma solução aquosa, a forma geral da reação de equilíbrio é:



em que HA é um ácido que se dissocia na base conjugada do ácido, A⁻, e um íon hidrogênio (H⁺) que se combina com água para formar o íon hidrônio (H₃O⁺). Quando as concentrações de HA, A⁻ e H₃O⁺ não mais mudam com o tempo, a reação está em equilíbrio e a constante de dissociação pode ser determinada:

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]}$$

sendo que os colchetes indicam a concentração em molL⁻¹.

O peso molecular da água é 18 g/mol, então 1000g são 55,5 mol. Portanto, a concentração molecular da água é 55,5 mol/L e a menos que um ácido seja extremamente concentrado, a equação é simplificada (segundo a teoria de Arrhenius) mantendo a concentração de água como uma constante:



$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}^+]}{[\text{HA}]}$$

A constante de dissociação ácida é também conhecida como constante de acidez ou constante de ionização de ácido. Existem tabelas de constantes de dissociação ácida para fácil referência.

Um valor relacionado é pK_a, que é a forma logarítmica da constante de dissociação do ácido:

$$\text{p}K_a = -\log_{10}K_a$$

- Se K_a é grande, a formação dos produtos da dissociação é favorecida;
- Se K_a é pequeno, o ácido não ionizado é favorecido;
- K_a pode ser usado para prever a força de um ácido:

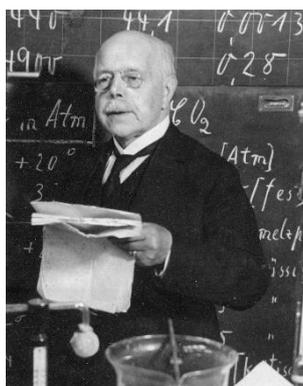
- Se K_a for grande (pK_a é pequena), isso significa que o ácido é principalmente ionizado, então o ácido é forte. Ácidos com pK_a menor que 2 são ácidos fortes;
- Se K_a é pequeno (pK_a é grande), pouca ionização ocorreu, então o ácido é fraco. Ácidos com um pK_a no intervalo de 2 a 12 em água são ácidos fracos.

6.2. O desenvolvimento do conceito de pH

Para Chagas (1999, p. 28), dentre outras contribuições ressaltam-se a equação de Nernst, que relaciona a força eletromotriz das pilhas com a concentração dos íons e o conceito de pH desenvolvido pelo bioquímico dinamarquês Sørensen.

O químico e físico alemão Walther Hermann Nernst (figura 5), em 1888, estabelece a base da potenciometria. Para tanto, dedicou-se ao cálculo do coeficiente de difusão de eletrólitos para soluções infinitamente diluídas e ao estabelecimento de uma relação entre mobilidade iônica, coeficientes de difusão e força eletromotriz em células de concentração.

Figura 5. Walther Nernst (1864-1941) em uma palestra no final dos anos 1920.



Fonte: QUANTUMHEORIE, 2008.

Seu trabalho foi desenvolvido mais plenamente em sua tese de habilitação (certificado de ensino universitário) de 1889, em que considera a termodinâmica dos potenciais de célula na dedução de sua equação, aplicando esta equação em seu primeiro sensor potenciométrico construído nove anos mais tarde com um eletrodo de hidrogênio. Como resultado, foi nomeado professor associado na Universidade de Göttingen, em 1891.

O trabalho máximo disponível a temperatura e pressão constantes ou variação de energia livre, ΔG , de qualquer reação e variação de energia livre padrão, ΔG° , podem ser relacionadas por meio da equação 1:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + 2,303 RT \log Q \quad (1)$$

Sendo que R é a constante universal dos gases ($8,316 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$), T é a temperatura absoluta (Kelvin) e Q é a expressão da lei de ação das massas (quociente entre as concentrações molares das espécies químicas nas formas reduzida e oxidada, elevadas a seus respectivos coeficientes estequiométricos).

Como numa reação de oxido-redução, a energia livre é de natureza elétrica, pode-se expressá-la através das equações 2 e 3:

$$\Delta G = -n F E_{\text{cela}} \quad (2)$$

$$\Delta G^\circ = -n F E^\circ \quad (3)$$

Sendo que F é a constante de Faraday (96485 coulombs por mol de elétrons), E_{cela} é o potencial da cela (V) e E° é o potencial-padrão da cela e n é o número de elétrons transferidos na reação.

O potencial-padrão é definido como a medida do potencial individual de um eletrodo reversível no estado padrão, no qual as espécies eletroativas estão a uma concentração de 1 mol.kg^{-1} , e gases a uma pressão de 1 bar.

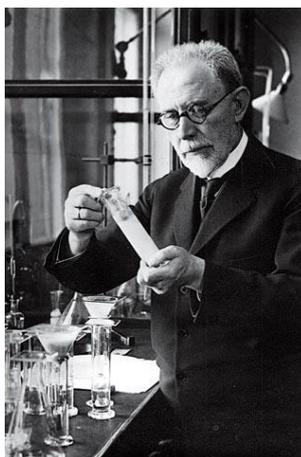
Substituindo as equações (2) e (3) em (1), temos a equação de Nernst (4):

$$E_{\text{cela}} = E^{\circ} - 2,303 \frac{RT}{nF} \log Q \quad (4)$$

Dessa forma, a medida da tendência da reação em prosseguir a partir de um estado de não-equilíbrio para a condição de equilíbrio pode ser medido a partir da diferença de potencial que se desenvolve entre os eletrodos de uma célula eletroquímica.

Investigando o uso de eletrodos de hidrogênio (à pressão de 1 atm, em solução de HCl 1,0 molL⁻¹) e calomelano (Hg₂Cl₂,Hg) 0,1 molL⁻¹ (eletrodo de referência) para medir a acidez de soluções, bioquímico dinamarquês Søren Peter Lauritz Sørensen (figura 6) introduziu o conceito de pH.

Figura 6. Sørensen (1868-1939), bioquímico que desenvolveu a escala de pH em 1909.

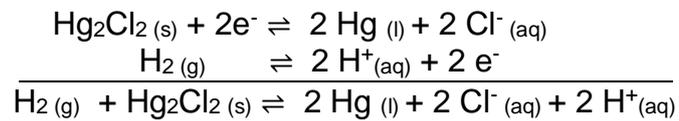


Fonte: PUBLIC LAB, 2017.

A pilha construída por Sørensen pode ser representada por:



Os pares redox envolvidos são H₂ | H⁺ e Hg₂²⁺ | Hg, representadas pelas equações das reações:



Aplicando a lei de Nernst, a diferença entre os potenciais do eletrodo de calomelano ($E^\circ = 0,3376 \text{ V}$) e do eletrodo de hidrogênio em base de platina será dada pela equação (5):

$$E_{\text{cela}} = E^\circ - 0,05916 \log [\text{H}^+] \quad (25 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (5)$$

Em 1909, Sørensen passa a designar a concentração molar de H^+ como o “expoente do íon hidrogênio”, considerando por razões práticas essa expressão matemática na forma de uma potência negativa de dez ($10^{-\text{pH}}$), ao mesmo tempo definindo o valor p como o poder de concentração (“puissance” (Francês), “potenz” (Alemão) ou “power” (Inglês)). Dessa forma temos a equação (6):

$$E_{\text{cela}} = E^\circ + 0,05916 \text{ pH} \quad (25 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (6)$$

O pH de uma solução pode ser definido como o cologarítimo, de base 10, da concentração molar do íon hidrogênio, $[\text{H}^+]$ sendo medido através da força eletromotriz (FEM) de pilhas eletrolíticas sendo que um dos eletrodos é reversível ao hidrogênio, como descrito pela equação (7):

$$\text{pH} = \frac{E_{\text{cela}} - 0,3376}{0,05916} \quad (7)$$

Por exemplo, se fosse usado o Eletrodo Normal de Hidrogênio – ENH ($E^\circ = 0 \text{ V}$), como eletrodo de referência, o pH poderia ser calculado simplesmente pela equação (8):

$$\text{pH} = E_{\text{cela}} / 0,05916 \quad (8)$$

No entanto, devido a sua dificuldade prática de obter resultados com boa precisão o uso de eletrodos de referência de calomelano ($\text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg}$) e de Ag/AgCl tornaram-se mais usuais ao longo do tempo, principalmente por apresentarem potenciais bem determinados em relação ao ENH.

A escala de pH é uma escala logarítmica que normalmente vai de 1 a 14. Cada pH inteiro abaixo de 7 (o pH da água pura a $25\text{ }^\circ\text{C}$) é dez vezes mais ácido que o valor mais alto e cada pH inteiro acima de 7 é dez vezes menos ácido abaixo dele. Por exemplo, um pH de 3 é dez vezes mais ácido que um pH de 4 e 100 vezes (10 vezes 10) mais ácido que um valor de pH de 5. Assim, um ácido forte pode ter um pH de 1-2, enquanto uma base forte pode ter um pH de 13-14. Para um valor de pH próximo de 7, o meio é considerado neutro.

Na prática, qualquer ácido que produza uma concentração de íons de hidrogênio com uma concentração molar maior que 1 será calculado para ter um pH negativo. Por exemplo, o pH de $\text{HCl } 12,0\text{ molL}^{-1}$ é igual -1,08. Mas não será possível medir com um instrumento ou teste. Não há nenhum papel especial de tornassol que tenha uma cor quando o valor estiver abaixo de zero. Os medidores de pH são melhores do que o papel de pH, mas não será possível simplesmente mergulhar um eletrodo de pH de vidro no HCl e medir um pH negativo. Isso ocorre porque os eletrodos de pH de vidro sofrem de um defeito chamado "erro de ácido", que faz com que eles meçam um pH mais alto do que o pH real. É muito difícil aplicar uma correção para esse erro para obter o verdadeiro valor de pH. Nesse caso, deve-se considerar a sua concentração efetiva através do cálculo de atividade química.

Técnicas especiais devem ser usadas para medir valores extremos de pH abaixo de 2,5 e acima de 10,5, porque a lei de Nernst não é precisa sob essas

condições quando eletrodos de vidro são usados. A variação da força iônica afeta os potenciais do eletrodo.

6.3. Relação entre a constante de equilíbrio de ácido e o conceito de pH

Uma relação aproximada entre os valores de pH e pK_a é conhecida como equação de Henderson-Hasselbalch (9) e (10):

$$pH = pK_a + \log \left(\frac{[\text{base conjugada}]}{[\text{ácido fraco}]} \right) \quad (9)$$

$$pH = pK_a + \log \left(\frac{[A^-]}{[HA]} \right) \quad (10)$$

O pH é a soma do valor de pK_a e o logaritmo da concentração da base conjugada dividida pela concentração do ácido fraco.

A equação de Henderson-Hasselbalch não deve ser usada para soluções concentradas ou para soluções de ácidos com pH extremamente baixos ou soluções de bases com pH alto.

6.4. Fundamentos básicos de potenciometria

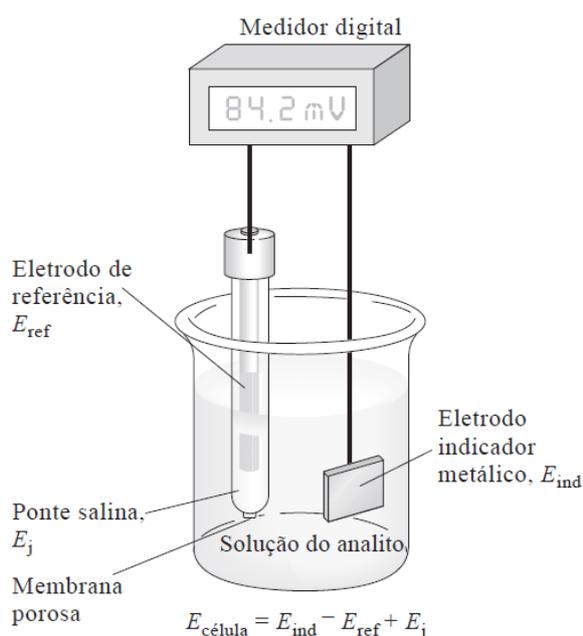
O princípio da potenciometria consiste na medida das diferenças de potenciais de uma cela eletroquímica. Essa cela é construída combinando-se um eletrodo indicador, de potencial dependente da concentração do analito (E_{ind}), com um eletrodo de potencial conhecido (E_{ref}) sendo denominado eletrodo de referência.

Uma ponte salina é criada na junção entre esses dois eletrodos, contendo íons que se difundem nela com diferentes mobilidades. Como resultado, surge um potencial chamado de potencial de junção (E_j).

Fazendo com que os ânions e cátions migrem com velocidades próximas, pode-se minimizar o efeito do potencial de junção. Para tanto, normalmente é usado uma solução saturada de cloreto de potássio ($\text{KCl } 3,5 \text{ molL}^{-1}$).

Uma cela típica para determinações potenciométricas é mostrada na figura 7.

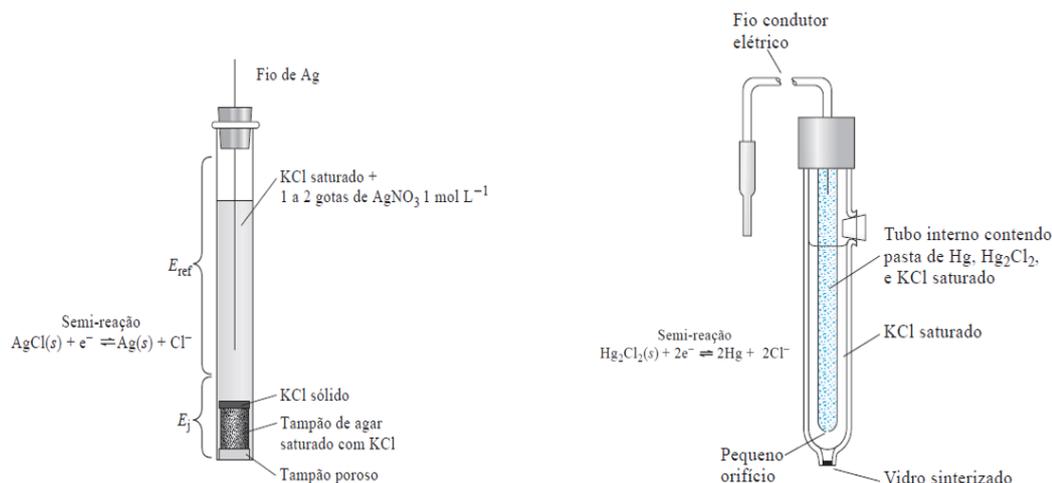
Figura 7. Esquema de uma cela típica para determinações potenciométricas.



Fonte: SKOOG, 2006, p. 554.

Os eletrodos de referência mais conhecidos são construídos com uma pasta de $\text{Hg}/\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ $1,0 \text{ molL}^{-1}$ (calomelano) ou com um fio de Ag imerso numa solução saturada de KCl contendo duas gotas de AgNO_3 $1,0 \text{ molL}^{-1}$ (figura 8).

Figura 8. Esquema dos eletrodos de referência prata-cloreto de prata e de calomelano.



Fonte: SKOOG, 2006, p. 556, 557.

Para soluções de KCl em concentrações diferentes de $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ o potencial pode ser obtido pela tabela 2.

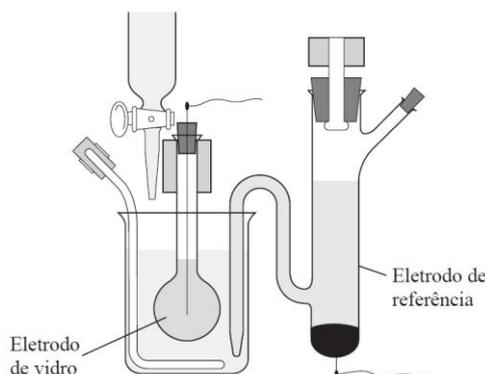
Tabela 2. Potenciais Formais para Eletrodos de Referência em Função da Composição e Temperatura.

Temperatura, °C	Potencial vs. EPH, V				
	Calomelano $0,1 \text{ mol L}^{-1}$	Calomelano $3,5 \text{ mol L}^{-1}$	Calomelano Saturado	Ag/AgCl $3,5 \text{ mol L}^{-1}$	Ag/AgCl Saturado
12	0,3362		0,2528		
15	0,3362	0,254	0,2511	0,212	0,209
20	0,3359	0,252	0,2479	0,208	0,204
25	0,3356	0,250	0,2444	0,205	0,199
30	0,3351	0,248	0,2411	0,201	0,194
35	0,3344	0,246	0,2376	0,197	0,189

Fonte: SKOOG, 2006, p. 556.

Em 1909, Haber e Klemensiewicz verificaram que um bulbo formado por uma fina membrana era seletivamente permeável aos íons H^+ (figura 9).

Figura 9. Eletrodo de vidro de Haber e Klemensiewicz.

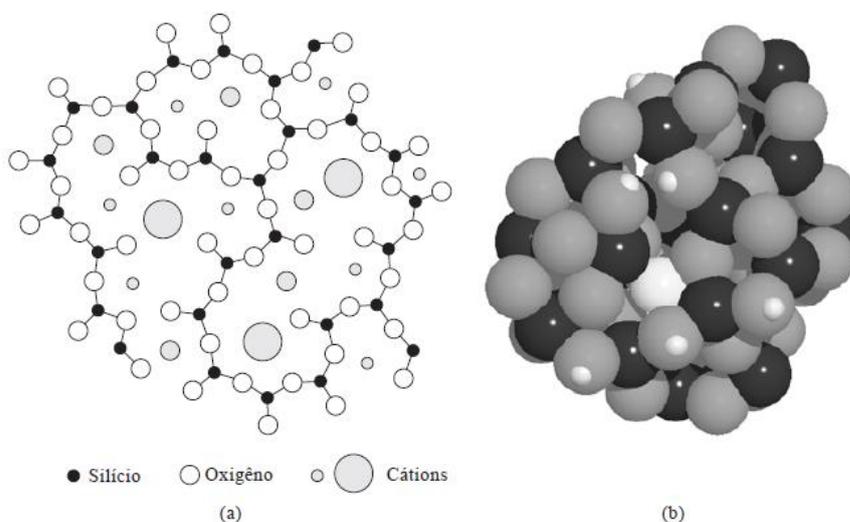


Fonte: SKOOG, 2006, p. 560.

Quando uma membrana de vidro é imersa numa solução, surge um potencial elétrico que é linear frente a concentração do íon H^+ ($E = K + 0,05916 \text{ pH}$), sendo K chamado de potencial de assimetria e é dependente da natureza do vidro. O valor desse potencial deve ser definido experimentalmente através do processo de calibração com soluções-tampão de pH conhecido.

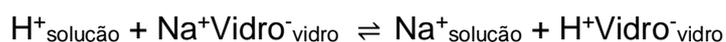
A membrana de vidro, como o Corning 015, apresenta composição aproximada de 22% de Na_2O , 6% de CaO e 72% de SiO_2 (figura 10).

Figura 10. (a) Vista longitudinal da estrutura de um vidro de silicato. (b) Modelo exibindo a estrutura tridimensional da sílica amorfa com íons Na^+ (azul-escuros grande) e vários íons H^+ azul-escuros pequenos incorporados.



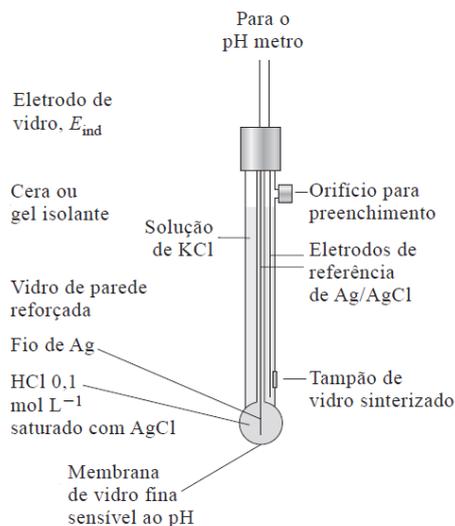
Fonte: SKOOG, 2006, p. 563.

As duas superfícies da membrana de vidro precisam ser hidratadas antes de ela funcionar como um eletrodo de pH. Os vidros não higroscópicos não mostram sensibilidade ao pH. Mesmo os vidros higroscópicos perdem sua sensibilidade ao pH após a desidratação pelo armazenamento em um dessecador. Entretanto, o efeito é reversível e a resposta de um eletrodo de vidro pode ser restaurada quando mergulhado em água.



O eletrodo mais amplamente usado, combina o eletrodo indicador de vidro com o eletrodo de referência de Ag/AgCl (figura 11).

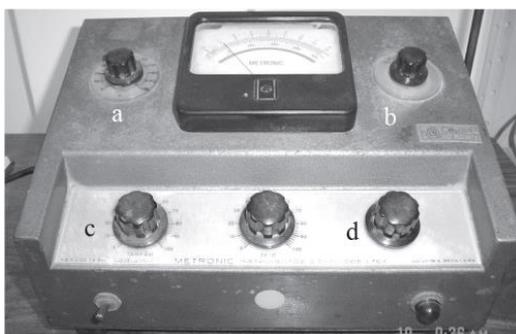
Figura 11. Sistema de eletrodo típico para medida de pH.



Fonte: SKOOG, 2006, p. 561.

Os medidores de pH devem ser ajustados de forma que a sua escala seja corrigida a cada mudança de temperatura. Inicialmente, esse ajuste era manual através de um potenciômetro (figura 12). Atualmente, é realizado de maneira automática.

Figura 12. Primeiro modelo de peagâmetro construído no Brasil, 1964: (a) seletor de temperatura; (b) seletor de escala; (c) seletor de pH de tampão (calibração); (d) ajuste de zero (grosso/fino). O visor mostra escalas de pH e de milivtagem. Dimensões: 30 cm de comprimento, 28 cm de largura e 20 cm de altura; m = 3,5 kg. Acervo do Museu da Química Professor Athos da Silveira Ramos (IQ-UFRJ).



Fonte: GAMA & AFONSO, 2007, p. 238.

6.5. Princípios da titulação de neutralização

A titulação é um dos procedimentos que podem ser usados em química para determinar a concentração de uma substância. Uma reação química é estabelecida entre um volume conhecido de uma solução de concentração desconhecida e um volume conhecido de uma solução com uma concentração conhecida (solução previamente padronizada). Quando a solução de concentração conhecida e a solução de concentração desconhecida reagem ao ponto em que o equivalente molar do ácido é igual ao equivalente molar da base (ou vice-versa), o ponto final da reação é alcançado. O ponto de equivalência de um ácido forte ou de uma base forte ocorrerá em pH 7. Para ácidos e bases fracos, o ponto de equivalência pode ocorrer em valores de pH diferente de 7.

Haverá vários pontos de equivalência para ácidos e bases polipróticos.

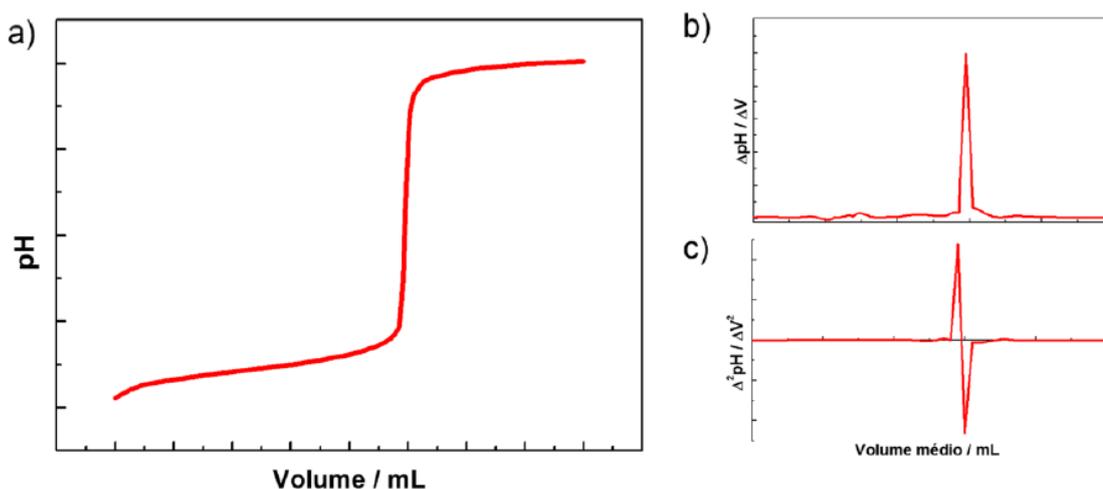
Existem dois métodos comuns para estimar o ponto de equivalência:

1. **Usa-se um medidor de pH.** Para este método, um gráfico é feito relacionando o pH da solução como uma função do volume de titulante adicionado. A forma sigmoide do gráfico é chamada de curva de titulação.

A primeira derivada é uma boa alternativa para se determinar o volume do ponto final de titulação. Entretanto, para a Educação Básica é conveniente tratá-la como o quociente da variação relativa do pH com a média do volume do titulante, podendo ser resolvida através de uma planilha do Microsoft Excel. O uso da segunda derivada na obtenção do volume do ponto final de titulação não será considerado nesse estudo.

Abaixo, algumas curvas características de titulação de neutralização de ácido forte e base forte, incluindo os métodos da primeira e segunda derivadas (figura 13).

Figura 13. (a) Curva característica da titulação potenciométrica; (b) Primeira derivada; (c) Segunda derivada



Fonte: SOUSA *et al.*, 2018.

2. **Usa-se um indicador ácido-base.** Este método baseia-se em observar uma mudança de cor na solução. Os indicadores são ácidos orgânicos fracos ou bases que apresentam cores diferentes em seus estados ionizados e não ionizados. Por serem usados em baixas concentrações, os indicadores não alteram sensivelmente o ponto de equivalência de uma titulação. O ponto em que o indicador muda de cor é chamado de ponto final. Para uma titulação adequadamente executada, a diferença de volume entre o ponto final e o ponto de equivalência é pequena. Às vezes, a diferença de volume (erro) é ignorada; em outros casos, um fator de correção pode ser aplicado.

6.6. Arduino

Segundo Mabbott (2014, p. 1459), “historicamente, ferramentas especiais para a interface como o LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) da National Instruments tornou a interface mais fácil para muitos pesquisadores nos últimos 20 anos, por meio de software e hardware sofisticados”. Todavia, requer um conhecimento complexo de programação e possui um custo elevado.

Para o autor supracitado, “os microcontroladores agora oferecem uma alternativa prática para a interface por duas razões. Primeiramente,

“possuem muito mais memória do que uma década atrás e podem acomodar linguagens de programação de alto nível tornando-os mais agradáveis. Além disso, várias empresas agora estão fazendo microcontroladores de baixo custo, fáceis de usar, montados em placas de circuito impresso. Essas placas contêm conectores e dispositivos de suporte para enviar e receber informações analógicas e digitais para computadores e outros equipamentos” (MABBOTT, 2014, 1459).

De acordo com Geddes (2017, p. 15), “o projeto Arduino começou em Ivrea, Itália, em 2005 com o objetivo de desenvolver um dispositivo para controlar projetos de design interativo criados por estudantes que fosse menos caro que outros sistemas de prototipagem disponíveis na época”.

As quatro linhas principais de modelos Arduino são NANO (de pequeno porte), Duemilanove, UNO (de médio porte) e Mega1280, Mega2560 (grande porte). Essas placas são de baixo custo, fazem uso de um sistema operacional de código aberto e são muitas vezes oferecidos como kits didáticos.

De acordo com Geddes (2017, p. 21), “o Arduino Uno é o tipo *open source* (o que significa que seus projetos podem ser copiados gratuitamente), portanto além da placa oficial, que custa cerca de US\$ 25, encontra-se numerosas placas-clone compatíveis por cerca de US\$ 15. A figura 14 ilustra os diferentes componentes do Arduino Uno”.

Figura 14. Placa Arduino e seus componentes.

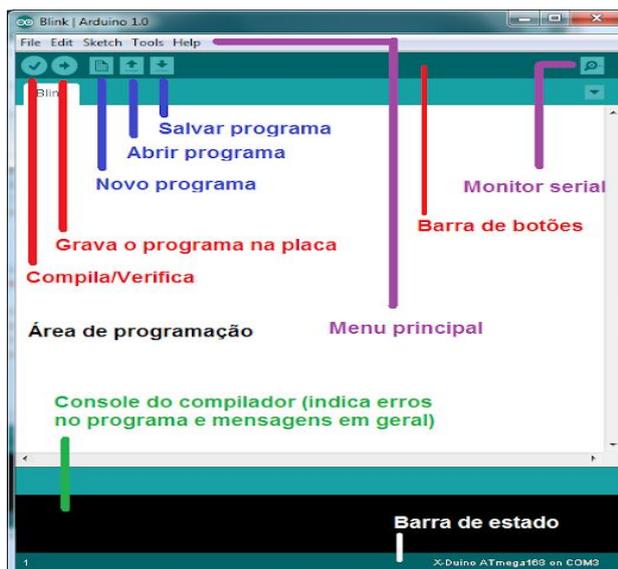


Fonte: MOTA, 2017.

Nesta placa o microcontrolador ATmega328 é utilizado. Ele dispõe de 32kb de memória flash e 2kb de SRAM. De maneira simples a memória flash é o local na qual nosso programa será salvo, já a SRAM é a memória na qual nossas variáveis serão salvas. A diferença básica entre esses dois tipos de memória é que a flash não perde seus dados caso o Arduino seja desligado ou reiniciado o mesmo não é válido para a SRAM (MOTA, 2017).

Além do hardware é necessário a instalação do software Arduino IDE (figura 15).

Figura 15. Entendendo o IDE Arduino.



Fonte: PROFESSORA KEILA, 2018.

O software Arduino (IDE) de código aberto facilita a gravação de código e o upload para a placa. Ele é executado no Windows, Mac OS X e Linux. O ambiente é escrito em Java e baseado em Processing e outro software de código aberto (ARDUINO, 2018).

Para maiores informações sobre hardware, software, produtos, linguagem, comunidade e suporte técnico, a empresa Arduino conta com seu próprio ambiente virtual (ARDUINO, 2018).

Na busca inicial pelo Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES/MEC para o descritor "Arduino" foram encontrados 403 resultados publicados entre 2005 e 2018; período que compreende o surgimento e emprego desse microprogramador. Somente três títulos foram selecionados por problematizarem o desenvolvimento de instrumentação para o ensino de química com o Arduino. Os demais títulos correspondem às publicações em periódicos e anais de congresso.

6.7. Projetos de química com Arduino

Diversos autores (Pontes, 2014; McClain, 2014; Hirdes, 2015; Kubínová & Slegr, 2015; Meloni, 2016; Famularo *et al.*, 2016; Hill *et al.*, 2016; Jim *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018; Cachichi, 2018; Alexander, 2018; Vitoriano *et al.*, 2016; Benite *et al.*, 2016, 2017; França *et al.*, 2017; Soong *et al.*, 2018) têm demonstrado a viabilidade do uso de chips de circuitos integrados programáveis (microcontroladores) em inúmeras situações de automação em laboratório didático e inserção nos currículos de Química.

O primeiro deles consiste no desenvolvimento de um fotômetro LED-Vis portátil e microcontrolado por Arduino (PONTES, 2014). Todavia, não foi contextualizado na sala de aula de química. A figura 16 apresenta o fotômetro proposto.

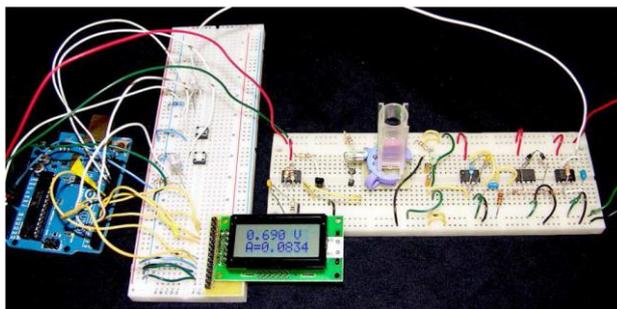
Figura 16. Vista frontal do fotômetro proposto.



Fonte: PONTES, 2014, p. 29.

Em 2014, os alunos do curso de graduação em Química da Universidade de Wisconsin, desenvolveram e usam seus fotômetros (figura 17) construídos em casa para medir a concentração de cromo (VI) em uma série de soluções padrão e determinaram figuras de mérito, tais como: sensibilidade, limite de detecção e alcance dinâmico do instrumento (McCLAIN, 2014, p.747).

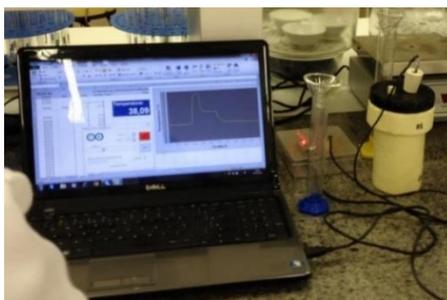
Figura 17. Fotômetro completo com interface do microcontrolador.



Fonte: McCLAIN, 2014, p.749.

O terceiro baseia-se na construção e avaliação de um termômetro eletrônico com aquisição automática de dados e aplicações no ensino de físico-química experimental (HIRDES, 2015) e teve a sua aplicação numa turma de Físico-Química Experimental I de uma universidade pública do interior do estado do Rio Grande do Sul. A figura 18 apresenta a montagem experimental de um calorímetro com o uso do termômetro eletrônico.

Figura 18. Foto da montagem experimental para determinação da entalpia de decomposição do peróxido de hidrogênio.



Fonte: HIRDES, 2015, p. 83.

De acordo com Kubínová & Slegř (2015, p. 1751), algumas das capacidades da plataforma Arduino para o ambiente escolar na construção de dispositivos de medição para demonstrações e experiências, com baixo custo, foram realizadas por estudantes em química. Foram desenvolvidos termômetros digitais e medidores de pH com monitores suficientemente grandes para serem facilmente legíveis de todos os pontos da sala de aula (figura 19).

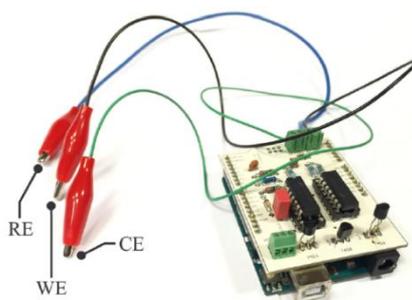
Figura 19. (A) Dois termômetros (em escala) com termopar e tela LED de 1,2 pol. e sensor direto conectado à display de matriz de pontos de 5 polegadas e (B) configuração de um medidor de pH com display LED.



Fonte: KUBÍNOVÁ & SLEGR, 2015, p. 1751.

O professor Gabriel Meloni do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP), construiu um potenciostato baseado em microcontrolador Arduino para ensino de eletroquímica e instrumentação. De acordo com Meloni (2016), o equipamento foi utilizado para calcular o coeficiente de difusão do ferricianeto de potássio em solução aquosa, e o resultado obtido foi concordante com a literatura. Com um design simples, baixo custo e bom desempenho, o dispositivo (figura 20) é uma alternativa competitiva para laboratórios de ensino nas áreas de eletrônica e eletroquímica, e para o desenvolvimento de centros de ensino que não podem pagar por um dispositivo comercial.

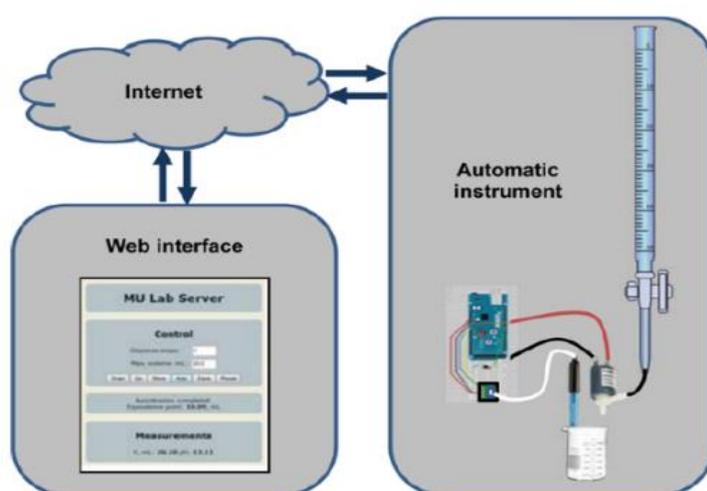
Figura 20. Construção de um potenciostato usando uma placa de circuito impresso personalizada.



Fonte: MELONI, 2016, p. 1321.

Famularo e colaboradores (2016, p. 175), descrevem um projeto realizado pelos seus alunos de graduação em química envolvendo um processo completo de construção, calibração e programação de um titulador automático usando um microcontrolador de código aberto e eletrodos de pH, integrando o instrumento na Internet (figura 21).

Figura 21. Integrando um Laboratório de Química Instrumental na Internet Industrial: Construção, Programação e Experimentação com Titulador Automático.



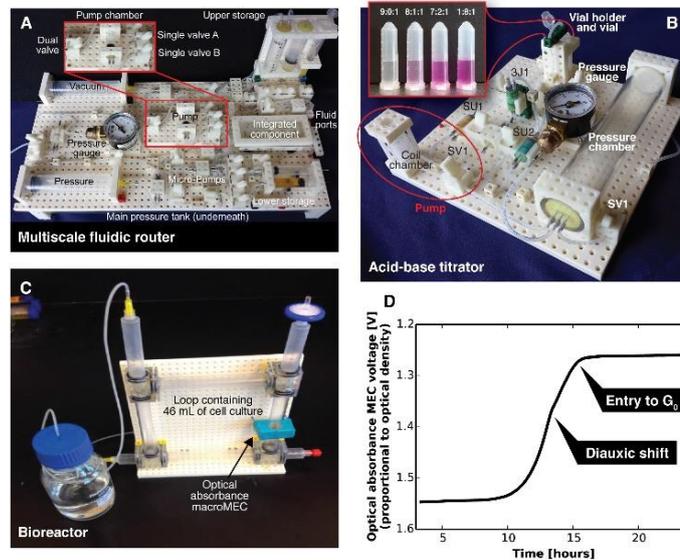
Fonte: FAMULARO *et al.*, 2016, p. 175.

De acordo com os autores “esse recurso pode ser usado para permitir a integração de vários instrumentos de laboratório (por exemplo, para medida de temperatura, pressão, salinidade, etc.) via internet” (FAMULARO *et al.*, 2016, p.175).

Hill e colaboradores (2016), propuseram um conjunto de Componentes Evolutivos Multifluídicos (MECs) para criação de instrumentos biológicos e químicos, incluindo um sistema de fluxo e mistura capaz de manipular volumes de fluido que abrangem cinco ordens de grandezas cinco ordens de magnitude (de 400 nanolitros a 10 mililitros), um instrumento de titulação ácido-base

adequado para uso em escolas e um biorreator adequado para manter e analisar culturas de células em pesquisas e aplicações de diagnóstico (figura 22).

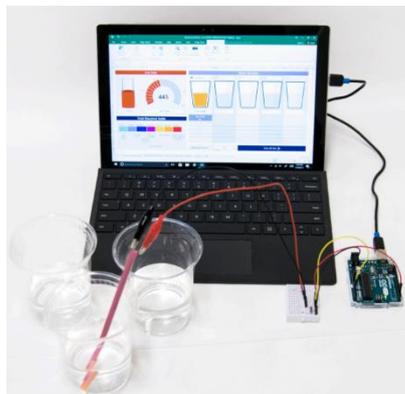
Figura 22. Visão geral do projeto e construção de um prato personalizado usando o MEC.



Fonte: HILL *et al.*, 2016.

Outro bom exemplo de uso de sensores em projetos com o Arduino é o sensor de condutividade elétrica que permite medir a qualidade da água para estudar o impacto causado pelo homem (figura 23).

Figura 23. Sensor de condutividade elétrica.

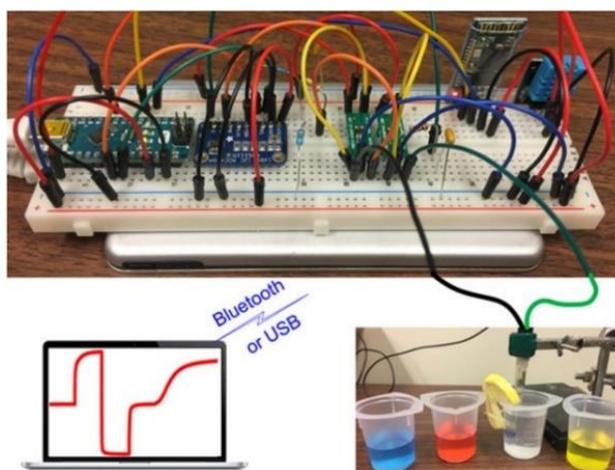


Fonte: HACKING STEM, 2017.

Neste projeto os alunos estudam como os fertilizantes e outros sólidos dissolvidos na água podem impactar a qualidade desta. Os alunos assumem o papel de cientistas de campo, coletando dados utilizando um Sensor de Condutividade Elétrica caseiro. Eles usam este sensor para medir o total de sólidos dissolvidos em amostras de água de vários locais diferentes para avaliar a saúde de uma represa e analisar as fontes potenciais de poluentes (HACKING STEM, 2017).

Uma proposta de Jin e colaboradores (2018), foi a de um instrumento potenciométrico de fonte aberta para experimentos de determinação de pH com conectividade sem fio Bluetooth. De acordo com esses pesquisadores, o hardware é construído em uma placa de ensaio sem solda e composto principalmente de um microcontrolador Arduino Nano, um conversor analógico-digital de 16 bits, dois amplificadores eletrônicos, um sensor de temperatura e um módulo Bluetooth com um custo total em torno de US\$ 50, incluindo uma fonte de alimentação portátil (US\$ 10). O software é escrito no Arduino Sketch e na linguagem Python multiplataforma, que os alunos podem acessar e modificar livremente. O instrumento foi demonstrado com um eletrodo de vidro tradicional e um eletrodo de detecção de pH de paládio / óxido de paládio, e comparado com um medidor de pH comercial (figura 24).

Figura 24. Sensor de pH com transmissão de dados por Bluetooth.



Fonte: JIN *et al.*, 2018, p.326.

Li e colaboradores (2018), apresentam um kit de ensino que combina a fabricação de um potenciostato (figura 25) baseado em microcontrolador de baixo custo e uma interface gráfica gerada pelo LabVIEW. Voltametria cíclica, voltametria de varredura linear e funções de cronoamperometria são demonstradas com experimentos eletroquímicos representativos, e os dados obtidos são comparáveis àqueles obtidos com um potenciostato de grau de pesquisa.

Figura 25. Potenciostato de baixo custo.

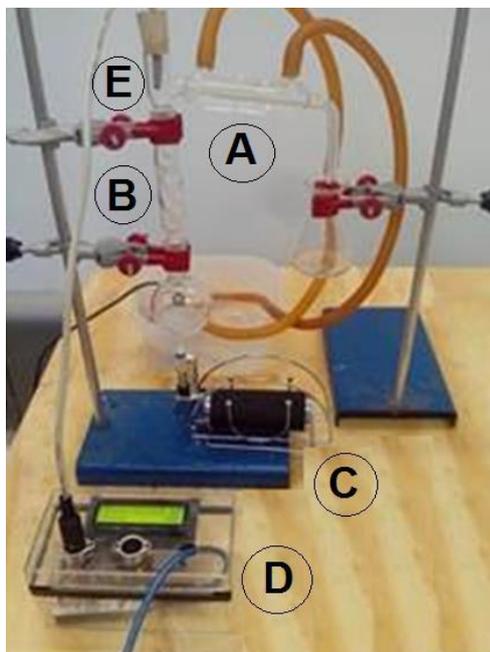


Fonte: Li *et al.*, 2018, p.1659.

No mesmo ano, Ricardo C. Cachichi descreve em sua tese de doutorado um sistema para experimentos remotos de físico-química utilizando microcontroladores e plataforma MOODLE®, tais como a destilação fracionada

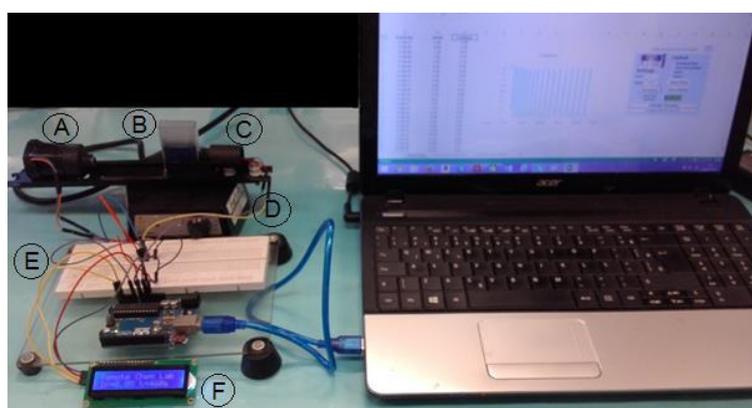
de mistura água/etanol e água/acetona (figura 26), reação oscilante Briggs-Rauscher (figura 27), entalpia de decomposição catalítica de peróxido de hidrogênio (figura 28), cinética da decomposição de tiosulfato catalisada por ácido (figura 29) e avaliação da miscibilidade fenol-água (figura 30).

Figura 26. Montagem experimental para realização da destilação em escala micro e aquisição de dados, onde A-Condensador, B-Coluna Vigreux, C-Maçarico para aquecimento, D-Plataforma Arduino com visor LCD e E- Sensor de temperatura LM35.



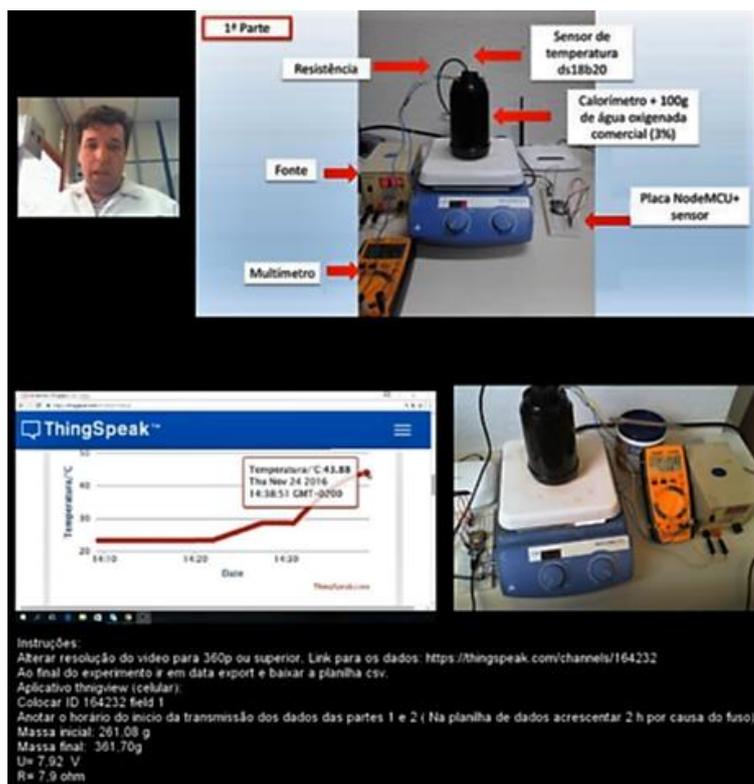
Fonte: CACHICHI, 2018, p. 22.

Figura 27. Sistema utilizado para a coleta de dados de luminosidade da reação oscilante de Briggs-Rauscher, onde A-LDR, B-Amostra, C-Laser para arduino, D- Agitador Magnético, E- Plataforma Arduino com protoboard e F-Visor LCD 16x2.



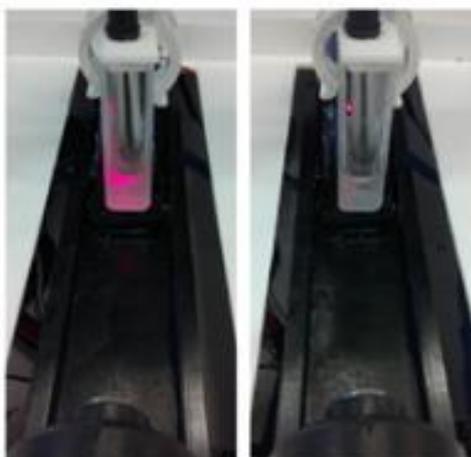
Fonte: CACHICHI, 2018, p. 28.

Figura 28. Transmissão do experimento on-line "determinação da entalpia de decomposição do peróxido de hidrogênio" para turma de QF-632 (6º semestre Química - Universidade Estadual de Campinas).



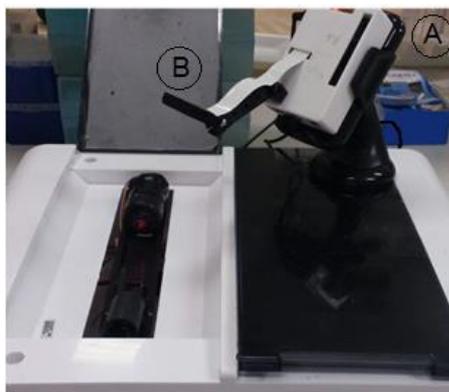
Fonte: CACHICHI, 2018, p. 38 e 39.

Figura 29. Transmissão de experimento on-line "determinação da ordem da reação em relação ao íon tiosulfato na sua reação com H⁺" para a turma de QF 531 (5º semestre Química - Universidade Estadual de Campinas).



Fonte: CACHICHI, 2018, p. 55.

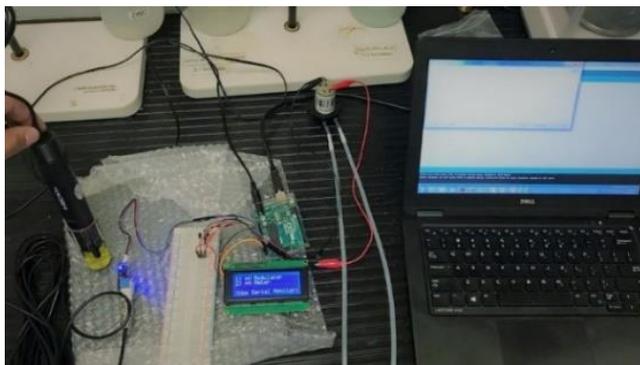
Figura 30. Transmissão do experimento on-line "construção de um diagrama de miscibilidade fenol-água" para alunos da disciplina K6FQ2 (Físico-química 2, do 6º semestre de licenciatura em Química no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo- IFSP).



Fonte: CACHICHI, 2018, p. 78.

Outro importante trabalho foi desenvolvido recentemente por Alexander (2018), da Universidade Estadual Politécnica da Califórnia. Trata-se de um pHmetro com calibração totalmente automatizada (figura 31). Até, então, os demais pHmetros construídos com o Arduino eram calibrados manualmente através do potenciômetro ligado ao módulo de pH.

Figura 31. Regulador / Medidor de pH - Arduino.



Fonte: ALEXANDER, 2018.

Segundo Benite *et al.* (2017, p. 7), “a Química possui linguagem específica, que usa de representações simbólicas para expressar seus conceitos e procedimentos, como as equações químicas, as fórmulas e os modelos”. Em sua dimensão prática,

“os experimentos geram informações que socialmente são obtidas pela visão, como as mudanças de cores nas titulações, as pesagens de solutos, a visualização de volumes de solventes para preparo de soluções ou a identificação do nível da coluna de álcool ou mercúrio em medidas de temperatura” (BENITE *et al.*, 2017, p. 7).

O objetivo maior da Tecnologia Assistiva é, portanto, proporcionar à pessoa com deficiência maior independência, qualidade de vida e inclusão social, através da ampliação de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de seu aprendizado e trabalho (BERSCH, 2013).

Na perspectiva da produção de Tecnologia Assistiva com microprogramador Arduino e dedicados ao ensino de Química, destacam-se 04 projetos.

O primeiro deles foi publicado no Journal of Chemical Education (VITORIANO *et al.*, 2016), sendo intitulado “*Promoting Inclusive Chemistry Teaching by Developing an Accessible Thermometer for Students with Visual Disabilities*”. A escala de medição desse termômetro de acessibilidade varia de -15°C até 115°C , e a temperatura é informada através de beeps e pulsos de vibração semelhantes ao código Morse.

Além de ser de baixo custo, o dispositivo (figura 32) é fácil de usar e fornece uma resposta rápida e boa reprodutibilidade.

Figura 32. Termômetro de Acessibilidade.



Fonte: VITORIANO *et al.*, 2016, p. 2050.

Para os autores, “testes realizados com estudantes cegos mostram que este instrumento poderia ser uma ferramenta importante para ajudá-los a entender melhor o conceito científico apropriado de temperatura” (VITORIANO *et al.*, 2016, p.2046).

O segundo projeto intitulado “*Estudos sobre o uso de Tecnologia Assistiva no Ensino de Química. Em Foco: a Experimentação*” foi publicado na Revista Eletrônica *Itinerarius Reflectionis*. Nesse artigo, a construção de um termômetro vocalizado (figura 33) é descrita (BENITE *et al.*, 2016).

Figura 33. Termômetro vocalizado de laboratório adaptado para DV.



Fonte: BENITE *et al.*, 2016, p. 7.

A aplicação desse instrumento numa situação de ensino foi apresentada no artigo intitulado “*A experimentação no Ensino de Química para deficientes visuais com o uso de tecnologia assistiva: o termômetro vocalizado*”, sendo publicado na Revista Química Nova na Escola - QNEsc (BENITE *et al.*, 2017). O equipamento possui comandos específicos e a temperatura é vocalizada pelo aparelho em português e inglês (figura 34).

Figura 34. Termômetro vocalizado de laboratório adaptado para DV.



Fonte: BENITE *et al.*, 2017, p. 247.

Segundo os autores, “os resultados apontam que o ensino de química não só carece de professores para atuar na inclusão como sofre com a escassez de recursos tecnológicos para trabalhar com deficientes visuais em qualquer nível de ensino e que a mediação de experimentos com o uso de tecnologia assistiva permite que esses alunos manipulem variáveis, realizem medidas e aprendam a partir de conteúdos prévios e dados coletados pelos sentidos remanescentes durante a atividade” (BENITE *et al.*, 2017, p. 245).

O terceiro projeto denominado “*Tecnologia Assistiva no Ensino de Química: o uso do pHmetro vocalizado*”, sendo apresentado no 57º Congresso Brasileiro de Química (FRANÇA *et al.*, 2017). O equipamento é composto por um eletrodo e uma central de comandos para medições e informa o pH da solução por um display, concomitante à medida vocalizada (figura 35).

Figura 35. O pHmetro vocalizado desenvolvido pelo grupo de tecnologia assistiva do laboratório de pesquisas em ensino de química e inclusão da UFG.



Fonte: FRANÇA *et al.*, 2017.

Projeto semelhante foi desenvolvido por Soong e colaboradores (2018). Visando atender às necessidades de acessibilidade de alunos com deficiências visuais, desenvolveu-se um método de titulação manual usando uma micropipeta calibrada para 200 μ L. Os valores dos sensores são gravados e convertidos pelo microcontrolador Arduino em fala para saída de áudio (figura 36). Posteriormente, os valores audíveis de pH eram ouvidos usando um fone de ouvido comum ou transmitidos por Bluetooth usando um *dongle* transmissor para fone de ouvido sem fio ou equipamento de som portátil.

Figura 36. O pHmetro vocalizado desenvolvido por Soong e colaboradores.



Fonte: SOONG *et al.*, 2018.

Embora, a compreensão de pequenos projetos com Arduino não necessite de conhecimento aprofundado de eletrônica, linguagem e lógica de programação, para a execução de pequenos projetos com Arduino, tornou-se imprescindível a realização de um curso prático de nível introdutório como um dos objetivos específicos do mestrado.

O curso oferecido pelo site Brincando com Ideias (Brincando com Ideias, 2019) conta carga horária de 40 h, sendo dividido em 23 módulos, 25 Lives completas e 3 Aulas Bônus, com acesso livre por um ano (figura 37). Através da participação no grupo do whatsapp todas as dúvidas e aprendizagens são compartilhadas entre os alunos e prontamente respondidas pelo professor Flávio Guimarães. Ao final, como critério de avaliação e obtenção do certificado, é

elaborado um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) no formato de um vídeo para o Canal do Youtube 'Brincando com Ideias'. Dessa forma, todos os projetos são compartilhados pela comunidade Arduino por tempo indeterminado.

Figura 37. Apresentação do site Brincando com Ideias.



Fonte: BRINCANDO COM IDEIAS, 2019.

6.8. Características do captopril

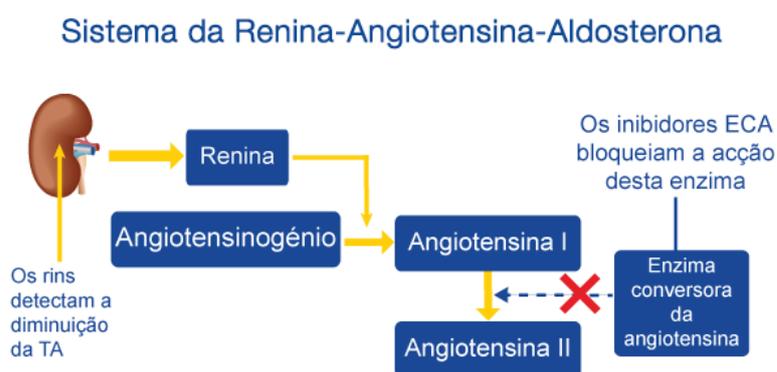
Em todo o mundo, 7,6 milhões de mortes prematuras (cerca de 13,5% do total global) foram atribuídas à hipertensão arterial. Cerca de 54% dos acidentes vasculares cerebrais e 47% das doenças cardíacas isquêmicas (infartos) em todo o mundo foram atribuídas à hipertensão arterial (TA). Cerca de 80% dessas mortes ocorrem em economias de baixa e média renda, e mais da metade das vítimas têm entre 45 e 69 anos (LAWES, VANDER HOORN & RODGERS, 2008, p. 1513).

Os rins são responsáveis pela produção de renina e esta, por sua vez, cai na corrente sanguínea convertendo o angiotensinogênio em angiotensina I (que possui efeito vasoconstrictor leve). Em seguida, a angiotensina I é convertida em angiotensina II pela enzima conversora de angiotensina presente nos pulmões. A angiotensina II é um potente vasoconstrictor (contraí os vasos sanguíneos) que irá promover o aumento da resistência vascular periférica e

diminuir a excreção renal de sal e água, elevando a pressão sanguínea. Além disso, ela atua sobre as glândulas suprarrenais fazendo com que elas secretem o hormônio aldosterona (um regulador eletrolítico natural) que causa um aumento intenso da reabsorção de sódio pelos túbulos renais.

Descobertos no ano de 1949 pelo médico brasileiro Dr. Maurício Rocha e Silva, os inibidores da enzima conversora de angiotensina (ECA) bloqueiam os efeitos da angiotensina II (figura 38).

Figura 38. Inibidores ECA.

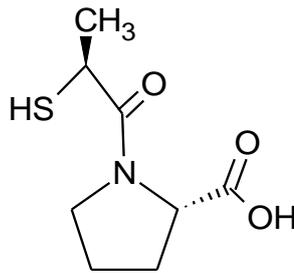


Fonte: EUROCLINIX, 2018.

Ao bloquear o efeito da angiotensina II, os inibidores da ECA provocam o relaxamento dos vasos sanguíneos, reduzindo a pressão arterial.

O captopril, que corresponde ao ácido 1-[(2s)-2-metil-3-sulfonilpropanoil]-pirrolidina-2-carboxílico, possui fórmula química $C_9H_{15}NO_3S$, e um peso molecular de $217,29 \text{ g mol}^{-1}$ (figura 39), é um agente anti-hipertensivo ativo oralmente e atua através da inibição competitiva da enzima conversora de angiotensina (ECA). Este fármaco demonstra excelente efetividade no tratamento da hipertensão arterial, sendo considerado o medicamento de primeira escolha. Porém, o seu tempo de ação é limitado, apenas de 6 a 8 horas, e necessita ser administrado três vezes ao dia.

Figura 39. Fórmula estrutural do captopril.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

As propriedades físico-químicas dos fármacos interferem diretamente nos parâmetros farmacocinéticos (absorção, distribuição, metabolismo e excreção) e na interação com o receptor. Entre essas propriedades, estão a lipofilicidade e a ionização, que influenciam a absorção e a biodisponibilidade dos fármacos. O pH do fluido biológico e a ionização do fármaco exercem um papel importante na absorção, uma vez que seus efeitos regulam a lipofilicidade e a solubilidade (PEREIRA *et al.*, 2011, p. 1656).

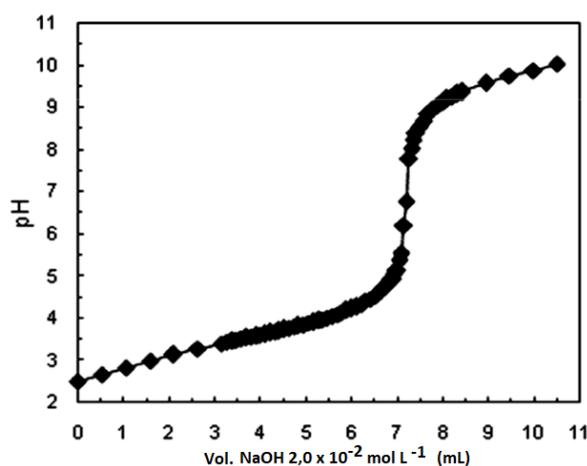
O captopril é um ácido dibásico, tendo constantes de dissociação $pK_{a1} = 3,7$ (grupo carboxilo) e $pK_{a2} = 9,8$ (grupo tiol). Observando os valores de pK_{a1} e pK_{a2} de captopril, pode-se prever que a curva de titulação apresenta uma inflexão clara para o primeiro ponto de equivalência, já que $K_{a1} = 2 \times 10^{-4}$ e a relação de $k_1 / k_2 = 10^6$ ($pK_{a2} - pK_{a1} = 6$). No entanto, o captopril é um ácido muito fraco em relação ao seu segundo hidrogênio ionizável ($K_{a2} = 10^{-10}$) e assim sua curva de titulação não é perceptível (RIBEIRO *et al.*, 2003, p. 41).

6.8.1. Titulação Potenciométrica de Captopril

A determinação potenciométrica do pK_a do captopril baseia-se na determinação das mudanças do pH com a adição do titulante para se obter uma curva de titulação (figura 40). Uma vez determinado o ponto final, calcula-se o

pKa pela equação de Henderson-Hasselbalch. Quando o volume da solução de NaOH neutraliza a metade dos grupos carboxílicos do captopril, considera-se que $\text{pH} = \text{pKa}_1$, pois $\log ([A^-] / [HA]) = 0$ (PEREIRA *et al.*, 2011, p. 1656).

Figura 40. Curva de titulação potenciométrica do captopril com NaOH $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$.



Fonte: PEREIRA *et al.*, 2011, p.1658.

Como já dito anteriormente, a primeira derivada é uma boa alternativa para se determinar o volume do ponto final de titulação.

A titulação potenciométrica de captopril é apresentada como proposta de ensino por investigação. No ensino por investigação, os alunos são colocados em situação de realizar pequenas pesquisas, combinando simultaneamente conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais (POZO, 1998 *apud* FERREIRA *et al.*, 2010).

Segundo Hodson (1998 *apud* Ferreira *et al.*, 2010), os experimentos devem ser conduzidos visando a diferentes objetivos, tais como demonstrar um fenômeno, ilustrar um princípio teórico, coletar dados, testar hipóteses, desenvolver habilidades de observação ou medidas, adquirir familiaridade com aparatos, entre outros.

6.9. Avaliação do desempenho do titulador automático

O desempenho do titulador é realizado, estatisticamente, tanto através da análise de regressão (para avaliação do sinal analítico obtido pelo sensor de pH e avaliação da linearidade de curvas analíticas para a válvula peristáltica), quanto pela aplicação do teste t emparelhado baseado no teste de hipóteses para validação do novo sistema.

A análise de regressão descreve relações entre um conjunto de variáveis independentes e a variável dependente. A análise de regressão produz uma equação de regressão onde os coeficientes representam a relação entre cada variável independente e a variável dependente. Pode-se, também, usar a equação para fazer previsões. A regressão linear, também conhecida como o **método dos mínimos quadrados** é a mais usual (FREUND, 2006, p.400). Ela é empregada para entender a mudança média em uma variável dependente dada uma mudança de uma unidade em cada variável independente.

Esta análise estima parâmetros ao minimizar a soma dos erros quadrados (SSE). Os modelos lineares são os mais comuns e mais simples de usar.

O sinal de um coeficiente de regressão indica se existe uma correlação positiva ou negativa entre cada variável independente com a variável dependente. Um coeficiente positivo indica que, à medida que o valor da variável independente aumenta, a média da variável dependente também tende a aumentar. Um coeficiente negativo sugere que, à medida que a variável independente aumenta, a variável dependente tende a diminuir.

O valor do coeficiente significa o quanto a média da variável dependente muda, dado um deslocamento de uma unidade na variável independente,

mantendo outras variáveis na constante do modelo. É crucial manter as outras variáveis constantes porque permite avaliar o efeito de cada variável isoladamente das outras.

O Coeficiente de Determinação (R^2), expressa quanto da variabilidade na variável dependente é explicada pela variabilidade na variável independente.

A avaliação da eficiência entre dois equipamentos pode ser realizada a partir da diferença entre duas médias numa estatística t Student para duas amostras pequenas e dependentes, portanto para dados que se encontram naturalmente emparelhados.

O **teste t emparelhado** pode ser aplicado com a finalidade de verificar se existe diferença sistemática, estatisticamente significativa, entre dois métodos a um dado nível de confiança (em geral, 95% de confiança). Para isso, é necessário considerar apenas o efeito da mudança da técnica analítica na determinação da concentração do(s) analito(s). Outras eventuais fontes de variação (por exemplo, a procedência das amostras) são isoladas por meio da análise das diferenças par-a-par, ou seja, aplicando ambos os métodos analíticos à análise das mesmas amostras analisadas. Esse procedimento – chamado de *bloqueio* no jargão estatístico – permite neutralizar a influência de fatores que não interessam na comparação dos métodos (NETO & BRUNS, 2010 *apud* LEITE, 2016, p.43).

São feitas “n” observações emparelhadas, $(x_{1j}$ e $x_{2j})$ cujo $j = 1, 2, \dots, n$, resultando nos pares de valores $(x_{11}, x_{21}), (x_{12}, x_{22}), \dots, (x_{1n}, x_{2n})$ das variáveis aleatórias (concentrações do analito estimadas por ambos os métodos) envolvidas. Admite-se que x_{1j} e x_{2j} se distribuam normalmente com média e variância populacionais dadas, respectivamente, por μ_1 e σ_1^2 e μ_2 e σ_2^2 .

Definindo-se $d_j = x_{1j} - x_{2j}$ como a diferenças entre as observações em cada par, então “ d_j ” representa uma nova variável aleatória – também distribuída normalmente – com os parâmetros populacionais: média $\Delta = \mu_1 - \mu_2$ e variância σ_d^2 (LEITE, 2016, p.43).

Pode-se recorrer ao teste de hipóteses formulado de modo que a hipótese nula seja dada por $\Delta = 0$, ou seja, admite-se não haver diferença estatisticamente significativa entre o método proposto e o de referência (NETO & BRUNS, 2010 apud LEITE, 2016, p.44).

O parâmetro μ_D será estimado pela média amostral das diferenças, ou seja, \bar{D} , o parâmetro σ_D^2 será estimado pela variância amostral (1) das diferenças (s_D^2), ou seja,

$$s_D^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}. \quad (1)$$

O teste será realizado por meio da expressão (2):

$$\hat{t} = \frac{|\bar{d} - \Delta|}{s_d / \sqrt{n}} \quad (2)$$

Do ponto de vista estatístico, a estimativa \hat{t} representa o afastamento do valor amostral (\bar{d}) em relação ao populacional correspondente à hipótese nula ($\Delta = 0$), medido em unidades de erro-padrão (s_d / \sqrt{n}). Isso significa que quanto maior for o afastamento, tanto menor serão as chances da hipótese nula ser verdadeira (LEITE, 2016, p.44).

Dessa forma, pode-se interpretar o resultado do teste de hipótese formulado da seguinte maneira: (i) Se o valor de $\hat{t} > t$ (extraído da distribuição t com “ v ” graus de liberdade e nível de confiança adotado), então a hipótese nula

deve ser rejeitada. Isso significa que existe uma diferença sistemática estatisticamente significativa entre os resultados de ambos os métodos. (ii) Do contrário $\hat{t} < t$, a hipótese nula deve ser aceita. Neste caso, conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre os resultados ao nível de confiança adotado (LEITE, 2016, p.44).

7. PARTE EXPERIMENTAL

7.1. Reagentes e soluções

A limpeza das vidrarias e preparo das soluções foram feitas com água deionizada (tipo 2) em deionizador ELIX da Millipore.

Reagentes

Os reagentes utilizados na realização do trabalho foram: biftalato de potássio ($\text{KH}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$, PROQUIMIOS 99,95-100,05 % P.A), hidróxido de sódio (NaOH , PROQUIMIOS 97 % P.A), carbonato de sódio (Na_2CO_3 , Impex 99,5% P.A), ácido clorídrico (HCl , Vetec 36,5-38% P.A), cloreto de sódio (NaCl , Dinâmica 99%), indicador fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$, Vetec P.A ACS), indicador alaranjado de metila ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$, Vetec P.A ACS).

Solução tampão

Todos os sais utilizados no preparo das soluções tampão e os demais reagentes são de grau analítico.

Calibrou-se o eletrodo com soluções de calibração pH 4,00 e 7,00 da MS Tecnopon.

Soluções estoque

Prepararam-se 500,00 mL de uma solução $5,0 \cdot 10^{-1} \text{ molL}^{-1}$ de NaCl;
Prepararam-se 250,00 mL de uma solução $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$ de Na_2CO_3 ;
Prepararam-se 250,00 mL de uma solução $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ molL}^{-1}$ de $\text{KH}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$;
Prepararam-se 1,00 L de uma solução $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ molL}^{-1}$ de NaOH;
Prepararam-se 1,00 L de uma solução $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ molL}^{-1}$ de HCl;
Prepararam-se 50,00 mL do indicador fenolftaleína 1,0%;
Prepararam-se 50,00 mL do indicador alaranjado de metila 1,0%.

Amostra de captopril (CTP $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$)

Adquiriu-se o medicamento genérico captopril 25 mg (TEUTO, Brasil) sem purificação adicional.

Pesaram-se 30 comprimidos (contendo além do princípio ativo, amido, lactose monoidratada, celulose microcristalina, croscarmelose sódica, dióxido de silício e ácido esteárico) e calculou-se o peso médio do comprimido (cerca de 86,27 mg);

Pulverizaram-se e homogeneizaram-se os comprimidos;

Pesou-se uma porção do pó (cerca de 0,5433 g) equivalente a 0,1574 g de captopril;

Para o preparo da amostra ($2,90 \cdot 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$), dissolveu-se a porção do pó pesada em 150,00 mL de solução de NaCl $0,5 \text{ molL}^{-1}$, sob agitação, durante 25 minutos;

Filtrou-se a solução em papel de filtro qualitativo (205 μm) para balão volumétrico de 250,00 mL e completou-se o volume com solução de NaCl $0,5 \text{ molL}^{-1}$.

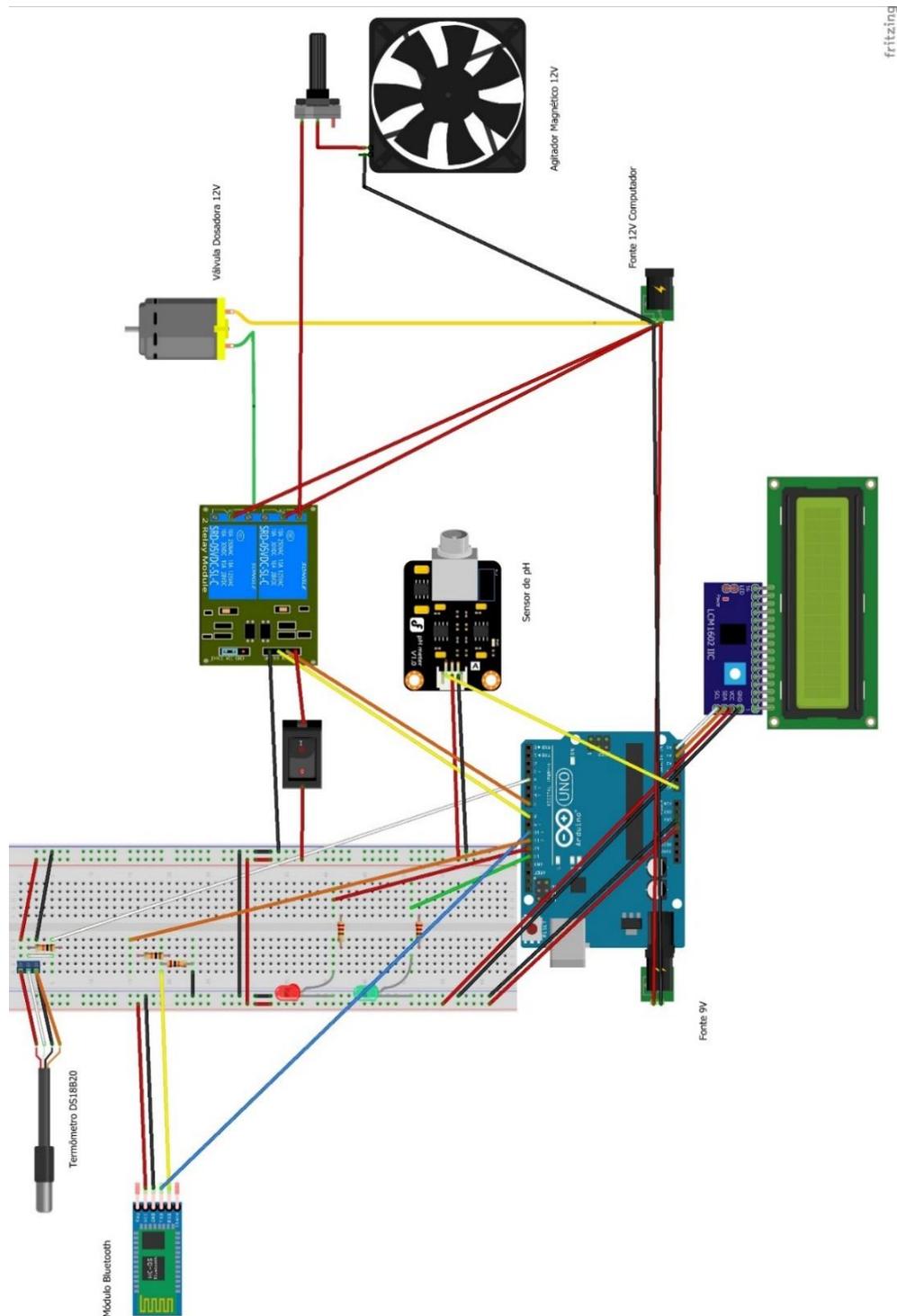
7.2. Materiais e equipamentos

- Agitador magnético (IKAC-MAG-HS7)
- Almofariz com pistilo
- Anel para suporte de funil
- Balança analítica (TKS - Modelo FA2204C)
- 02 Balão volumétrico de 1,0 L
- Balão volumétrico de 100,00 mL
- 04 Balão volumétrico de 250,00 mL
- Barra magnética
- 04 Béqueres de 50 mL
- Béquer de forma alta
- Bureta volumétrica de 50,00 mL
- 02 Conta gotas
- 02 Espátulas
- Frasco lavador
- Funil de vidro
- Garras
- Haste universal
- Papel de filtro qualitativo (Qualy)
- pHmetro (Tecnopon – Modelo 210)
- Pipeta graduada de 2,0 mL
- Pipeta volumétrica de 20,0 mL
- Sistema proposto para titulação automática

7.3. Construção do titulador automático

A protoboard de montagem do titulador automático foi desenvolvida pelo software Fritzing e está representada pela figura 41.

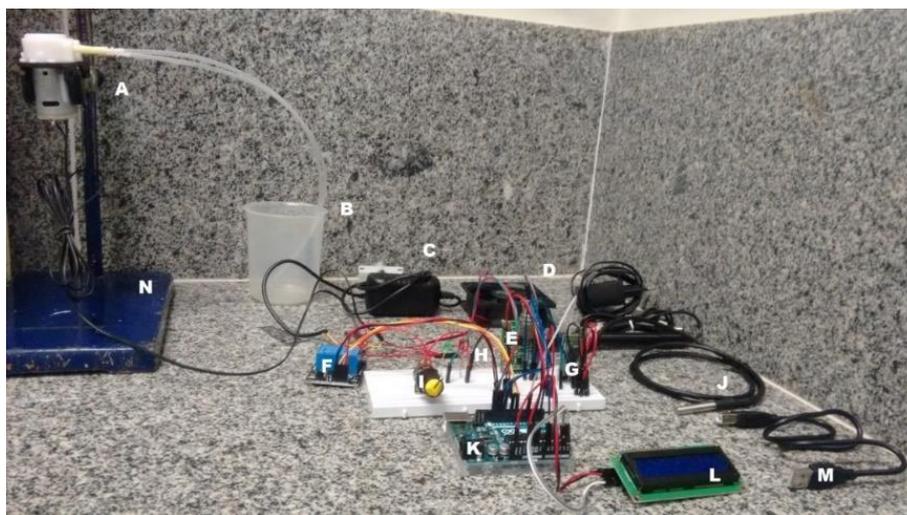
Figura 41. Protoboard de montagem do titulador automático.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Os principais componentes eletrônicos do titulador automatizado (sem o gabinete de computador e fonte de 12 v) são apresentados na figura 42.

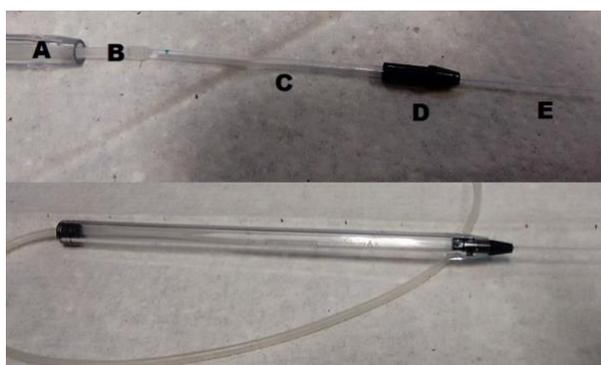
Figura 42. Principais componentes do sistema de titulação potenciométrica automatizada (sem o gabinete de computador e fonte de 12 v), sendo (A) Rotor Dosador Com Motor 12 Vdc P/ Bomba Peristáltica, (B) Tubo Silicone 3x5 mm Ts-200, (C) Fonte 9V 1A Bivolt, (D) Cooler Micro-Ventilador 40mm x10mm 12V, (E) Módulo Sensor + pH Eletrodo Sonda Bnc Arduino/phmetro, (F) Módulo Relé 2 Canais 5V com acoplador óptico, (G) HC-05 - Módulo Bluetooth, (H) LED 5mm Vermelho Difuso e LED 5mm Verde Difuso, (I) Potenciômetro Linear Rotativo 100k e Knob para Potenciômetro 16mm, (J) Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água, (K) Arduino Uno R3 + Cabo USB – Compatível, (L) Display LCD 16x2 Azul + Adaptador LCD I2C, (M) Haste universal, (N) Jumpers 10cm Macho-Macho e Macho-Fêmea, (O) Protoboard 830 pontos.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Um sistema de injeção foi construído com tubo de caneta esferográfica conforme apresentado figura 43.

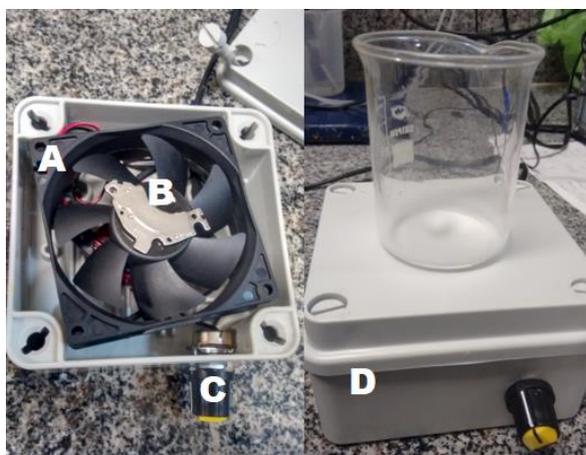
Figura 43. Principais componentes do sistema de agitação. (A) Tubo externo de caneta esferográfica, (B) Tubo Silicone 3x5 mm Ts-200, (C) Tubo interno de caneta esferográfica, (D) Ponteira de caneta esferográfica, (E) Tubo capilar de plástico.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

O sistema de agitação também foi construído com recursos de baixo custo conforme apresentado na figura 44.

Figura 44. Principais componentes do sistema de agitação. (A) Cooler Micro-Ventilador 40mm x10mm 12V, (B) Ímã de neodímio extraído de leitor de cd/dvd, (C) Potenciômetro Linear Rotativo 100k e Knob para Potenciômetro 16mm, (D) Caixa Quadro Passagem Elétrica 10cm Pvc Steck Km Disjuntor.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A seguir é apresentado na tabela 3 a lista com os custos dos componentes do titulador automatizado:

Tabela 3. Lista de custos do instrumento desenvolvido

Componentes	Quantidade	Custo total (R\$)
Arduino Uno R3 + Cabo USB – Compatível	1	49,90
Caixa Quadro Passagem Elétrica 10cm Pvc Steck Km Disjuntor	1	26,18
Cooler Micro-Ventilador 40mm x10mm 12V	1	9,90
Chave gangorra KCD1-101 2 Terminais preto	1	1,49
Conector Borne KRE 3 Vias	1	1,70
Display LCD 16x2 Azul + Adaptador LCD I2C	1	24,90
Fonte 9V 1A Bivolt	1	14,90
HC-05 - Módulo Bluetooth	1	34,90
Kit Jumpers 10cm Macho-Macho x40 Unidades	1	14,90
Kit Jumpers 10cm Macho-Fêmea x40 Unidades	1	14,90
Knob para Potenciômetro 16mm	1	1,50
LED 5mm Verde Difuso - pcte c/5 unidades	1	0,95
LED 5mm Vermelho Difuso - pcte c/5 unidades	1	0,95
Módulo Sensor + pH Eletrodo Sonda BNC Arduino/phmetro	1	136,49
Módulo Relé 2 Canais 5V com acoplador óptico	1	12,90
Potenciômetro Linear Rotativo 100k	1	1,90
Protoboard 830 pontos	1	16,90
Rotor Dosador Com Motor 12 Vdc P/ Bomba Peristáltica	1	82,90
Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água	1	19,90
Tubo Silicone 3x5 mm Ts-200 (1 metro)	1	5,00
TOTAL		423,26

O titulador automatizado usa duas fontes de tensão. Uma fonte de 9 v para alimentação do Arduino e sensores (oriunda de um velho roteador) e uma fonte de 12 v para uso exclusivo dos atuadores (tendo sido obtida junto com um gabinete de computador reaproveitado).

Nessa montagem, o controle de luminosidade do visor LCD é realizado através de potenciômetro já embutido em seu modulo I2C. Um potenciômetro de 10 k Ω foi usado para controle de velocidade do sistema de agitação e outro potenciômetro foi usado para calibração manual do módulo de pH (2,5V => pH7). Nos três casos o potenciômetro foi fundamental no ajuste da resistência elétrica pelo deslizamento giratório da conexão central.

O cooler para PC 80x80mm foi usado como motor do agitador magnético. Ele opera com tensão de 12v com corrente de 0.15 A \pm 10% e produz uma rotação de até 2500 \pm 10% RPM.

O display LCD 20x4 com módulo adaptador I2C opera com tensão máxima de 5v e o consumo máximo de corrente é de aproximadamente 200mA.

A minibomba de água peristáltica foi criada especialmente para o desenvolvimento de projetos de prototipagem. Opera com tensão de 12v, corrente aproximada de 400mA, potência máxima de 7W e produz uma rotação de 0,1 a 100 RPM.

A chave gangorra possibilita manter apenas os sensores ligados para uma eventual determinação direta de pH.

Para o acionamento do agitador e da válvula dosadora foi usado um módulo relé com 2 canais independentes que opera com tensão de 5v. Através desta placa de acionamento é possível controlar diversos dispositivos de

corrente alternada, de até 10 A, pois já possui diodo, transistor, relé e conectores. A escolha de um módulo relé com optoacopladores embutidos deve-se a necessidade de proteger o sistema microcontrolador de tensão reversa gerada pelos atuadores.

O módulo Bluetooth Arduino HC-05 é um módulo eletrônico que permite que o dispositivo envie ou receba dados TTL através de tecnologia Bluetooth sem que seja necessário conectar um cabo serial no computador. Ele trabalha com nível de sinal de 3,3 V. Como o Arduino fornece tensão de 5v, é imprescindível o uso de um divisor de tensão desenvolvido com resistores de 10kΩ e 20kΩ.

O sensor de temperatura DS18B20 é produzido com encapsulamento LP Package 3-Pin TO-92 de um sensor LM35. Analogamente, ele possui uma escala linear de 10mv por °C, o que significa que 1 °C equivale a 10mv (0,01V). Esse sensor permite medir temperaturas entre -55 °C e 125 °C com precisão garantida entre 0,5 °C e 85 °C. Sua resolução é configurável entre 9 e 12 bit e o intervalo para cada leitura é de no mínimo 750ms. Além disso, um resistor de 4,7K (Pull Up) deve ser ligado junto ao fio de dados do sensor de temperatura DS18B20 para reconhecê-lo e impedir flutuações do valor lido.

Quando ligado à porta digital ou analógica do Arduino (que possui resolução de 10 bits ou 1024 unidades e tensão máxima de 5v), o valor lido é convertido pela biblioteca diretamente em °C e enviado para o microcontrolador usando um barramento de apenas um fio (protocolo de comunicação One wire ou 1-wire). O microprocessador, através da biblioteca do sensor de temperatura, realiza a seguinte operação:

$$\text{Temperatura (°C)} = (\text{Valor} * 5/1024) / 0,01 = \text{Valor} * 5 * 100/1024$$

O valor do pH pode ser deduzido da tensão entre um eletrodo de detecção de pH e um eletrodo de referência (esses dois eletrodos constituem uma sonda de pH).

Um eletrodo de pH funciona como uma cela galvânica. O eletrodo elimina 59,16 mV para cada unidade de pH da solução aquosa acima ou abaixo do pH 7. Por exemplo, o eletrodo de pH elimina 0 v quando imerso em água com pH 7; 59,16 mV em pH 6; 118,32 mV em pH 5 e assim por diante. A polaridade inverte-se a água está acima do pH 7, então o eletrodo aplica -59,16 mV em pH 8; -118,32 mV em pH 9, e assim por diante. Basicamente, tudo o que é necessário para medir o pH é medir a tensão deste eletrodo.

O problema é que o eletrodo de pH tem uma "impedância de fonte" de cerca de um bilhão de ohms, como se estivesse tentando medir a voltagem de uma pequena bateria de 118,32 mV com um resistor de um bilhão de ohms em série com a ela.

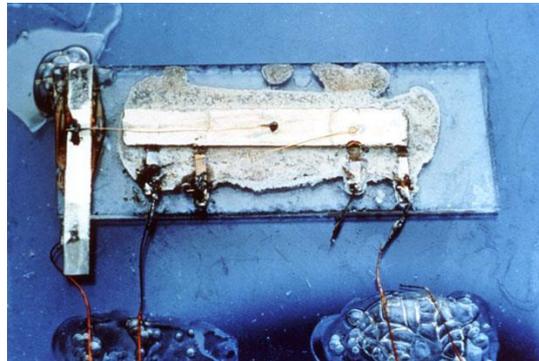
Geralmente, a impedância interna entre os dois eletrodos é muito alta (10M Ω a 4G Ω). Portanto, o instrumento potenciométrico requer uma impedância de entrada extremamente alta ($\sim 10^{12}$ Ω) ou corrente de polarização de entrada extremamente baixa (\sim pA) (JIN *et al.*, 2018).

Felizmente, este sinal de impedância de alta fonte não é um problema para os circuitos integrados (ICs) que estão agora disponíveis a baixo custo e fácil aquisição.

Os circuitos integrados, também chamados de microchips, são circuitos eletrônicos funcionais, constituídos por um conjunto de transistores, diodos, resistências e capacitores, fabricados sobre uma única pastilha semicondutora

de silício. Foram desenvolvidos a partir da década de 60 em importantes laboratórios americanos e rapidamente difundidos no uso militar, espacial e doméstico (FUENTES, p. 75). Abaixo, foto do primeiro circuito integrado, criado por Jack Kilby em 1958 (figura 45).

Figura 45. Circuito integrado de Jack Kilby (1958).



Fonte: GARRETT, 2012.

Os amplificadores operacionais eram circuitos integrados usados para realizar operações matemáticas em computadores analógicos.

O diagrama abaixo mostra um diagrama típico de um Amplificador Operacional (figura 46).

Figura 46. Símbolo de um Amplificador Operacional e os principais “pinos”.



Fonte: GRIMALDI, 2019.

Os pinos de alimentação **FA+** e **FA-** devem ser ligados a uma *Fonte de Alimentação Simétrica*, usualmente na faixa de 5V a 15V. Os sinais negativo (-) e positivo (+) das entradas **Inversora (V-)** e **Não-Inversora (V+)** apenas indicam

que os potenciais dessas entradas serão **Invertidos** ou **Não Invertidos** respectivamente (GRIMALDI, 2019, grifo do autor).

A tensão de saída é igual ao produto da diferença entre os sinais de entrada pelo Ganho (A) “de circuito aberto” do AO:

$$V_0 = A \cdot (V_+ - V_-)$$

As suas características ideais são:

- Ganho (A ou G);
- Ganho de tensão em malha aberta finita, mas extremamente altos ($10^4 - 10^6$);
- Impedância de entrada finita, mas extremamente altos ($Z_i \geq 10^6 \text{ M}\Omega$ à $10^{13} \text{ M}\Omega$);
- Impedância de saída praticamente nula ($Z_0 \leq 1 - 10\Omega$);
- Resposta de frequência infinita;
- Insensibilidade a temperatura.

Considerando um ganho de tensão infinito, temos:

$$V_+ \approx V_-$$

Segundo Grimaldi (2019), o circuito amplificador operacional com realimentação negativa e aplicação de sinal na entrada não-inversora (V_+) é amplamente aplicado na montagem de medidores eletroquímicos, tais como condutivímetros e potenciômetros.

O objetivo de usar a entrada não-inversora (V_+) é de se partindo de uma tensão com sinal positivo obter uma tensão de saída amplificada de mesmo sinal.

Como a impedância nas entradas (inversora e não-inversora) é muito alta, pode-se considerar que a corrente drenada pela entrada inversora é praticamente desprezível, por isso toda a corrente i_i que passa por R_i segue também para R_f (ou vice-versa) e por isso, pela Lei de Kirchoff, $i_i = i_f$.

Pode-se deduzir a equação do circuito amplificador não-inversora conforme a figura 47.

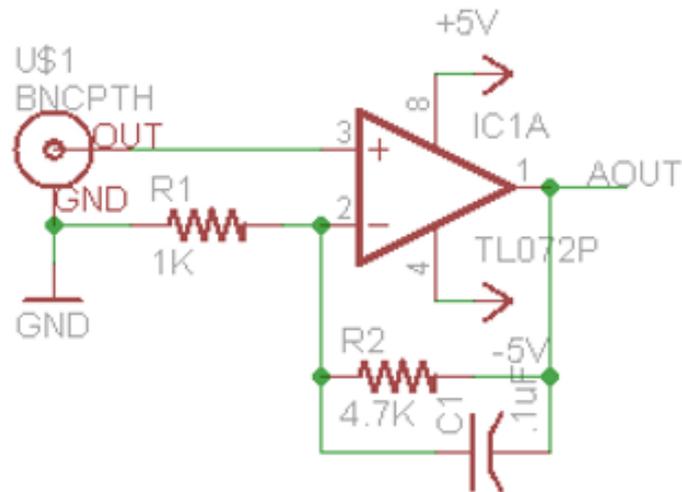
Figura 47. Dedução da equação do circuito Amplificador Não-Inversor

$$\begin{aligned}
 V_o &= \Delta V_i + \Delta V_f \\
 V_o &= R_i * I_i + R_f * I_f \\
 \text{Mas: } I_i &= I_f & \text{Mas: } V_- \approx V_+ \rightarrow V_S \approx V_{in} \\
 \text{Então: } V_o &= R_i * I_i + R_f * I_i & \text{Então: } V_o = V_{in} * \left(\frac{R_i + R_f}{R_i} \right) \\
 V_o &= I_i * (R_i + R_f) & \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R_i + R_f}{R_i} \\
 V_o &= \frac{V_S}{R_i} * (R_i + R_f) & \frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_i} \\
 V_o &= V_S * \left(\frac{R_i + R_f}{R_i} \right)
 \end{aligned}$$

Fonte: GRIMALDI, 2019.

Um dos circuitos integrados mais usados nos módulos de pH é o amplificador operacional TL072P desenvolvido pela Texas Instruments (figura 48).

Figura 48. Diagrama esquemático de um módulo de pH



Fonte: SPARKY'S WIDGETS, 2015.

A simulação para um circuito amplificador operacional com realimentação negativa e aplicação de sinal na entrada não-inversora foi desenvolvida em Java (FALSTAD, 2019).

Pela equação do circuito Amplificador Não-Inversor, temos:

$$V_{OUT}/V_{IN} = 1 + R_2/R_1 = 1 + 4,7k/1,0k = 5,7$$

Teoricamente, a tensão de uma meia-célula de referência e uma meia-célula de detecção com os valores de pH varia entre +0,414v e -0,414v:

pH 0 = + 414mV (ácido)

pH 4 = + 177mV (ácido)

pH 7 = 0mV (neutro)

pH 10 = -177mV (básico)

pH 14 = -414mV (básico)

Assim, pode-se estimar o balanço total da tensão de saída como:

$$V_{OUT} / V_{IN} = 5,7$$

$$V_{OUT} = 5,7 * V_{IN} = 5,7 * (+0,414v) = +2,36 v$$

$$V_{OUT} = 5,7 * V_{IN} = 5,7 * (-0,414v) = -2,36 v$$

O balanço total da tensão de saída é igual a 4,72v.

No lado ácido do intervalo de compensação, temos: $V_{IN} = 5,00v$

$$V_{OUT} = V_{IN} + V_{OFFSET} \Rightarrow 5,00v - 2,36v = V_{OFFSET} = 2,64v$$

No lado básico do intervalo de compensação ($V_{in} = 0,00v$):

$$V_{OUT} = V_{OFFSET} - V_{IN} \Rightarrow 0,00v + 2,36v = V_{OFFSET} = 2,36v$$

Por essa razão, considera-se o valor médio da tensão $V_{OFFSET} = 2,5v$ para a calibração do tampão $pH = 7$.

Nesse estudo, o módulo de pH DIY MORE PH-4502C e eletrodo de pH E-201C foram empregados (figura 49).

Figura 49. Módulo DIY MORE PH-4502C e sensor de pH E-201C



Fonte: CONNECTED CITIES, 2019.

Esse módulo trabalha com nível de sinal de 5,00 v, potência mínima de 15 mW, resistência interna $R_1 = 250 \text{ M}\Omega$ e $R_2 = 50 \text{ M}\Omega$, com ganho de 6 vezes sobre tensão de entrada ($V_{in} = 412 \text{ mV}$), permitindo valores de pH entre 0 e 14 com precisão garantida entre -40°C e 85°C e tempo de resposta de 5 s.

O coeficiente angular (slope ou inclinação da reta) depende da sensibilidade do eletrodo de vidro e deve ser definido experimentalmente. Por essa razão, não há uma biblioteca para esse módulo de pH, o que equivale a dizer que quando ligado à porta analógica do Arduino, o valor lido precisa ser convertido pelo microcontrolador através de um código específico.

Primeiramente, são tomados dez valores num intervalo de 10 ms. Esses valores são colocados em ordem crescente e dois valores de cada extremo são excluídos. O microprocessador realiza a conversão dos seis valores centrais na tensão média e desconta o ganho do amplificador analógico através da seguinte operação:

$$\text{Tensão (V)} = (\text{Valor} * 5/1023) / 6 / 6$$

Para converter a tensão média num valor de pH, é necessário avaliar a sensibilidade de resposta do eletrodo de vidro combinado. Para tanto, usam-se os tampões pH 7 e pH 4.

7.4. Comunicação de dados

A comunicação de dados entre o Arduino e periféricos ocorre de três maneiras diferentes: pelo display LCD via módulo I2C, pela comunicação serial com o notebook usando cabo USB e pelo smartphone via transmissão por Bluetooth.

Comunicação com display LCD

A comunicação direta do Arduino com um display LCD, seja 16x2 ou 20x4, requer pelo menos seis portas digitais para a conexão (figura 50). O uso do módulo I2C necessita de apenas duas portas do Arduino economizando as demais para a ligação de outros componentes. Para tanto, são usados o pino analógico 4 (SDA) e o pino analógico 5 (SCL), que formam a interface de comunicação I2C. Para controlar esse módulo I2C, utilize a biblioteca LiquidCrystal_I2C.

Figura 50. Comunicação com display LCD

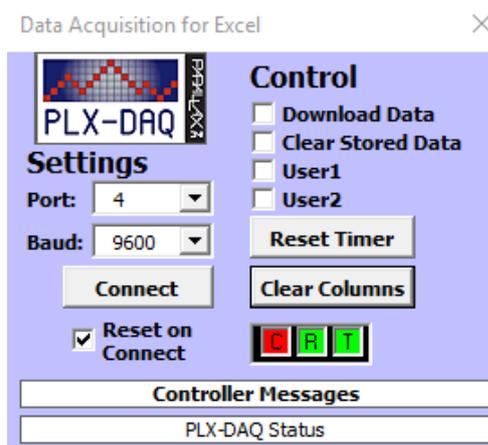


Fonte: Elaboração própria, 2019.

Comunicação serial com o notebook usando cabo USB

O PLX-DAQ é uma ferramenta adicional de aquisição de dados de microcontroladores Parallax para Microsoft Excel (figura 51).

Figura 51. Interface de controle do software PLX-DAQ (*Data Acquisition for Excel*)



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Para coletar os dados do experimento, deve-se abrir a planilha *PLX-DAQ-v2.11.xlsm*, que contém uma macro que nos permite salvar os dados do USB no Excel, escolher a porta USB à qual o Arduino está conectado e clicar no botão Connect. Além da coleta de dados, o gráfico é plotado em tempo real. Informações sobre o download do software PLX-DAQ encontram-se disponíveis em (<http://www.parallax.com/downloads/plx-daq>).

Os dados obtidos foram usados para a avaliação do desempenho do titulador e determinação do pK_a de captopril em formulação farmacêutica.

Comunicação com o smartphone via transmissão por Bluetooth

Segundo Alecrim (2018), em 1994 a Ericsson cria o *MC-Link* para comunicação entre celulares e acessórios utilizando sinais de rádio de baixo custo, em vez dos tradicionais cabos. Em 1998, em parceria com as companhias Ericsson, Intel, IBM, Toshiba e Nokia o *MC-Link* entra no mercado com o nome de *Bluetooth* em homenagem a um rei dinamarquês chamado *Harald Blåtand*, mais conhecido como *Harald Bluetooth* (*Haroldo Dente-Azul*). Bluetooth é definido como

“um padrão global de comunicação sem fio e de baixo consumo de energia que permite a transmissão por radiofrequência de dados entre dispositivos, desde que um esteja próximo do outro” (ALECRIM, 2018).

A faixa ISM (*Industrial, Scientific, Medical*), que opera à frequência de 2,45 GHz, é a que se mais se aproxima dessa necessidade, sendo utilizada em vários países, com variações que vão de 2,4 GHz a 2,5 GHz.

Utilizou-se nesse estudo o módulo Bluetooth RS232 HC-05. Ele opera com tecnologia Bluetooth 2.0 + EDR (figura 52).

Figura 52. Módulo Bluetooth RS232 HC-05



Fonte: TechDepot Egypt, 2018.

O Bluetooth 2.0 surgiu oficialmente em novembro de 2004 e trouxe importantes aperfeiçoamentos à tecnologia: diminuição do consumo de energia, aumento na velocidade de transmissão de dados para até 3 Mb/s (2.1 Mb/s efetivos), correção das falhas existentes na versão 1.2 e melhor comunicação entre os dispositivos. O padrão *EDR* (*Enhanced Data Rate*), que consegue praticamente triplicar a taxa de transferência de dados da tecnologia (ALECRIM, 2018).

A tensão de saída do Arduino é de 5,0v, mas o módulo Bluetooth opera com nível de sinal de 3,3v. Isso significa que é preciso um divisor de tensão para

evitar a queima do módulo. No titulador automático foram usados os resistores de $10k\Omega$ e $20k\Omega$ com essa finalidade.

É possível a combinação de outros resistores R1 e R2. Para tanto, use-se uma calculadora online para estimar a tensão final (<https://www.arduinoecia.com.br/p/calculador-divisor-de-tensao-function.html>).

O aplicativo Virtuino

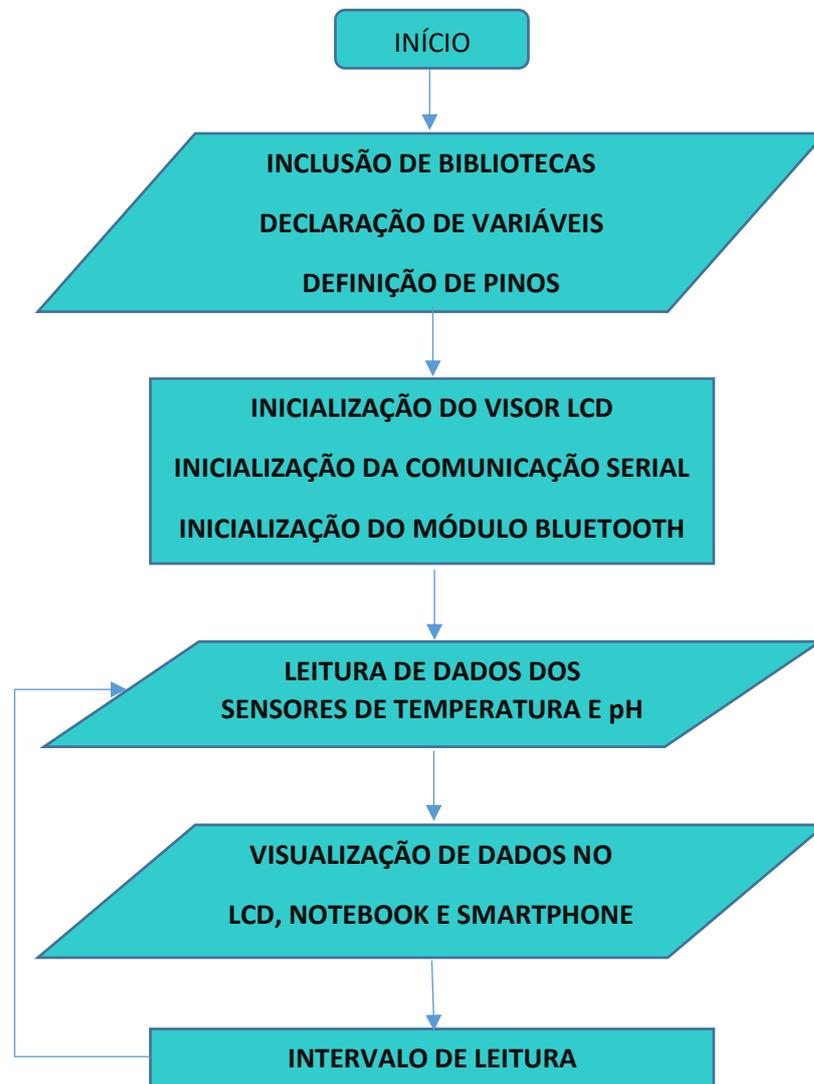
O Virtuino é uma plataforma IHM para servidores IoT, Arduino ESP e placas similares, brokers MQTT, PLCs e servidores Modbus. Através dele é possível criar telas virtuais no smartphone ou tablet para controlar todos os sistemas de automação via Bluetooth, WiFi ou Web (VIRTUINO, 2018).

O apêndice II apresenta a configuração para o pareamento entre o módulo Bluetooth e o sistema Android do Smartphone. O apêndice III apresenta a configuração do aplicativo Virtuino para receber os dados de pH, tensão elétrica do eletrodo, temperatura e volume gerando um gráfico em tempo real.

7.5. Programação da plataforma Arduino

Para a programação da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino foi utilizada a seguinte lógica, representada pelo fluxograma da figura 53:

Figura 53. Fluxograma representativo da lógica de programação do titulador automático.



Fonte: Modificado de Cachichi, p. 23, 2018.

O microprogramador Arduino carrega os dados dessas bibliotecas no sistema, lê as variáveis declaradas para os dispositivos e define os pinos relacionados a cada um destes. Nesse momento, o visor LCD e a comunicação serial estão preparados para inicialização ou etapa de Setup. Pelo smartphone,

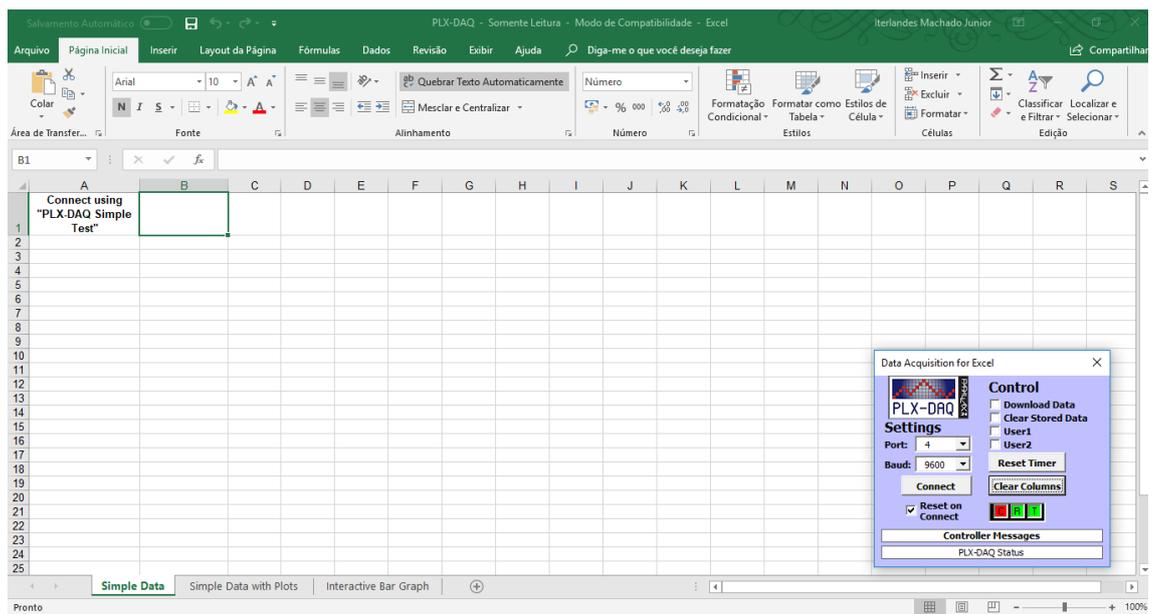
o pareamento com o módulo Bluetooth também é estabelecido e pode ser identificado através do Aplicativo Virtuino.

O desenvolvimento do sistema de coleta de dados pelo computador segue o exemplo especificado por Cachichi (2018, p. 21), segundo o qual utiliza o microcontrolador Arduino UNO R3 e o sensor de temperatura LM35. Os dados são transferidos por meio de cabo USB para o notebook (sistema Windows) e monitorado pelo monitor serial do software PLX-DAQ.

Assim que acionado o comando de inicialização pelo software PLX-DAQ, o microprogramador Arduino entra numa etapa de varredura infinita dos dados enviados pelos sensores, inicialização do agitador e controle da válvula peristáltica. Após a adição de uma alíquota do titulante (0,10 mL/6 s), os dados são enviados para o display LCD, para a planilha Excel (figura 54) e um gráfico é plotado ponto a ponto no smartphone (figura 55). Esse processo se inicia automaticamente a cada 6 segundos sendo chamado de etapa de loop do sistema.

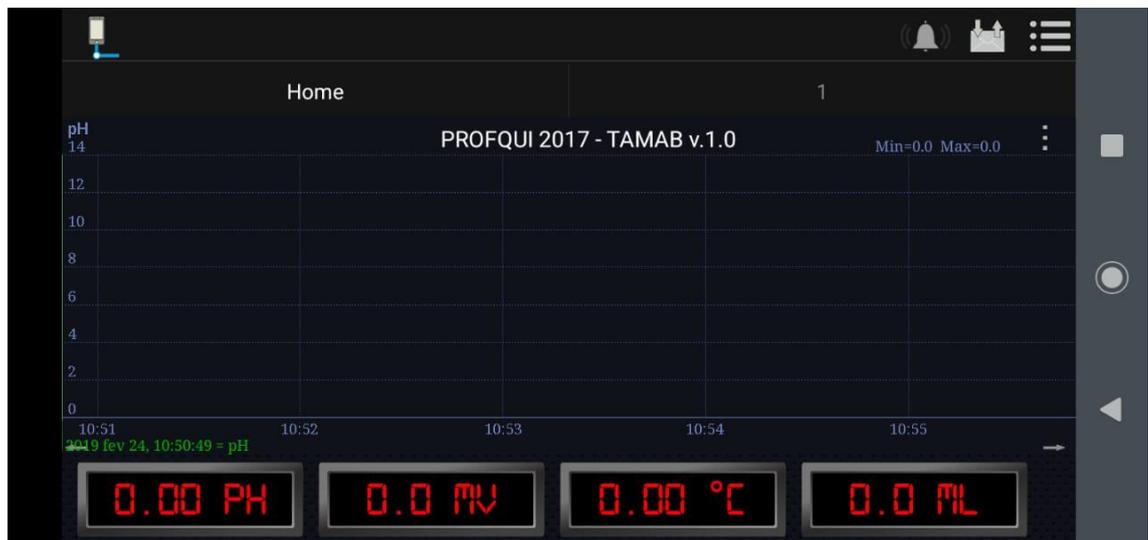
O código fonte está detalhado no apêndice I.

Figura 54. Ferramenta de aquisição de dados de paralaxe (PLX-DAQ) integrado ao Excel



Fonte: PLX-DAQ, 2019.

Figura 55. Interface para monitoramento de sensor de pH desenvolvida com o Virtuino



Fonte: Elaboração própria, 2019.

7.6. Procedimentos e instrumentação analítica

Procedimento I - Padronização de NaOH $2,00 \cdot 10^{-2} \text{ molL}^{-1}$

Pipetou-se uma alíquota de 10,0 mL da solução padrão de biftalato de potássio $\text{KH}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$ $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ para béquer de forma alta . Adicionaram-se 2 gotas de fenolftaleína. Titulou-se com solução de NaOH e anotou-se o volume. O experimento foi realizado com 4 replicatas.

Procedimento II - Padronização de HCl $2,00 \cdot 10^{-2} \text{ molL}^{-1}$

Pipetou-se uma alíquota de 15,0 mL da solução padrão de carbonato de sódio Na_2CO_3 $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ para béquer de forma alta . Adicionaram-se 2 gotas de fenolftaleína. Titulou-se com solução de NaOH e anotou-se o volume. O experimento foi realizado com 4 replicatas.

Procedimento III – Determinação de pK_a do captopril (CTP $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ molL}^{-1}$)

Pipetou-se uma alíquota de 15,0 mL da solução estoque de captopril para béquer de forma alta. Adicionaram-se 2 gotas de fenolftaleína. Titulou-se com solução de NaOH previamente padronizado e anotou-se o volume. Realizaram-se 4 replicatas.

Os três procedimentos são realizados tanto com o sistema de titulação montado com o pHmetro comercial (figura 56), quanto com o sistema proposto de titulação potenciométrica automatizada (figura 57).

Figura 56. Sistema de titulação potenciométrica convencional.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

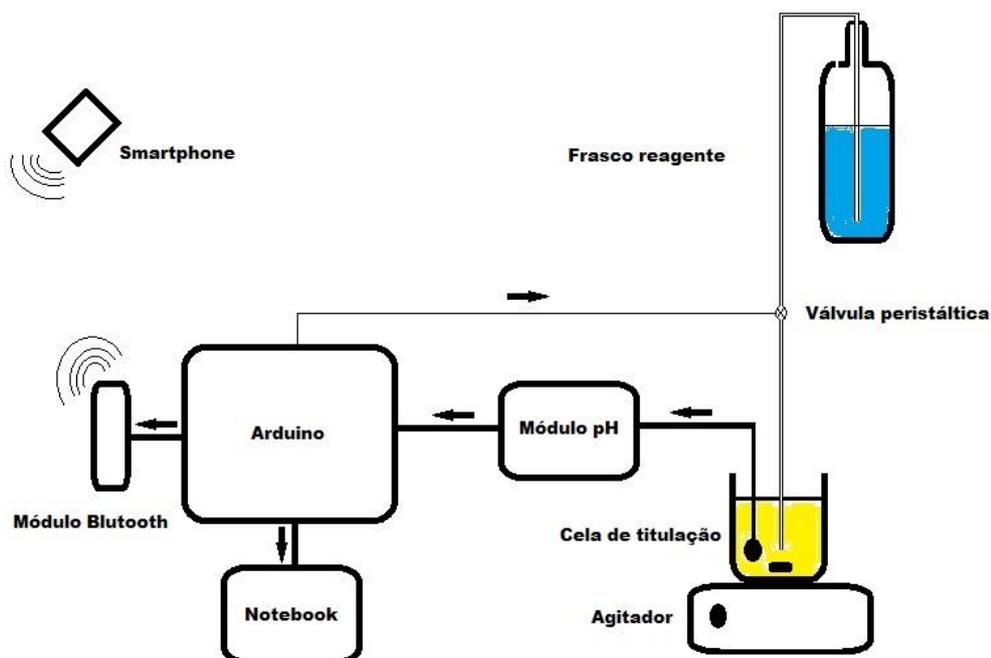
Figura 57. Sistema proposto de titulação potenciométrica automatizada.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Um esquema de funcionamento é ilustrado na figura 58.

Figura 58. Esquema de funcionamento do sistema de titulação potenciométrica automatizada



Fonte: Elaboração própria, 2019.

De um modo geral, não é preciso ser um programador para compreender como funciona o Arduino. Por ser um microprogramador de código aberto, a comunidade Arduino compartilha seus códigos em pastas compactadas, para os mais variados dispositivos (sensores e atuadores) ou funções comumente utilizadas. A pasta contendo códigos compartilhados é denominada biblioteca e possui a extensão (.h).

Nesse projeto, por exemplo, usaram-se bibliotecas para: interface TWI/I2C entre dispositivos e sensores (Wire.h), para controlar displays de cristal líquido - LCD (LiquidCrystal_I2C.h), para comunicação serial usando pinos digitais (SoftwareSerial.h), para comunicação serial do módulo Bluetooth (VirtuinoBluetooth.h) e para comunicação serial do sensor de temperatura DS18B20 (OneWire.h e DallasTemperature.h).

7.7. Proposta de experimentação investigativa no ensino de química

A hipertensão é uma doença crônica, de natureza multifatorial, assintomática - na grande maioria dos casos - que compromete fundamentalmente o equilíbrio entre o relaxamento (vasodilatação) e a contração (vasoconstrição) dos vasos, levando a um aumento da tensão sanguínea, capaz de prejudicar a irrigação tecidual e provocar danos aos órgãos irrigados. (...) Dentre as doenças atribuíveis à hipertensão arterial incluem-se a insuficiência cardíaca e renal, o infarto do miocárdio e o acidente vascular cerebral (PAULA et al., 2005, p. 19).

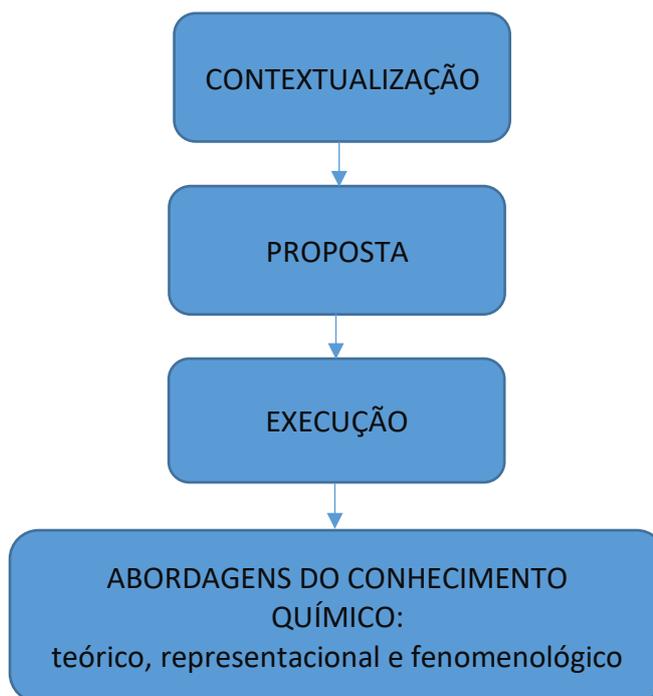
O objetivo da experimentação no ensino de química é despertar o interesse pela investigação científica através de um tema social relevante. Para tanto, foi elaborada uma proposta didática (apêndice IV) tendo como tema gerador o uso do captopril no controle da hipertensão.

A estrutura representada pela figura 59 sintetiza os caminhos a serem percorridos no processo de construção dos conhecimentos químicos acerca desse tema.

O titular automatizado poderá ser empregado na Educação Básica e em cursos de formação de professores a nível de graduação (na disciplina de Química Analítica Instrumental) e pós-graduação (em cursos de capacitação profissional de professores de química).

Apesar de ter sido construído com materiais de baixo custo, é necessário um espaço físico apropriado para aulas experimentais com recursos materiais mínimos para o trabalho científico escolar.

Figura 59. Caminhos percorridos no processo de construção do conhecimento químico



Fonte: Modificado de Leal, p. 13, 2010.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1. Resultados da avaliação do desempenho do titulador automático

8.1.1. Estudo da vazão

A vazão expressa a quantidade em massa de um fluido que escoa através de certa secção em um intervalo de tempo considerado.

Para medir a vazão da válvula peristáltica é preciso definir o tempo de injeção da mesma, bem como o intervalo de leitura. Para tanto, foi montado um sistema composto pelo titulador automático construído e uma balança analítica (figura 60).

Figura 60. Sistema para medida de vazão da válvula peristáltica



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A densidade relativa da solução diluída, medida com um picnômetro, aproxima-se da unidade que é a densidade da água pura.

Tempo de injeção

As massas dispersas pela válvula foram determinadas a partir das médias de dez medidas diferentes para os tempos 85, 90, 95, 100, 105 e 110 ms (tabela 4).

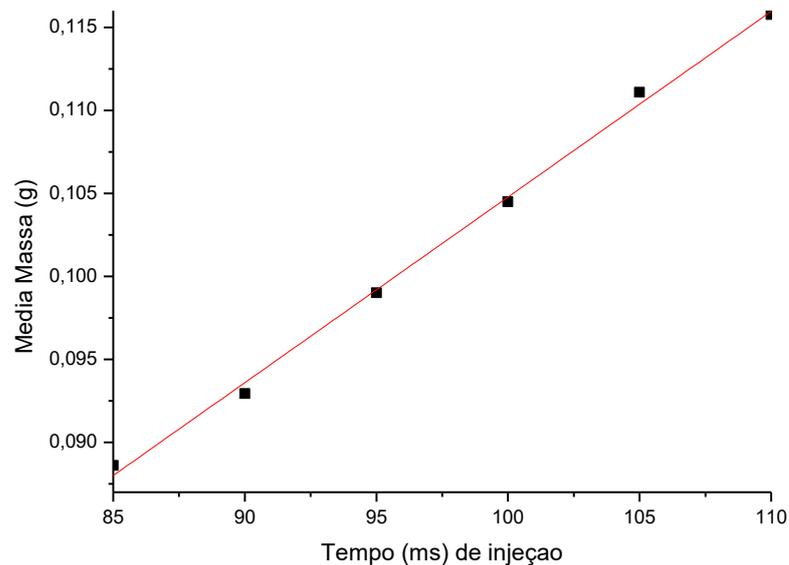
Definiu-se a média das massas para cada tempo de injeção e construiu-se uma curva de calibração do tempo de injeção através do método dos mínimos quadrados usando o software OriginPro 8 (figura 61).

Tabela 4. Curva analítica para o tempo de injeção

Massa (g)	<i>Tempo (ms) de injeção</i>					
	85	90	95	100	105	110
1	0,0775	0,0910	0,1107	0,0997	0,1355	0,1415
2	0,0908	0,1049	0,0936	0,1036	0,1040	0,1111
3	0,0929	0,0935	0,0978	0,0968	0,0976	0,1012
4	0,1124	0,0791	0,1012	0,1022	0,1166	0,1309
5	0,0828	0,1190	0,0906	0,0843	0,0887	0,0971
6	0,0829	0,0852	0,1200	0,1265	0,1263	0,1100
7	0,0962	0,0815	0,0882	0,0901	0,0901	0,1311
8	0,0877	0,0729	0,1078	0,1231	0,1268	0,1101
9	0,0805	0,1163	0,0924	0,1230	0,0950	0,1011
10	0,0824	0,086	0,0878	0,0956	0,1303	0,1235
Média	0,0886	0,0929	0,0990	0,1045	0,1111	0,1158

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Figura 61. Curva analítica mínimos quadrados para o tempo de injeção



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A análise de regressão linear dos mínimos quadrados apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,9967, indicando linearidade dentro dos intervalos de tempo estudados, obtendo-se uma equação da reta:

$$\text{Massa(g)} = 0,00112 * \text{Tempo(ms)} - 0,00704$$

O datasheet do módulo de pH especifica um intervalo (delay) mínimo de 5s para estabilização de leitura.

Para tanto, considerou-se um intervalo de leitura de 6s (6000 ms) sendo subdividido em tempo de injeção (95ms), intervalo de injeção (5000 ms) e, conseqüentemente, tempo de pausa de 905 ms, como abaixo:

Intervalo de leitura = tempo de injeção + tempo de pausa + intervalo de injeção

$$6000 \text{ ms} = 95 \text{ ms} + \text{tempo de pausa} + 5000 \text{ ms}$$

Intervalo de leitura

Avaliou-se a vazão cumulativa, para o intervalo de leitura estimado, tomando-se 10 medidas num período de 10 minutos (tabela 5).

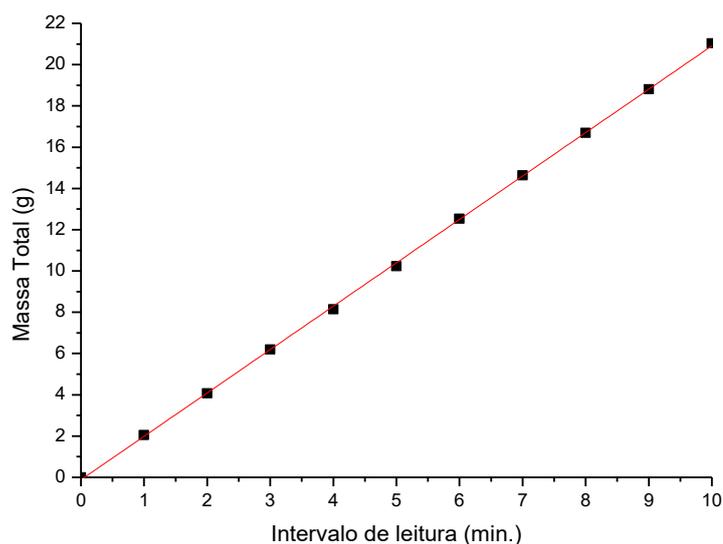
Construiu-se uma curva de calibração do intervalo de leitura através do método dos mínimos quadrados usando o software OriginPro 8 (figura 62).

Tabela 5. Curva analítica para o intervalo de leitura

Intervalo de Leitura (min.)	Massa Total (g)
0	0
1	2,0424
2	4,0721
3	6,1996
4	8,1406
5	10,2241
6	12,5383
7	14,6293
8	16,6978
9	18,8009
10	21,0275

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Figura 62. Curva analítica mínimos quadrados para o intervalo de leitura



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A análise de regressão linear dos mínimos quadrados apresentou um coeficiente de determinação R^2 de 0,9998, indicando linearidade dentro dos intervalos de tempo estudados, obtendo-se uma equação da reta:

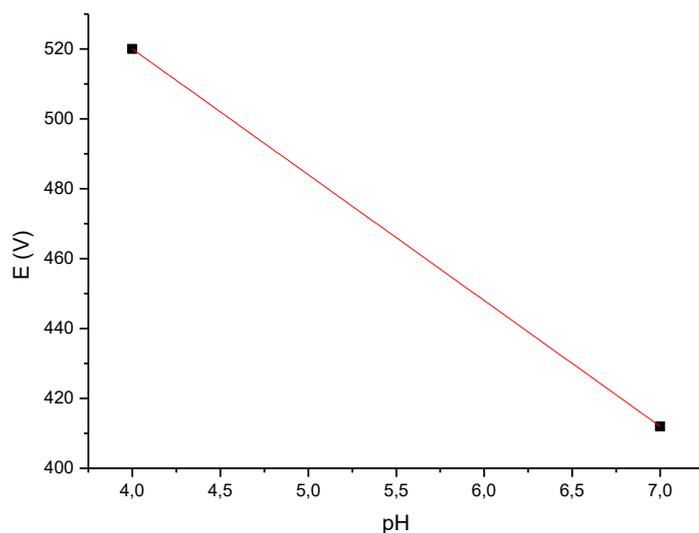
$$\text{Massa(g)} = 2,10278 * \text{Intervalo(min.)} - 0,11639$$

8.1.2. Curva de calibração para o sinal analítico

Para o tampão pH 7 a tensão é sempre de 412 mV (esse valor é denominado Offset e deve ser ajustado manualmente sempre que necessário) e para o tampão pH 4 a tenção medida foi de 510 mV (esse valor é chamado de Step 1).

A partir desses dados, construiu-se uma curva de calibração para o sinal analítico medido em (mV) através do método dos mínimos quadrados usando o software OriginPro 8 (figura 63).

Figura 63. Curva analítica mínimos quadrados para calibração do eletrodo de pH



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Dentro dos intervalos de pH estudados, foi obtida pela análise de regressão linear dos mínimos quadrados a seguinte equação da reta:

$$E(mV) = 183,81 + 32,67 \text{ pH}$$

No experimento o valor medido para o slope foi de 32,67 mV/pH entre os valores de pH 7 e pH 4. A equação que relaciona o valor de pH com a tensão medida pode ser descrita da seguinte forma:

$$\text{pH} = 7 + ((412 - E(mV)) / 32,67)$$

O equipamento comercial apresentou Offset igual a 0,0 mV para o tampão pH 7. A tensão medida para o tampão pH 4 foi de 196,0 mV, resultando num slope de 65,3 mV/pH com o mesmo eletrodo. Portanto, o eletrodo usado apresentou sensibilidade de 94,42% sendo considerado ótimo para a análise.

8.1.3. Validação da titulação potenciométrica

A avaliação da eficiência entre os dois equipamentos (comercial e o titulador automático proposto) para os procedimentos I e II foi realizada a partir da comparação de médias pelo teste t de Student pareada. Para tanto, os dados foram analisados eletronicamente por meio da plataforma Excel e pela calculadora de teste t da Graphpad (<https://www.graphpad.com/quickcalcs/ttest1.cfm?Format=C>).

Deseja-se verificar se os dois equipamentos apresentam resultados estatisticamente semelhantes. Para tanto, utilizaram-se amostras pareadas e se construiu com um intervalo de confiança de 95%, a tabela 6 sobre a padronização de NaOH para cinco replicatas do procedimento I e a tabela 7 sobre a padronização de HCl para cinco replicatas do procedimento II.

As curvas de titulação obtidas remotamente pelo smartphone são apresentadas para o procedimento I (figuras 64) e para o procedimento II (figura 65).

Figura 64. Curva de titulação potenciométrica para padronização de NaOH



Fonte: Elaboração própria, 2019.

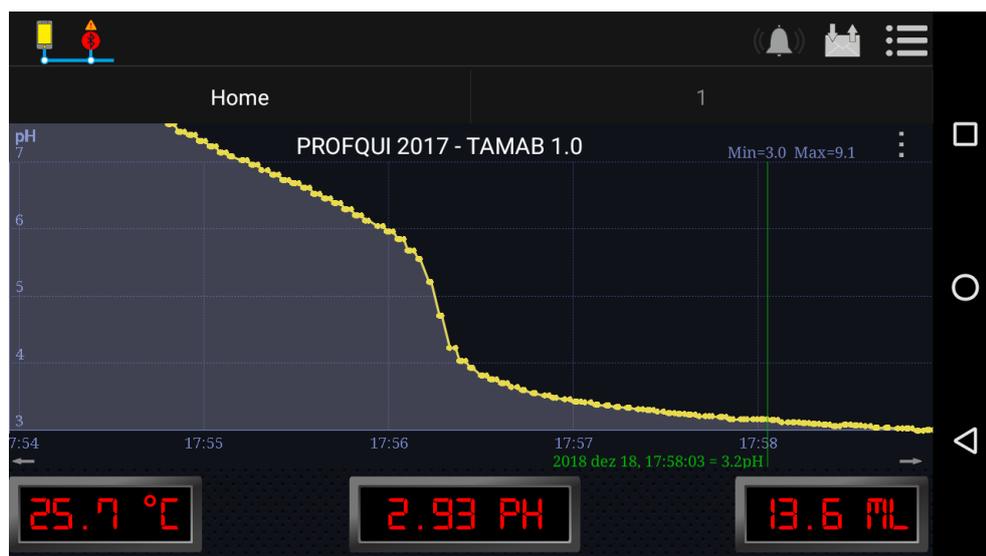
Tabela 6. Dados obtidos pela padronização de NaOH

REPLICATA	EQUIPAMENTO COMERCIAL		TAMAB	
	V _{HCl} , mL	[NaOH], molL ⁻¹	V _{HCl} , mL	[NaOH], molL ⁻¹
1	10,01	1,998.10 ⁻²	10,61	1,885.10 ⁻²
2	10,05	1,990.10 ⁻²	11,00	1,818.10 ⁻²
3	10,24	1,953.10 ⁻²	11,06	1,808.10 ⁻²
4	10,15	1,970.10 ⁻²	10,28	1,945.10 ⁻²
5	10,32	1,937.10 ⁻²	10,26	1,949.10 ⁻²
MÉDIA	10,15	1,970.10 ⁻²	10,64	1,879.10 ⁻²

Fonte: Elaboração própria, 2019.

A diferença de concentração obtida entre o equipamento comercial e o TAMAB é definida como d_i . A média d é calculada pelo quociente entre somatório de d_i por n replicatas. Estes valores têm $d_i = 4,43 \cdot 10^{-3}$, média $d = 8,86 \cdot 10^{-4}$, desvio padrão $sd = 1,8656 \cdot 10^{-3}$ e $n=5$. O valor calculado de t é igual a 2,5111 e valor crítico t_c é 2,7764 ($P = 0,05$). Portanto, como o valor calculado de t é menor que t_c , a hipótese nula não é rejeitada: os métodos não fornecem resultados significativamente diferentes para a concentração de NaOH. Também, considerando que $P(t > 2,5111)$ é igual a 0,0660 e, portanto, maior que 0,05, chega-se à mesma conclusão: os dois métodos não diferem significativamente em $P = 0,05$.

Figura 65. Curva de titulação potenciométrica para padronização de HCl



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Tabela 6. Dados obtidos através da padronização de HCl

REPLICATA	EQUIPAMENTO COMERCIAL		TAMAB	
	V _{NaOH} , mL	[HCl], molL ⁻¹	V _{NaOH} , mL	[HCl], molL ⁻¹
1	6,73	2,228.10 ⁻²	6,65	2,255.10 ⁻²
2	6,63	2,262.10 ⁻²	6,60	2,272.10 ⁻²
3	6,73	2,228.10 ⁻²	6,60	2,272.10 ⁻²
4	6,73	2,228.10 ⁻²	6,70	2,238.10 ⁻²
5	6,71	2,235.10 ⁻²	6,70	2,238.10 ⁻²
MÉDIA	6,70	2,238.10 ⁻²	6,65	2,255.10 ⁻²

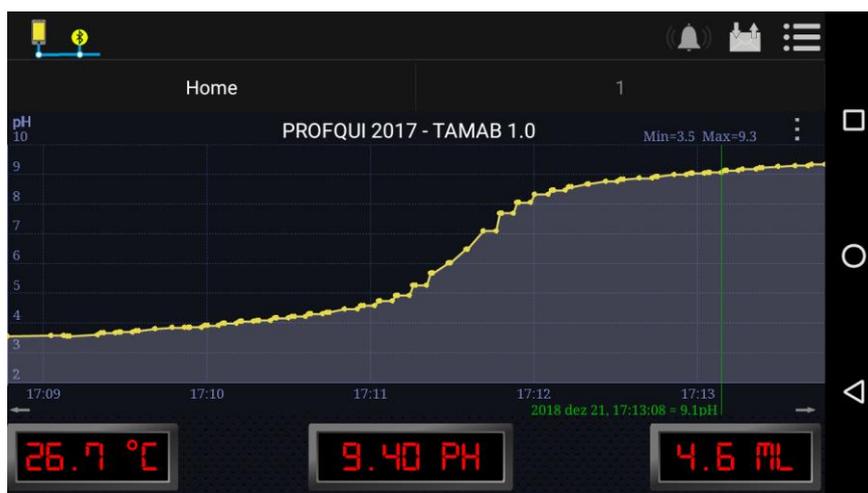
Fonte: Elaboração própria, 2019.

Estes valores têm $d_i = -9,40 \cdot 10^{-4}$, média $d = -1,880 \cdot 10^{-4}$, desvio padrão $sd = 3,9454 \cdot 10^{-4}$ e $n=5$. O valor calculado de t é igual a 2,5272 e valor crítico t_c é 2,7764 ($P = 0,05$). Portanto, como o valor calculado de t é menor que t_c , a hipótese nula não é rejeitada: os métodos não fornecem resultados significativamente diferentes para a concentração de HCl. Também, considerando que $P(t > 2,5272)$ é igual a 0,0649 e, portanto, maior que 0,05, chega-se à mesma conclusão: os dois métodos não diferem significativamente em $P = 0,05$.

8.2. Determinação do teor (mg/comprimido) e valor de pKa do captopril em comprimido farmacêutico

A curva de titulação obtida remotamente pelo smartphone para a análise de captopril é apresentada na figura 66.

Figura 66. Curva de titulação potenciométrica para análise de captopril



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Os resultados da análise potenciométrica de captopril obtidos pelo método da primeira derivada (tabela 8) e com o uso do indicador fenolftaleína (tabela 9) estão representados.

Tabela 8. Resultados obtidos pelo método da primeira derivada. T = 26,7 °C.

REPLICATA	V _{NaOH} , mL	pKa	Teor, mg/comprimido	Teor (%)	Erro (%)
1	2,45	3,98	26,52	105,88	6,08
2	2,50	4,03	27,00	108,00	8,00
3	2,59	4,03	27,95	111,80	11,80
4	2,67	4,00	28,74	114,96	14,96
5	2,56	4,05	27,63	110,52	10,52
Média	2,55	4,01	27,56	110,24	10,24

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Tabela 9. Resultados obtidos com o uso do indicador fenolftaleína. T = 26,7 °C.

REPLICATA	V _{NaOH} , mL	pKa	Teor, mg/comprimido	Teor (%)	Erro (%)
1	2,20	3,91	23,77	95,08	4,92
2	2,20	3,95	23,77	95,08	4,92
3	2,30	3,98	24,85	99,40	0,60
4	2,40	3,93	25,93	103,72	3,72
5	2,30	4,00	24,85	99,40	0,60
Média	2,28	3,95	24,63	98,52	1,48

Fonte: Elaboração própria, 2019.

O valor de pKa esperado para o captopril é de 3,7 (PEREIRA *et al.*, 2011, p. 1659). Os erros relativos para o valor médio de pKa do captopril são de 10,24% (obtido pelo método da primeira derivada) e de 1,48% (obtido com o uso do indicador fenolftaleína).

Os resultados da análise potenciométrica de captopril obtidos pelo método da primeira derivada sugerem um comportamento não ideal do instrumento. Possivelmente, isso decorre da menor rapidez de resposta do módulo de pH.

É importante que os professores saibam explorar na sala de aula de química os possíveis erros existentes nos procedimentos relatados, além dos aspectos relativos às limitações do fazer científico quanto a necessidade de maiores investimentos em instrumentos, métodos e capacitação profissional. Um tema bem atual em nosso país.

Os experimentos descritos podem ser visualizados através do aplicativo “Leitor de código QR” disponível na Play Store de dispositivos Android como tablets e smartphones. Para tanto, deve-se scanear o QR Code com a câmera e, assim, ter acesso aos vídeos gravados do procedimento I (figura 67), procedimento II (figura 68) e procedimento III (figura 69).

Figura 67. QR Code do Procedimento I. Padronização de NaOH



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Figura 68. QR Code do Procedimento II. Padronização de HCl



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Figura 69. QR Code do Procedimento III. Determinação do teor e valor de pka do captopril



Fonte: Elaboração própria, 2019.

8.3. Socialização da nova tecnologia educacional

O processo de divulgação científica e socialização acerca da nova tecnologia educacional deu-se durante a visita de um grupo de professores e alunos do Colégio Tiradentes da Polícia Militar de Minas Gerais (CTPM Manhuaçu) ao Departamento de Química da UFV (figura 70).

Nessa ocasião, discutiu-se com uma turma de 11 alunos de 1^o e 2^o anos a relevância do estudo de equilíbrio ácido-base, bem como o uso de indicadores ácido-base e do pHmetro. Procurou-se, também, resolver algumas situações-problema do dia-a-dia envolvendo cálculos de pH e a interpretação desses resultados.

Figura 70. Comunicação científica acerca da nova tecnologia educacional



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Buscou-se explorar de modo crítico e reflexivo o desenvolvimento e aplicação de uma tecnologia alternativa, de forma a articular teoria e prática no laboratório didático de química.

Destacou-se a importância do papel mediador do professor nas diferentes situações de ensino e aprendizado com o uso dessa ferramenta de ensino. Ressaltou-se, ainda, a possibilidade de desenvolvimento de novas competências para o professor de química, tais como: eletrônica básica, linguagem e lógica de programação. Abaixo, um regate do momento com os professores visitantes (figura 71).

Figura 71. Comunicação científica da nova tecnologia educacional



Fonte: Elaboração própria, 2019.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi demonstrado como um equipamento de baixo custo e fácil aquisição para titulação automatizada que busca ainda facilitar a aquisição de dados via Bluetooth através da integração com o smartphone pode ser desenvolvido e aplicado em um contexto de aprendizagem significativa.

Para o mesmo eletrodo de pH, o valor medido do slope foi de 32,67 mV/pH entre os valores de pH 7 e pH 4 com o equipamento construído com o Arduino e de 65,3 mV/pH com o equipamento comercial. A linearidade da resposta possibilitou realizar as medidas de pH sem nenhum comprometimento da atividade didática.

Os resultados de padronização com a titulação potenciométrica clássica e sua eficiência foram comparados com dados obtidos com um pHmetro comercial, não apresentando diferenças estatisticamente significativas com aplicação do teste t pareado a 95% de confiança.

Esta nova tecnologia educacional foi aplicada para a quantificação de captopril 25 mg e determinação do valor médio do pK_a , resultando em 110% de recuperação e pK_a igual a 4,01. Os resultados da análise potenciométrica de captopril obtidos pelo método da primeira derivada sugerem um comportamento não ideal do instrumento. Possivelmente, isso decorre da menor rapidez de resposta do módulo de pH.

Um maior aprofundamento acerca das possibilidades de formação docente por meio da aplicação desse instrumento e de outros projetos de química com Arduino em cursos de capacitação profissional a nível de graduação e/ou pós-graduação carece de ser problematizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCHETRON. Arnaldo de Villa Nova (1235-1311), alquimista, astrólogo e médico espanhol. 2018. Disponível em: < <https://alchetron.com/Arnaldus-de-Villa-Nova>> Acesso em: 30 dez 2018.

ALECRIM, E. INFOWESTER. Tecnologia Bluetooth: o que é e como funciona? 2018. Disponível em: <<https://www.infowester.com/bluetooth.php>> Acesso em: 14 jan 2019.

ALEGRIA, J. Faça você mesmo e aprenda muito mais fazendo. 2017. Disponível em: <<http://futura.org.br/caleidoscopio/faca-voce-mesmo-e-aprenda-muito-mais-fazendo/>> Acesso em: 04 nov 2018.

ALEXANDER, D. J. PH Regulator/Meter – Arduino. 2018. Disponível em: <<https://www.instructables.com/id/PH-RegulatorMeter-Arduino/>> Acesso em: 01 dez 2018.

ARDUINO. Arduino. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 04 nov 2018.

Arduino e Cia. Calculadora Online – Divisor de tensão com resistores. 2018. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/p/calculador-divisor-de-tensao-function.html>> Acesso em: 01 dez 2018.

AXT, R. O papel da experimentação no ensino de Ciências. *In*: MOREIRA & AXT. **Tópicos em ensino de Ciências**. Porto Alegre: Sagra: 1991.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. *In*: CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson, 2004.

BENITE, C.R.M.; BENITE, A.M.C.; MORAIS, W.C.S. e YOSHENO, F.H. Estudos sobre o uso de tecnologia assistiva no ensino de química. Em foco: a experimentação. **Revista Itinerarius Reflectionis**, v.12, n.1, p.1-12, 2016.

BENITE, C.R.M.; BENITE, A.M.C.; BONOMO, F.A.F.; VARGAS, G.N.; ARAÚJO, R.J.S.; ALVES, D.R. A experimentação no Ensino de Química para deficientes visuais com o uso de tecnologia assistiva: o termômetro vocalizado. **QNEsc.**, v.39, n.3, 245-249, 2017.

BERSCH, R. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Porto Alegre, 2013.

BRASIL. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Secretaria de Educação Básica. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica (Orientações Curriculares para o Ensino Médio; volume 2, 135 p. 2006.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2009. Brasília: INEP, 2009. Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em: 04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2010. Brasília: INEP, 2010.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2011. Brasília: INEP, 2011.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2012. Brasília: INEP, 2012.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2013. Brasília: INEP, 2013.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2014. Brasília: INEP, 2014.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2015. Brasília: INEP, 2015.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2016. Brasília: INEP, 2016.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2017. Brasília: INEP, 2017.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
04 nov 2018.

_____. Ministério da Educação. Prova ENEM 2018. Brasília: INEP, 2018.
Disponível em: <<http://inep.gov.br/web/guest/provas-e-gabaritos>> Acesso em:
17 nov 2018.

_____. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros
Curriculares Nacionais do Ensino Médio: Parte III - ciências da natureza,
matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2000.

_____. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino Médio:
orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares
Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília:
MEC/SEMTEC, 2002.

BRINCANDO COM IDEIAS. 2019. Disponível em:
<<https://www.brincandocomideias.com/>> Acesso em: 09 jan. 2019

CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOA, J.; MARTÍNEZ-
TERRADES, F. A emergência da didática das ciências como campo específico
de conhecimentos. In: CACHAPUZ, A. *et al.* (Org.). **A necessária renovação
do ensino das Ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CACHICHI, R.C. **Uma nova proposta para experimentos remotos de Físico-Química utilizando microcontroladores e plataforma Moodle®**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Tese (doutorado), 107 p., 2018.

CHAGAS, A. P. Teorias ácido-base do século XX. **QNEsc**. n.9, mai. 1999.

CONNECTED CITIES. Líquido PH0-14 Módulo Sensor de Detecção de Valor + Sonda PH Eletrodo BNC para Arduino. Disponível em: <<https://goo.gl/hAvUC8>> Acesso em: 12 jan 2019.

CUNHA, F. S.; OLIVEIRA, S. K. G.; ALVES, J. P. D.; RIBEIRO, M. E. N. P. Produção de Material Didático em Ensino de Química No Brasil: Um Estudo a Partir da Análise das Linhas de Pesquisa CAPES e CNPQ. **HOLOS**, v. 3, 182-192, 2015.

EUROCLINIX. Inibidores ECA. 2018. Disponível em: <<https://www.euroclinux.net/pt/hipertensao/inibidores-enzimas-angiotensina>> Acesso em: 30 dez 2018.

FALSTAD. Simulação de circuito amplificador operacional com realimentação negativa e aplicação de sinal na entrada não-inversora. 2019. Disponível em: <<http://www.falstad.com/circuit/e-amp-noninvert.html>> Acesso em: 12 jan 2019.

FAMULARO, N.; KHOLOD, Y.; KOSENKOV, D. Integrating Chemistry Laboratory Instrumentation into the Industrial Internet: Building, Programming, and Experimenting with an Automatic Titrator. **J. Chem. Educ.** v. 1, n.93, 175-181, 2016.

Farmacologia UEFS. Absorção. Disponível em: <<https://goo.gl/Abma7A>> Acesso em: 21 jan 2019.

FERNANDES, J.C.B.; KUBOTA, L.T.; NETO, G.O. Eletrodos íon-seletivos: histórico, mecanismo de resposta, seletividade e revisão dos conceitos. **Química Nova**, v.24, n.1, 120-130, 2001.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino Experimental de Química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova**, v.32, n.2, 101-106, 2010.

FILATRO, A.; CAVALCANTI, C.C. **Metodologias inov-ativas na educação presencial, a distância e corporativa**. São Paulo: Saraiva Educação, 2018. 272 p.

FONTOURA, J. Educação. Quais os desafios dos professores para incorporar as novas tecnologias no ensino. 2018. Disponível em: <<http://www.revistaeducacao.com.br/quais-os-desafios-dos-professores-para-incorporar-as-novas-tecnologias-no-ensino/>> Acesso em: 04 nov 2018.

FRANÇA, F.A.; BENITE, C.R.M.; OLIVEIRA, M.S.G.; VARGAS, G.N.; CANDIDO, A.C. Tecnologia Assistiva no Ensino de Química: o uso do pHmetro vocalizado. 57º Congresso Brasileiro de Química (CBQ). Gramado: FAURGS,

2017. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/6/10627-24084.html>> Acesso em: 04 nov 2018.

FREUND, J.E. **Estatística Aplicada: Economia, Administração e Contabilidade**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

FRITZING. Electronics Made Easy. 2018. Disponível em: <<http://fritzing.org/home/>> Acesso em: 04 nov 2018.

FUENTES, R.C. Eletrônica. - Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/qcBZe1>> Acesso em: 12 jan 2019.

GAMA, M. S.; AFONSO, J. C. De Svante Arrhenius ao Peagâmetro Digital: 100 anos de medida de acidez. **Química Nova**, v.30, n.1, 232-239, 2007.

GARRETT, F. techtudo. A história do microchip. 2012. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2011/12/a-historia-do-microchip.html>>. Acesso em: 12 jan 2019.

GAZOLA, R. J. C.; ZULIANI, S. R. Q.; MARTINS, D. S.; MELLO, D. F. O Experimento Investigativo e as Representações de Alunos de Ensino Médio como Recurso Didático para o Levantamento e Análise de Obstáculos Epistemológicos. V Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia (EREBIO-SUL). Londrina: UEL, 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/ccb/biologiageral/eventos/erebio/comunicacoes/T142.pdf>> Acesso em: Acesso em: 04 nov 2018.

GEDDES, M. **Manual de projetos do Arduino: 25 Projetos Práticos para começar**. 1. ed. - São Paulo: Editora Novatec, 2017.

GIANI, K. **A experimentação no Ensino de Ciências: possibilidades e limites na busca de uma Aprendizagem Significativa**, Brasília-DF, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília, UnB, Dissertação de Mestrado, 190p., 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL-PÉREZ, D. La metodología científica y la enseñanza de las Ciências: unas relaciones convertidas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n.2, p.111-121, 1986.

GRAPHPAD. QuickCalcs. t test calculator. 2019. Disponível em: <<https://www.graphpad.com/quickcalcs/ttest1.cfm?Format=C>> Acesso em: Acesso em: 12 jan. 2019.

GRIMALDI, N.M.C. Água – Um olhar integrado. Automação. 2019. Disponível em: <<http://www.c2o.pro.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2019.

HACKING STEM. Microsoft Educação. **Medindo a Qualidade da Água para Compreender o Impacto Humano**. 2017. Disponível em:

<<https://www.microsoft.com/en-us/education/education-workshop/conductivity-sensor.aspx>> Acesso em: 04 nov 2018.

HELMENSTINE, A. M. Acid & Base Science Fair Project Ideas. 2017a. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/acid-and-base-science-fair-project-ideas-609061>>. Acesso em: 30 dez 2018.

HELMENSTINE, A. M. Svante Arrhenius - Father of Physical Chemistry. 2017b. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/svante-arrhenius-4137940>>. Acesso em: 30 dez 2018.

HILL, D.A.; ANDERSON, L.E.; HILL, C.J.; MOSTAGHIM, A.; RODGERS, V.G.J.; GROVER, W.H. MECs: "Building Blocks" for Creating Biological and Chemical Instruments. **PLOS ONE**. v. 11, n.7, 1-15, 2016.

HIRDES, A. R. **Projeto construção e avaliação de um termômetro eletrônico com aquisição automática de dados e aplicações no ensino de físico-química experimental**, Bagé, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, UNIPAMPA, Dissertação de Mestrado, 161 p., 2015.

JIN, H.; QIN, Y; PAN, S.; ALAM, A.U.; DONG, S.; GHOSH, R.; DEEN, M.J. Open-Source Low-Cost Wireless Potentiometric Instrument for pH Determination Experiments. **J. Chem. Educ.** v. 2, n.95, 326-330, 2018.

KUBÍNOVA, S. E SLEGR, J. ChemDuino: Adapting Arduino for Low-Cost Chemical Measurements in Lecture and Laboratory. **J. Chem. Educ.** v. 10, n.92, 1751-1753, 2015.

LAWES, C.M.; VANDER HOORN, S.; RODGERS, A. Global burden of blood-pressure-related disease, 2001. **The Lancet**. v. 371, n. 9623, 1513-1518, 2008.

LEAL, M.C. **Apropriação do discurso de inovação curricular em química por professores do ensino médio**, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação da UFMG, Tese (doutorado), 296 p., 2003.

LEAL, M.C. **Didática da Química: fundamentos e práticas para o Ensino Médio**. Belo Horizonte: Dimensão, 2009. 120 p.

LEAL, M.C. **Soneto de hidrogênio**. São João del Rei: Editora UFSJ, 2011.

LI, Y.C.; MELENBRINK, E.L.; CORDONIER, G.J.; BOGGS, C.; KHAN, A.; ISSAC, M.K.; NKHONJERA, L.K.; BAHATI, D.; BILLINGE, S.J.; HAILE, S.M.; KREUTER, R.A.; CRABLE, R.M.; MALLOUK, T.E. An Easily Fabricated Low-Cost Potentiostat Coupled with User-Friendly Software for Introducing Students to Electrochemical Reactions and Electroanalytical Techniques. **J. Chem. Educ.** v. 9, n.95, 1658-1661, 2018.

LEITE, F.C. **Um estudo para titulação quimiluminescente em fluxo-batelada com detecção por imagem digital**, Joao Pessoa, Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Dissertação de Mestrado, 78 p., 2016.

MABBOTT, G. A. Teaching Electronics and Laboratory Automation Using Microcontroller Boards. **J. Chem. Educ.** v. 9, n.91, 1458-1463, 2014.

MARCONATO, J.C.; FRANCHETTI, S.M.M. Decomposição Térmica do PVC e Detecção do HCl Utilizando um Indicador Ácido-Base Natural: uma Proposta de Ensino Multidisciplinar. **QNEsc.** n.14, nov. 2001.

McCLAIN, R.L. Construction of a Photometer as an Instructional Tool for Electronics and Instrumentation. **J. Chem. Educ.** v. 5, n.91, 747-750, 2014.

MELONI, G.N. Building a Microcontroller Based Potentiostat: A Inexpensive and Versatile Platform for Teaching Electrochemistry and Instrumentation. **J. Chem. Educ.** v. 7, n.93, 1320-1322, 2016.

MOTA, A. Vida de Silício. O que é Arduino e como funciona? 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-arduino-e-como-funciona/>> Acesso em: 04 nov 2018.

OLIVEIRA, A.F. **Equilíbrio Químico em Solução Aquosa Orientados à Aplicação:** Sistemas Ácido-Base De Bronsted e outros Equilíbrios. Campinas: Átomo, 2009.

OLIVEIRA, P.C.C.; LEITE, M.A.P. Espectrofotometria no Ensino Médio: Construção de um Fotômetro de Baixo Custo e Fácil Aquisição. **QNEsc.**, v.38, n.2, 181-184, 2016.

PAULA, W.X.; SINISTERRA, R.D.; DOS SANTOS; R.A.S.; BERALDO, H. A Química Inorgânica no Planejamento de Fármacos Usados no Controle da Hipertensão. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola.** n.6, 19-23, 2005.

PEREIRA, A.V.; GARABELI, A.A.; SCHUNEMANN, G.D. Determinação da constante de dissociação (K_a) do captopril e da nimesulida: Experimento de química analítica para o curso de farmácia. **Química Nova.** v.34, n.9, 1656-1660, 2011.

PONTES, A.S. **Desenvolvimento de um fotômetro LED-Vis portátil e microcontrolado por Arduino**, Joao Pessoa, Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Dissertação de Mestrado, 95 p., 2014.

PLX-DAQ. Parallax Inc. 2018. Disponível em: <<https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>> Acesso em: 04 nov 2018.

PRAIA, J.F.; CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciências: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, v.8, n.2, p.253-262, 2002.

PROFESSORA KEILA. Tecnologia e Robótica Educacional. 2018. Disponível em: <<http://www.professorakeila.com.br/2017/04/06-entendo-o-ide-arduino.html>> Acesso em: 30 dez 2018.

PUBLIC LAB. Sørensen (1868-1939), químico que desenvolveu a escala de pH em 1909. pH Testing and Citizen Science. 2017. Disponível em: <<https://publiclab.org/wiki/ph-testing-and-citizen-science>> Acesso em: 30 dez 2018.

QUANTUMHEORIE. Walther Nernst (1864-1941) em uma palestra no final dos anos 1920. Arquivo Histórico da Sociedade Max Planck. 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/EERTpQ>> Acesso em: 30 dez 2018.

RIBEIRO, P.R.S.; SANTINI, A.O.; PEZZA, H.R.; PEZZA, L. Potentiometric determination of captopril in pharmaceutical formulations. **Ecl. Quím.** v. 28, n.1, 39-44, 2003.

SACRISTÁN, J G. Consciência e ação sobre a prática como libertação profissional dos professores. *In*: NÓVOA, A. (org.) **A Profissão professor**. Porto: Porto Editora, 1999.

SANTOS, E. S.; HENRIQUE, H. C. R.; FERNANDES, A. M.; SILVA, R. M. G. Produção e Desenvolvimento de Materiais Didáticos Digitais para o Ensino de Química: Uma perspectiva formativa. XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ), Brasília-DF, 2010. Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R0943-1.pdf>> Acesso em: 04 nov 2018.

SCHNETZLER, R. P. Educação Química no Brasil: 25 anos de ENEQ – Encontro Nacional de Ensino de Química. *In*: Rosa, I. P.; Rossi, A. V. **Educação química no Brasil: Memórias, políticas e tendências**. Campinas: Editora Átomo, 2008.

SILVA, L. H. A.; ZANON, L. B. A experimentação no ensino de Ciências. *In*: Schnetzler, R. P.; Aragão, R. M. R. (orgs.). **Ensino de Ciências: Fundamentos e Abordagens**, Piracicaba: Capes/Unimep: Piracicaba, cap. 6, p. 120-153, 2000.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 8ª edição norte americana, São Paulo, Editora Thonson Learning, 999p, 2006.

SOONG, R.; AGMATA, K.; DOYLE, T.; JENNE, A.; ADAMO, T., SIMPSON, A. Combining the Maker Movement with Accessibility Needs in an Undergraduate Laboratory: A Cost-Effective Text-to-Speech Multipurpose, Universal Chemistry Sensor Hub (MUCSH) for Students with Disabilities. **J. Chem. Educ.** 2018.

SOUSA, A.G.; CHAGAS, F.W.; GOIS, L.C.; SILVA, J.G. Determinação Condutimétrica e Potenciométrica de Ácido Acetilsalicílico em Aspirina®: Uma Sugestão de Prática para a Análise Instrumental. **Rev. Virtual Quím.** v. 10, n.3, 502-517, 2018.

SPARKY'S WIDGETS. Arduino pH Probe Interface. 2015. Disponível em: <<https://www.sparkyswidgets.com/portfolio-item/ph-probe-interface/>>. Acesso em: 12 jan 2019.

Super Professor® Avaliações no Clique do Mouse. Banco de Questões do Super Pro® Web. 2019. Disponível em: <https://www.sprweb.com.br/mod_superpro/index.php> Acesso em: 12 jan. 2019.

TECHDEPOT EGYPT. Instructables. Connecting HC-05 Bluetooth Module to Arduino. 2018. Disponível em: <<https://www.instructables.com/id/Connecting-HC-05-Bluetooth-Module-to-Arduino/>> Acesso em: 14 jan 2019.

TOZONI-REIS, M. F. C. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 2. ed. - Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.

VIEIRA, F. P. **Gestão, baseada nas competências, na ótica dos gestores, funcionários e clientes, na empresa de assistência técnica e extensão rural do estado de Rondônia** – Emater, RO. Dissertação de mestrado apresentada na Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

VIRTUINO. 2018. Disponível em: <<https://virtuino.com/>> Acesso em: 04 nov 2018.

VITORIANO, F.A.; TELES, V.L.G.; RIZZATTI, I.M.; LIMA, R.C.P. Promoting Inclusive Chemistry Teaching by Developing an Accessible Thermometer for Students with Visual Disabilities. **J. Chem. Educ.** v. 12, n.93, 2046-2051, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE I. CÓDIGO FONTE

```
/*-----*/
/*
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA - PROFQUI 2017

MESTRANDO: ITERLANDES MACHADO JUNIOR
ORIENTADOR: EFRAIM LÁZARO REIS
COORIENTADOR: CÉSAR REIS

TAMAB - TITULADOR AUTOMÁTICO MICROCONTROLADO POR ARDUINO COM AQUISIÇÃO DE
DADOS VIA BLUETOOTH
Versão 1.0 (21/02/2019)
*/
/*----( Importar bibliotecas necessárias )-----*/
#include <Wire.h> // Biblioteca para interface TWI/I2C entre dispositivos e sensores
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Biblioteca para controlar displays de cristal líquido (LCD)
#include <SoftwareSerial.h> // Biblioteca para comunicação serial usando pinos digitais
#include <VirtuinoBluetooth.h> // Biblioteca para comunicação serial do módulo Bluetooth
#include <OneWire.h> // Biblioteca para comunicação serial do sensor de temperatura
DS18B20
#include <DallasTemperature.h> // Biblioteca para comunicação serial do sensor de temperatura
DS18B20

/*----( Definir )-----*/
#define ONE_WIRE_BUS 4 // Porta digital do sensor de temperatura DS18B20
#define agitador 7 // Porta PWM do agitador
#define motorPin 8 // Pino que liga a válvula peristáltica
#define pHpin A0 // pino que envia sinais para o medidor de pH
#define pinLEDVerm 12 // Porta digital do LED vermelho
#define blinkPin 13 // Porta digital do LED verde
#define slope 59.16 // Slope [mv/pH]

/*----( Declarar objectos )-----*/
// define o endereço do LCD para 0x20 para 20 caracteres e exibição de 4 linhas
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);

SoftwareSerial bluetoothSerial = SoftwareSerial(10,11); // RX, TX

/* Define uma instancia do oneWire para comunicacao com qualquer dispositivo OneWire
(não apenas ICs de temperatura Maxim / Dallas)*/
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// Decodifica referência oneWire para Dallas Temperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

/*----( Declarar Variáveis Globais )-----*/

float pHvalue; // lê o valor de pH
float E; // lê a tensão direta da sonda de pH
float volume; // instancia valor inicial do volume
int pHavg[10]; // matriz para encontrar um pH médio de leituras de 10 medições
int temp; // espaço temporário usado para classificar a ordem de pequeno a grande
int estadoValvula; // indica estado da válvula solenoide
```

```

int pH0 = 0;           // instancia limite inferior da escala de pH
int pH14 = 14;        // instancia limite superior da escala de pH
int aliquota = 0;     // instancia valor inicial da alíquota

unsigned long int avgValue; // armazena o valor médio de pH das 6 leituras da ordem central

unsigned long tempoAnterior = 0; // cria uma variável que guarde o tempo anterior
const long intervalo = 3000; // indica o intervalo de tempo em milissegundos pretendido para que
// o sensor faça a leitura de 0,1 mL da alíquota e guarde o valor.

VirtuinoBluetooth virtuino(bluetoothSerial,9600); // Define a taxa de transmissão do SoftwareSerial.

void setup() /*----(CONFIGURAÇÃO: EXECUÇÃO UMA VEZ)-----*/
{
  Serial.begin(9600); // inicializa a comunicação serial

  Serial.println("CLEARDATA"); // reset da comunicação serial
  Serial.println("LABEL, Data, Hora, volume(mL), pHvalue"); // Nomeia as colunas

  virtuino.DEBUG=true; // define este valor TRUE para habilitar o status do monitor serial

  {
    lcd.begin(20,4); // inicializa o display (20 colunas x 4 linhas)
    lcd.setBacklight(HIGH);
  }

  pinMode(agitador, OUTPUT); // configura pino 7 como saída do agitador
  pinMode(motorPin, OUTPUT); // configura pino 8 como saída da valvula peristaltica
  pinMode(pinLEDVerm, OUTPUT); // configura pino 12 como saída do LED vermelho
  pinMode(blinkPin, OUTPUT); // configura pino 13 como saída do LED verde

  digitalWrite (agitador, HIGH); // força desligamento do agitador com o valor analógico lido (0-1024)
  digitalWrite (pinLEDVerm, HIGH); // liga o LED vermelho
  digitalWrite (blinkPin, LOW); // força desligamento de LED verde

  // Enche a linha de injeção
  digitalWrite(motorPin, LOW);
  delay(4000); // Tempo de 4000 ms para injeção de 2,0 mL da solução diluída
  digitalWrite(motorPin, HIGH);
  delay(2000); // Espera 2000 ms antes do início da titulação

  estadoValvula = 1;

  // Apresenta o projeto de pesquisa no módulo LCD:

  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print("PROFQUI 2017");
  lcd.setCursor(9,2);
  lcd.print("UFV");
  delay(3500);

```

```

lcd.clear();

lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("BEM VINDO AO");
lcd.setCursor(6,2);
lcd.print("TAMAB 1.0");
delay(3500);
lcd.clear();

lcd.setCursor(5,0);
lcd.print("INICIANDO");
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print("TITULADOR");

//Blink
lcd.noDisplay();
  delay(750);
lcd.display();
  delay(750);
lcd.noDisplay();
  delay(750);
lcd.display();
  delay(750);
lcd.noDisplay();
  delay(750);
lcd.display();
  delay(750);
lcd.clear();

}/* --(configuração final)-- */

void loop() /*----( LOOP: FUNCIONA CONSTANTAMENTE )-----*/
{

  float Volume = aliquota * 0.1;
  float pH = pHvalue * 1;

  int linha = 0; // variavel que se refere as linhas do excel

  // Envia os dados das variáveis tempo e X para a porta serial, que podem ser visualizados na
  planilha do PLX-DAQ.

  linha++; // incrementa a linha do excel para que a leitura pule de linha em linha

  Serial.print("DATA,DATE, TIME,"); //inicia a impressão de dados, sempre iniciando

  Serial.print(Volume);
  Serial.print(",");

  Serial.println(pH);
  Serial.print(",");

  Serial.println(linha);

  if (linha > 100) //laço para limitar a quantidade de dados
  {
    linha = 0;
    Serial.println("ROW,SET,2"); // alimentação das linhas com os dados sempre iniciando
  }

  virtuino.run(); // comando necessário para se comunicar com o aplicativo android Virtuino

  /* Fonte: Arduino Thermometer With DS18B20. Arduino - Project Hub. 2016.

```

Disponível em: <<https://goo.gl/4Ed9ag>>. Salvo em: 22 de jul. 2018 */

// Envia o comando para obter leituras de temperatura:

```
sensors.requestTemperatures();
```

```
float temperature1=sensors.getTempCByIndex(0);
```

// RECURSO PARA DEPURACÃO (DEBUG) VIA MÓDULO LCD E MONITOR SERIAL

// Mostra dados no LCD:

```
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("TEMP.: ");
```

//Símbolo grau

```
lcd.write(223);  
lcd.print("C");
```

```
lcd.setCursor(7,0);  
lcd.print(temperature1);  
lcd.setCursor(0,1);
```

//Mostra dados no monitor serial:

```
Serial.print("TEMP.: ");  
Serial.print(temperature1);  
Serial.print("");
```

/* Fonte: How to use a pH sensor with Arduino. Scidle - Science and technology. 2017.

Disponível em: <<https://goo.gl/uhc9m1>>. Salvo em: 22 de jul. 2018 */

// Mede tensão elétrica e converte para a faixa de pH 0-14:

/*O comando for:

permite executar, repetidamente, um conjunto de comandos de acordo com uma condição*/

/* Forma geral:

```
for (valor inicial; condição; incremento){  
    conjunto de comandos  
} */
```

// Extrai valores centrais do sensor (0-1024) e converte na tensão média (pHVol: 0-5v)

```
for(int i=0; i<10; i++) // obtém 10 valores de amostra do sensor para suavizar o valor  
{  
    pHavg[i] = analogRead(pHpin); // obter leitura do sensor de pH e colocar em ordem  
    delay(10); // pequeno atraso entre leituras  
}
```

```
for(int i=0; i<9; i++) // organiza os valores analógicos em ordem crescente  
{  
    for(int j=i+1; j<10; j++)  
    {  
        if(pHavg[i] > pHavg[j]) // se o valor "i" do array for maior que o valor "j"  
        {  
            temp = pHavg[i]; // atribui "i" a variável temporária  
            pHavg[i] = pHavg[j]; // alterna "j" para a localização "i"  
            pHavg[j] = temp; // muda de "i" para "j"  
        }  
    }  
}
```

```

    }
  }
  avgValue = 0;
  for(int i=2; i<8; i++)          // pega o valor total das 6 amostras centrais
  {
    avgValue += pHavg[i];        // obter total
  }

// mapeia o conversor analógico (0-1024) em volt (0-5) e faz a média simples
E =(float)avgValue*4.92*1000/1023/6/6;

/* Avaliação da sensibilidade de resposta do eletrodo de vidro:

slope = 59.16mv/pH (Ideal)

STEP 1 pH=4 => E = 510 mV
OFFSET pH=7 => E = 412 mV

SlopeMedido = dE/dpH = 32.67 mV/pH (Experimental)

Nível de tensão gerado pelo eletrodo comparado com o ideal

<80%      => Ruim (<47.30 mV/pH)
80% < Ganho < 90% => Bom (47.30 mV/pH < Ganho < 53.20 mV/pH)
>90%      => Ótimo (>53.20 mV/pH) */

pHvalue = (float) 7 + ((412-E)/32.67);

// RECURSO PARA DEPURACÃO (DEBUG) VIA MÓDULO LCD E MONITOR SERIAL

//Mostra dados no LCD:
lcd.print("          pH:");
lcd.setCursor(7,3);
lcd.print(pHvalue, 2);
lcd.setCursor(8,3);

//Mostra dados no monitor serial:
Serial.print(" E: ");
Serial.print(E);
Serial.print("");
Serial.print(" pH: ");
Serial.println(pHvalue, 2);
Serial.print("");

// Controle do estado do agitador
digitalWrite (agitador, LOW);

// Controle do estado da válvula

byte estadoValvula;

if ((pHvalue > pH0) && (pHvalue < pH14)) {
  estadoValvula = 2;
} else {
  estadoValvula = 1;
}

```

```

}

//Transforma variáveis de estado em situações diferentes

if (estadoValvula == 1) {

//Comando 1: Sem adição do titulante
digitalWrite (pinLEDVerm, HIGH); // liga LED vermelho
digitalWrite (blinkPin, LOW); // força desligamento de LED verde
}

if (estadoValvula == 2) {
//Comando 2: Adição de 2,0 mL/min. do titulante em alíquotas de 0,1 mL
digitalWrite (pinLEDVerm, LOW); // força desligamento de LED
digitalWrite (blinkPin, HIGH); // liga LED verde

digitalWrite(motorPin, LOW);
delay(95); //tempo de 95 ms correspondente a injeção de 0,1 mL
digitalWrite(motorPin, HIGH);
delay(950); // Espera 950 ms antes da nova titulação e leitura
}

// Contador de alíquotas
// calcula-se o tempo desde a última execução e usa-se esse valor para o calculo de vazão.

if (millis() - tempoAnterior >= intervalo) {
aliquota++;
}

float volume = 0.1*aliquota;

// RECURSO PARA DEPURANÇA (DEBUG) VIA SMARTPHONE

//Envia dados via Bluetooth

virtuino.vMemoryWrite(0,pHvalue); // escreve o pH no pino virtual V0. No painel Virtuino,
adicione um display de valor ou um instrumento analógico para fixar V0

virtuino.vMemoryWrite(1,E); // escreve o potencial E no pino virtual V1. No painel Virtuino,
adicione um display de valor ou um instrumento analógico para fixar V1

virtuino.vMemoryWrite(2,temperature1); // escreve a temperatura 1 no pino virtual V2. No painel
Virtuino, adicione um display de valor ou um instrumento analógico para fixar V2

virtuino.vMemoryWrite(3,Volume); // escreve o volume no pino virtual V3. No painel Virtuino,
adicione um display de valor ou um instrumento analógico para fixar V3

// ----- evite usar a função delay () no seu código. Use o comando virtuino.vDelay () em vez de
delay ()

virtuino.vDelay(1000); // Adicione um atraso de pelo menos 1 segundo de duração.

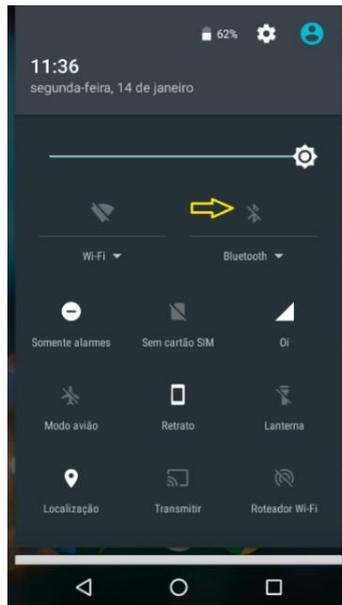
delay (4000);
}

/* ( FIM ) */

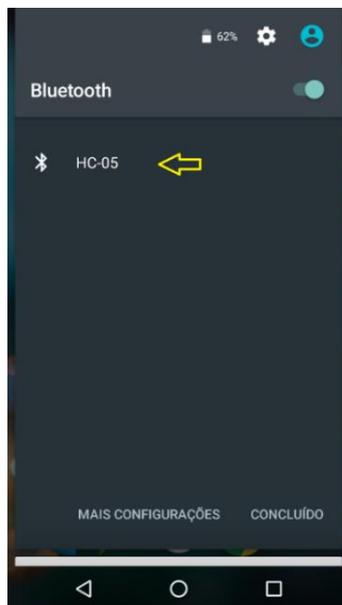
```

APÊNDICE II. Pareando o dispositivo

1. Habilite o Bluetooth no dispositivo Android;



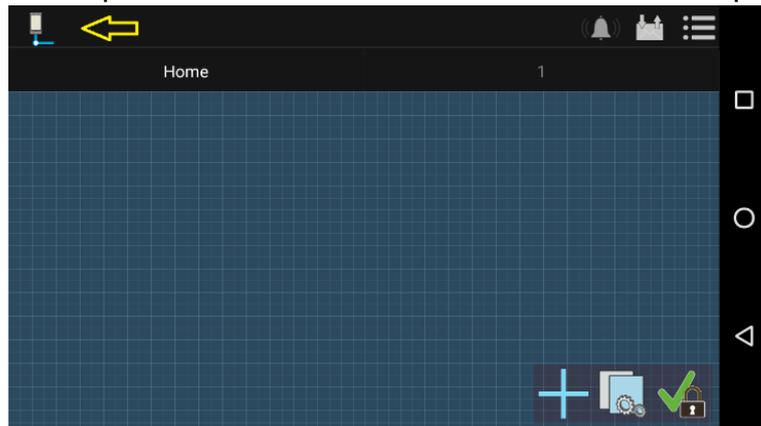
2. Procure pelo dispositivo HC-05;



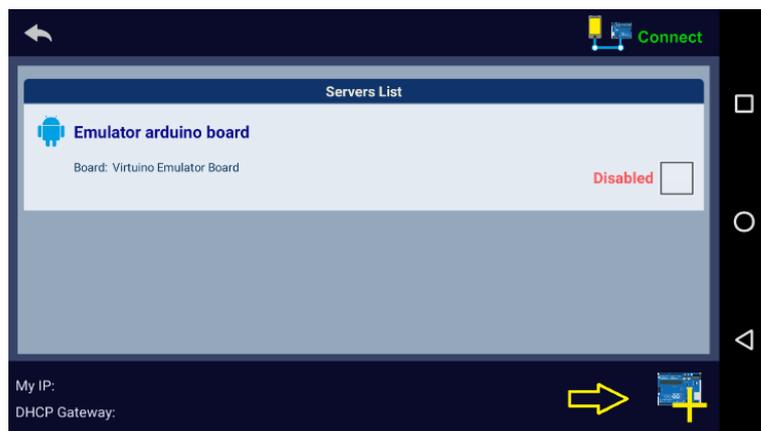
3. Emparelhe o seu dispositivo Android com o módulo Arduino bluetooth.
Obs. A senha usualmente escrita no módulo Bluetooth é 1234.

APÊNDICE III. Configurando o Aplicativo Virtuino

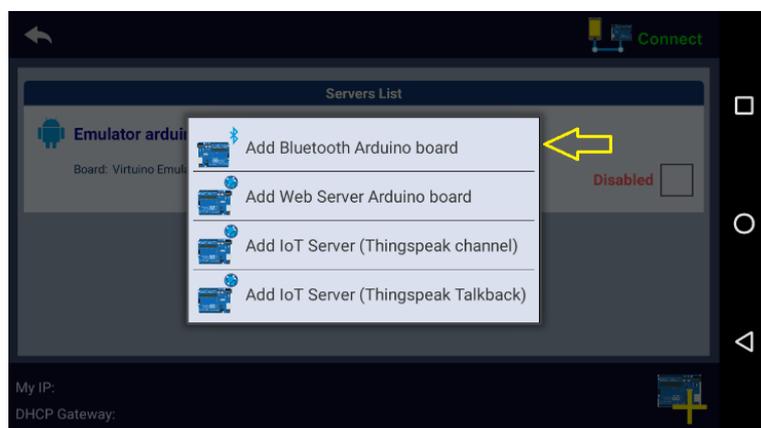
1. Execute o aplicativo Virtuino clicando no ícone indicado pela seta;



2. Clique no ícone para adicionar o Arduino board;



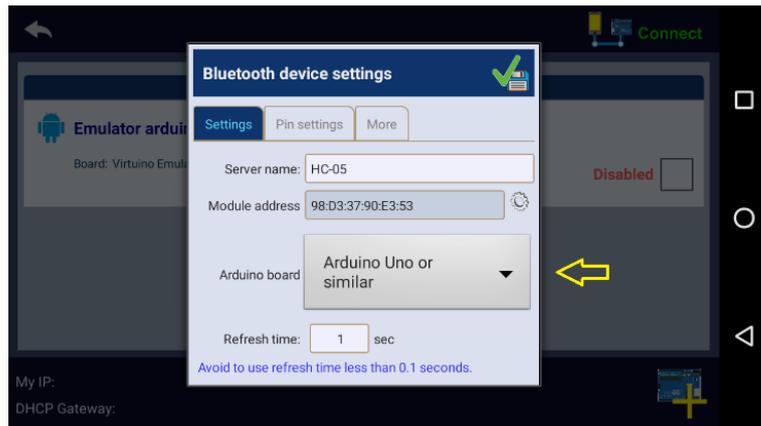
3. Selecione Add Bluetooth Arduino board;



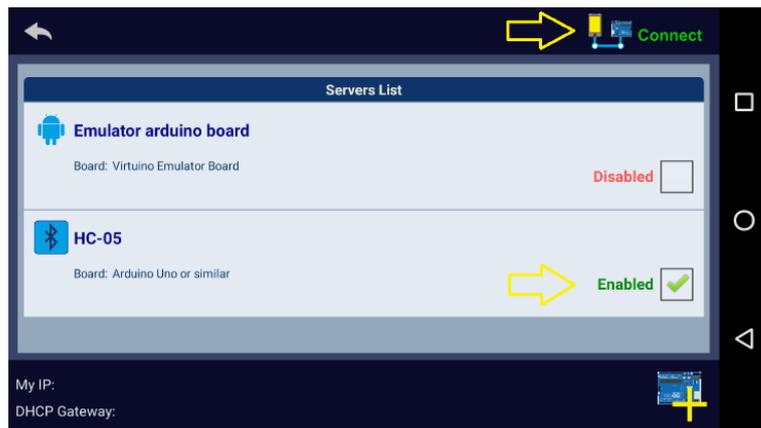
4. Selecione o módulo Bluetooth HC-05;



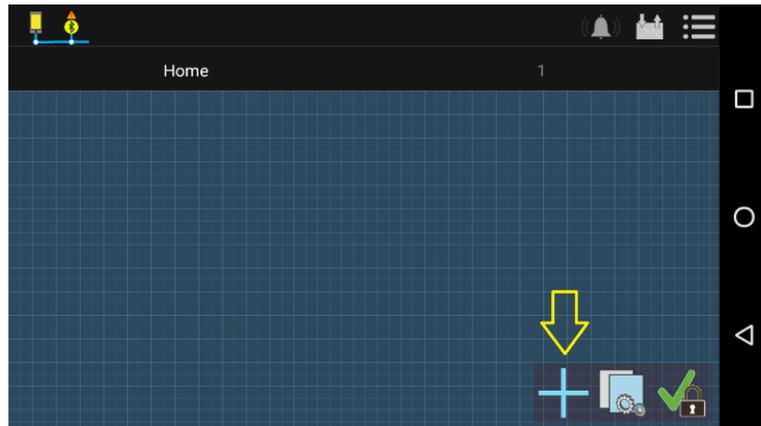
5. Selecione em Arduino board o Arduino Uno ou similar;



6. Marque o ícone Enable (habilitar) e clique em Connect;



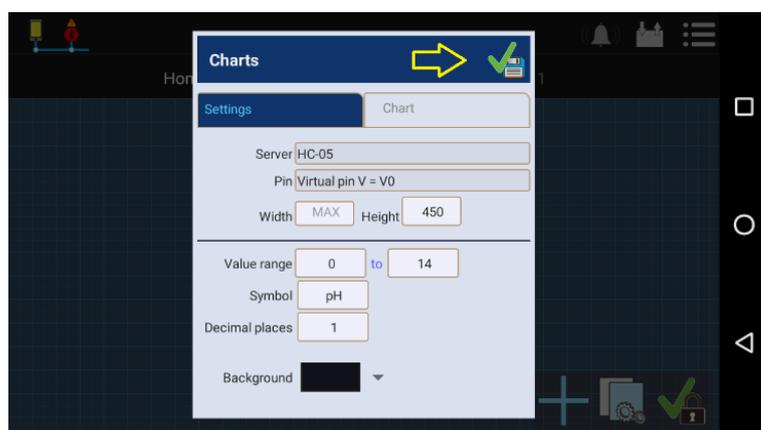
7. Clique para adicionar um componente na tela;



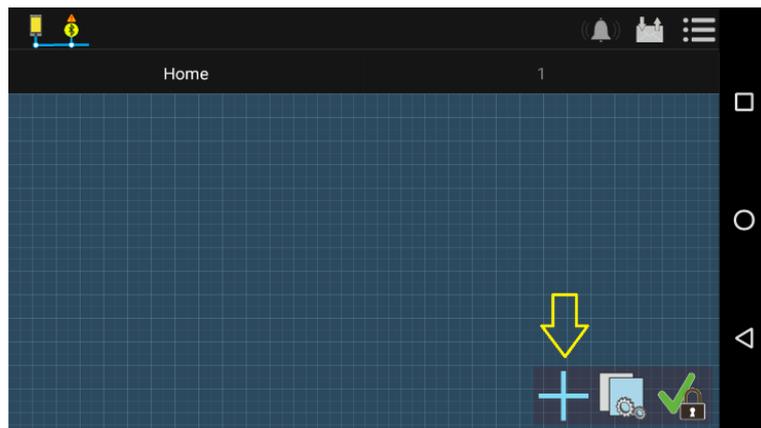
8. Selecione o widget Charts (ferramenta Gráficos);



9. Configure o gráfico segundo especificações abaixo e clique em salvar;



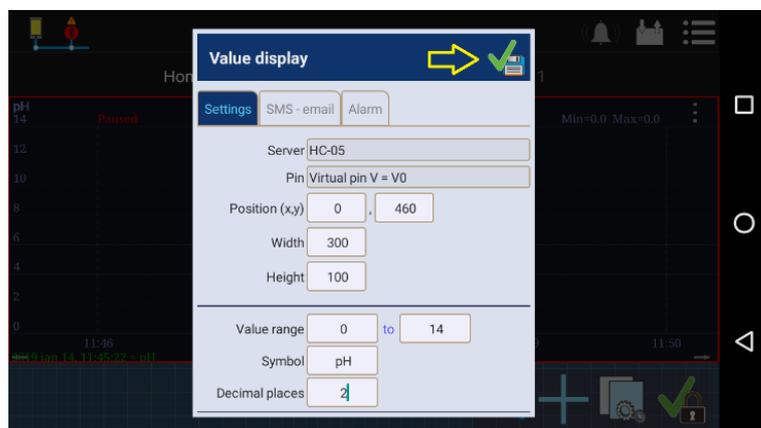
10. Clique para adicionar novo componente na tela;



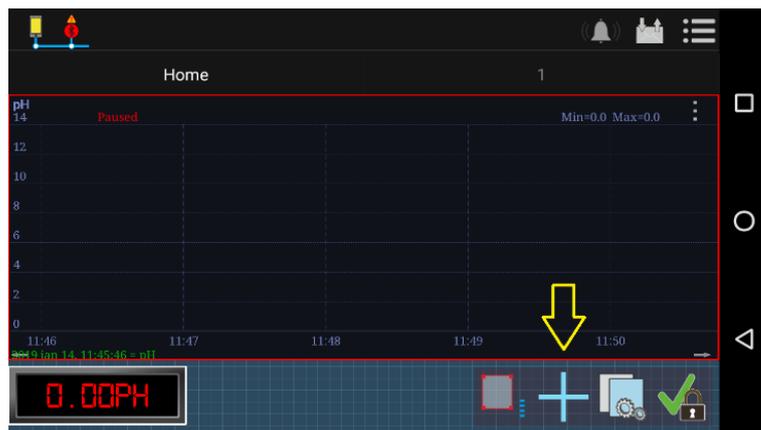
11. Selecione o Value display (exibir valor);



12. Configure a tela de exibição de valor segundo especificações abaixo e clique em salvar;



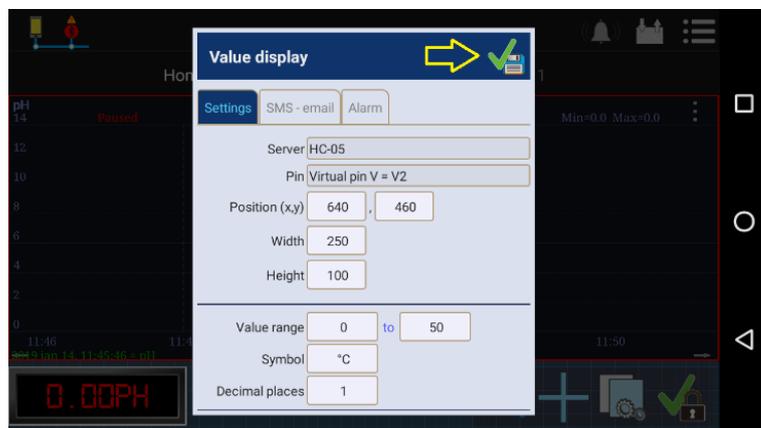
13. Clique para adicionar novo componente na tela;



14. Selecione o Value display (exibir valor);



15. Configure a tela de exibição de valor segundo especificações abaixo e clique em salvar;



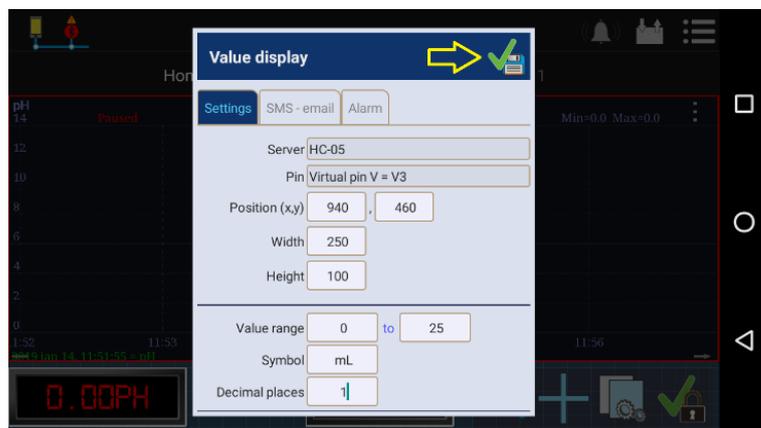
16. Clique para adicionar novo componente na tela;



17. Selecione o Value display (exibir valor);



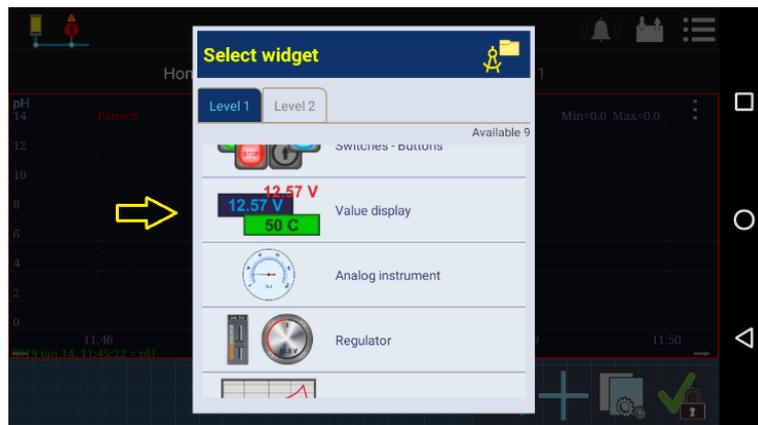
18. Configure a tela de exibição de valor segundo especificações abaixo e clique em salvar;



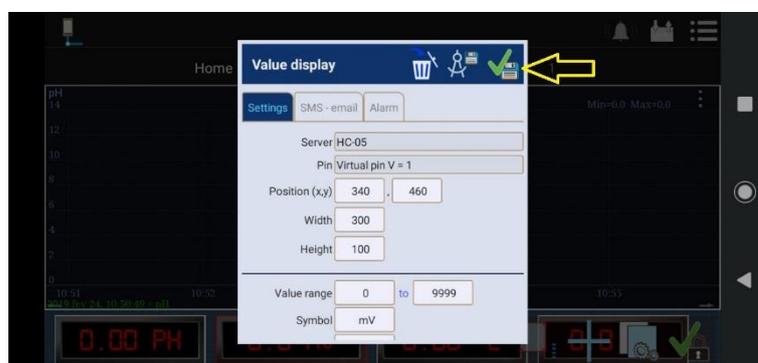
19. Ajuste a posição das telas de exibição de valor (por arraste com o dedo) e clique em adicionar novo componente na tela;



20. Selecione o Value display (exibir valor);



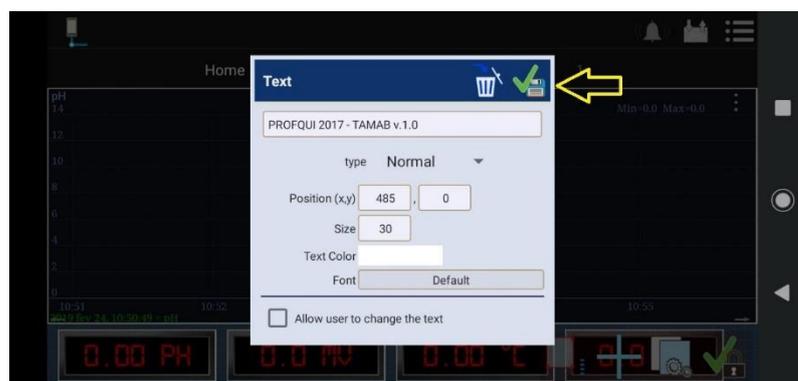
21. Configure a tela de exibição de valor segundo especificações abaixo e clique em salvar;



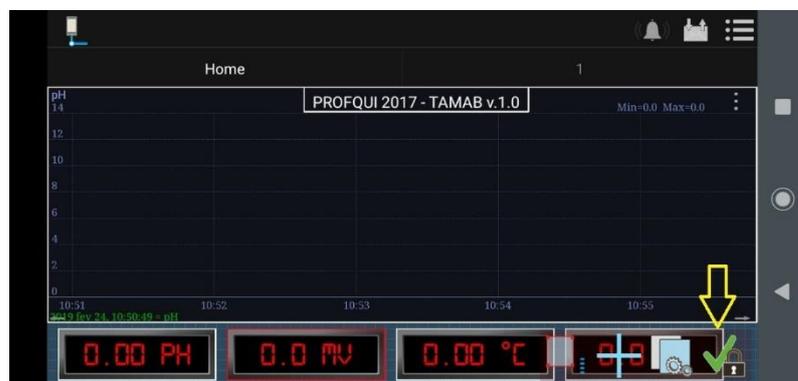
22. Seleccione o Text (exibir texto);



23. Configure a tela de exibição de texto segundo especificações abaixo e clique em salvar;



24. Ajuste a posição da tela de exibição de texto (por arraste com o dedo) e clique em salvar todos os componentes de tela;



APÊNDICE IV. PROPOSTA DIDÁTICA

Parte I. Plano de Aula

PLANO DE AULA
TEMA: Determinação potenciométrica de captopril
OBJETIVOS
GERAL: Levantar dados que possibilitem responder a questão: onde o captopril será mais rapidamente absorvido no organismo? ESPECÍFICOS: (a) determinar o teor (mg/comprimido) e o valor de pKa de captopril utilizando-se um titulador automático microcontrolado por Arduino; (b) comparar os resultados obtidos por aproximação ao método da primeira derivada e com o uso do indicador fenolftaleína; (c) prever onde o captopril é mais rapidamente absorvido (na mucosa intestinal ou na mucosa gástrica) com base nos resultados obtidos pelo experimento.
CONTEÚDO
- Equilíbrio ácido-base; - Conceito de pH; - Equação de Henderson-Hasselbalch; - Fundamentos básicos de potenciometria; - Absorção de fármacos; - Características do captopril.
METODOLOGIA
<i>Abordagem teórica:</i> Em aula anterior, o professor deverá entregar um texto que trata da absorção de fármacos no organismo e o roteiro didático para leitura prévia e delinear uma pesquisa solicitando um esquema de ação do captopril. Durante a aula, o professor deverá promover uma discussão acerca do método potenciométrico. Após o experimento, serão apresentadas questões relativas ao problema de estudo para realização em grupo colaborativo. <i>Abordagem representacional:</i> Serão usados equações químicas, funções matemáticas e esquemas relacionados ao tema proposto. <i>Abordagem fenomenológica:</i> O experimento será demonstrativo e os dados obtidos serão tratados pelos grupos de trabalho. Ao final, cada grupo apresentará as suas conclusões e justificativas para o problema de investigação.
RECURSOS DIDÁTICOS
<ul style="list-style-type: none">• Texto: “Absorção de fármacos no organismo”;• Questionário;• Roteiro da aula;• Espaço físico: laboratório didático para o desenvolvimento da atividade experimental;• Quadro, pincel e data-show;• Titulador automático;

- Materiais e reagentes.

AVALIAÇÃO

A avaliação será realizada com base na resolução colaborativa do questionário e participação nas discussões durante toda a aula.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. *In*: CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências**: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson, 2004.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino Experimental de Química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova**, v.32, n.2, 101-106, 2010.

LEAL, M.C. **Didática da Química**: fundamentos e práticas para o Ensino Médio. Belo Horizonte: Dimensão, 2009. 120 p.

OLIVEIRA, A.F. **Equilíbrio Químico em Solução Aquosa Orientados à Aplicação**: Sistemas Ácido-Base De Bronsted e outros Equilíbrios. Campinas: Átomo, 2009.

PAULA, W.X.; SINISTERRA, R.D.; DOS SANTOS; R.A.S.; BERALDO, H. A Química Inorgânica no Planejamento de Fármacos Usados no Controle da Hipertensão. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. n.6, 19-23, 2005.

PEREIRA, A.V.; GARABELI, A.A.; SCHUNEMANN, G.D. Determinação da constante de dissociação (K_a) do captopril e da nimesulida: Experimento de química analítica para o curso de farmácia. **Química Nova**. v.34, n.9, 1656-1660, 2011.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 8ª edição norte americana, São Paulo, Editora Thonson Learning, 999p, 2006.

Farmacologia UEFS. Absorção. Disponível em: <<https://goo.gl/Abma7A>> Acesso em: 21 jan 2019.

Parte II. Texto: Absorção de fármacos pelo organismo

Fonte: Farmacologia UEFS. Absorção. 2019.

Disponível em:

<<https://farmacologiauefs.wordpress.com/farmacocinetica/absorcao/>> Acesso em: 21 jan 2019

O uso de fármacos na terapêutica implica que o mesmo para exercer sua ação deve, inicialmente, chegar ao seu local de ação, e como a maior parte dos fármacos agem dentro do organismo, espera-se que para agir os fármacos necessitam ser absorvidos pelo organismo. Nem todos os fármacos necessitam atingir a corrente sanguínea para exercer o seu efeito; compostos com ação tópica se enquadram perfeitamente nessa situação.

Ao atingir a corrente sanguínea o fármaco irá se distribuir pelo organismo e durante esta etapa ele atingirá o seu local de ação, logo, percebe-se que a velocidade com que o fármaco atinge o seu local de ação dependerá da absorção e da distribuição. Pode-se definir, resumidamente, a absorção como sendo a passagem do fármaco do local onde foi administrado para a corrente sanguínea, por sua vez, a distribuição seria caracterizada pelo transporte reversível do fármaco para outros sítios do organismo.

A lipossolubilidade refere-se a capacidade de uma substância de se solubilizar em uma fase oleosa, ou a capacidade de se solubilizar em lipídeos, com isso espera-se que quanto maior for essa lipossolubilidade, mais facilmente o fármaco atravessa a membrana. A hidrossolubilidade seria a capacidade de uma substância em se dissolver em meio aquoso. Para permear facilmente pela membrana um fármaco deve ser lipossolúvel, mas para ser absorvido o fármaco deve estar dissolvido em algum fluido corpóreo, logo ele deve ser hidrossolúvel também. No entanto, um fármaco com alta lipossolubilidade possui baixa hidrossolubilidade (abaixo será mostrado o que é alto e baixo), o que pode-se perceber é que a mesma molécula deva possuir características que podem ser opostas entre si, isso é possível devido aos fármacos serem eletrólitos fracos (base ou ácido), assim, a depender de seu pKa e pH do meio, pode-se encontrar o fármaco em sua forma ionizada (hidrossolúvel) ou não-ionizada (lipossolúvel).

Como os fármacos são ácidos ou bases fracas, pode-se utilizar a seguinte relação: quando o pH do meio está acima do pKa de um composto ácido, este encontra-se mais em sua forma iônica, já quando este for uma base, se encontrará em sua forma não iônica, destaca-se que a relação inversa também é possível. Compostos ionizados tendem a apresentar uma hidrossolubilidade maior e

lipossolubilidade menor, mais um fator que corrobora a citação acima, que fármacos com carga elétrica tendem a ter uma passagem pela membrana mais dificultada.

Pode-se estudar a relação entre pKa do fármaco e pH do meio pela equação de Handerson-Hasselbach, essa equação será descrita da seguinte forma:

Para ácidos: $\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$ $[\text{A}^-]$ ionizado $[\text{HA}]$ Não ionizado

Para bases: $\text{pOH} = \text{pKb} + \log \frac{[\text{B}]}{[\text{BH}^+]}$ $[\text{B}]$ Não ionizado $[\text{BH}^+]$ Ionizado

Observando uma situação hipotética para um fármaco ácido com $\text{pKa} = 7,5$ e o pH estomacal de 1,5, têm-se:

$$1,5 = 7,5 + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$-6 = \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$10^{-6} = \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$\mathbf{1/1000000 = [\text{A}^-]/[\text{HA}]}$$

Assim tem-se 1000000 partes da forma HA para cada 1 forma A⁻, sendo assim a forma não ionizada predomina, logo a absorção é alta nesse meio.

Considerando em outro exemplo um fármaco alcalino com $\text{pKb} = 3$ e em um meio com $\text{pH} = 8$, logo:

$$8 = 3 + \log \frac{[\text{B}]}{[\text{BH}^+]}$$

$$5 = \log \frac{[\text{B}]}{[\text{BH}^+]}$$

$$\mathbf{10^5 = [\text{B}]/[\text{BH}^+]}$$

Para cada 1 forma [BH⁺] (ionizada) há 100.000 na forma [B] (não ionizada), sendo então a absorção alta nesse meio.

Parte III. Roteiro de aula prática

DETERMINAÇÃO POTENCIOMÉTRICA DE CAPTOPRIL

Objetivos

Geral: Levantar dados que possibilitem responder a questão: onde o captopril será mais absorvido no organismo?

Específicos:

- determinar o valor de pKa de captopril utilizando-se um titulador automático microcontrolado por Arduino;
- comparar os resultados obtidos por aproximação ao método da primeira derivada e com o uso do indicador fenolftaleína;
- fazer uma previsão sobre onde o captopril seria mais absorvido (na mucosa intestinal ou na mucosa gástrica) com base nos resultados obtidos.

Introdução

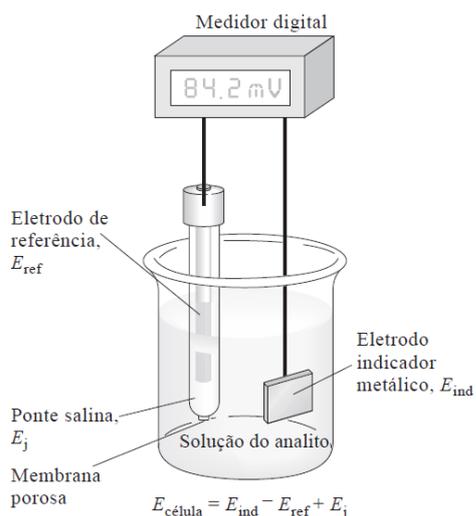
O princípio da potenciometria consiste na medida das diferenças de potenciais de uma cela eletroquímica. Essa cela é construída combinando-se um eletrodo indicador, de potencial dependente da concentração do analito (E_{ind}), com um eletrodo de potencial conhecido (E_{ref}) sendo denominado eletrodo de referência.

Uma ponte salina é criada na junção entre esses dois eletrodos, contendo íons que se difundem nela com diferentes mobilidades. Como resultado, surge um potencial chamado de potencial de junção (E_j).

Fazendo com que os ânions e cátions migrem com velocidades próximas, pode-se minimizar o efeito do potencial de junção. Para tanto, normalmente é usado uma solução saturada de cloreto de potássio ($KCl\ 3,5\ molL^{-1}$).

Uma cela típica para determinações potenciométricas é mostrada na figura 1.

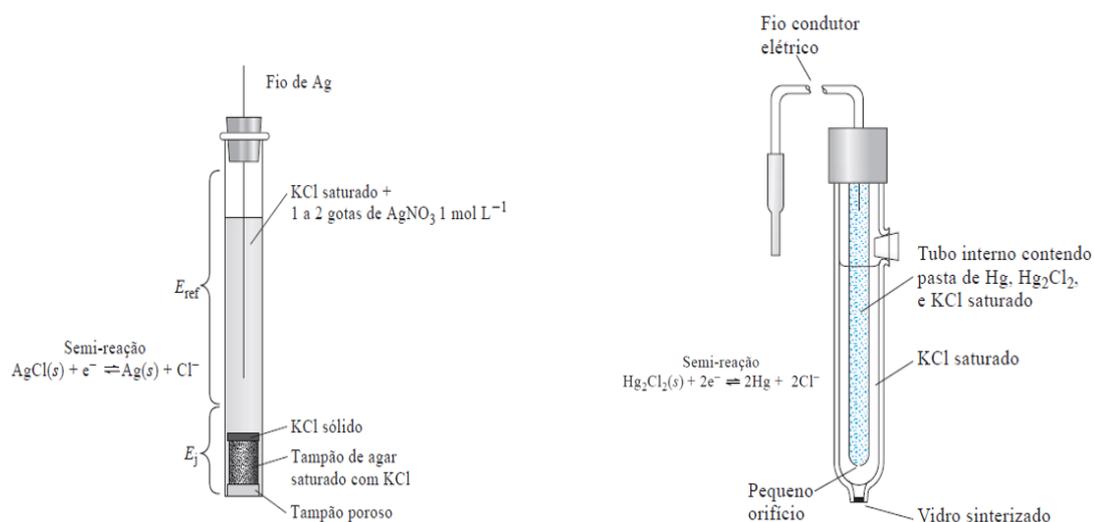
Figura 1. Esquema de uma cela típica para determinações potenciométricas.



Fonte: SKOOG, 2006, p. 554.

Os eletrodos de referência mais conhecidos são construídos com uma pasta de $Hg/Hg_2Cl_2\ 1,0\ molL^{-1}$ (calomelano) ou com um fio de Ag imerso numa solução saturada de KCl contendo duas gotas de $AgNO_3\ 1,0\ molL^{-1}$ (figura 2).

Figura 2. Esquema dos eletrodos de prata-cloreto de prata e de calomelano.



Fonte: SKOOG, 2006, p. 556.

Para soluções de KCl em concentrações diferentes de $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ o potencial pode ser obtido pela tabela 1.

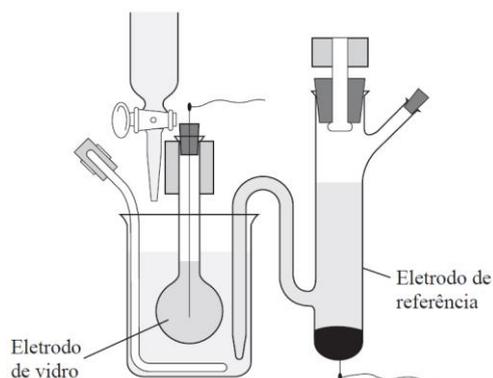
TABELA 1. Potenciais Formais para Eletrodos de Referência em Função da Composição e Temperatura.

Temperatura, °C	Potencial vs. EPH, V				
	Calomelano $0,1 \text{ mol L}^{-1}$	Calomelano $3,5 \text{ mol L}^{-1}$	Calomelano Saturado	Ag/AgCl $3,5 \text{ mol L}^{-1}$	Ag/AgCl Saturado
12	0,3362		0,2528		
15	0,3362	0,254	0,2511	0,212	0,209
20	0,3359	0,252	0,2479	0,208	0,204
25	0,3356	0,250	0,2444	0,205	0,199
30	0,3351	0,248	0,2411	0,201	0,194
35	0,3344	0,246	0,2376	0,197	0,189

Fonte: SKOOG, 2006, p. 556.

Em 1909, Haber e Klemensiewicz verificaram que um bulbo formado por uma fina membrana era seletivamente permeável aos íons H^+ (figura 3).

Figura 3. Eletrodo de vidro de Haber e Klemensiewicz.

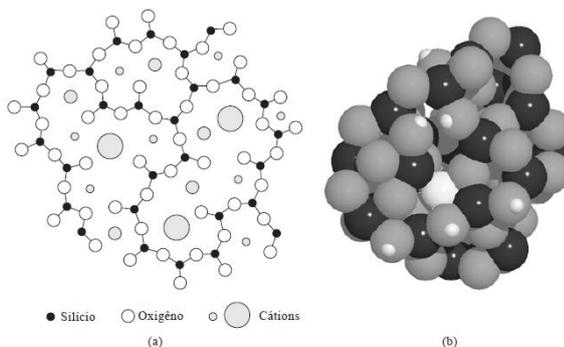


Fonte: SKOOG, 2006, p. 560.

Quando uma membrana de vidro é imersa numa solução, surge um potencial elétrico que é linear frente a concentração do íon H^+ ($E = K + 0,05916 \text{ pH}$), sendo K chamado de potencial de assimetria e é dependente da natureza do vidro. O valor desse potencial deve ser definido experimentalmente através do processo de calibração com soluções-tampão de pH conhecido.

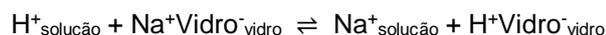
A membrana de vidro, como o Corning 015, apresenta composição aproximada de 22% de Na_2O , 6% de CaO e 72% de SiO_2 (figura 4).

Figura 4. (a) Vista longitudinal da estrutura de um vidro de silicato. (b) Modelo exibindo a estrutura tridimensional da sílica amorfa com íons Na^+ (azul-escuros grande) e vários íons H^+ azul-escuros pequenos incorporados.



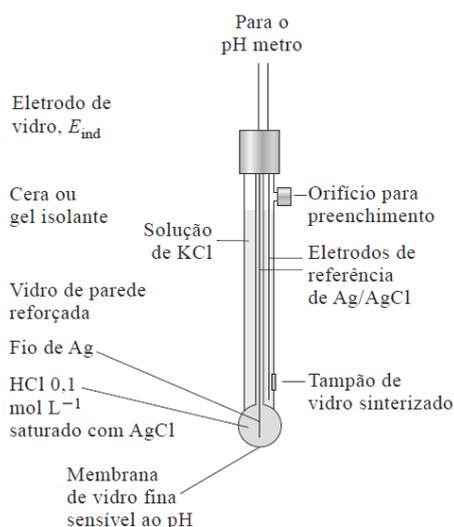
Fonte: SKOOG, 2006, p. 563.

As duas superfícies da membrana de vidro precisam ser hidratadas antes de ela funcionar como um eletrodo de pH. Os vidros não higroscópicos não mostram sensibilidade ao pH. Mesmo os vidros higroscópicos perdem sua sensibilidade ao pH após a desidratação pelo armazenamento em um dessecador. Entretanto, o efeito é reversível e a resposta de um eletrodo de vidro pode ser restaurada quando mergulhado em água.



O eletrodo mais amplamente usado, combina o eletrodo indicador de vidro com o eletrodo de referência de $Ag/AgCl$ (figura 5).

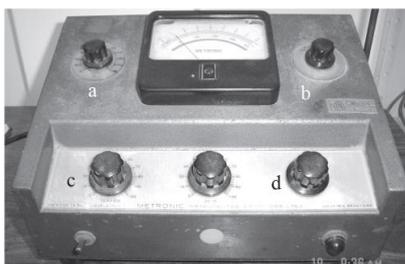
Figura 5. Sistema de eletrodo típico para medida de pH.



Fonte: SKOOG, 2006, p. 561.

Os medidores de pH devem ser ajustados de forma que a sua escala seja corrigida a cada mudança de temperatura. Inicialmente, esse ajuste era manual através de um potenciômetro (figura 6). Atualmente, é realizado de maneira automática.

Figura 6. Primeiro modelo de peagâmetro construído no Brasil, 1964: (a) seletor de temperatura; (b) seletor de escala; (c) seletor de pH de tampão (calibração); (d) ajuste de zero (grosso/fino). O visor mostra escalas de pH e de milivoltagem. Dimensões: 30 cm de comprimento, 28 cm de largura e 20 cm de altura; m = 3,5 kg. Acervo do Museu da Química Professor Athos da Silveira Ramos.



Fonte: GAMA & AFONSO, 2007, p. 238.

A titulação é um dos procedimentos que podem ser usados em química para determinar a concentração de uma substância. Uma reação química é estabelecida entre um volume conhecido de uma solução de concentração desconhecida e um volume conhecido de uma solução com uma concentração conhecida (solução previamente padronizada). Quando a solução de concentração conhecida e a solução de concentração desconhecida reagem ao ponto em que o equivalente molar do ácido é igual ao equivalente molar da base (ou vice-versa), o ponto final da reação é alcançado. O ponto de equivalência de um ácido forte ou de uma base forte ocorrerá em pH 7. Para ácidos e bases fracos, o ponto de equivalência pode ocorrer em pH diferente de 7.

Haverá vários pontos de equivalência para ácidos e bases polipróticos.

Existem dois métodos comuns para estimar o ponto de equivalência:

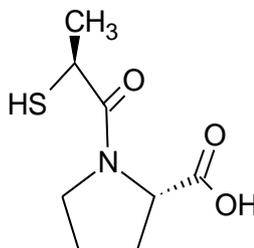
1. **Usa-se um medidor de pH.** Para este método, um gráfico é feito relacionando o pH da solução como uma função do volume de titulante adicionado. A forma sigmoide do gráfico é chamada de curva de titulação.

A primeira derivada é uma boa alternativa para se determinar o volume do ponto final de titulação. Entretanto, para a Educação Básica é conveniente trata-la como o quociente da variação relativa do pH com a média do volume do titulante, podendo ser resolvida através de uma planilha do Microsoft Excel. O uso da segunda derivada na obtenção do volume do ponto final de titulação não será considerado nesse estudo.

2. **Usa-se um indicador ácido-base.** Este método baseia-se em observar uma mudança de cor na solução. Os indicadores são ácidos orgânicos fracos ou bases que apresentam cores diferentes em seus estados dissociados e não dissociados. Por serem usados em baixas concentrações, os indicadores não alteram sensivelmente o ponto de equivalência de uma titulação. O ponto em que o indicador muda de cor é chamado de ponto final. Para uma titulação adequadamente executada, a diferença de volume entre o ponto final e o ponto de equivalência é pequena. Às vezes, a diferença de volume (erro) é ignorada; em outros casos, um fator de correção pode ser aplicado.

O captopril, que corresponde ao D-2-metil-3- mercaptopropanol-L-prolina, possui fórmula química $C_9H_{15}NO_3$, e um peso molecular de $217,3 \text{ g mol}^{-1}$ (figura 7), é um agente anti-hipertensivo ativo oralmente e atua através da inibição competitiva da enzima conversora de angiotensina (ECA). Este fármaco demonstra excelente efetividade no tratamento da hipertensão arterial, sendo considerado o medicamento de primeira escolha. Porém, o seu tempo de ação é limitado, apenas de 6 a 8 horas, e necessita ser administrado três vezes ao dia.

Figura 7. Fórmula estrutural do captopril.



Fonte: Elaboração própria, 2019.

O captopril é um ácido fraco, podendo ser determinado por titulação potenciométrica.

Materiais e equipamentos

- Agitador magnético (IKAC-MAG-HS7)
- Almofariz com pistilo
- Anel para suporte de funil
- Balança analítica (TKS - Modelo FA2204C)
- 02 Balão volumétrico de 1,00 L
- Balão volumétrico de 100,00 mL
- 04 Balão volumétrico de 250,00 mL
- Barra magnética
- 04 Béqueres de 50 mL
- Béquer de forma alta
- Bureta volumétrica de 50,00 mL
- 02 Conta gotas
- 02 Espátulas
- Frasco lavador
- Funil de vidro
- Garras
- Haste universal
- Papel de filtro qualitativo (Qualy)
- pHmetro (Tecnopon – Modelo 210)
- Pipeta graduada de 2,0 mL
- Pipeta volumétrica de 20,00 mL
- Sistema proposto para titulação automática

Reagentes e soluções

A limpeza das vidrarias e preparo das soluções devem ser realizadas com água deionizada (tipo 2).

Reagentes

Os reagentes a serem utilizados são: biftalato de potássio ($\text{KH}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$, PROQUIMIOS 99,95-100,05 % P.A), hidróxido de sódio (NaOH , PROQUIMIOS 97 % P.A), cloreto de sódio (NaCl , Dinâmica 99%), indicador fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$, Vetec P.A ACS), indicador alaranjado de metila ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$, Vetec P.A ACS).

Soluções estoque

Preparar 500 mL de uma solução $5,0 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ de NaCl ;
Preparar 250 mL de uma solução $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ de $\text{KH}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$;
Preparar 1,0 L de uma solução $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ de NaOH ;
Preparar 50 mL do indicador fenolftaleína 1,0%;
Preparar 50 mL do indicador alaranjado de metila 1,0%.

Solução tampão

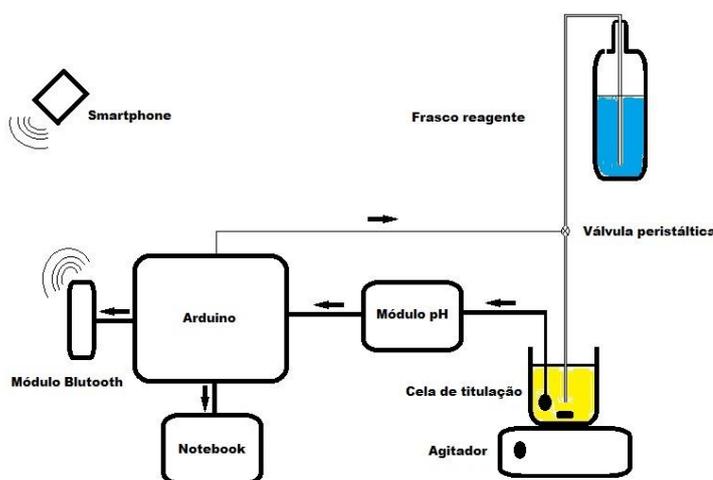
Todos os sais utilizados no preparo das soluções tampão e os demais reagentes devem ser de grau analítico.

Antes da realização dos procedimentos de análise deve-se calibrar o eletrodo com soluções de calibração pH 4,00 e 7,00.

Procedimentos e instrumentação analítica

Os procedimentos serão realizados conforme o esquema de funcionamento do sistema de titulação potenciométrica automatizada representada pela figura 8.

Figura 8. Esquema de funcionamento do sistema de titulação potenciométrica automatizada



Fonte: Elaboração própria, 2019.

1) Preparo da amostra de captopril (CTP $1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$)

Empregar o medicamento genérico captopril 25mg (TEUTO, Brasil) sem purificação adicional;
Pesar 25 comprimidos de captopril 25mg e calcular o peso médio do comprimido;
Pulverizar e homogeneizar os comprimidos;
Pesar uma porção do pó (cerca de 0,5433g) equivalente a 0,1574g de captopril;
Para o preparo da amostra (CTP $1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$), dissolver a porção do pó pesada em 150mL de solução de NaCl $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$, sob agitação, durante 25 minutos;
Filtrar a solução em papel de filtro qualitativo ($205 \mu\text{m}$) para balão volumétrico de 250 mL.
Completar o volume com solução de NaCl $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$.

2) Procedimento I - Padronização de NaOH $2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

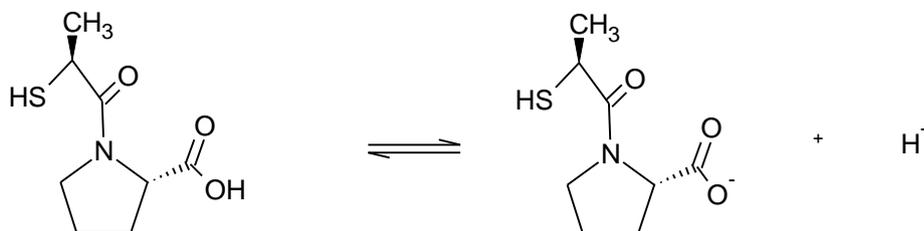
Pipetar uma alíquota de 10,0 mL da solução padrão de bifitalato de potássio $\text{KH}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4)$ $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ para béquer de forma alta. Adicionar 2 gotas de fenolftaleína. Titular com solução de NaOH. Realizar triplicata.

3) Procedimento II – Determinação de pK_a do captopril (CTP $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$)

Pipetar uma alíquota de 15,0 mL da solução estoque de captopril para béquer de forma alta. Adicionar 2 gotas de fenolftaleína. Titular com solução de NaOH previamente padronizado. Realizar triplicata.

Parte IV. Questionário

O captopril, que corresponde ao D-2-metil-3-mercaptopropanol-L-prolina, possui fórmula química $C_9H_{15}NO_3$, e um peso molecular de $217,3 \text{ g mol}^{-1}$, é um agente anti-hipertensivo ativo oralmente. O captopril é um ácido fraco, que se dissocia de acordo com a reação abaixo:



- a) Usando os dados obtidos experimentalmente, determine o pka da solução de captopril tal que as concentrações das espécies químicas protonada e desprotonada sejam iguais. Justifique sua resposta.

- b) Usando o valor de pka determinado, indique as cargas elétricas predominantes do captopril em pH 1,5; 7,0 e 10.

- c) Considerando-se que o pH da mucosa gástrica é aproximadamente 1,2 e o pH da mucosa intestinal é próximo a 7,0 e que substâncias eletricamente carregadas encontram mais dificuldade em atravessar a membrana plasmática das células, responda onde o captopril será mais absorvido?