



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE QUÍMICA

**MARCELLA MESQUITA TOURINHO**

ADAPTANDO A TÉCNICA DE TITULAÇÃO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA  
VISUAL: PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO BASEADO EM ANÁLISE DE IMAGENS  
E PROCESSAMENTO DE DADOS

Rio de Janeiro

Janeiro de 2023

Marcella Mesquita Tourinho

**Adaptando a técnica de titulação para pessoas com deficiência visual:  
proposta de um protótipo baseado em análise de imagens e processamento de  
dados**

Projeto final de curso apresentado à banca examinadora e ao corpo docente do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Química (Curso: Química - Atribuições Tecnológicas)

Orientador: Prof. Vinícius Tadeu Kartnaller Montalvão

## CIP - Catalogação na Publicação

T727a Tourinho, Marcella Mesquita  
ADAPTANDO A TÉCNICA DE TITULAÇÃO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL: PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO BASEADO EM ANÁLISE DE IMAGENS E PROCESSAMENTO DE DADOS / Marcella Mesquita Tourinho. -- Rio de Janeiro, 2023. 99 f.

Orientador: Vinicius Tadeu Kartnaller Montalvão.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Bacharel em Química, 2023.

1. Titulação. 2. Deficiência Visual. 3. Tecnologia Assistiva. 4. Análise de Imagem. 5. Química Experimental. I. Montalvão, Vinicius Tadeu Kartnaller, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

Marcella Mesquita Tourinho

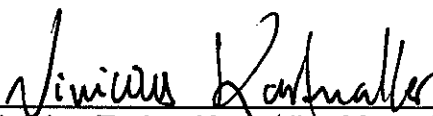
**Adaptando a técnica de titulação para pessoas com deficiência visual:  
proposta de um protótipo de baseado em análise de imagens e  
processamento de dados**

Projeto final de curso apresentado à banca examinadora e ao corpo docente do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Química (Curso: Química - Atribuições Tecnológicas)

Aprovado em:

13 / 01 / 2023

Banca examinadora:



---

Professor Vinicius Tadeu Karnaller Montalvão (orientador)  
IQ - UFRJ



---

Professor Rodrigo Volcan Almeida  
IQ - UFRJ



---

Professor Ricardo Cunha Michel  
IQ - UFRJ

## Agradecimentos

Aos meus pais, Marcelo e Valéria, que, mesmo por tantas vezes discordando de mim e dos projetos que eu me envolvia, me deram tudo o que foi necessário e mais; e meu irmão, Matheus, por ser extremamente questionador e um bom ouvinte.

Ao meu namorado, Douglas, pelo suporte, por me empurrar para frente, por estar do meu lado e por sempre acreditar em mim, e aos pais dele, Leninha e Durval, pelo cuidado, interesse e apoio.

Às minhas amigas, Geisa e Elisa, sem as quais eu jamais teria chegado aqui, pelo carinho, pelos problemas compartilhados, pelas fanfics, sorrisos, músicas, memes e por me fazerem perceber que eu não estava sozinha e que era capaz.

Ao meu orientador, Vinicius, por me deixar solta o suficiente no início para correr com as ideias doidas da minha cabeça, sempre me ouvindo, dividindo sua sabedoria, e indicando o caminho; e por praticamente ter me pego no colo nessa fase final. Sem ele, esse trabalho sequer teria saído do papel.

À minha amiga “estagiotária”, Ana Paula, pelas conversas aleatórias do café às 4 da manhã que foram responsáveis pelo pontapé nesse trabalho.

Ao NQTR e à família NQTR, em especial a Aline, que pacientemente cuidou de mim quando a análise de imagem RGB sequer fazia sentido nos meus tempos de IC, e que, agora, durante o meu TCC tentou me suportar como podia; e ao professor Cajaíba, cujo a vivência, a experiência e as conversas inspiram a todos nós.

A formação original do NuDIQ, sem a qual eu acredito que não teria me desenvolvido acerca da minha percepção sobre diversidade e gerado os elos de empatia que fizeram esse trabalho acontecer.

Aos membros da gestão 2016/2017 do CAIQ e ao Rafael Campos (*in memoriam*), que aproveitou uma situação na qual estava bêbada demais para recusar estar nela. A vivência no CAIQ foi fundamental para que eu criasse a preocupação as adversidades enfrentadas pelos alunos de graduação no IQ.

Aos amigos que adquiri durante a graduação, principalmente Tarouquela, Wilken, Ramon, Nayanna, Thayná, Victor, Jaime, Camila, Gabriela, Amanda, Amir, Lessa, Paulo, Alex, Gustavo, e Nicholas; aos do extinto esbaldagrupo; aos amigos que a vida me deu, Joanna e Fellipe; e aos meus primos, que deixaram tudo mais leve.

E à minha avó, dona Cléa, que nem acreditava que eu realmente estava fazendo um TCC, mas me perguntava sempre que podia sobre o andamento dele.

## RESUMO

TOURINHO, Marcella Mesquita. **Adaptando a técnica de titulação para pessoas com deficiência visual: proposta de um protótipo baseado em análise de imagens e processamento de dados**. 2023. 99 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Com Atribuições Tecnológicas, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Uma das técnicas mais comuns e desafiadoras no laboratório são as titulações. Elas se baseiam na reação entre um reagente de concentração conhecida e um analito, a fim de quantificá-lo. Em muitos casos a identificação do seu ponto final é detectada por uma alteração física visível de um indicador, o que a torna inacessível classicamente para pessoa com deficiência (PcD) visual. O acesso à educação para PcD é pautado na constituição desde 1961, mas apenas em 2017 as universidades federais passaram a ter parte de suas vagas destinadas para elas, o que gerou um processo de adaptação dos seus cursos e infraestrutura. Nesse contexto, o Instituto de Química/UFRJ encontrou barreiras na química experimental, tendo a titulação como uma das questões. Um dos métodos capazes de substituir o uso da visão nessa técnica é a análise de imagem, que pode ser feita com o uso de uma webcam para a leitura no sistema de cores RGB (*Red-Green-Blue* ou Vermelho-Verde-Azul, em português), que captura e converte intensidade de luz em sinal expresso em termos de intensidades dessas cores. A partir desse contexto, consultou-se a literatura a fim de capturar trabalhos onde essa técnica havia sido bem-sucedida, dentro e fora do viés de acessibilidade e, desse estudo, propôs-se utilizar o *software RGBview*, que realiza análise de imagem em tempo real e sua adaptação para PcD visual através de acoplamento de som, pois acreditava-se que isso seria capaz de fornecer à PcD a assimilação da reação química envolvida no processo, dando independência e autoconfiança no laboratório e provocando sentimentos equivalentes aos demais alunos videntes na realização da técnica. O método foi testado perante indicadores comumente usados nas aulas práticas de titulação na graduação, com transições de coloração diferentes: fenolftaleína, alaranjado de metila, verde de bromocresol e negro de eriocromo T. Os gráficos gerados foram tratados e transformados em um sinal sonoro indicativo do processo de titulação. O protótipo final foi proposto de acordo com a vivência dos experimentos e a pesquisa bibliográfica.

Palavras chave: deficiência visual; química experimental; titulação; análise de imagem; tecnologia assistiva

## Lista de Siglas, variáveis e aproximações

PcD – Pessoa com deficiência

PPD – Pessoas portadoras de deficiência

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

IQ-UFRJ – Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro

TA – Tecnologia Assistiva

RGB – R – *red* (vermelho); G – *green* (verde) e; B – *blue* (azul)

$K_w$  – Constante de autoprotólise da água

$K_a$  – Constante de dissociação ácida

EDTA - Ácido Etilenodiaminotetracético

$K_f$  – Constante de formação de complexo

$K_{ps}$  – Constante do produto de solubilidade

HSV – H - *hue*, matiz, S - *saturation*; saturação, V - *value*, valor

HSI – H - *hue*, matiz, S - *saturation*; saturação, I - *intensity*; intensidade

NQTR - Núcleo de Desenvolvimento de Processos e Análises Químicas em Tempo Real

NET – Negro de Eriocromo T



## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Exemplos de tecnologias assistivas utilizadas no laboratório e desenvolvidas no Brasil: balança e medidor de volumes de Prazeres, Maciel e Batista Filho. (2016) e balança adaptada, indicador sonoro de cores, sinalizador de ponto final e transferidor de volumes de Santos et al. (2015), dispostos nessa ordem. ....	17
<b>Figura 2:</b> Sistema de titulação. ....	18
<b>Figura 3:</b> Curva de Titulação sigmoidal genérica ....	20
<b>Figura 4:</b> Titulação NaOH 0,100 mol L <sup>-1</sup> x HCl 0,100 mol L <sup>-1</sup> .....	21
<b>Figura 5:</b> Gráfico de titulação genérico para o ácido fosfórico.....	24
<b>Figura 6:</b> Estrutura EDTA .....	28
<b>Figura 7:</b> Espaço de Cor RGB .....	32
<b>Figura 8:</b> Espaço de cor HSV .....	33
<b>Figura 9:</b> Aparato utilizado nos testes com bomba, contendo uma câmara- .....	36
<b>Figura 10:</b> Foto da câmara semi-aberta revestida por papel branco com webcam ..	37
<b>Figura 11:</b> Área de seleção utilizada nas análises representada por um retângulo verde .....	37
<b>Figura 12:</b> Barreiras físicas potenciais na aparelhagem de titulação.....	40
<b>Figura 13:</b> Gráficos obtidos por Nazarenko (2010) na análise de imagem RGB para (a) análise de dureza da água; (b) método Mohr; (c) método Fajans.....	42
<b>Figura 14:</b> Comparativo dos gráficos obtidos para a titulação NaOH x HCl por Gaião et al. (2005), capturada por um sensor RGB, representado pela média(a) e um espectrofotômetro (c) e a segunda derivada para essas curvas, respectivamente (b) e (d).....	44
<b>Figura 15:</b> Gráfico obtido por Lima et al. (2016) na reação entre HCl e NaOH com fenolftaleína.....	45
<b>Figura 16:</b> Gráficos obtidos por Siqueira et al. (2017) nas regiões a e b, onde 1 – Negro de Eriocromo T e 2 – Alaranjado de metila.....	46
<b>Figura 17:</b> Sistema utilizado por Bernar (2017), sendo A – Caixa de ambiente e luz controlada, com webcam; e B – Bomba-seringa.....	47
<b>Figura 18:</b> Gráficos obtidos para as titulações de neutralização (a), complexação (b), precipitação (c) e oxi-redução (d) por Bernar (2017).....	48
<b>Figura 19:</b> Titration ColorCam na titulação envolvendo fenolftaleína .....	50
<b>Figura 20:</b> Aparato utilizado por Tallman (1978).....	52
<b>Figura 21:</b> Balança utilizada por Daniel (2017).....	53
<b>Figura 22:</b> Interface do RGBview.....	55
<b>Figura 23:</b> Transição de cor para a fenolftaleína .....	56
<b>Figura 24:</b> Estruturas da fenolftaleína.....	57
<b>Figura 25:</b> Mudança de cor do NET.....	57
<b>Figura 26:</b> Estruturas NET complexado e livre .....	58
<b>Figura 27:</b> Mudança de cor no alaranjado de metila.....	58
<b>Figura 28:</b> Estruturas Alaranjado de metila.....	59
<b>Figura 29:</b> Transição de cor observada para o Verde de Bromocresol .....	59

<b>Figura 30:</b> Estruturas Verde de Bromocresol.....	60
<b>Figura 31:</b> Gráfico titulação com fenolftaleína e a imagem observada nos momentos (I), (II), (III) e (IV) .....	61
<b>Figura 32:</b> Gráfico da titulação usando fenolftaleína no método de adição por bomba .....	63
<b>Figura 33:</b> Gráfico teórico titulação NaOH e biftalato de potássio .....	64
<b>Figura 34:</b> Sobreposição dos gráficos de adição por bomba para fenolftaleína RGB e curva teórica de titulação de NaOH e biftalato .....	65
<b>Figura 35:</b> Gráfico obtido com 5 gotas de NET.....	66
<b>Figura 36:</b> Cor observada com 5 gotas de NET (a) e 20 gotas de NET (b) .....	67
<b>Figura 37:</b> Gráfico EDTA x CaCO <sub>3</sub> com 20 gotas de NET .....	67
<b>Figura 38:</b> Cor observada com 20 gotas de NET após mudança na configuração da câmera .....	68
<b>Figura 39:</b> Gráfico de titulação EDTA x CaCO <sub>3</sub> com 20 gotas de NET após mudança na configuração, sob adição por bomba (sistema aberto).....	69
<b>Figura 40:</b> Gráfico da titulação EDTA x CaCO <sub>3</sub> com 20 gotas de NET após mudança na configuração, sistema fechado.....	71
<b>Figura 41:</b> Sobreposição dos gráficos de adição por bomba para NET e curva teórica de titulação (EDTA e CaCO <sub>3</sub> ) .....	71
<b>Figura 42:</b> Transição de cores observadas para o alaranjado de metila .....	72
<b>Figura 43:</b> Gráfico de titulação manual NaOH x H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> com alaranjado de Metila ...	73
<b>Figura 44:</b> Curva teórica para o Ácido Fosfórico .....	74
<b>Figura 45:</b> Gráfico de titulação adição por bomba, NaOH x H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> com alaranjado de Metila.....	74
<b>Figura 46:</b> Gráfico sobreposição das curvas de adição por bomba para a titulação de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (alaranjado de metila) .....	75
<b>Figura 47:</b> Curva obtida para a titulação manual de NaOH x H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> na presença de verde de bromocresol.....	76
<b>Figura 48:</b> Transição de cor para o verde de bromocresol .....	77
<b>Figura 49:</b> Gráfico obtido para a adição por bomba com verde de bromocresol .....	77
<b>Figura 50:</b> Gráfico de sobreposição da curva RGB obtida para a titulação de H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> por NaOH e a teórica, com verde de bromocresol. ....	78
<b>Figura 51:</b> Exemplo de titulador com adição de volume regulada por botão .....	80
<b>Figura 52:</b> Código da função criada e utilizada para acoplar som às curvas RGB obtidas no Matlab .....	82
<b>Figura 53 -</b> Conversão das componentes da curva obtida para o alaranjado de metila.....	83
<b>Figura 54 -</b> Gráficos gerados pela derivada da componente verde para os quatro indicadores na curva de adição por bomba.....	85
<b>Figura 55:</b> Gráficos gerados pela aplicação da função quadrática para os valores y obtidos para a <b>Figura 53</b> .....	86
<b>Figura 56:</b> QRcodes gerados para os gráficos com som acoplado, sendo (a) Fenolftaleína (b) NET (c) Alaranjado de Metila e (d) Verde de Bromocresol.....	87
<b>Figura 57:</b> Aparência do protótipo teorizado.....	89

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Massas utilizadas nos ensaios com Fenolftaleína .....	38
<b>Tabela 2 :</b> Massas de $\text{CaCO}_3$ utilizadas nos ensaios com NET e a quantidade de indicador de cada ensaio.....	39
<b>Tabela 3:</b> Massas de $\text{CaCO}_3$ nos ensaios utilizando NET com nova solução .....	39
<b>Tabela 4:</b> Resultados para a padronização do $\text{NaOH}$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ .....	60
<b>Tabela 5:</b> Resultados obtidos para a titulação do $\text{NaOH}$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ sob adição por bomba .....	64
<b>Tabela 6:</b> Resultados para a padronização de solução de EDTA.....	68
<b>Tabela 7:</b> Resultados da padronização da solução de EDTA contendo $\text{MgCl}_2$ utilizando-se a adição manual do titulante pela bureta.....	70
<b>Tabela 8:</b> Resultados de volume de EDTA na triplicata método de adição por bomba .....	70
<b>Tabela 9:</b> Indicadores testados e componentes selecionadas no RGB .....	81

## Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	12
1.1. Pessoas com deficiência nas universidades federais .....	12
1.2. Química Experimental e Pessoas com Deficiência visual .....	15
1.3. Titulações Volumétricas .....	17
1.3.1. Titulação por neutralização .....	19
1.3.1.1. Indicadores em titulações ácido-base.....	26
1.3.2. Titulação de Complexação .....	27
1.3.2.1. Indicadores em titulações complexométricas .....	29
1.3.3. Outros tipos de titulação .....	30
1.3.3.1. Titulação de Oxi-redução.....	30
1.3.3.2. Titulometria de Precipitação .....	30
1.4. Sistemas fotométricos para titulações.....	31
1.4.1. Análise de imagem .....	31
<b>2. Objetivo</b> .....	34
<b>3. Metodologia</b> .....	35
3.1. Pesquisa Bibliográfica.....	35
3.2. Procedimento Experimental .....	35
<b>4. Resultados e Discussão</b> .....	40
4.1. A literatura e a análise de Imagens aplicada à titulação .....	40
4.2. Outras ferramentas como tradutores da visão em experimentos de titulação ....	51
4.3. <i>RGBview</i> , e indicadores escolhidos.....	54
4.3.1. Fenolftaleína.....	56
4.3.2. Negro de Eriocromo T .....	57
4.3.3. Alaranjado de metila.....	58
4.3.4. Verde de Bromocresol.....	59
4.4. Resultados obtidos pelas análises com <i>RGBView</i> .....	60
4.4.1. Fenolftaleína.....	60
4.4.2. Negro de Eriocromo T .....	65
4.4.3. Alaranjado de Metila.....	72
4.4.4. Verde de Bromocresol.....	76
4.5. Proposta de Formulação de um protótipo .....	78
<b>5. Conclusão</b> .....	89
<b>6. Referências</b> .....	91

## 1. Introdução

A abordagem introdutória será feita primeiramente apresentando a leitura do Brasil e da constituição brasileira acerca pessoa com deficiência e a sua inclusão na sociedade, passando pelo sistema de cotas e algumas dificuldades da universidade em absorvê-las, trazendo destaque para cursos mais visuais, como o de química.

Desse ponto, parte-se para particularidade da técnica de titulação que é descrita por Soong *et al.* (2009) como bastante inacessível para diversos tipos de deficiência. Tem-se aqui o foco na deficiência visual, uma vez que a técnica geralmente emprega alterações visuais para gerar resultados; e no sentimento do analista com cegueira.

A técnica será explicada e exemplificada de maneira a contextualizar os estudos pautados na pesquisa bibliográfica e experimental que foram desenvolvidos para a arquitetura do protótipo, objetivo desse trabalho, assim como os instrumentos e artifícios que podem ser utilizados substituir o uso da visão, assim como a análise de imagem e alguns dos principais espaços de cor utilizados.

### 1.1. Pessoas com deficiência nas universidades federais

Pessoas com deficiência são aquelas que, de acordo com o decreto 5.296/2004<sup>1</sup> (BRASIL, 2004), possuem algum tipo de restrição ou incapacidade de realizar alguma atividade e se encaixam em alguma das categorias abaixo:

I - pessoa portadora de deficiência [...] a que possui limitação ou incapacidade para o desempenho de atividade e se enquadra nas seguintes categorias:

a) deficiência física: alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplegia, triparesia, hemiplegia, hemiparesia, ostomia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, nanismo, membros com deformidade congênita ou adquirida, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções;

---

<sup>1</sup> O decreto 5.296/2004 utiliza o termo “Pessoa Portadora de Deficiência (PPD)” que na atualidade é considerado incorreto e capacitista (SASSAKI, 2011) e por conta disso o termo sempre será referenciado como Pessoa com Deficiência (PCD) ao longo do texto mesmo referenciando o decreto

b) deficiência auditiva: perda bilateral, parcial ou total, de quarenta e um decibéis (dB) ou mais, aferida por audiograma nas frequências de 500Hz, 1.000Hz, 2.000Hz e 3.000Hz;

c) deficiência visual: cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60°; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores;

d) deficiência mental: funcionamento intelectual significativamente inferior à média, com manifestação antes dos dezoito anos e limitações associadas a duas ou mais áreas de habilidades adaptativas, tais como:

1. comunicação;
2. cuidado pessoal;
3. habilidades sociais;
4. utilização dos recursos da comunidade;
5. saúde e segurança;
6. habilidades acadêmicas;
7. lazer; e
8. trabalho;

e) deficiência múltipla - associação de duas ou mais deficiências; e  
II - pessoa com mobilidade reduzida, aquela que, não se enquadrando no conceito de pessoa portadora de deficiência, tenha, por qualquer motivo, dificuldade de movimentar-se, permanente ou temporariamente, gerando redução efetiva da mobilidade, flexibilidade, coordenação motora e percepção.

Cerca de 45 milhões de brasileiros afirmam ter algum tipo de deficiência. Essa parcela grande população (cerca de 24%) tem seus direitos assegurados pela Lei 13.146/2015 que afirma que “Toda pessoa com deficiência tem direito à igualdade de oportunidades com as demais pessoas.” (POLÍTICAS...2021; BRASIL, 2015).

O DataSenado (2010) fez uma pesquisa sobre as condições de vida das pessoas com deficiência no Brasil, onde foram questionados pontos acerca da mobilidade urbana, do acesso à informação e da acessibilidade no mercado de trabalho, dentre outros tópicos. No último ponto, foi descrito que houve um aumento na inclusão dessas pessoas com a instituição de cotas para empresas públicas e privadas.

O capacitismo é o preconceito que as pessoas com deficiência sofrem, muitas vezes as inferiorizando, colocando-as como anormais, descreditando de seu potencial. Elas ainda são colocadas como pessoas incapazes de trabalhar e são excluídas da formação de laços socioafetivos importantes. Por ser algo extremamente enraizado na sociedade e difícil de desconstruir, instrumentos de inclusão, assim como as cotas, são extremamente necessários. (CAMILA NEUMAN, 2021)

Ainda foram respondidas pelos participantes da pesquisa do DataSenado (2010) perguntas acerca da educação em turma regular, onde “para 77% das pessoas com deficiência física, a classe comum em escola regular seria melhor; mas a escolha muda quando são pessoas com deficiência auditiva (58%) e visual (54%)”; e ainda “que 21% dos deficientes visuais queixaram-se de material de ensino inadequado.”

Esses índices surgem do contexto no qual a Lei das Diretrizes Base de 1961, que foi revista em 1996, já pautava o acesso à educação básica de PcD, que teoricamente deveriam ser acolhidas pelo sistema (BRASIL, 1961 apud BRASIL, 1996) e, mesmo assim, com as respostas dadas para o DataSenado, fica claro que elas ainda não são recebidas adequadamente.

No ensino superior, com a finalidade de aumentar o grau de inclusão, foi implantado o sistema de cotas para PcD nas universidades estaduais no Rio de Janeiro, pela Lei Estadual nº 4.151, de 04 de setembro de 2003, onde 5% das vagas são destinadas para minorias étnicas e pessoas com deficiência (RIO DE JANEIRO, 2003).

Mas só em 2016 as cotas para pessoas com deficiência foram instituídas nas universidades federais pela lei nº 13.409/2016, que previa revisão da cota após 10 anos em operação (BRASIL, 2016). Contudo, essa lei pode ser alterada antes do esperado: o projeto de lei 1527/19, que tramita em caráter conclusivo, propõe que a cota, que hoje em dia opera com porcentagem equivalente à população local, seja ampliada para 10% das vagas destinadas a estudantes de escolas públicas, fazendo com que as questões relativas à inclusão dessas pessoas sejam cada vez mais pungentes (JUNIOR, 2021).

Uma das maiores universidades do país, a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) antes disso contava apenas com ações pontuais voltadas para atender as necessidades dessa parte da população, assim como a criação do Núcleo Interdisciplinar de Acessibilidade em 2007, ou a realização do I Fórum Universitário de Acessibilidade em 2013. Entretanto, a presença de PcD nunca havia sido estimada com precisão. Atualmente esse trabalho é realizado pelo Fórum Permanente de Acessibilidade, que é responsável por acolher os estudantes e mapear as suas necessidades.

Mesmo com a evolução das políticas universitárias, com a introdução algumas estruturas adequadas, com canais informativos e formação de pessoas capazes de melhorar a inclusão, a UFRJ ainda não consegue rastrear todos os problemas nem

atuar adequadamente para solucioná-los (CORDCOM/UFRJ, 2017; SOUZA *et al.*, 2017).

Sendo assim, muitas unidades começaram a desenvolver projetos de extensão e núcleos voltados para a recepção e permanência de PcD em seus cursos. No Instituto de Química da UFRJ (IQ-UFRJ), a Comissão de Acessibilidade que é responsável por auxiliar a direção do IQ no debate, elaboração, suporte e implementação de políticas institucionais de acessibilidade para os cursos e disciplinas ministradas, foi implementada apenas em maio de 2018. Essa comissão busca rastrear e entender as necessidades dos alunos com deficiência que entraram por cota e ampla concorrência para que se encontre ferramentas estruturais e didáticas de inclusão para atender a demanda que tende a aumentar (NOSSA... 2018).

Um dos maiores desafios do ensino de química para a PcD é a ministração adequada das disciplinas para pessoas com deficiência visual, já que na grande maioria das vezes engloba o uso da visão, principalmente no que tange as atividades laboratoriais.

Isso porque o ensino teórico é articulado com ferramentas de áudio, materiais em braile e recursos táteis que tem ampla discussão, mas o ensino experimental, por ter seus pilares na observação, ainda é um grande desafio (SANTOS *et al.*, 2015).

## 1.2. Química Experimental e Pessoas com Deficiência visual

Atividades essenciais no laboratório de química, assim como uma pesagem ou uma medida de volume, podem ser um grande problema para pessoas com cegueira ou baixa visão, uma vez que, além da manipulação dificultada pela deficiência, a maioria dos instrumentos e aparelhos utilizados em sala de aula possuem escalas ou leituras visuais. Alguns bons exemplos estão em vidrarias com escalas de volume que são comuns no laboratório, que podem ser exemplificados por pipetas, buretas, provetas; e balanças, que geralmente exibem o peso em um visor (SANTOS *et al.*, 2015).

Outra dificuldade são os experimentos onde são envolvidos alguma alteração visual, assim como uma precipitação, a visualização da miscibilidade de dois compostos ou a alteração de cor (BANDYOPADHYAY; RATHOD, 2017).



O mercado para a compra de instrumentos adaptados é escasso, fazendo com que geralmente sejam necessárias iniciativas das próprias universidades para desenvolvê-los (SILVA, 2018). Esses instrumentos, assim como outros recursos que permitem a acessibilidade e inclusão são chamados de tecnologias assistivas (TA) e ajudam a traduzir a visão em outros sentidos (SUPALO, 2010).

Supalo (2012), Ph.D. em química pela *Penn State University* e pesquisador/professor universitário, em seu relato pessoal da experiência como um estudante de química com deficiência visual, afirmou que é importante conhecer as TA que podem ser utilizadas para que se tenha um melhor entrosamento e independência com o trabalho em laboratório, e que isso é fundamental para criar o interesse em ciências. Ele cita leitores de tela de texto, *softwares* que ajudam na coleta dos dados, uso de equipamentos audíveis e ainda diz que existem muitos recursos online que podem auxiliar e que devem frequentemente ser revistos. Na ausência desse suporte, os alunos tendem a se afastar voluntariamente dessas aulas (BANDYOPADHYAY; RATHOD, 2017).

Algumas TA desenvolvidas no Brasil para auxiliar os alunos em seus experimentos podem ser observadas na **Figura 1**, assim como a balança e o medidor de volume produzidos por Prazeres, Maciel e Batista Filho (2016) e a balança com sinalizador sonoro, o indicador sonoro de cores de soluções do sistema RGB (R – *red*, vermelho; G – *green*, verde; B – *blue*, azul), o sinalizador de ponto final de titulação e o sistema pneumático de transferência de líquidos desenvolvidos por Santos *et al.* (2015), que estão dispostos nessa ordem.

**Figura 1:** Exemplos de tecnologias assistivas utilizadas no laboratório e desenvolvidas no Brasil: balança e medidor de volumes de Prazeres, Maciel e Batista Filho. (2016) e balança adaptada, indicador sonoro de cores, sinalizador de ponto final e transferidor de volumes de Santos *et al.* (2015), dispostos nessa ordem.



Imagens retiradas de Prazeres, Maciel e Batista Filho (2016) e Santos *et al.* (2015)

Dentre as diversas técnicas experimentais que um aluno se depara em um curso de graduação em química, uma das mais comuns e desafiadoras, até para aqueles que tem a visão acurada, são as titulações. Os resultados gerados por essa técnica muitas vezes são provenientes de alterações de cor sutis e uma aparelhagem que demanda um manuseio delicado (SUPALO, 2010), requisitando um treinamento ao longo de diversas práticas para a sua aplicação efetiva.

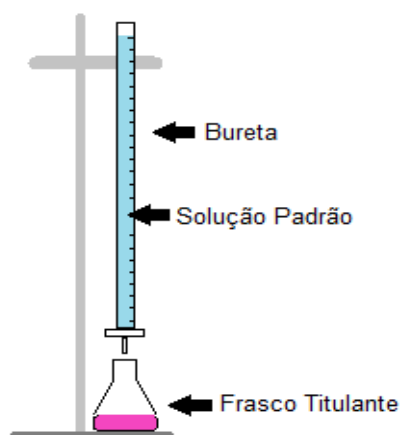
### 1.3. Titulações Volumétricas

A titulação volumétrica é um método de análise clássico, eficiente e amplamente utilizado na quantificação de diversas substâncias, assim como ácidos, bases, agentes oxidantes e redutores, íons metálicos, e uma enorme gama de espécies.

É um procedimento analítico que se baseia na reação química entre um analito e uma solução padrão, cuja concentração é conhecida. O processo ocorre a partir da adição de um reagente ao outro através de uma vidraria ou instrumento capaz de medir o volume adicionado com precisão, assim como uma bureta, a um frasco titulante onde está contida a outra substância. O instante teórico no qual essa reação

está completa chama-se ponto de equivalência. Sabendo-se a estequiometria da reação e o volume gasto até a equivalência dos dois reagentes é possível calcular a concentração do analito (HARRIS, 2001). Um sistema de titulação clássico pode ser observado na **Figura 2**.

**Figura 2:** Sistema de titulação.



Adaptado de SOONG *et al.* (2019)

Experimentalmente, o ponto de equivalência não pode ser determinado pois fatores como a capacidade de observação do analista e o meio de detecção escolhido interferem no resultado. Por isso, o momento no qual o analista verifica que a reação está completa é chamado de ponto final. A diferença entre esses pontos é o erro de titulação e pode ser minimizado com a realização de uma análise em branco, onde repete-se o procedimento sem a adição do analito (HARRIS, 2001).

O ponto final pode ser dado por uma diferença de potencial ou na corrente elétrica entre um par de eletrodos, ou por uma alteração física gerada por um indicador, que é uma substância adicionada ao frasco titulante que pode provocar mudanças observáveis, assim como cor ou turbidez. A apuração desse ponto pode ser feita classicamente, onde é observado visualmente por um analista, ou por instrumentos, dentre eles colorímetros, turbidímetros, monitores de temperatura, refratômetros, voltímetros, medidores de corrente e condutividade (SKOOG *et al.*, 2006).

Idealmente, para que uma reação possa ser utilizada em uma titulação volumétrica deve obedecer aos seguintes critérios:

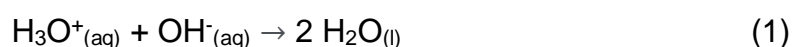
- a) Ser rápida. Uma reação lenta pode interferir na detecção do ponto final, aumentando o erro.
- b) Deve ser possível expressá-la por uma equação química que descreva de maneira adequada o fenômeno. Reações laterais são indesejáveis e podem gerar resultados errôneos.
- c) Ser completa no ponto de equivalência, para que se tenha boa apuração do ponto final.
- d) O ponto final deve ser detectável de modo satisfatório através de indicadores visuais, instrumentos adequados ou qualquer outro método que faça uso de uma variação de propriedades físico-químicas do sistema.

Apesar dos critérios acima parecerem limitar bastante a gama de usos de uma titulação volumétrica, muitos procedimentos comuns fogem desse senso e podem ser adaptados para cumpri-los, o que torna as aplicações do método amplas.

As reações nas quais essa técnica pode ser utilizada são agrupadas em quatro grupos: neutralização, precipitação, complexação ou oxi-redução (VOGEL *et al.*, 1989).

### 1.3.1. Titulação por neutralização

Esse tipo de titulação é utilizado para determinar quantidades de ácidos ou bases em um sistema, através da reação de neutralização exposta na **Equação 1** (HARRIS, 2001).



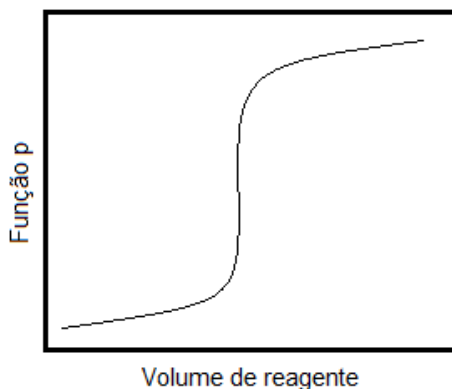
Essa reação é o inverso da autoprotólise da água ( $K_w$ ) e por isso é uma reação muito efetiva.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \quad \text{p}K_w = 14 \quad (2)$$

Alguns exemplos de uso são a determinação de pureza de carbonatos e acidez ou alcalinidade de soluções. A análise pode ser entendida através de uma curva de titulação, que acompanha a variação da função p do composto de interesse, nesse caso, o pH, com o volume de solução adicionado, tendo forma sigmoideal. A

função é definida pelo negativo do log da concentração de interesse. Um exemplo para esse tipo de curva pode ser observado na **Figura 3** (SKOOG *et al.*, 2006).

**Figura 3:** Curva de Titulação sigmoidal genérica



Adaptado de Skoog *et al.* (2006)

Essa curva pode ser prevista levando em consideração as espécies presentes no meio reacional e suas concentrações. E o ponto final nem sempre será em  $\text{pH}=7$ , uma vez que em reações que envolvem ácidos e bases fracas pode-se ter o fenômeno da hidrólise de suas espécies conjugadas (BACCAN, 1979).

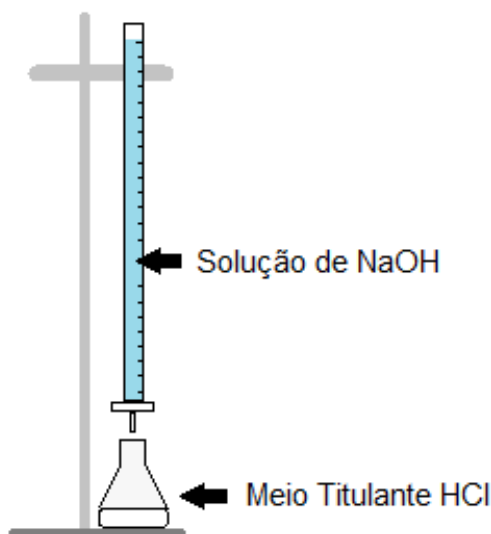
Ela possui grande importância, uma vez que as vizinhanças do ponto de equivalência podem ser utilizadas na seleção de um indicador adequado para minimizar o erro de titulação, ajudando a estimá-lo.

A curva, na titulação de neutralização, pode ser determinada empiricamente, com o auxílio de um potenciômetro, ou teoricamente, através de cálculos.

Geralmente é constituída por três estágios: a pré-equivalência, a equivalência e a pós equivalência. Deve-se ressaltar que existem outros tipos de curva, mas as sigmoidais são as mais comuns para a análise do procedimento (SKOOG *et al.*, 2006).

Pode-se considerar, por exemplo, a titulação de uma solução  $\text{HCl } 0,100 \text{ mol L}^{-1}$  contra  $\text{NaOH } 0,100 \text{ mol L}^{-1}$  (**Figura 4**).

**Figura 4:** Titulação NaOH  $0,100 \text{ mol L}^{-1}$  x HCl  $0,100 \text{ mol L}^{-1}$



Adaptado de Soong *et al.* (2017)

Com a finalidade de prever o comportamento dessa curva deve-se inicialmente realizar o cálculo do pH inicial da solução, ou seja, quando a adição de volume for igual a 0.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \quad (3)$$

Na pré-equivalência, mesmo com a adição da solução de NaOH, o pH é regido pelo ácido, que, apesar de ter reagido parcialmente, permanece em excesso. Sua concentração será utilizada no cálculo do pH:

$$[\text{HCl}] = \frac{\text{N}^\circ \text{ mol HCl} - \text{N}^\circ \text{ mol NaOH adicionado}}{\text{Volume total}} \quad (4)$$

$$[\text{HCl}] = [\text{H}_3\text{O}^+] \quad (5)$$

Na equivalência, o número de moles de HCl e NaOH será igual, e o pH, neutro.

$$[\text{HCl}] = [\text{NaOH}] \quad (6)$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_w} \quad (7)$$

E na pós-equivalência o pH é regido pelo volume adicionado de NaOH em excesso (BACCAN, 1979).

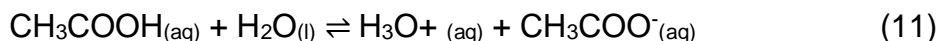
$$[\text{NaOH}] = \frac{\text{N}^\circ \text{ mol NaOH adicionado} - \text{N}^\circ \text{ mol HCl}}{\text{Volume total}} \quad (8)$$

$$[\text{NaOH}] = [\text{OH}^-] \quad (9)$$

$$\text{pH} = 14 - (-\log[\text{OH}^-]) \quad (10)$$

A previsão ocorre de maneira análoga quando se titula uma base forte. Já quando uma das soluções envolvidas é um ácido ou base fraca, apesar da curva ser sigmoideal, na reação envolvendo o ácido fraco com a adição de base antes da inflexão ocorre o tamponamento do meio pela coexistência do ácido fraco e sua base conjugada, ou vice-versa, em determinadas proporções. Com isso, altera-se também os cálculos utilizados na previsão da curva (BACCAN, 1979).

Para prever a curva de titulação de um ácido ou base fraca, os passos são bastante similares. Como dito anteriormente, ácidos e bases fracas em meio aquoso sofrem hidrólise. Considerando-se uma solução de ácido acético, um ácido fraco, tem-se:



Ao se realizar a titulação desse ácido por hidróxido de sódio de mesma concentração, as etapas para a o cálculo da curva não são muito diferentes. Quando  $V = 0,0 \text{ mL}$  o pH depende da concentração e da constante de dissociação do ácido fraco.

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} \quad (12)$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_a[\text{HAc}]} \quad (13)$$

Com a adição da solução na bureta, é observada a formação de uma região de tamponamento, que pode ter seu pH calculado através da equação de Henderson-Hasselbalch, exemplificada aqui através do rearranjo da **Equação 12**, considerando o volume de solução do frasco titulante.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_a[\text{HAc}]}{[\text{Ac}^-]} \quad (14)$$

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}^-]}\right) \quad (15)$$

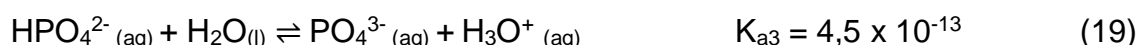
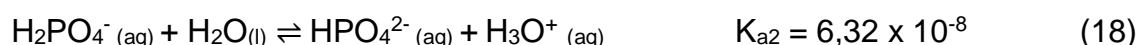
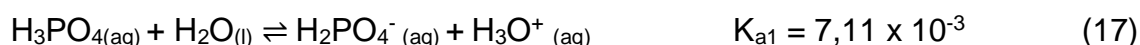
Na equivalência, a concentração de ácido acético presente no início é igual a de NaOH. Com isso, a espécie predominante é o acetato de sódio e o cálculo do pH é feito com base em sua dissociação.

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{[\text{Ac}^-] \frac{K_w}{K_a}} \quad (16)$$

Através da concentração de  $\text{OH}^-$ , pode-se calcular o pH como demonstrado na **Equação 10**. Na pós-equivalência, a contribuição dos íons acetato é pequena e o pH será dado pela concentração de NaOH em excesso, utilizando as **Equações 8, 9 e 10**. A previsão pode ser feita de maneira análoga para a titulação de bases fracas contra ácidos fortes (SKOOG *et al.*, 2006).

É comum a análise de compostos que tenham mais de um grupo ácido ou básico com forças diferentes. Para ácidos onde o  $K_a$  dos hidrogênios ácidos é muito próximo, é comum se observar apenas uma inflexão no gráfico e por isso, se dá o tratamento similar ao da análise de um ácido monoprotico. Mas em outros casos, onde a razão dos  $K_a$ 's adjacentes supera a ordem de  $10^3$ , os cálculos tendem a se diferenciar separando-se em diferentes etapas.

Um desses exemplos é o ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), que possui três hidrogênios ácidos em sua composição, sofrendo três reações de dissociação diferentes:



Cada uma dessas dissociações, como observado, possui uma constante de acidez diferente. Isso deveria gerar três inflexões no gráfico de titulação desse ácido. Contudo, devido à força ácida do terceiro hidrogênio, apenas os dois primeiros são



tituláveis. A curva de titulação para uma solução de ácido fosfórico  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  contra uma solução de NaOH da mesma concentração é mostrada na **Figura 5**.

**Figura 5:** Gráfico de titulação genérico para o ácido fosfórico

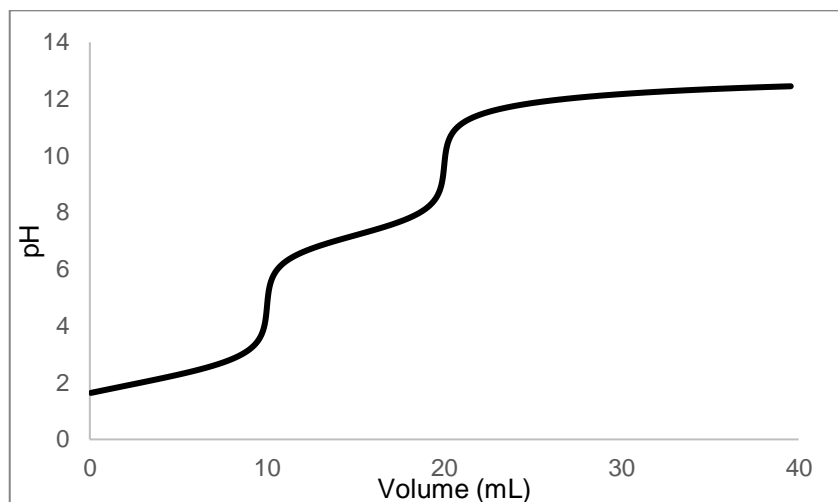


Figura do Autor

Ao se considerar a titulação desse ácido, ambos os pontos de equivalência podem ser utilizados, mas no primeiro ponto considera-se a reação com um único hidrogênio, e no segundo, com os dois. O que faz com que o volume no segundo ponto seja exatamente o dobro do primeiro:

No primeiro ponto:  $\text{mol H}_3\text{PO}_4 = 1 \text{ mol NaOH} \rightarrow$  forma predominante  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$

No segundo ponto:  $\text{mol H}_3\text{PO}_4 = 2 \text{ mol NaOH} \rightarrow$  forma predominante  $\text{HPO}_4^{2-}$

Essa curva pode ser prevista de maneira similar à vista anteriormente para as titulações de ácido-base vistas anteriormente, dividindo o processo em 4 etapas de cálculo, mas, dessa vez, deve-se considerar a existência de duas inflexões.

A concentração total de ácido fosfórico será dada pelo somatório das concentrações de todas as espécies de ácido fosfórico envolvidas no meio.

$$C_{\text{H}_3\text{PO}_4} = [\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{PO}_4^{3-}] \quad (20)$$

Contudo, como o pH inicial é bastante ácido, as espécies  $\text{H}_3\text{PO}_4$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  são predominantes e as concentrações das outras espécies se tornam desprezíveis.

Como apenas a dissociação do  $H_3PO_4$  acontece em extensão considerável, pode-se dizer que:

$$[H_3O^+] = [H_2PO_4^-] \quad (21)$$

Com isso, a resolução desse problema aproxima-se do que foi observado nas equações para o ácido fraco monoprotico:

$$K_{a_1} = \frac{[H_3O^+][H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]} \quad (22)$$

E o valor de pH pode ser calculado com a **Equação 13**, que gera um resultado aproximado, ou pela resolução da **Equação 23**, resultado de substituições das **Equações 20 e 21** na **Equação 22**, considerando as espécies majoritárias.

$$[H_3O^+]^2 + K_{a_1}[H_3O^+] - K_{a_1}C_{H_3PO_4} = 0 \quad (23)$$

Com a adição da base, antes do ponto de equivalência, assim como explicado para a titulação de um ácido fraco, deve-se considerar a equação de Henderson-Hasselbalch já exemplificada na **Equação 15**. Já na equivalência, como a concentração de hidrônio é dependente do processo de dissociação ácida ou hidrólise de  $H_2PO_4^-$ , que é uma espécie anfótera, tem-se a **Equação 24**.

$$pH = \frac{pK_{a_1} + pK_{a_2}}{2} \quad (24)$$

Após esse ponto, o pH depende das espécies  $H_2PO_4^-$  e  $HPO_4^{2-}$ , e por isso, antes do segundo ponto de equivalência, ele pode ser calculado através da equação 15, considerando as concentrações dessas espécies e o volume adicionado de NaOH após o ponto de equivalência. E no segundo ponto de equivalência, o cálculo é feito tal qual na equação 23, contudo são utilizados os valores de  $pK_{a_2}$  e  $pK_{a_3}$ . Após o segundo ponto de equivalência, o cálculo de pH é feito com base no tampão  $HPO_4^{2-}$  e  $PO_4^{3-}$ , a partir da equação de Henderson-Hasselbalch.

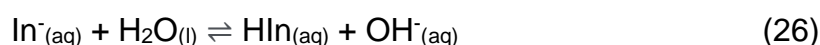
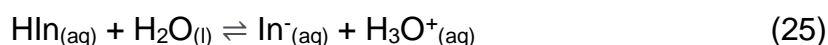
O instante na curva onde há uma variação de pH brusca mesmo com a adição de um volume pequeno de solução de NaOH. é chamado ponto de inflexão e na

grande maioria das vezes é extremamente próximo do ponto de equivalência (HARVEY, 2016). O ponto final ainda pode ser determinado ao realizar a primeira derivada, que fornece a inclinação da curva, e segunda derivada, que localiza o instante que essa inclinação é máxima (SKOOG *et al.*, 2006).

#### 1.3.1.1. Indicadores em titulações ácido-base

Para a detecção do ponto final em titulações ácido-base é bastante comum o uso de indicadores colorimétricos. Nesse caso, geralmente, trata-se de um ácido ou base orgânica fraca que possui coloração diferente em suas formas dissociada e não dissociada (HARVEY, 2016). Acredita-se que isso ocorre devido às alterações estruturais, que podem englobar estruturas de ressonância, por exemplo.

Tem-se descritos os seguintes equilíbrios para os indicadores desse tipo:



Considerando a forma ácida, utilizando a expressão da constante de equilíbrio apresentada na **Equação 12**, trocando o ácido pelo indicador, e rearranjando, tem-se que:

$$[\text{H}_3\text{O}^{+}] = K_a \frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^{-}]} \quad (27)$$

A expressão é similar para indicadores do tipo básico. Através dessa equação é perceptível que a concentração de hidrônio governa a razão entre as duas formas do indicador. Com isso, é possível observar que as concentrações das espécies variam com pH e que elas coexistem no meio reacional com ambas as cores. Devido à sensibilidade do olho humano, é extremamente difícil capturar essa coexistência visualmente, fazendo com que predomine uma das cores das duas formas. Geralmente o observador é capaz de detectar a mudança de cor quando a razão das concentrações na equação está entre 0,1 e 10. Fora dessa faixa, enxerga-se constantemente a coloração de uma espécie ou outra. Acrescenta-se que esses

limites podem variar dependendo do indicador, e que algumas pessoas podem distinguir melhor algumas colorações do que outras. Alguns tipos de daltonismo, por exemplo, podem fazer com que o analista sequer distinga as cores.

Como visto na equação, há também uma dependência do  $K_a$ . Quando aplicada essa constante à razão de concentração das espécies necessária para detectar a variação de coloração, se tem a faixa de pH no qual aquele indicador atua, ou seja, seu intervalo de viragem. Esse intervalo pode sofrer influência de fatores como temperatura, força iônica, presença de solventes orgânicos e partículas coloidais (SKOOG *et al.*, 2006).

Geralmente, a viragem do indicador não ocorre ao mesmo tempo que o ponto de equivalência, contudo, deve-se selecioná-lo de maneira que a proximidade desses pontos seja tal que o erro da medida seja minimizado. Dependendo da curva, a alteração de cor pode ser bastante gradual, o que faz com que a detecção do ponto final seja arbitrariamente escolhida pelo analista (BACCAN, 1979).

Deve-se pontuar ainda que a seleção de um indicador apropriado é muito mais restrita para reações que envolvem ácidos ou bases fracas, que devido à sua curva, possuem a faixa de viragem mais restrita (SKOOG *et al.*, 2006).

### 1.3.2. Titulação de Complexação

Essa técnica se baseia na reação entre um íon metálico com uma espécie doadora de elétrons, formando um complexo. É amplamente utilizada em química analítica e isso se deve principalmente à formação de quelatos, que são complexos onde o íon metálico é coordenado com dois ou mais sítios de uma única molécula, formando um anel. A reação pode ser interpretada pelo equilíbrio na **Equação 28**, onde o metal M reage com o ligante L:

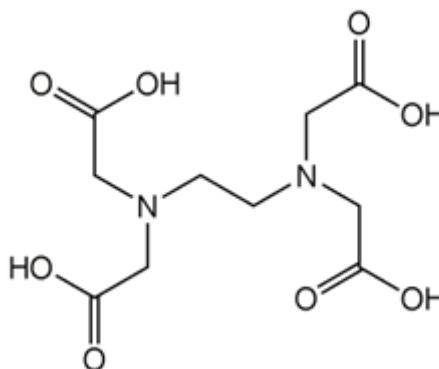


E a constante de formação do complexo pode ser observada na **Equação 29**.

$$K_f = \frac{[ML]}{[M][L]} \quad (29)$$

O ligante quelante mais comum utilizado como titulante complexométrico é o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). Sua forma estrutural está apresentada na **Figura 6**.

**Figura 6:** Estrutura EDTA



Adaptado de Skoog *et al.* (2006)

Essa molécula é um ligante hexadentado, ou seja, ela possui 6 sítios. Independente da carga do metal, a reação ocorre na proporção de 1:1. Além disso, Ele forma complexo com praticamente todos os metais, o que justifica sua ampla aplicação como titulante.

Por ter grupos ácidos, a sua dissociação para a disponibilidade desses sítios depende do  $K_a$  de cada um desses grupos. Por isso, a concentração de EDTA refere-se ao EDTA livre (totalmente dissociada) em todas as formas.

Em pH elevado, a forma totalmente dissociada do EDTA será a predominante, e com isso, os complexos geralmente são mais estáveis em meio básico. Contudo, alguns complexos, por apresentarem constante de formação alta, conseguem ser titulados em pH mais baixo, o que torna o pH uma forma de seleção do íon que se deseja titular (HARRIS, 2001).

A curva de titulação é similar à observada para as titulações ácido-base, tendo na abscissa o volume de EDTA adicionado e na ordenada, a função  $p$  da concentração do metal ( $pM$ ). A curva consiste nas mesmas etapas apresentadas anteriormente. Inicialmente, quando  $V=0,0$  mL, o cálculo de  $pM$  é feito utilizando-se a concentração inicial do metal.

$$pM = -\log [M^{n+}] \quad (30)$$

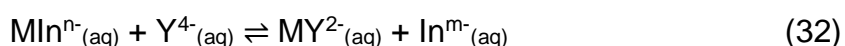
Com a adição do EDTA, considera-se que a concentração do metal que reagiu é equivalente à concentração do EDTA e o pM é calculado com base na quantidade remanescente do metal.

$$[M^{n+}] = \frac{C_M V_M - C_{EDTA} V_{EDTA}}{V_M + V_{EDTA}} \quad (31)$$

No ponto de equivalência, praticamente todo metal está na forma de complexo, e concentração de metal livre depende da dissociação do complexo formado. O mesmo ocorre na pós-equivalência (SKOOG *et al.*, 2006).

#### 1.3.2.1. Indicadores em titulações complexométricas

A detecção do ponto final experimental pode ser feita através do uso de indicadores ou instrumentos. Os indicadores nas titulações complexométricas são comumente corantes orgânicos que formam complexos estáveis com o metal de interesse ( $MIn^{n-}$ ). Ao adicionar o EDTA ( $Y^{4-}$ ), ele tende a substituir o indicador na formação do complexo, deixando o corante livre. Se as formas complexada e livre do indicador possuírem colorações diferentes, o ponto final pode ser encontrado pela alteração de cor.



A visualização desse ponto tem influência da força dos complexos envolvidos. Se o complexo metal-indicador tiver uma estabilidade grande, ainda que  $K_{find} < K_{fEDTA}$ , a mudança de coloração ocorre depois do ponto de equivalência, por exemplo. E como grande parte desses corantes são ácidos fracos, o pH do meio também interfere na formação do complexo. Com isso, para minimizar o erro de titulação, deve-se controlar as condições do meio, através de ajuste de pH.

Uma das limitações desse método é a formação de complexos coloridos com outras espécies no meio que mascaram a identificação do ponto de viragem através da observação. O ponto final pode ser encontrado nesses casos através do monitoramento da absorvância, da temperatura ou pelo uso de um eletrodo seletivo para o metal que se deseja analisar (HARVEY, 2016).

### 1.3.3. Outros tipos de titulação

Os tipos de titulação apresentados aqui terão relevância para entendimento do trabalho, mas os cálculos para a determinação da curva não serão utilizados e por isso, não serão apresentados.

#### 1.3.3.1. Titulação de Oxi-redução

Esse tipo de titulação baseia-se no uso de reações de oxi-redução, ou seja, reações onde há transferência de elétrons. O uso de eletrodos é comum nesse tipo de medida, mas indicadores colorimétricos podem ser utilizados.

Esses indicadores geralmente são:

- a) Uma substância envolvida na reação que possui colorações diferentes nas suas formas reduzida e oxidada, assim como o permanganato de potássio.
- b) Uma substância que forma um composto colorido com uma das espécies envolvidas na reação, estando esta ou na forma reduzida ou na forma oxidada, assim como o amido.
- c) Uma espécie não envolvida na reação que possui diferentes colorações na forma reduzida ou oxidada (HARVEY, 2016).

#### 1.3.3.2. Titulometria de Precipitação

Esse tipo de titulação é constituído por uma reação onde há formação de um precipitado insolúvel. A detecção do ponto final ocorre quando não há mais a precipitação. A previsão do ponto final tem influência da constante de formação do precipitado, o  $K_{ps}$ . Tem aplicações principalmente na determinação de íon  $Ag^+$ , haletos e compostos similares assim como  $SCN^-$  e  $CN^-$  (HARVEY, 2016).



Os indicadores comuns para esse método são:

- a) Um segundo composto que também precipite com uma das espécies envolvidas na reação gerando um precipitado de coloração diferente do original.

b) Um agente complexante que, após a precipitação completa, irá complexar com o reagente em excesso produzindo cor.

c) Um indicador de adsorção, que adsorve ou desorve ao precipitado em região próxima ao ponto de equivalência, transferindo a cor da solução para o sólido, ou em vice-versa.

Esses indicadores são específicos de métodos argentimétricos comuns, bastante utilizados e correspondem respectivamente à Mohr, Volhard e Fajans (HARRIS, 2001).

#### 1.4. Sistemas fotométricos para titulações

Assim como já relatado, nem sempre é possível identificar o ponto final visualmente e, se necessária a observação do sistema, pode-se fazer uso de instrumentos óticos como espectrofotômetros, fotodiodos e câmeras com captura RGB, que são capazes de detectar mudança de cor. Sistemas fotométricos para titulações foram desenvolvidos a partir de 1950 e podem fazer a identificação diretamente do frasco titulante ou através da retirada de alíquotas (NAZARENKO, 2010).

Os sistemas que fazem a leitura diretamente, em sua grande maioria apresentam alto custo, o que diminui a sua acessibilidade. Mas existem métodos relativamente baratos, assim como a análise de imagem através de uma *webcam* (NAZARENKO, 2010). Celulares e tablets também podem servir como ferramenta para esse fim (BANDYOPADHYAY; RATHOD, 2017).

##### 1.4.1. Análise de imagem

A análise de imagem tem uma gama enorme de aplicações que englobam análises clínicas, processos de cristalização, curvas de solubilidade, verificação da virada de cor do indicador em titulações etc. (SILVA; SILVA; SENA, 2012).

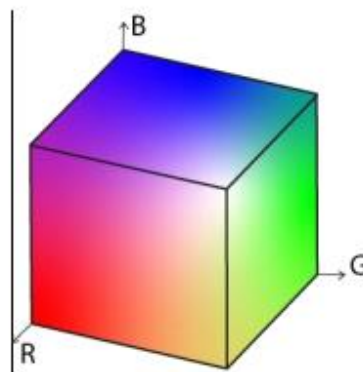
Essa análise pode ocorrer a partir do conceito de segmentação de imagem, que consiste em agrupar pixels de imagem de acordo com determinada característica, assim como textura, formato ou cor. Essa imagem é capturada por um detector que converte o sinal em valores digitais, que através de uma representação matemática fornece dados sobre o que se deseja analisar.



Existem muitas técnicas desenvolvidas para a segmentação de imagens coloridas, por isso é importante selecionar a melhor representação para uma determinada cor. Essa representação é chamada de espaço de cor. Na literatura, encontram-se como alguns dos principais espaços de cor para o processamento de imagem o RGB (R – *red*, vermelho; G – *green*, verde; B – *blue*, azul), HSV (H – *hue*, matiz, S – *saturation*; saturação, V – *value*, valor) e o HSI (H – *hue*, matiz, S – *saturation*; saturação, I – *intensity*, intensidade). As características mais relevantes para realizar a seleção de qual espaço de cor é mais adequado são basicamente cromaticidade, que é a cor pura; e a intensidade, que determina o brilho de uma cor (GARCIA-LAMONT *et al.*, 2018).

O sistema RGB é basicamente usado na exibição de imagens digitais, e aplica o princípio da funcionalidade do olho humano relacionado à sensibilidade dos três tipos de cone na retina a diferentes luzes espectrais (CHERNOV; ALANDER; BOCHKO, 2015). Ele representa cada cor através de quantidades de vermelho, verde e azul, que podem ser dispostas em coordenadas cartesianas, com seus eixos compreendendo de 0 a 255, como pode ser visto na **Figura 7**.

**Figura 7:** Espaço de Cor RGB



Retirada de Camargo (2021)

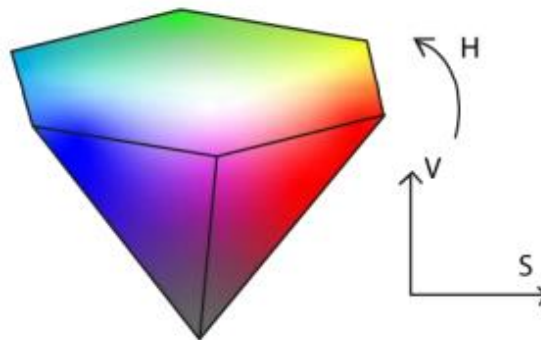
Nesse cubo, cada uma das mais de 16 milhões de combinações dessas cores é um ponto, e seu contraste e brilho são dados pela intensidade dos componentes. Sua aplicação na segmentação de imagens coloridas é limitada e não adequada, uma vez que a luminosidade e a cromaticidade não são separados, e seus componentes têm uma alta correlação. Contudo, é um modelo simples, com inúmeras aplicações,

que pode ser convertido em outros espaços de cor mais apropriados (GARCIA-LAMONT *et al.*, 2018).

Um dos exemplos é o HSV. Nesse sistema, H é a componente cromática que descreve uma cor pura, assim como amarelo, laranja, vermelho etc.; S é a medida do quanto essa cor está diluída na luz branca e V representa a intensidade ou o brilho dessa cor. Se aproxima muito da sensação humana da cor devido à uniformidade da percepção desse espaço de cor, que é proporcional à medida da diferença de cor (CHERNOV; ALANDER; BOCHKO, 2015). No sistema RGB, considerando a visão humana, essa diferença não pode ser aplicada (GARCIA-LAMONT *et al.*, 2018).

O espaço de cor para o sistema HSV é descrito como uma deformação do cubo do RGB e é representado por um cone hexagonal, que pode ser observado na **Figura 8**.

**Figura 8:** Espaço de cor HSV



Retirada de Camargo (2021)

Essa conversão do espaço de cores pode ser obtida utilizando as expressões demonstradas nas **Equações 34, 35, 36 e 37**:

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{(R-G)+(R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \right) \quad (34)$$

$$H = \begin{cases} \theta & \text{se } b \leq G \\ 2\pi - \theta & \text{se } b > G \end{cases} \quad (35)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{se } \max(R, G, B) = 0 \\ 1 - \frac{\min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} & \text{se } \max(R, G, B) \neq 0 \end{cases} \quad (36)$$

$$V = \max(R, G, B) \quad (37)$$

O eixo central vertical corresponde à diagonal do cubo RGB. O valor varia com esse eixo e basicamente compreende escalas de cinza, indo do preto ao branco. Matiz e saturação definem um ponto no hexágono, onde a matiz é uma quantidade circular, dada pelo ângulo ao redor desse eixo e a saturação a distância do ponto até o eixo (CHERNOV; ALANDER; BOCHKO, 2015).

O HSI é muito similar ao HSV, contudo seu espaço é representado por dois cones hexagonais interligados pela base. Eles possuem os mesmos parâmetros de matiz e saturação para a representação de cor e a sua diferença se dá pelo brilho.

Como a maioria dos *softwares* para processamento de imagem usam o RGB, a conversão em outros modelos, assim como o HSV e HSI, é comum para a análise de imagem (GARCIA-LAMONT *et al.*, 2018).

## **2. Objetivo**

O objetivo geral é a proposição de um protótipo que possa ser utilizado por pessoas com cegueira, baixa-visão, daltonismo ou videntes durante as práticas de titulação.

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Reunir evidências bibliográficas do uso e da eficácia de análise de imagem para detecção de ponto de viragem de titulações que usam indicadores colorimétricos comuns nos laboratórios de graduação e seu uso como tecnologia assistiva.

- Verificar tecnologias assistivas já utilizadas para a técnica de titulação a fim de se entender como um protótipo poderia ser executado.

- Realizar testes com um leitor RGB, que em conjunto com a pesquisa bibliográfica, possa ser utilizado na projeção de um protótipo baseado na técnica do uso de câmera para leitura no sistema RGB em tempo real, que através da tradução do sentido da visão para a audição, consiga, além de auxiliar pessoas cegas, daltônicas e de baixa visão a vivenciar a experiência de uma titulação, gerar sentimentos equivalentes ao de um analista vidente.

### 3. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em dois momentos: um pandêmico, onde a discussão seria exclusivamente baseada na pesquisa bibliográfica do uso de análise de imagem em titulações, e no aproveitamento dela na projeção de um protótipo teórico; e um de retorno às atividades presenciais, onde decidiu-se utilizar os equipamentos disponíveis no Núcleo de Processos e Análises Químicas em Tempo Real do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (NQTR-IQ/UFRJ) para explorar a técnica da captura RGB para detecção do ponto de viragem e a partir dos resultados, entender como o som poderia ser acoplado para gerar a mesma sensação de acompanhamento em tempo real. Nesse contexto, a pesquisa bibliográfica serve para embasar os resultados encontrados na parte experimental e na formulação de ideias que contemplem os diferentes leitores RGB em circunstâncias diversificadas para a formulação de um protótipo que pode ser adaptado em outros locais.

#### 3.1. Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi feita utilizando as bases de pesquisa Scifinder, Web of Science e Google acadêmico. Dentre as palavras-chaves utilizadas, tem-se “*titration*” (titulação), “RGB”, “*image analysis*” (análise de imagem), “*titration curve*” (curva de titulação), “*assistive technology*” (tecnologia assistiva), “*blind*” (cego), “*blindness*” (cegueira); “*Handicap*” (deficiência), “*low vision*” (baixa-visão). “*visual handicap*” (deficiência visual), “*photometric sensors*” (sensores fotométricos), “*indicator*” (indicador), “*colorimetric indicators*” (indicadores colorimétricos), “pH”, “*webcam*”. Essas palavras foram combinadas entre si, durante todo o período de realização do trabalho, a fim de se encontrar um vasto número de trabalhos que pudessem trazer informações relevantes para a formulação de um possível protótipo.

#### 3.2. Procedimento Experimental

Montou-se um sistema composto por uma placa de agitação, uma câmara semi-aberta revestida com papel branco e com uma *webcam* Microsoft modelo

LifeCam Cinema 720p HD, acoplada à câmara. Nessa câmara ainda havia uma lâmpada led responsável pela iluminação direta do sistema. A *webcam* estava ligada à um supervisor e seu uso estava atrelado ao software *RGBView*.

Esse aparato foi utilizado em processos de titulação envolvendo 4 indicadores: fenolftaleína, alaranjado de metila, verde de bromocresol e negro de eriocromo T (NET). As razões para a escolha desses indicadores serão explicitadas na sessão 4.3

As análises para cada indicador foram divididas em duas etapas: na primeira realizava-se a adição de solução ao frasco titulante em triplicata através de uma bureta de 25,00 mL, com o acompanhamento da câmara; e na segunda, a adição era realizada constantemente por uma bomba Eldex 5935 - Optos 2SMP com fluxo constante de 2 mL/min. O tempo que a bomba permanecia ligada foi cronometrado. O sistema utilizado nos testes com bomba pode ser observado na **Figura 9** e uma foto da câmara pode ser vista na **Figura 10**.

**Figura 9:** Aparato utilizado nos testes com bomba, contendo uma câmara-

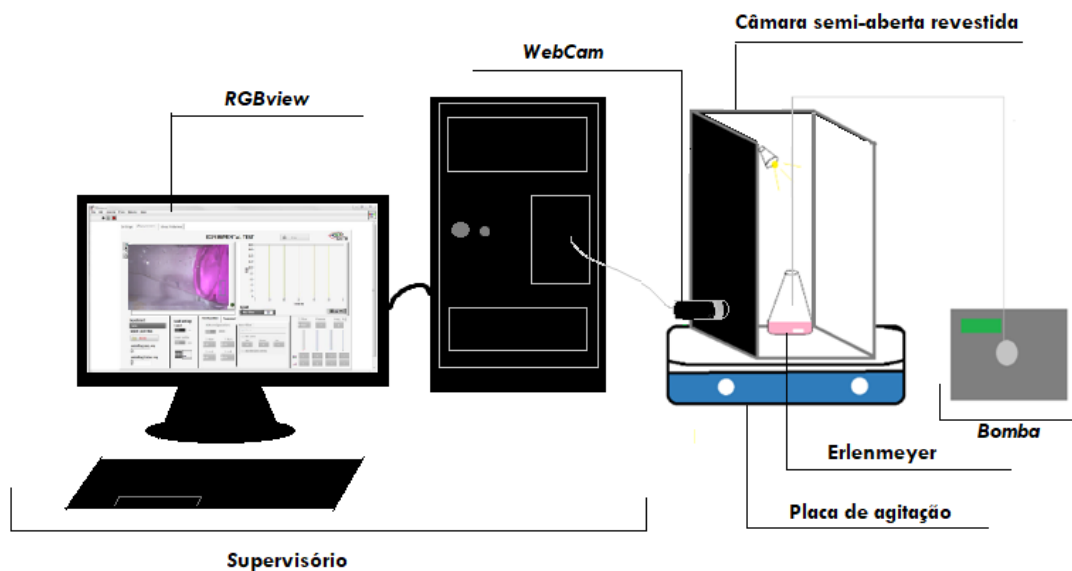


Figura do autor

**Figura 10:** Foto da câmara semi-aberta revestida por papel branco com *webcam*



Figura do autor

A posição do frasco titulante foi fixada a fim de se obter os dados sempre no mesmo ponto. Um exemplo da região selecionada pode ser observado na **Figura 11**.

**Figura 11:** Área de seleção utilizada nas análises representada por um retângulo verde



Figura do Autor

Para os três primeiros indicadores citados, preparou-se uma solução de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , partindo-se de 4,0341 g de sólido (ISO FAR/ 99% de pureza), que foi transferido quantitativamente para um balão de 1,0 L, solubilizado em água destilada e avolumado.

Essa solução foi padronizada com biftalato de potássio (Vetec/99,5% de pureza) seco previamente por duas horas em estufa à 110 °C. As massas de biftalato pesadas nas triplicatas podem ser observadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1:** Massas utilizadas nos ensaios com Fenolftaleína

	Massa Biftalato (g)	
	Titulação Manual	Titulação Adição por Bomba
<b>Replicata 1</b>	0,2558	0,2569
<b>Replicata 2</b>	0,2555	0,2580
<b>Replicata 3</b>	0,2577	0,2583

Esse procedimento foi acompanhado pela webcam usando fenolftaleína (Sigma Aldrich) como indicador e os resultados obtidos usados como referência para esse indicador.

Já para o NET (ISO FAR), preparou-se uma solução de EDTA 0,1 mol L<sup>-1</sup> partindo-se de 37,3421 g de EDTA (ISO FAR/ 99% a 101% de pureza), que foi avolumada com água para 1,0 L. Essa solução foi padronizada com carbonato de cálcio previamente seco em estufa por duas horas na temperatura de 110 °C, na presença 5 mL de tampão pH = 10 NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>Cl (Vetec/28% a 30% de pureza; Sigma Aldrich/99,5% de pureza)

Para essa solução de EDTA foram realizados 5 testes. Os manuais envolveram quantidades diferentes de NET e os dois com adição pela bomba, foram feitos em sistema aberto.

O NET foi adicionado através de gotas. Como esse indicador é sólido, foi realizada o preparo da solução de NET, utilizando 0,2123 mg de NET e 1,9978 g de cloridrato de hidroxilamina (ISO FAR/99% de pureza). A solução foi avolumada para 50 mL com metanol (ISO FAR/99,8% de pureza).

**Tabela 2 :** Massas de  $\text{CaCO}_3$  utilizadas nos ensaios com NET e a quantidade de indicador de cada ensaio

	<b>Massa de <math>\text{CaCO}_3</math> (g)</b>	<b>Gotas de NET</b>
<b>Titulação Manual</b>	0,1266	5
	0,1266	20
	0,1264	20
<b>Titulação Adição por Bomba</b>	0,1261	20
	0,1256	20

Preparou-se também uma solução de EDTA  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  a partir de 37,3502 g de EDTA, contendo 0,02 g de cloreto de magnésio (ISO FAR/99% a 102% de pureza), que foi padronizada sem acompanhamento de câmara e os testes envolvendo a adição por bomba foram realizados perante nova configuração de câmara em sistema fechado.

**Tabela 3:** Massas de  $\text{CaCO}_3$  nos ensaios utilizando NET com nova solução

	<b>Massa <math>\text{CaCO}_3</math> (g)</b>	
	<b>Titulação Manual</b>	<b>Titulação por bomba</b>
<b>Replicata 1</b>	0,1262	0,1256
<b>Replicata 2</b>	0,1255	0,1260
<b>Replicata 3</b>	0,1263	0,1257

Para as titulações envolvendo o alaranjado de metila (Vetec) e o verde de bromocresol (Sigma Aldrich), preparou-se uma solução de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (ISO FAR/85% de pureza) partindo-se de 4,00 mL da solução concentrada e avolumando para 500,0 mL. Dessa solução foram retiradas alíquotas de 10,00 mL, que foram avolumados em frasco titulante para 100 mL e, então, tituladas pela solução de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  já padronizada.

Todo o procedimento foi realizado com frasco titulante sob agitação magnética e sem interrupção da agitação; e os resultados obtidos para todas as titulações foram comparados com os resultados das curvas de titulação teórica.

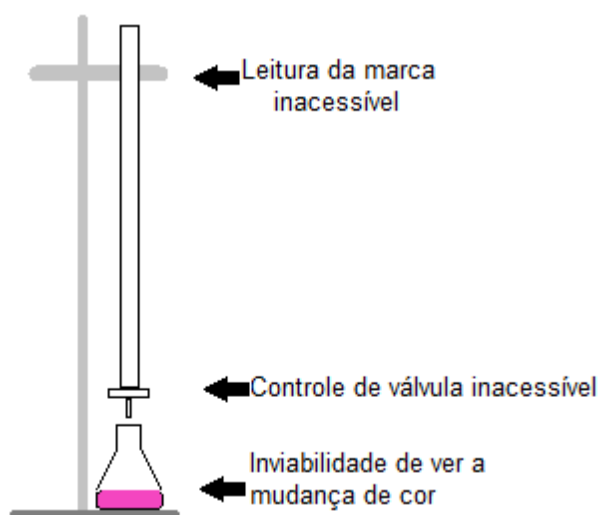


## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. A literatura e a análise de Imagens aplicada à titulação

Apesar da titulação ser uma técnica básica e comumente utilizada, sua aparelhagem mais comum é inacessível para alunos com deficiência, como mostrado na **Figura 12**, o que gera uma barreira de aprendizado e inclusão (SOONG *et al.*, 2019).

**Figura 12:** Barreiras físicas potenciais na aparelhagem de titulação.



Adaptado de (SOONG *et al.*, 2019)

Ao se tratar de uma titulação realizada por uma pessoa não vidente, de acordo com Supalo (2010), a bureta de vidro é inviável uma vez que o seu manuseio depende da visualização do fluxo e a medida de volume é feita em uma escala para pessoas videntes, sendo necessária a substituição ou a adaptação dessa vidraria para que as PcD visual consigam adicionar ou controlar o volume necessário para a determinação do resultado.

A necessidade da observação de cor também é um obstáculo, mas pode ser substituída pelo uso de um potenciômetro (SOONG *et al.*, 2019) ou outros sensores, assim como a análise de imagem.

Análises fotométricas começaram a ser utilizadas em titulações em 1950 (NAZARENKO, 2010). Apesar de existirem muitos relatos de métodos que envolvam

a análise de imagem como substituto para a visão, poucos trabalhos a explicitam como solução de acessibilidade.

Daniel (2017), licenciado em química, com cegueira, disse que os equipamentos adaptados disponíveis o colocaram no mesmo nível de seus colegas e que facilitou que ele experienciasse muitos dos sentimentos de estar no laboratório. Por isso, TA que consigam, além de proporcionar a independência, causar sentimentos equivalentes ao que uma pessoa vidente possui ao realizar a técnica são importantes na inclusão. Ele cita, entre suas proezas, a capacidade de realizar uma titulação sozinho no mesmo tempo que os demais alunos.

Algumas das propostas do uso de análise de imagem para titulações apresentadas aqui terão o tempo real como limitação, mas são válidas para exemplificar a eficácia da técnica como ferramenta de inclusão nas aulas experimentais nos laboratórios de graduação, com pequenas adaptações ou inclusão de outras TA como recurso.

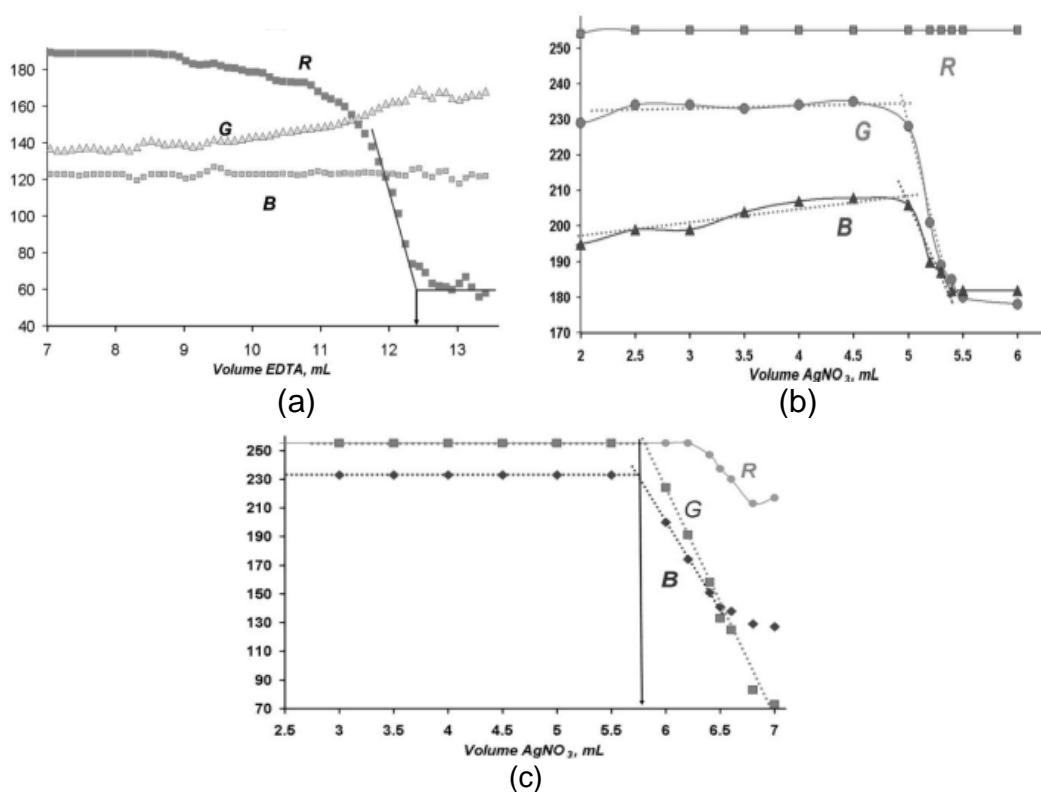
Nazarenko (2010) sugere o uso de análise de imagem como substituto à visão para pessoas com daltonismo, e avaliou um espectrofotômetro com detector do tipo (CCD), uma câmera de vídeo USB com digitalização RGB e um fotodiodo com filtros apropriados como substitutos para o uso da visão no processo de titulação. Os três sensores foram testados perante a análise de dureza da água, uma titulação de complexação que envolve EDTA e íons cálcio e magnésio, usando como indicador o negro de eriocromo T, que transita do rosa escuro para o azul; e a câmera USB foi avaliada para os métodos precipitométricos de Mohr e Fajans, que tem como indicadores o íon cromato e a diclorofluoresceína, respectivamente. Em ambos os casos, a cor transita do amarelo para o vermelho ou rosa, com a mudança da turbidez devido à formação de um precipitado de prata.

Ele afirma que os três sensores são eficazes para a determinação da dureza da água, que o erro não superou 0,01 - 0,02 mg de Mg e que a câmera de vídeo, por seu baixo valor em comparação à um eletrodo de prata, se torna uma alternativa competitiva para os métodos de Mohr e Fajans.

Por fim, conclui que o espectrofotômetro, dependendo da resolução, pode ser um melhor sensor que a câmera *webcam* e o fotodiodo, mas não oferece vantagem. E que o fotodiodo precisaria de adaptações. Ele ainda afirma que a alteração da luz durante a agitação causa instabilidade nas leituras dos três métodos e que precisaria de outros ajustes para obter melhores resultados.

Para obtenção dos dados RGB, ele usa os softwares *ColorPic v.4.1*, *iconico.com*, onde a leitura é feita manualmente através da observação de um vídeo, utilizando uma bureta de vidro manual, ou o *RoboRealm V.2.5*, *Iconico, New York, NY*, onde a leitura é feita automaticamente gerando um gráfico RGB por tempo, que é associado aos volumes despejados por uma bureta automática. Na **Figura 13** estão os gráficos gerados pela câmera USB para três das titulações avaliadas.

**Figura 13:** Gráficos obtidos por Nazarenko (2010) na análise de imagem RGB para (a) análise de dureza da água; (b) método Mohr; (c) método Fajans



Retirado de Nazarenko (2010)

Nos três gráficos é possível notar uma mudança brusca no sinal de pelo menos uma das componentes, indicando a mudança de cor do indicador. Apesar da análise de imagem ter se mostrado viável para as técnicas avaliadas por Nazarenko (2010), como é um trabalho que não tem viés de acessibilidade, para que a análise de imagem possa ser utilizada como ferramenta de inclusão, seriam necessárias adaptações. A bureta de vidro é inviável quando se fala de acessibilidade como foi descrito por Supalo (2010), sendo necessária outro instrumento para a adição de líquidos ao usar o *Colorpic*. Já o *RoboRealm* depende de uma bureta automática, que

nem sempre está disponível nos laboratórios de graduação e dependeria de ajustes para fornecer o tátil da titulação, uma vez que no sistema automático as adições de volume e interrupção do fluxo são feitas sem a interferência de um operador, o que tira a sensação do aluno de estar realizando o experimento, uma vez que ele não tem controle sobre ele.

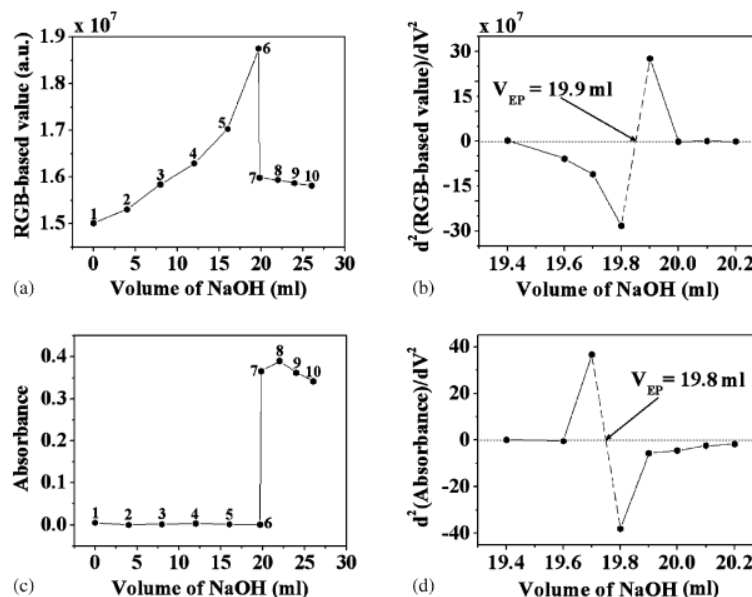
Em ambos os sistemas ainda seria necessário o uso de algum artifício que conseguisse converter o sinal RGB para torná-lo acessível, além de outras ferramentas, assim o uso de teclados adaptados e quaisquer outras ferramentas já disponíveis poderiam auxiliar na realização da técnica.

O uso de uma *webcam* como método de captura de imagens digitais para a detecção de ponto de viragem foi proposto pela primeira vez por Gaião *et al.* (2005). Para isso, ele partiu de um meio reacional ácido-base, usando como indicador vermelho de fenol, verde de bromotimol ou alaranjado de metila, para a análise de HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> e alcalinidade da água mineral.

Nesse sistema, o meio reacional contido no frasco titulante era bombeado para uma célula de fluxo onde a captura da imagem era feita. Nesse instante, o meio era mantido sob agitação e o registro apenas feito quando a bomba estava desligada.

O *software* utilizado por ele calculava o valor RGB de cada pixel em uma área da imagem selecionada e a média desses valores. A curva é construída por essa média, baseada no produto  $2^R \times 2^G \times 2^B$ . O método, apesar de capturar a transição de cor do indicador, para sua eficácia, necessita a análise de uma curva descontínua que pode ser observada na **Figura 14**, exemplificada pela curva gerada para a reação entre NaOH e HCl:

**Figura 14:** Comparativo dos gráficos obtidos para a titulação NaOH x HCl por Gaião *et al.* (2005), capturada por um sensor RGB, representado pela média (a) e um espectrofotômetro (c) e a segunda derivada para essas curvas, respectivamente (b) e (d)



Retirado de Gaião *et al.* (2005)

O volume final era encontrado através da segunda derivada e quando comparado com o resultado obtido através do registro de um espectrofotômetro, que é um equipamento mais caro, mostrou-se eficiente.

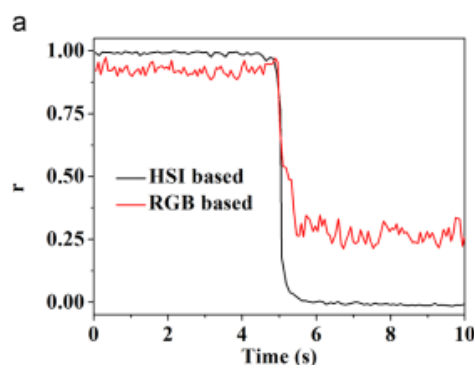
Esse trabalho, contudo, também não apresenta viés de acessibilidade, e o sistema de válvulas utilizado para que a titulação seja realizada de maneira automática, apesar de reduzir os riscos relacionados à manipulação de reagentes perigosos, pode tornar o aluno um mero registrador de resultado em práticas que os demais alunos desempenham atividades mais interessantes. Daniel (2017) afirmou que ter essa sensação foi uma das coisas que o afastou do laboratório nos primeiros períodos da graduação.

Mesmo assim, ao se falar de compreensão dos resultados obtidos, com as TA corretas, assim como leitores, buretas e teclados adaptados, a captura de imagem digital pode ser interessante para analisar os resultados obtidos durante uma titulação para uma pessoa com cegueira ou baixa visão. Deve-se pontuar que, uma vez que a análise dos dados é posterior à sua captura, isso pode dar sensação de atraso. Como o *software* captura as imagens e gera os dados que precisam ser tratados, também não há assimilação do ponto de virada durante o experimento, o que dista o sensorial da realização do experimento.

Esse grupo de pesquisa ainda desenvolveu uma técnica de titulação baseada na análise de filmes digitais envolvendo um sistema de válvulas que adicionava todas as espécies necessárias para a realização do procedimento, como é possível observar em Lima *et al.* (2016). Um filme digital é composto por muitos quadros de imagem, que, quando colocados em sequência, dão a impressão de movimento.

Como método de referência, utilizou-se uma reação ácido-base entre HCl e NaOH, que teve a fenolftaleína como indicador, em sistema em batelada, onde foi possível realizar titulações em sequência, com a *webcam* posicionada sobre o frasco onde ocorre o processo. A captura do filme se iniciava quando a válvula que inseria o titulante era aberta, e no momento em que a mudança de cor era notada pelo *software*, a válvula era desligada. O filme digital obtido, então, era segregado em quadros, que eram associados aos volumes de titulante adicionado. O gráfico era gerado em função do sinal de vermelho, que era onde ocorria a maior variação e na correspondência dessa variável com a componente H, matriz, no método de análise de imagem HSI.

**Figura 15:** Gráfico obtido por Lima *et al.* (2016) na reação entre HCl e NaOH com fenolftaleína



Retirado de Lima *et al.* (2016)

Devido à agitação e à luminosidade, a variante vermelha apresentava bastante ruído. Mas a conversão dos dados obtidos para o espaço de cores HSI geraram uma curva bem nítida e mais suave. Os resultados foram reproduzíveis e através da curva foi possível aferir o ponto final da reação.

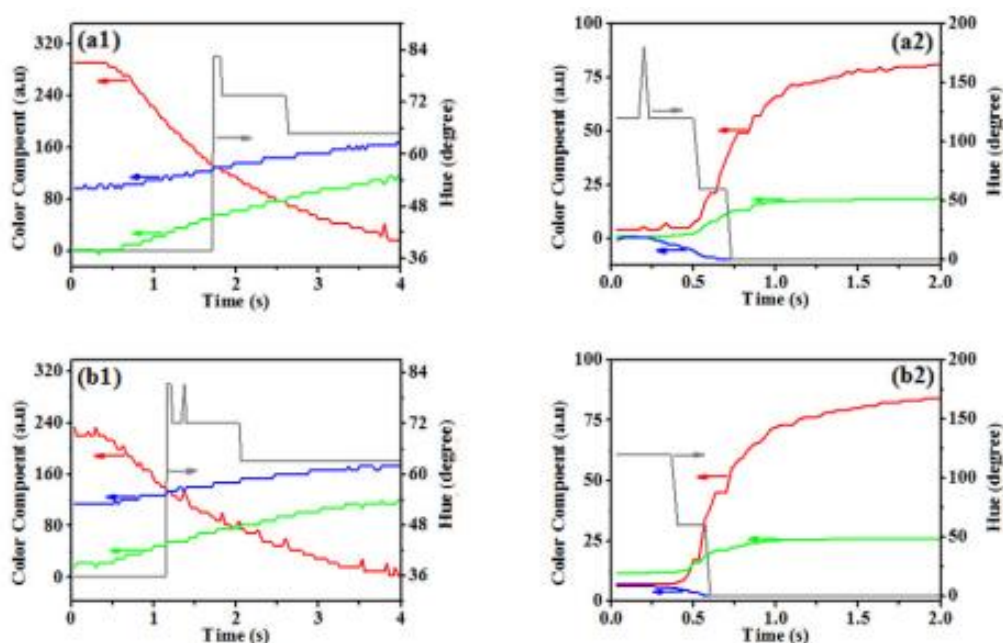
Siqueira *et al.* (2017) também usaram esse método para análises que dependiam de indicadores que apresentam uma coloração intermediária antes do ponto final (dicroísmo) ou uma pequena variação de cor antes e após o ponto final (baixa nitidez), aumentando o erro de titulação.

Nesse trabalho foram testados o NET, que transita do rosa para o azul, assumindo coloração intermediária, sendo aplicado em reações de complexação, e o alaranjado de metila, que muda do vermelho para o amarelo, geralmente utilizado em reações ácido-base.

Apontou-se que apesar da conversão para o HSI reduzir o ruído, em indicadores que apresentam as características do dicróismo e baixa nitidez, a falta de sensibilidade atrapalha na resposta analítica.

Foi avaliado também como a mudança da região de captura influencia nos resultados. A análise, nesse caso, foi realizada em um béquer e visualizada por cima. Apesar de todos os gráficos para um determinado indicador apresentarem perfil semelhante, as regiões de interesse avaliadas apresentaram pequenas variações na detecção do ponto final, o que ressalta a importância na escolha da região. Os gráficos obtidos em duas dessas regiões podem ser observados na **Figura 16**.

**Figura 16:** Gráficos obtidos por Siqueira *et al.* (2017) nas regiões a e b, onde 1 – Negro de Eriocromo T e 2 – Alaranjado de metila



Retirado de Siqueira *et al.* (2017)

Apesar da pequena variação no tempo, ao se observar a linha cinza (referente a componente cromática do HSI) é possível ver uma constância após o ponto de viragem. Na titulação envolvendo o negro de eriocromo T, isso ocorre no instante em

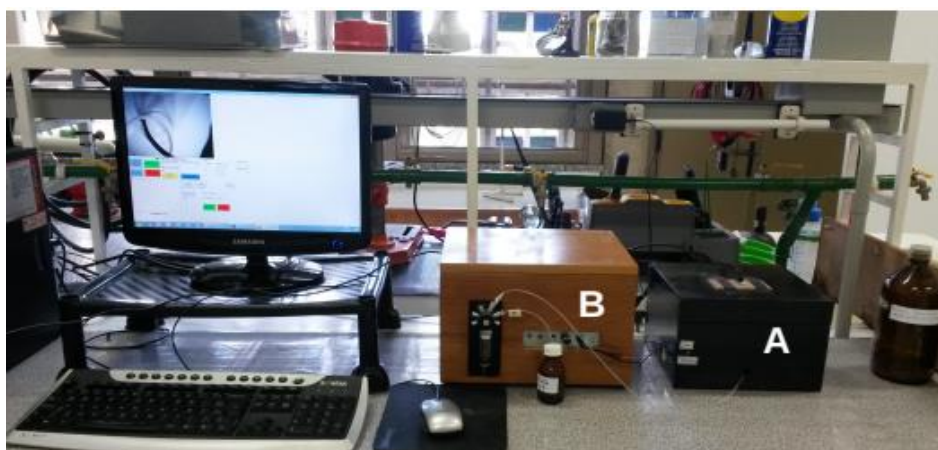
que as componentes verde e vermelha se cruzam, e na titulação envolvendo o alaranjado de metila, isso ocorre com a constância da componente azul.

Sem a conversão para HSI, em ambos os métodos onde se usa a análise de filmes digitais, tem-se boas resposta da leitura RGB em tempo real, o que sana a dificuldade encontrada pela análise de imagens digitais em relação a isso, mas ainda seriam necessárias as adaptações já exemplificadas para Gaião *et al.* (2005). Se o uso do HSI fosse julgado como mais apropriado, poder-se-ia utilizar um software que convertesse automaticamente os dados capturados na matriz utilizada, gerando dados em tempo real que convertidos em outros sentidos talvez conseguissem fornecer a sensação de acompanhamento da reação.

O sistema automático, apesar de diminuir os riscos intrínsecos ao laboratório podem retirar do analista o sensorial de estar realizando o experimento, uma vez que a adição de volume, a interrupção do fluxo e a visualização do ponto de viragem são feitas automaticamente, o que pode ser desfavorável quando a intenção é colocar o aluno em situação de equiparação com os colegas.

Bernar (2017) explora o uso da câmera com captura RGB para uma boa gama de análises, utilizando a titulação automática e pequenos volumes. Seu sistema, que pode ser observado na **Figura 17**, consistia na adição do titulante por uma micro-seringa ligada a um sistema de válvulas. As titulações aconteciam em um béquer de 10 mL que ficava dentro de uma caixa de madeira iluminada por uma luz de LED, e a *webcam* era posicionada sobre ele.

**Figura 17:** Sistema utilizado por Bernar (2017), sendo A – Caixa de ambiente e luz controlada, com webcam; e B – Bomba-seringa



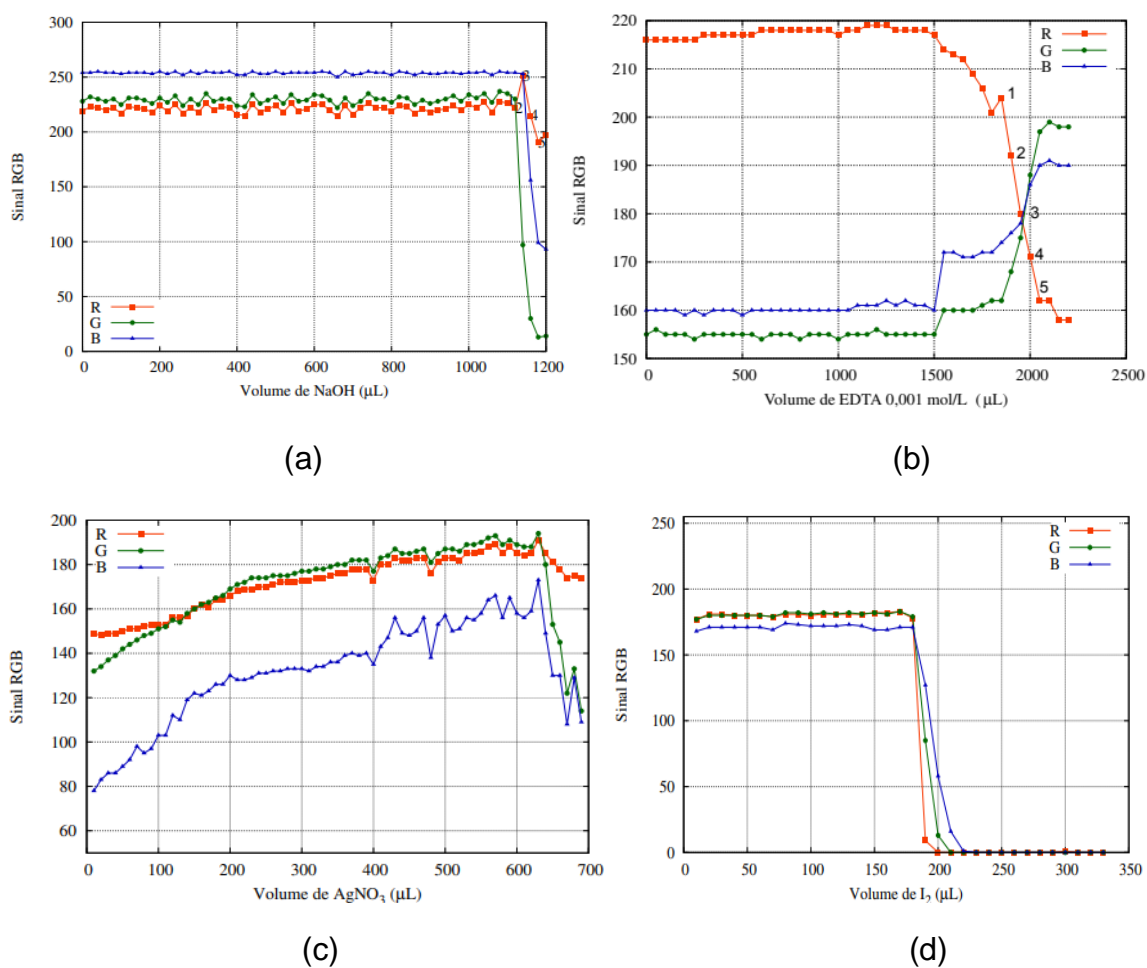
Retirada de Bernar (2017)



O *software* utilizado foi produzido por esse grupo e controlava as adições de volume e captura de imagem, realizando as derivadas para a obtenção do ponto de viragem. A curva era obtida em tempo real e todo o controle da reação era feito de maneira automática por ele.

Esse sistema foi utilizado para titulação ácido-base, envolvendo NaOH e ácido acético proveniente do vinagre, tendo a fenolftaleína como indicador; para a titulação complexométrica, utilizando EDTA como titulante, negro de eriocromo T como indicador e água mineral como amostra; para precipitimetria, na análise de cloretos em água mineral, titulando com  $\text{AgNO}_3$  e tendo o cromato de potássio como indicador; na titulação de oxi-redução, para a determinação de ácido ascórbico em amostras de vitamina C com iodo na presença de amido, sistema que muda do incolor para o azul.

**Figura 18:** Gráficos obtidos para as titulações de neutralização (a), complexação (b), precipitação (c) e oxi-redução (d) por Bernar (2017)



Retiradas de Bernar (2017)

Ele comparou os resultados obtidos com os encontrados pela titulação clássica, e o procedimento se mostrou eficiente e versátil, podendo ser adaptado para outras titulações não testadas. E mesmo na curva de titulação de precipitação, onde o azul apresenta grande ruído, ao se modificar os algoritmos do programa para a realização da derivada, é possível encontrar o ponto final. Em todos os gráficos há variação das componentes RGB de maneira que, mesmo sem a aplicação do algoritmo, é possível identificar a mudança de cor do indicador.

Para averiguar o ponto de viragem corretamente, foram desenvolvidos algoritmos como o acoplamento de duas ou mais componentes, primeira e segunda derivadas ou análise de uma só componente, que foram específicas para cada tipo de titulação testado e nas análises desenvolvidas por ele nesse trabalho.

Como foram verificadas várias titulações comuns no laboratório de graduação, dependendo dos algoritmos utilizados, em tempo real, torna-se visível mais uma vez que a captura do RGB pode ser utilizada em substituição à visão no laboratório.

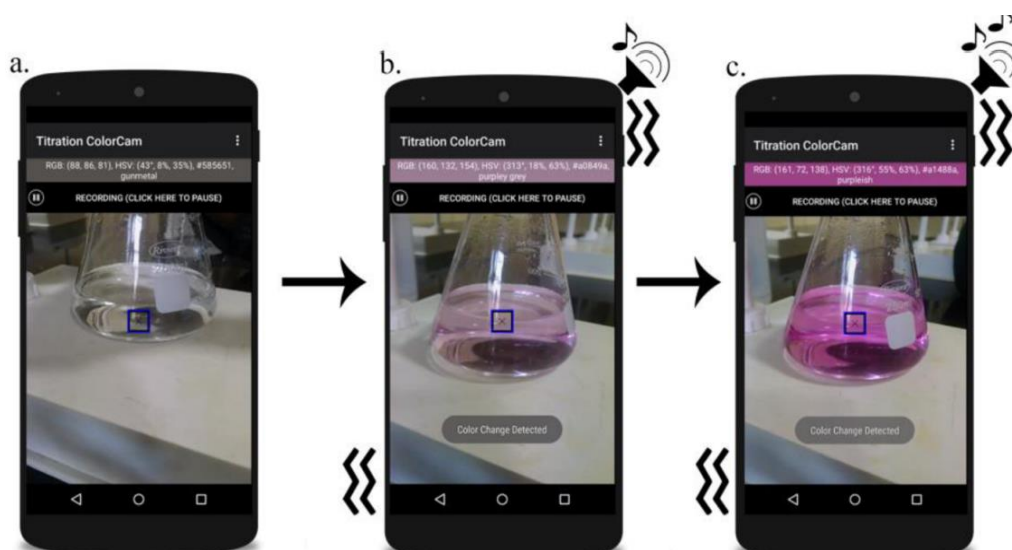
O uso de pouquíssimo volume de reagente também pode eliminar alguns dos problemas de segurança pela manipulação de reagente potencialmente perigosos e vidrarias. Contudo, como toda a adição e os controles são feitos de maneira automática, apesar de ser uma alternativa segura, o sistema não fornece a sensação da realização do procedimento, uma vez que ele faz todo o processo pelo analista, o que aumenta a velocidade com que a análise é feita, mas quem o utiliza, assim como no sistema apresentado por Lima *et al.* (2016) e Siqueira *et al.* (2017), termina por executar o experimento de maneira menos ativa, apenas registrando os dados.

Como a adição dos volumes no método utilizado por Bernar (2017) é muito delicada, a adaptação do sistema é difícil. Mas, se utilizado outro mecanismo para a adição de volume onde o usuário não-vidente tivesse maior controle na quantidade adicionada, e incorporando ao *software* o uso de um sinal sonoro para descrever a curva tratada pelos algoritmos utilizados por ele, dando o tátil do acompanhamento da titulação, seu sistema composto pela captura em um frasco dentro de uma caixa com iluminação controlada pode ser viável e adaptado em um laboratório.

Com os celulares estão cada vez mais acessíveis, Bandyopadhyay *et al.* (2017) desenvolveram um aplicativo para celular Android chamado "*Titration ColorCam*" com o objetivo de ser utilizado como TA, substituindo a visão pela captura de imagem RGB.

O aplicativo funciona da seguinte maneira: o usuário escolhe o indicador que está sendo utilizado em uma seleção no aplicativo, seleciona uma área na imagem que fica próximo onde a gota entra em contato com a solução. Nessa região, o pixel armazenado é convertido em valores RGB, que o sistema converte em valores HSV, em tempo real. Para a fenolftaleína, por exemplo, a variável S é responsável por detectar e responder a mudança de cor. Quando isso acontece, o aplicativo gera um sinal sonoro e vibratório, indicando o fim da titulação.

**Figura 19:** Titration ColorCam na titulação envolvendo fenolftaleína



Retirado de Bandyopadhyay e Rathod (2017)

A seleção de indicadores engloba 14 indicadores ácido-base, que funcionam em diferentes faixas de pH, assim como o cristal violeta, o vermelho de cresol e o verde de bromocresol, o que aumenta a gama de indicadores ácido-base nos quais se tem evidência da eficácia da análise de imagem com uso da captura RGB, além do negro de eriocromo T e do amido, que já foram citados em outros trabalhos que usam análise de imagem como método de detecção do ponto de viragem.

Uma das dificuldades assimilada a essa pré-seleção está na zona estabelecida das cores do indicador, que tem seus tons associados em faixas restritas. A observação de uma cor pode sofrer alterações devido à iluminação do ambiente e à quantidade de indicador adicionada ao frasco e devido a essa limitação, a identificação da virada pode não ser apurada.

O aplicativo, apesar de ser voltado para não-videntes, foi apenas testado por pessoas com daltonismo, e seu uso por PcD depende também das ferramentas de

acessibilidade oferecidas pelo smartphone para que o usuário consiga transitar pelo menu. A seleção do indicador que está em ordem aleatória, por exemplo, poderia ser disposta em ordem alfabética, de maneira que a pessoa com deficiência encontrasse o item desejado com mais facilidade. Outro ponto é que a única linguagem disponível é o inglês, e algumas ferramentas de acessibilidade não fazem distinção da língua, lendo as palavras como elas estão escritas, o que pode causar confusão.

Apesar de não ter sido utilizado por uma pessoa cega ou com baixa-visão, o artigo afirma que o programa é capaz de trazer certa autonomia para o usuário, sendo necessárias intervenções breves de outros alunos.

Mas, como pontuado por Santos *et al.* (2015), a eficácia de uma TA depende da testagem e treinamento adequado dela pelo público-alvo. Por isso, os aparelhos desenvolvidos por ele foram verificados e readaptados até que se tivesse comprovação da eficiência dos mesmos. Bandyopadhyay e Rathod (2017) disseram que essa seria a próxima etapa desse trabalho.

Deve-se apontar que o sistema foi montado em cima de vidrarias comuns de laboratório que não tem fácil manipulação por não-videntes e apesar de afirmarem que o experimento elaborado utilizando essa ferramenta deve ser realizado por duas pessoas, seria válido tentar diminuir o grau de dependência do principal interessado nessa TA.

Ainda assim, o aplicativo é acessível, gratuito, disponível para celulares com Android a partir da versão 2.2, e faz com que o indivíduo seja capaz de identificar quando ocorre a virada do indicador.

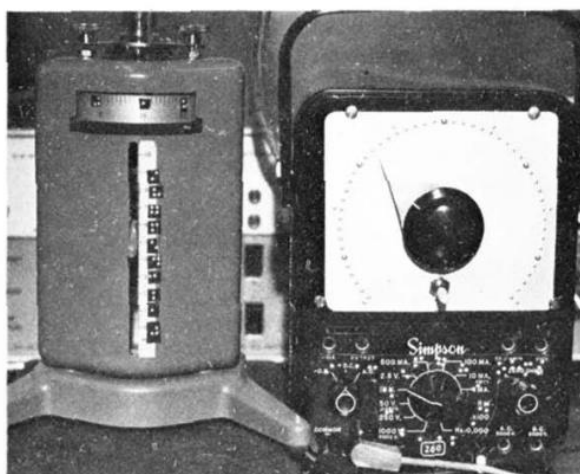
Criticamente, é necessário pensar no quanto a ausência de som é capaz de traduzir o acompanhamento da reação e se o alarme gerado pelo aplicativo, ao ser detectada a viragem, é apenas um mecanismo para interrupção de fluxo. A TA permite a liberdade e a independência até certo ponto, mas é válido perguntar qual a experiência e sensações que o aplicativo oferece que podem agregar ao aluno que realiza a prática.

#### 4.2. Outras ferramentas como tradutores da visão em experimentos de titulação

Ao se falar da preocupação com o sensorial, Tallman (1978) desenvolveu um sistema que, apesar de não envolver análise de imagem, cria um caminho

interessante para gerar o sensorial de realizar o procedimento da titulação ao acoplar um sensor sonoro à um medidor de pH Beckman Zeromatic I1, com leitor em braile, facilitando a leitura pelo usuário. Tal medidor indicava o resultado da medida de pH através de um ponteiro, que dependendo de sua posição, gerava um som mais grave ou mais agudo. Essa variação da sonoridade dava ao usuário a percepção do acompanhamento das alterações causadas pela adição de volume de titulante. O analista primeiro utilizou o equipamento em um sistema onde as concentrações das soluções eram conhecidas e depois, investigou um composto desconhecido através da análise da curva gerada por esse equipamento. O aparato se mostrou eficaz e capaz de ser adaptado para outras titulações.

**Figura 20:**Aparato utilizado por Tallman (1978)



Retirado de Tallman (1978)

O leitor em braile e o botão grande do aparelho são fundamentais para que esse sistema consiga ser operado com facilidade por uma pessoa cega, assim como a bureta com pistão com a escala em braile, que com o treinamento, dava ao aluno a sensibilidade de adicionar até 0,01 mL de solução ao sistema.

Apesar da análise de imagem se mostrar uma ótima substituta à visão, o sensorial e as etapas que envolvem a realização do experimento devem ser levadas em conta para que o sentimento de inclusão, independência e aptidão para a realização das tarefas seja efetiva.

Ao se falar de uma titulação realizada por PcD visual, ter uma ferramenta que soluciona a identificação da virada do indicador não basta. Tallman (1978), por

exemplo, se preocupa com a leitura e adição de volume, o sensorial do experimento, e o aprendizado gerado por ele. E antes da realização da titulação existem etapas no laboratório que são essenciais, assim como a pesagem, o preparo de amostra e soluções, alíquotagem, verificação de vidraria, montagem de aparelhagem, que vão além da realização técnica em si. Deve-se ainda considerar a segurança do aluno e de seus colegas, pensando em evitar derramamentos e contato físico com produtos potencialmente perigosos, o que torna a criação da independência no laboratório mais complexa (SILVA, 2018).

Santos *et al.* (2015), buscando um maior grau de autossuficiência do aluno com deficiência, pensam na interligação dessas etapas. Apesar de não usar análise de imagem na determinação do ponto de viragem, desenvolveram aparatos capazes de identificar cores, adicionar volumes, realizar pesagem, dentre outros. Um dos principais articuladores laboratoriais para garantir a autossuficiência do aluno foi a balança tríplice escala, adaptada com sensor de contato que apita quando a massa desejada é alcançada, com sensibilidade de 0,12g. Essa é a mesma descrita em Daniel (2017), que afirma que seu uso gera bastante autonomia para PcD visual, uma vez que com a balança torna possível a pesagem de líquidos e materiais, fazendo com que o usuário seja capaz de preparar soluções. Ele utiliza também a balança como resposta da questão das escalas visuais utilizadas na leitura de volumes nas titulações, pesando o volume adicionado a um frasco titulante, tornando possível, com o auxílio de outros instrumentos, que o aluno verifique o ponto final de uma titulação.

**Figura 21:** Balança utilizada por Daniel (2017)



Retirada de Daniel (2017)

Ao se pensar numa alternativa à percepção de cor, uma das tecnologias desenvolvidas por esse grupo foi um instrumento de identificação de cores com um

LED RGB, que emitia sinal sonoro quando o indicador utilizado na titulação alcançava a cor complementar da radiação vermelha, verde ou azul emitida, registrando o ponto final. Por isso a limitação desse método estava na escolha da cor final do indicador. A visualização da viragem era feita acoplado o Erlenmeyer contendo o meio reacional ao equipamento e pôde ser realizada em tempo real (SILVA, 2018).

Entretanto, a melhor TA é aquela que está disponível. Santos *et al.* (2015) exploraram essa condição para produzir ferramentas que funcionam dentro das possibilidades que possuíam. A análise de imagem pode ser um ótimo mecanismo mesmo dependendo de outras ferramentas para que se consiga transmitir as sensações e emoções do laboratório que as pessoas videntes possuem, gerando o maior grau de autossuficiência possível e fazendo com que o tempo de realização da prática seja similar ao dos demais alunos. E, se está ao alcance, deve ser explorada.

#### 4.3. *RGBview*, e indicadores escolhidos

Considerando uso de análise de imagem aplicada na tradução da visão para a realização da técnica da titulação no Instituto de Química da UFRJ, pode-se utilizar o *software RGBview*, que foi desenvolvido pelo Núcleo de Desenvolvimento de Processos e Análises Químicas em Tempo Real (NQTR), do mesmo instituto, que, através da captura de imagem por uma *webcam* em tempo real, mostra a variação com o tempo das componentes RGB em uma determinada área selecionada, traçando um gráfico (SILVA; SILVA; SENA, 2012). Sua interface pode ser observada na **Figura 22**:

Figura 22: Interface do RGBview

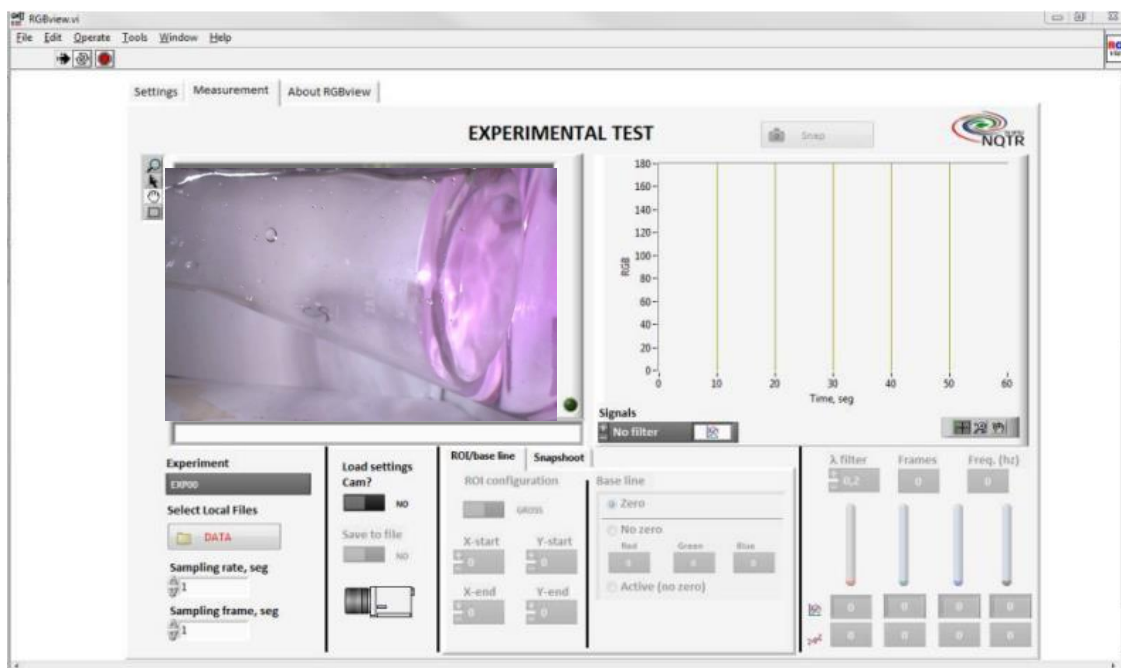


Figura adaptada de Mesquita (2017)

Como exemplificado em Nazarenko (2010), existem outros *softwares* acessíveis que podem ser utilizados com essa mesma função, mas o *RGBview* será a base para a formulação de um protótipo por ser bem consolidado no grupo de pesquisa onde o presente trabalho é realizado, sendo aplicado inclusive no monitoramento de pH com o uso de indicador colorimétrico (SILVA; SILVA; SENA, 2012; MESQUITA, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Os gráficos RGB gerados podem ser traduzidos para pessoas com cegueira através do acoplamento de um sinal sonoro ou vibracional, como feito por Bandyopadhyay e Rathod (2017). Mas apenas um sinal no instante da virada não é o suficiente e o trabalho de Tallman (1978) também foi essencial para o entendimento que um sinal que contemple o acompanhamento da reação é fundamental para transmitir o mesmo sentimento que os alunos videntes possuem ao realizar a técnica.

Essa escolha da câmara semi-aberta de maneira inicial, para a realização dos testes, foi devida à possível maior facilidade na mobilidade do analista não-vidente ao posicionar o frasco titulante, evitando acidentes e derramamentos, e ao melhor controle da luminosidade, apesar de ainda ocorrer interferência exterior, podendo ser reaproveitado na formulação do protótipo final; e foi inspirada no trabalho de Mesquita



(2017) também realizado no NQTR e no de Bernar (2017), que utilizou uma câmara fechada revestida com papel branco para a avaliação de titulações por análise de imagem. Nazarenko (2010) também afirma o que o fundo branco foi essencial para seus experimentos.

A região de interesse foi escolhida de maneira que a agitação não causasse grandes interferências na captura, já que essa questão já havia sido relatada por Lima *et al.* (2016) como responsável por causar ruídos.

A fim de entender o comportamento do *RGBview* perante indicadores com transições de coloração diferentes, para então, diagnosticar as melhores maneiras de acoplar o som, decidiu-se explorar a fenolftaleína, o alaranjado de metila, o verde de bromocresol e o NET. O porquê das escolhas e as peculiaridades de cada indicador serão discutidos nos tópicos referentes a seguir.

#### 4.3.1.Fenolftaleína

A fenolftaleína é um indicador bastante comum que já foi testado com análise de imagem RGB com resultados bastante positivos (NAZARENKO, 2010; BANDYOPHADYAY, 2017; LIMA, 2016). O ponto de viragem da reação se dá quando a cor da solução muda de incolor para rosa. Isso se dá entre  $\text{pH} = 8,3$  até  $\text{pH} = 10,0$ . Após essa faixa, o indicador toma coloração vermelha.

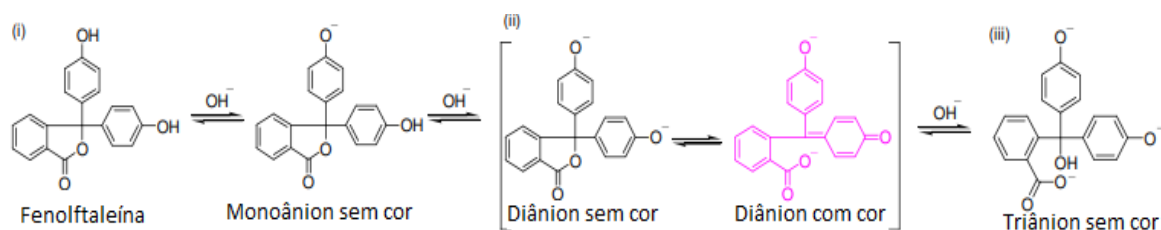
**Figura 23:** Transição de cor para a fenolftaleína



Figura do autor

Isso se dá pela formação do diânion carboxílico em pH básico, que espalha o sistema conjugado  $\pi$  pelos anéis fenólicos da molécula, o que provoca a coloração intensa. Em meios fortemente básicos, a molécula tende a formar o triânion incolor (VOGEL *et al.*, 1989; TSUBAKI, 2008).

Devido à transição de cor bastante simples e ser um indicador bastante comum, esse indicador foi escolhido.

**Figura 24:** Estruturas da fenolftaleína

Adaptado de Tsubaki (2008)

#### 4.3.2. Negro de Eriocromo T

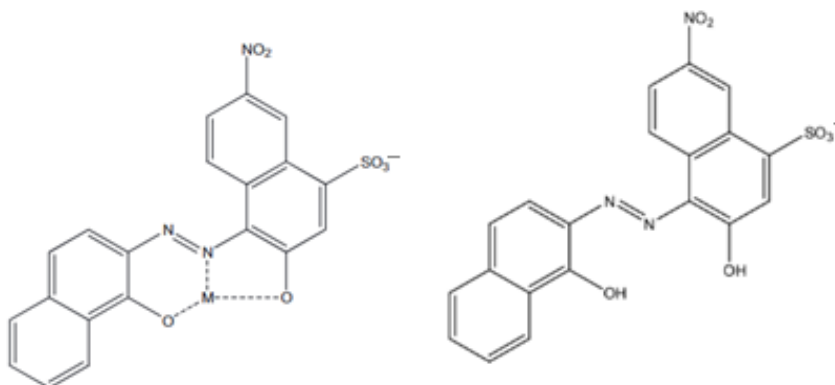
O NET, como dito em Siqueira *et al.* (2017), é um indicador metalocrômico que apresenta a característica de dicróismo, ou seja, ele tem uma coloração intermediária antes do ponto final. Sua transição se dá do vermelho, formado pela complexação do indicador com o metal, para o azul, que aparece quando o indicador se encontra na forma livre. Quando essas espécies não são predominantes, é observada uma mistura delas e a cor roxa é visível.

**Figura 25:** Mudança de cor do NET

Figura do autor

Seu uso é comum em reações de complexação que envolvem cálcio e magnésio, assim como a análise de água dura. Ele complexa os metais na proporção de 1:1 e seu uso é recomendado entre pH= 8 e pH=10 (DIEHL; LINDSTROM, 1959). As estruturas das formas complexada e livre podem ser observadas abaixo.

**Figura 26:** Estruturas NET complexado e livre



Adaptado de Santos *et al.* (2016)

O NET foi escolhido considerando a experiência de Siqueira *et al.* (2017), pela avaliação do mesmo por Bernar (2017) e pela transição da cor, que se aproxima dos eixos azul e vermelho no diagrama RGB, que são duas cores principais desse sistema.

#### 4.3.3. Alaranjado de metila

Esse indicador é utilizado em reações ácido-base e em Siqueira *et al.* (2017) é descrito como tendo a característica de baixa nitidez, ou seja, suas cores antes e durante o ponto de virada diferem pouco entre si, ocasionando erros. Sua virada se dá em pH entre 3,1 e 4,4, com transição do vermelho, passando pelo laranja e chegando ao amarelo.

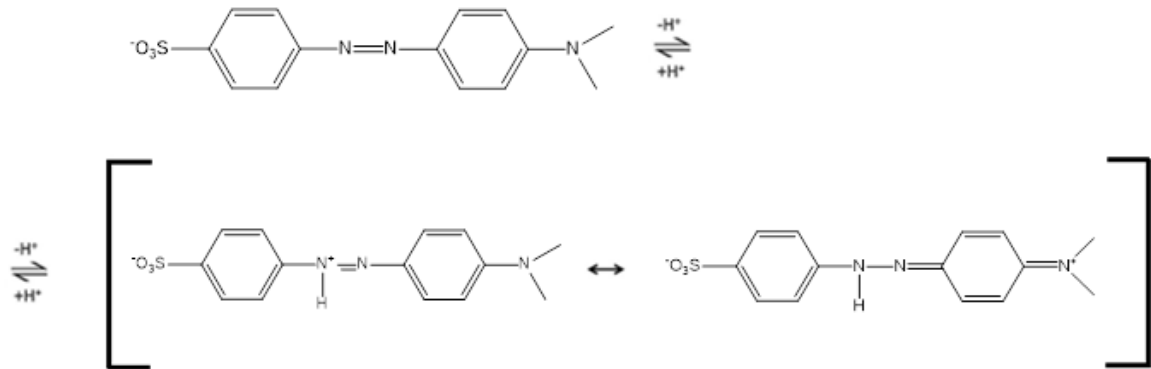
**Figura 27:** Mudança de cor no alaranjado de metila



Figura do autor

A cor mais intensa em pH ácido ocorre devido às estruturas de ressonância mostradas abaixo que apenas são possíveis quando há um hidrogênio no grupo azo dessa molécula (ITO; YAMAMOTO, 2015).

**Figura 28:** Estruturas Alaranjado de metila



Adaptado de Ito e Yamamoto (2015)

O alaranjado de metila foi verificado perante e a análise de imagem em Siqueira *et al.* (2017) e pela sutileza na mudança de cor se torna uma avaliação boa a ser feita.

#### 4.3.4. Verde de Bromocresol

O verde de bromocresol possui faixa de transição entre pH 3,8 e 5,4 alterando sua coloração do amarelo para o azul.

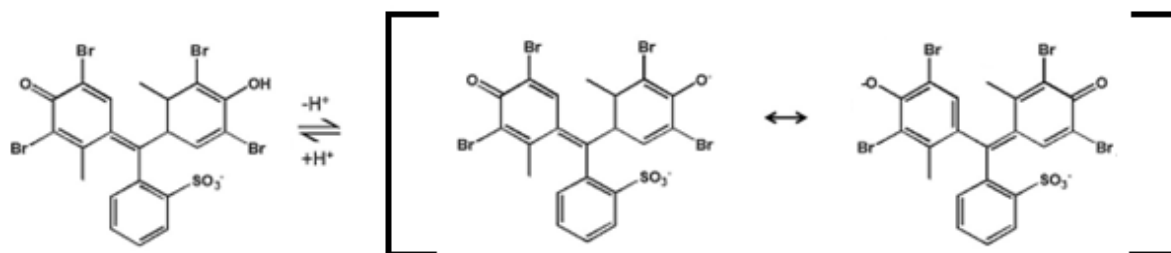
**Figura 29:** Transição de cor observada para o Verde de Bromocresol



Figura do autor

Essa transição se dá pela formação da estrutura de ressonância estabilizada que surge em pH mais alto (GUILLEN *et al.*, 2016). Ele foi estudado preliminarmente para a técnica por Gaião *et al.* (2006) e está na listagem de indicadores disponibilizada para o aplicativo de Bandyopadhyay e Rathod (2017).

**Figura 30:** Estruturas Verde de Bromocresol



Adaptado de Guillen *et al.* (2016)

Sua escolha deve-se à exploração das cores, uma vez que ele apresenta a característica do dicróismo, passando pelas cores amarelo (que ao se considerar o gráfico RGB está entre os eixos verde e vermelho), verde e azul, que são componentes principais do RGB, podendo causar observações interessantes.

#### 4.4. Resultados obtidos pelas análises com *RGBView*

##### 4.4.1. Fenolftaleína

Na padronização do NaOH utilizando a fenolftaleína, os seguintes volumes foram encontrados, conforme mostrado na **Tabela 4**.

**Tabela 4:** Resultados para a padronização do NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>

	Massa de Biftalato (g)	Volume de NaOH (mL)
<b>Replicata 1</b>	0,2558	12,80
<b>Replicata 2</b>	0,2555	12,80
<b>Replicata 3</b>	0,2577	13,00

Com isso, a concentração da solução foi de  $0,0975 \text{ mol L}^{-1}$ . Durante a realização do procedimento, quando detectada a virada, havia uma breve interrupção do fluxo para verificar o resultado do volume na vidraria e após isso, abria-se novamente o fluxo até aproximadamente a leitura de 15 mL. O gráfico gerado pelo RGBview nessa primeira etapa foi dividido a fim de facilitar a compreensão do que era visto durante sua leitura, assimilado com as imagens capturadas, e pode ser observado na **Figura 31**,

**Figura 31:** Gráfico titulação com fenolftaleína e a imagem observada nos momentos (I), (II), (III) e (IV)

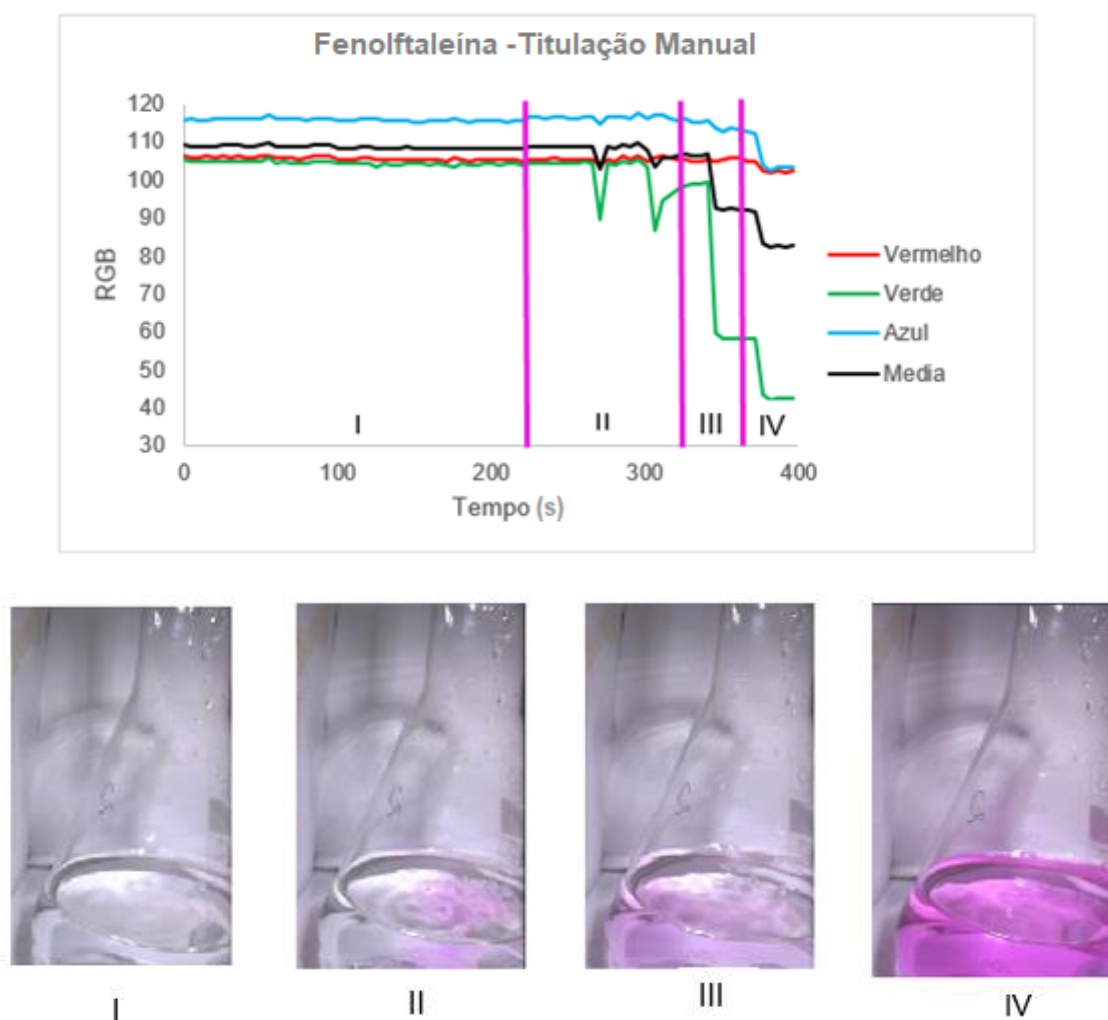


Figura do autor

Para a triplicata notou-se que apesar da curva manter uma aparência similar entre as análises, mantendo comportamento constante com adições lentas (I), quando ocorria ajuste do fluxo errôneo, e um volume maior do titulante era despejado no meio

reagente, a cor aparecia mais intensamente, desaparecendo logo em seguida, mas ocasionando variação da leitura RGB. E isso ocorreu com maior intensidade ao se aproximar do ponto de viragem (II). Apesar de não ocorrer ao mesmo instante na triplicata, por se tratar de um comportamento accidental do analista, este se reproduziu.

Tal comportamento é comum nas práticas com alunos videntes, que associam essa formação à proximidade do ponto de viragem.

No momento no qual há uma queda brusca das componentes RGB, foi detectado o ponto de viragem visualmente (III). Essa mesma queda é observada nos trechos onde havia uma breve adição em fluxo maior.

Após o ponto de viragem, mesmo com a adição de mais volume, apesar de visualmente ser observada uma constância na coloração, a queda da intensidade do sinal RGB permanece, apenas mantendo-se estável quando o fluxo é interrompido (IV).

A bureta convencional foge do ideal para o uso por uma PcD visual (SUPALO, 2010), mas acredita-se que essa simulação se aproxime de adições feitas por outros instrumentos de volume que poderiam ser aproveitados com esse fim, assim como o formulado por Santos *et al.* (2016).

A adição excessiva accidental de titulante ao meio, se reproduzidas por outros instrumentos de adição de volume, e acompanhadas graficamente por um som constante que se altere nessas condições, podem causar a mesma apreensão que o analista sente ao saber que o ponto de viragem se aproxima, o que é interessantíssimo quando se pensa na fala de Daniel (2017) sobre a equiparação das sensações simples e complexas do laboratório de química.

Ao se realizar as adições de maneira constante por uma bomba, isso não é observado. Como a bomba possui fluxo constante, converteu-se tempo em volume e gráfico gerado pode ser observado na **Figura 32**.

**Figura 32:** Gráfico da titulação usando fenolftaleína no método de adição por bomba

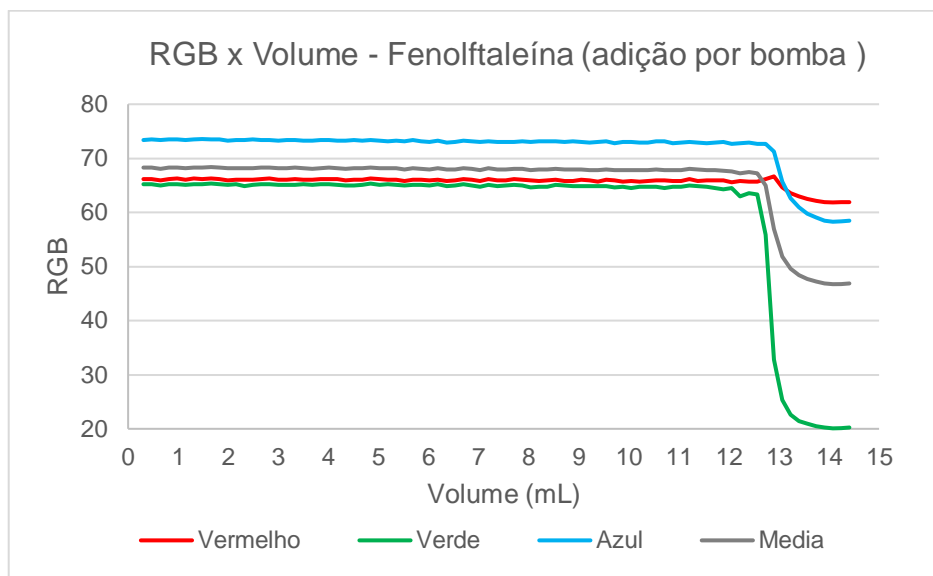


Figura do autor

Assim como a titulação de neutralização realizada por Bernar (2017) e observado na **Figura 18**, na triplicata notou-se um breve aumento da componente vermelha no momento da viragem no indicador. O gráfico também possui perfil similar ao encontrado por ele, apesar das intensidades serem diferentes, indica que possivelmente em outros leitores RGB, com acoplamento sonoro, essa alteração de cor para esse indicador pode ser facilmente capturada.

Apesar do aumento da componente vermelha ser melhor associada à viragem, acredita-se que a componente verde, que tem sua queda em volume menor, pela sua maior variação, provavelmente poderia ser utilizada para registrar o ponto de viragem.

Considerando a escala RGB, acredita-se que há uma queda nas componentes no aparecimento da cor vermelha pelo afastamento do branco, que surge quando todo o sinal atinge 255. Apesar do fundo da caixa ser revestido com papel branco, essa não foi a resposta observada no início da medida, possivelmente devido às sombras, reflexos, agitação e iluminação do sistema.

A coloração final se aproxima do vermelho, o que justifica essa componente apresentar o maior valor ao fim da análise. A queda e maior variação na composição verde pode ser explicada ao observar o espaço de cor do sistema RGB na **Figura 7**, onde é visível que em tons mais intensos de vermelho, a escala se afasta do verde. Essas cores também são ditas complementares.



Os volumes encontrados graficamente na triplicata foram os seguintes e a **Figura 33** representa o resultado encontrado para a primeira amostra na **Tabela 5**.

**Tabela 5:** Resultados obtidos para a titulação do NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> sob adição por bomba

	Massa de Biftalato (g)	Volume de NaOH (mL)
<b>Replicata 1</b>	0,2569	12,90
<b>Replicata 2</b>	0,2580	12,90
<b>Replicata 3</b>	0,2583	13,10

A concentração encontrada para a adição por bomba no RGB foi de 0,0972 mol L<sup>-1</sup>.

Com a finalidade de se afirmar que o instante da queda das componentes equivalia ao ponto de viragem, projetou-se uma curva teórica para essa análise, utilizando a metodologia apresentada na seção 1.3.1 para a previsão de uma curva de titulação para um ácido fraco, através das **Equações 12, 13 e 14** e o cálculo de pH apresentado nas **Equações 3 e 10**.

**Figura 33:** Gráfico teórico titulação NaOH e biftalato de potássio

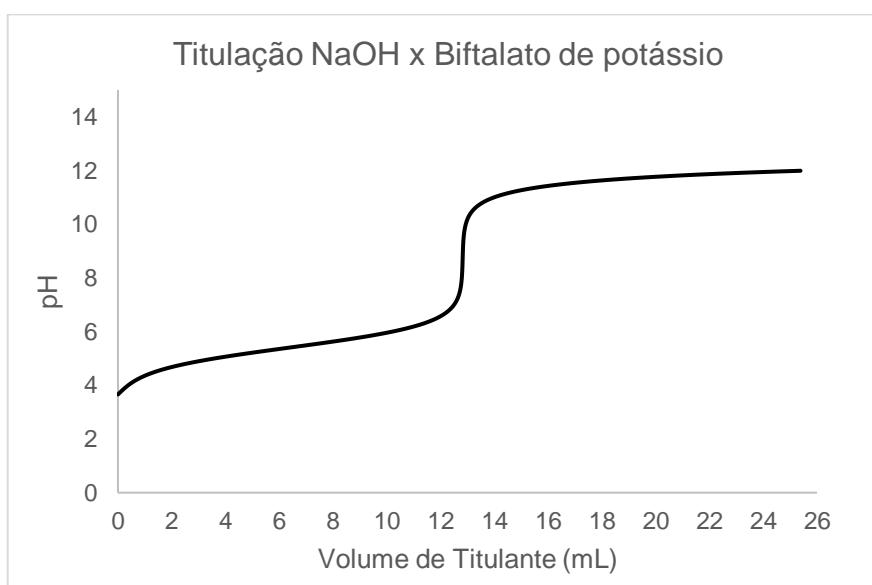


Figura do autor

Essa foi sobreposta à curva gerada pela leitura do RGB e pode ser observada na **Figura 34**.

**Figura 34:** Sobreposição dos gráficos de adição por bomba para fenolftaleína RGB e curva teórica de titulação de NaOH e biftalato

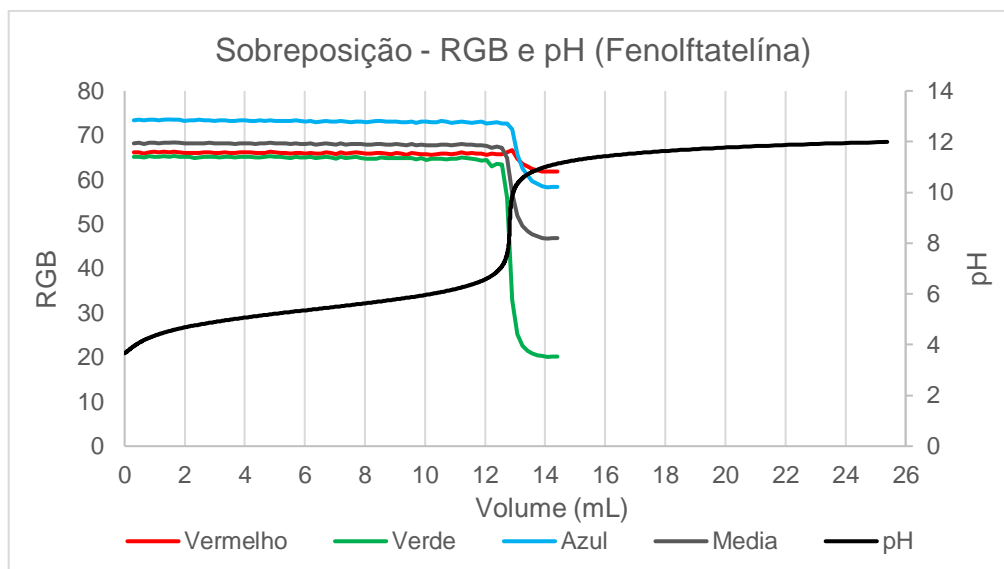


Figura do Autor

No mesmo momento em que ocorre a queda das componentes, o gráfico teórico registra o ponto de viragem, o que assinala que essa variação talvez possa ser utilizada para a aferição do ponto final. Ou seja, apesar de ter um distanciamento maior do sensorial de uma titulação, a adição por bomba ainda é capaz de fornecer ao analista, pelo acompanhamento do gráfico o momento do ponto de viragem, gerando autonomia ao realizar a análise e a sensação de acompanhamento da reação. A conversão do tempo em volume é facilmente realizada por um cronômetro que pode ser lido com leitores apropriados ou com os mecanismos do telefone do usuário.

#### 4.4.2. Negro de Eriocromo T

Quando o indicador foi adicionado no meio reacional, observou-se que a quantidade dele interferia na intensidade da cor final, e por isso, optou-se por usar uma solução de eriocromo T ministrada no meio reacional através do número de gotas.

Ao se pensar na adição do indicador pela PcD visual, isso pode ser realizado com a adição de um volume fixo por uma seringa como a mostrada por Prazeres, Maciel e Batista Filho (2016) na **Figura 1** ou pela pesagem em balança adaptada.

Na primeira titulação, utilizando 5 gotas de indicador (**Figura 35**), ao se observar o gráfico gerado, comparando com os resultados obtidos para a fenolftaleína, em momento algum foi observado o mesmo tipo de variação brusca que ocorre na **Figura 32**. Com isso, decidiu-se mexer na quantidade de indicador, aumentando-a para 20 gotas, a fim de verificar a interferência no resultado.

Apesar disso, o gráfico obtido se aproxima bastante dos mostrados por Siqueira *et al.* (2017) para esse indicador na **Figura 16**. O gráfico de Bernar (2017) na **Figura 18** também apresenta semelhanças.

**Figura 35:** Gráfico obtido com 5 gotas de NET

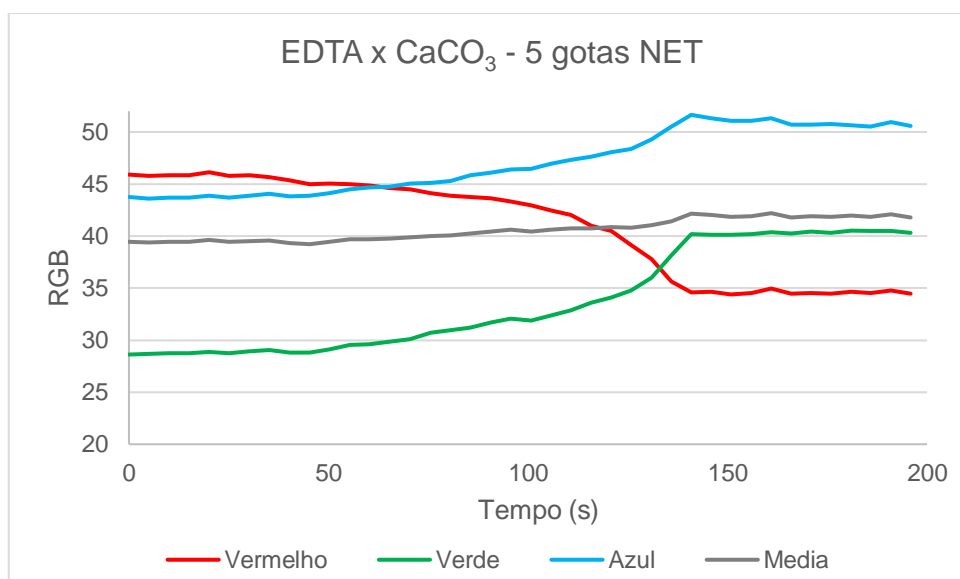


Figura do autor

Nesse gráfico, inicialmente, a componente maior é a vermelha, e é justificada pela coloração do indicador complexada se aproximar dessa cor. Conforme o indicador assume a forma livre, a cor vermelha desaparece em detrimento da azul, que é a maior componente ao fim do processo. A componente verde, assim como ocorre com a fenolftaleína, por ser complementar ao vermelho, aumenta com o seu desaparecimento.

A mudança de coloração inicial e final após a alteração da quantidade para 20 gotas e o gráfico proveniente podem ser observados nas **Figuras 36** e **37**, respectivamente.

**Figura 36:** Cor observada com 5 gotas de NET (a) e 20 gotas de NET (b)



Figura do autor

**Figura 37:** Gráfico EDTA x  $\text{CaCO}_3$  com 20 gotas de NET

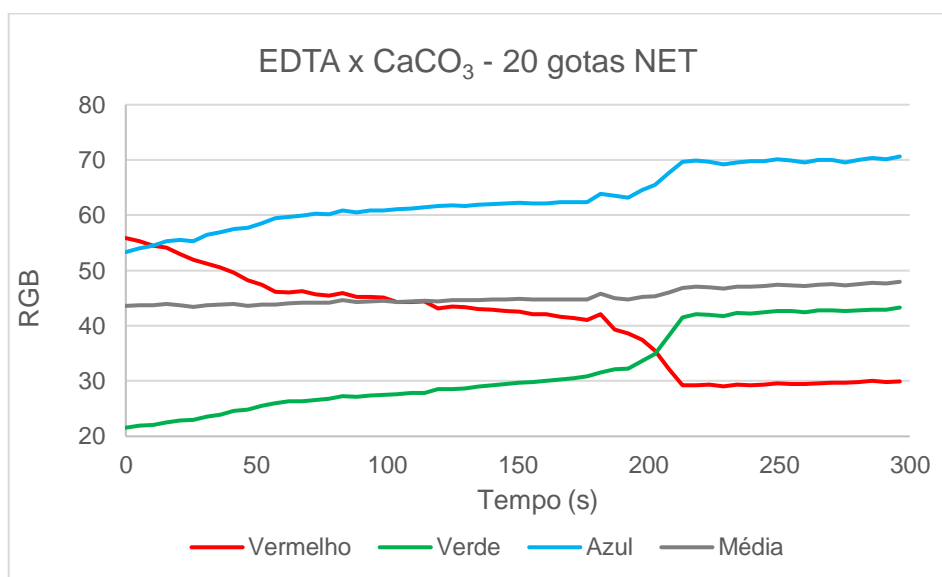


Figura do autor

Nessas condições, não houve alteração de perfil, mas é possível observar uma mudança nas intensidades do sinal, com maior amplitude na queda no momento que antecede o cruzamento das componentes vermelha e verde, instante no qual visualmente percebeu-se a viragem do indicador. Acreditou-se que talvez essa maior amplitude tivesse mais sucesso na integração do sinal sonoro e, por esse motivo, decidiu-se prosseguir com 20 gotas.

Os resultados para a padronização dessa solução encontram-se na **Tabela 6**:

**Tabela 6:** Resultados para a padronização de solução de EDTA

	Massa de CaCO <sub>3</sub> (g)	Volume de EDTA (mL)	Gotas de NET
<b>Titulação Manual</b>	0,1266	12,20	5
	0,1266	12,20	20
	0,1264	12,10	20

A concentração encontrada foi de 0,1030 mol L<sup>-1</sup>.

As adições excessivas acidentais de titulante ao meio que ocorrem na manipulação da bureta pelo operador também não geraram mudança significativa no sinal, que apresentou os mesmos níveis de ruídos com as condições ambientais do sistema, não interferindo sensorialmente no sentido de apreensão do analista.

Uma possibilidade para o acompanhamento da titulação está possivelmente no acoplamento do sinal sonoro às componentes vermelha ou verde, que apresentam resposta similar. Nesse sentido, a constância de sinal após o ponto de equivalência é interessante, pois fica evidente quando o analista perdeu o ponto de viragem. Então, ao se trabalhar com diferentes volumes ou frequências de som nessa componente, o sensorial pode ser bastante proveitoso.

Ainda na tentativa de verificar alguma variação mais brusca que pode ser explorada na tradução do gráfico para outros sentidos, optou-se por aumentar a exposição nas configurações da câmera, o que não gerou mudança significativa, mas pela coloração do indicador ser mais brilhante e facilitar a visualização das cores na tela do computador (**Figura 38**) decidiu-se mantê-la. Esse teste foi feito com o uso da bomba.

**Figura 38:** Cor observada com 20 gotas de NET após mudança na configuração da câmera

Figura do autor

**Figura 39:** Gráfico de titulação EDTA x CaCO<sub>3</sub> com 20 gotas de NET após mudança na configuração, sob adição por bomba (sistema aberto)

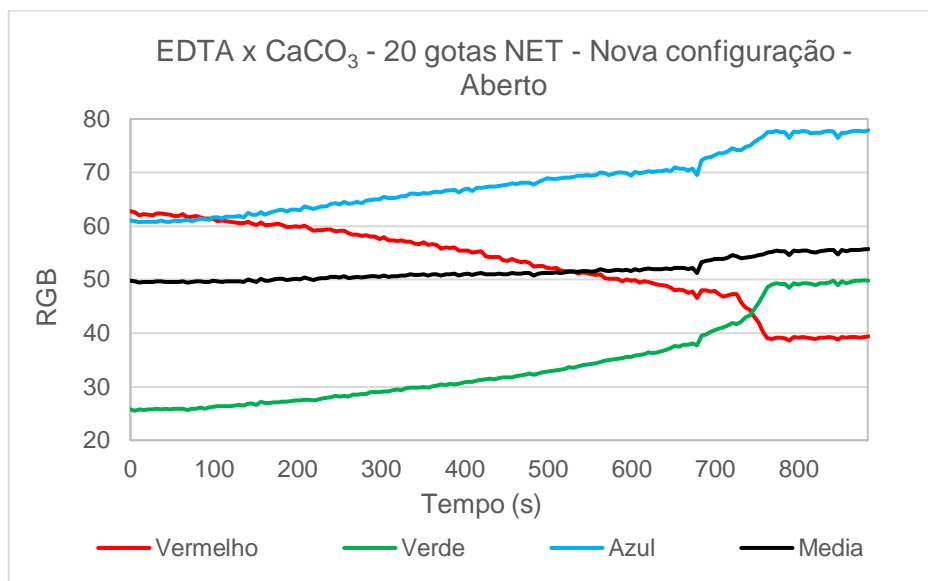


Figura do autor

Para essa análise não houve conversão para volume pois, considerando a velocidade da bomba e o volume de titulante encontrado nas titulações manuais, notou-se que o tempo para a viragem, após a ligação da bomba, chegava a quase 8 minutos, o que daria praticamente 4 mL a mais de titulante que encontrado nas titulações manuais, considerando o fluxo de 2 mL/min. Isso ocorreu nas duas tentativas realizadas desse modo. Nesse gráfico, o tempo não foi zerado a partir da adição do titulante.

Considerou-se duas hipóteses: ou a bomba estava apresentando algum problema ou havia alguma questão na cinética de formação do complexo.

Realizou-se um teste com a bomba, por 5 vezes, cronometrando o tempo necessário para que, com o fluxo de 2 mL/min, utilizando a solução titulante, ela conseguisse encher um frasco de 3,0 mL. Nesse teste, descobriu-se que realmente o volume do fluxo, nessa velocidade, era em média 1,70 mL/min. Esse valor foi considerado para a realização dos cálculos de conversão de tempo em volume.

Consultou-se também o procedimento realizado na padronização de solução de EDTA em Alcantara, Correa e Pinto (2019) e descobriu-se que é descrita uma pequena adição de cloreto de magnésio na solução de EDTA.

Em Christian, Dasgupta e Schung (2014) afirma-se que o cálcio possui constante de formação maior do que o magnésio com o EDTA. Contudo, com o NET,

o complexo é menos estável, o que faz com que o ponto de equivalência na titulação ocorra antecipadamente. Com isso, preparou-se e padronizou-se uma segunda solução onde foi adicionada uma pequena quantidade de magnésio. Na **Tabela 7** são apresentados os resultados para a padronização realizada sem o acompanhamento da câmera.

**Tabela 7:** Resultados da padronização da solução de EDTA contendo  $MgCl_2$  utilizando-se a adição manual do titulante pela bureta

	Massa de $CaCO_3(g)$	Volume de EDTA (mL)
<b>Replicata 1</b>	0,1256	12,50
<b>Replicata 2</b>	0,1260	12,50
<b>Replicata 3</b>	0,1257	12,40

A concentração encontrada foi de  $0,1008 \text{ mol L}^{-1}$ .

Utilizou-se então essa solução para a análise em fluxo constante e optou-se por utilizar um sistema fechado para verificar quais seriam as alterações comparando com o sistema aberto. As duas condições apresentaram gráficos similares, mas o sistema fechado apresentou menos ruídos. Os resultados obtidos graficamente pela triplicata podem ser observados na **Tabela 8**. A **Figura 40** representa o resultado encontrado para a primeira amostra.

**Tabela 8:** Resultados de volume de EDTA na triplicata método de adição por bomba

	Massa de $CaCO_3(g)$	Volume de EDTA (mL)
<b>Replicata 1</b>	0,1262	12,20
<b>Replicata 2</b>	0,1255	12,40
<b>Replicata 3</b>	0,1263	12,30

**Figura 40:** Gráfico da titulação EDTA x CaCO<sub>3</sub> com 20 gotas de NET após mudança na configuração, sistema fechado

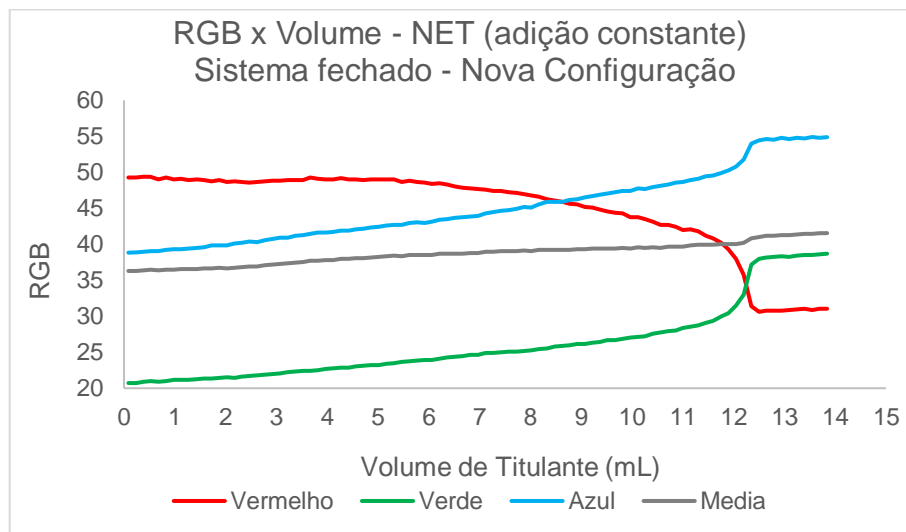


Figura do autor

A concentração encontrada pela adição por bomba foi de  $0,1024 \text{ mol L}^{-1}$ .

O gráfico da **Figura 40** foi utilizado na comparação com a curva teórica de titulação feita considerando as características do complexo formado entre Ca<sup>2+</sup> e EDTA, e a concentração desses compostos, realizada conforme a explicação mostrada na seção 1.3.2, e pode ser observado na **Figura 41**.

**Figura 41:** Sobreposição dos gráficos de adição por bomba para NET e curva teórica de titulação (EDTA e CaCO<sub>3</sub>)

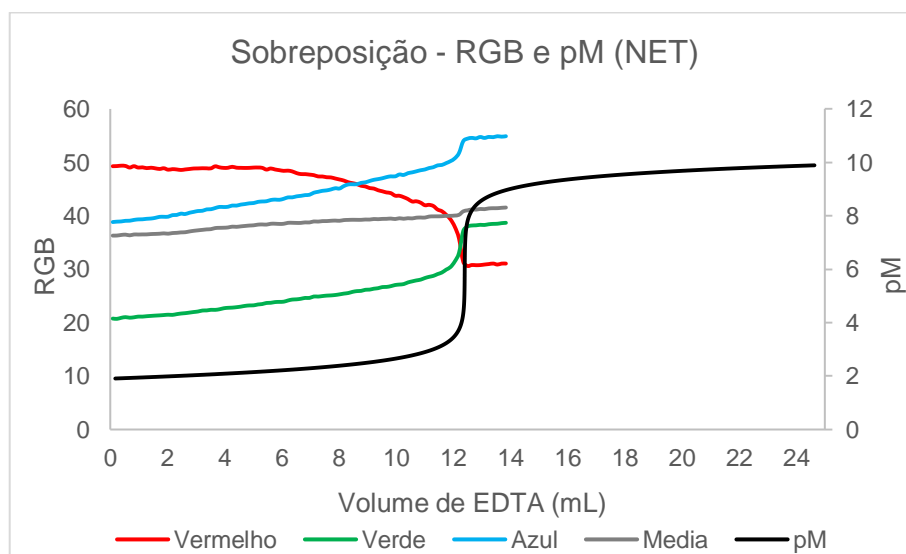


Figura do autor



Deve-se acrescentar que, mesmo com os cuidados tomados na análise, diferente dos resultados observados para a fenolftaleína, a intensidade do sinal inicial foi diferente entre os experimentos da triplicata, apesar de todos os gráficos apresentarem o mesmo perfil. Mesmo assim, a variação das componentes foi aproximadamente similar.

#### 4.4.3. Alaranjado de Metila

Ao realizar a análise na bureta, a analista sentiu dificuldades em identificar visualmente o ponto de viragem, uma vez que em Alcantara, Correa e Pinto (2019), o ponto final seria na observação da coloração laranja ou “casca de cebola”. Mas essa informação diverge quando se considera Siqueira *et al.* (2017) que afirma que a mudança se dá na observação do amarelo pálido.

**Figura 42:** Transição de cores observadas para o alaranjado de metila



Figura do autor

Considerando a faixa de transição de pH do indicador (3,1 - 4,4) e analisando o gráfico, percebe-se que o ponto de equivalência se dá em  $\text{pH} = 4,7$ , valor que é mais próximo ao limite superior dessa faixa e por isso, o amarelo deve ser considerado como ponto final. Entende-se ainda que a descrição informal de uma tonalidade pode ser prejudicial na identificação do real ponto de viragem, aumentando o erro associado ao indicador.

Por essa dificuldade no reconhecimento visual, a adição foi realizada com muitas pausas para a observação de possíveis pontos finais, e com isso são observadas alguns “degraus” que ficam mais evidentes na componente verde. Como a subida foi bastante gradual, aparentemente, o gráfico da **Figura 43** não apresentou nenhuma variação brusca no ponto de viragem. Isso aconteceu em toda a triplicata, pois a avaliação de qual seria evidentemente o ponto final não havia sido realizada.

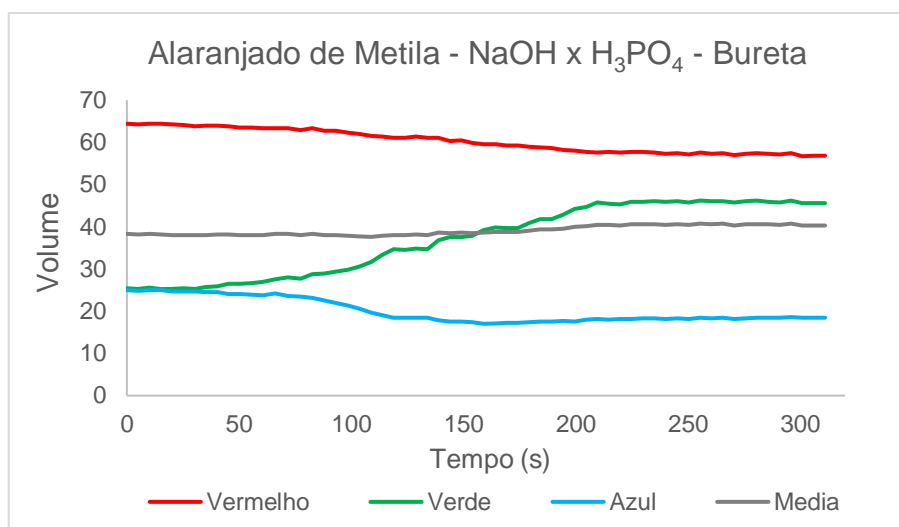
**Figura 43:** Gráfico de titulação manual NaOH x H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> com alaranjado de Metila

Figura do autor

Em suma, essa adição interrompida, onde se passa lentamente pelas cores não gerou uma alteração brusca e acredita-se que pode ser um mecanismo não funcional para o acoplamento de som.

A componente que apresentou a maior variação foi a verde, mas próximo ao ponto de viragem não há nenhuma variação brusca. O aumento nessa componente provavelmente se deve ao desaparecimento da coloração avermelhada em detrimento do amarelo, que no cubo RGB mostrado na **Figura 7** é observada entre as duas cores. Quando o ponto final é atingido, a constância das componentes é observada. A componente vermelha teve uma breve queda, mas se manteve praticamente constante durante toda a análise. Isso provavelmente se deve à proximidade da coloração do indicador durante toda a sua transição à essa cor.

Na triplicata utilizando a bureta, o volume de solução de NaOH gasto foi de 12,00 mL e a concentração da solução de ácido fosfórico preparada, com isso, foi de 0,1170 mol L<sup>-1</sup>. Esses valores foram utilizados na formulação da curva teórica de titulação do ácido fosfórico, exibida na **Figura 44**, que foi projetada utilizando o processo descrito na seção 1.3.1 para a titulação de ácidos polipróticos.

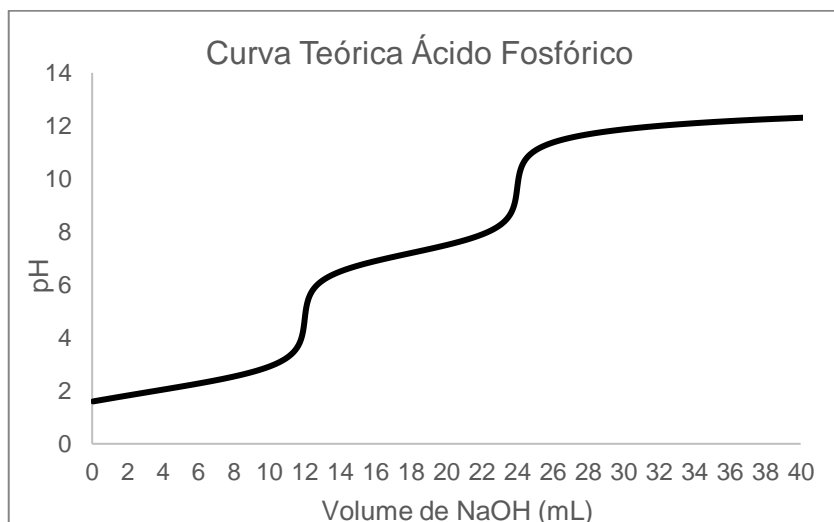
**Figura 44:** Curva teórica para o Ácido Fosfórico

Figura do autor

Para a análise dos resultados obtidos na captura RGB apenas a primeira inflexão será utilizada.

Ao se realizar a adição de maneira contínua através de uma bomba, houve uma mudança relevante no perfil da curva.

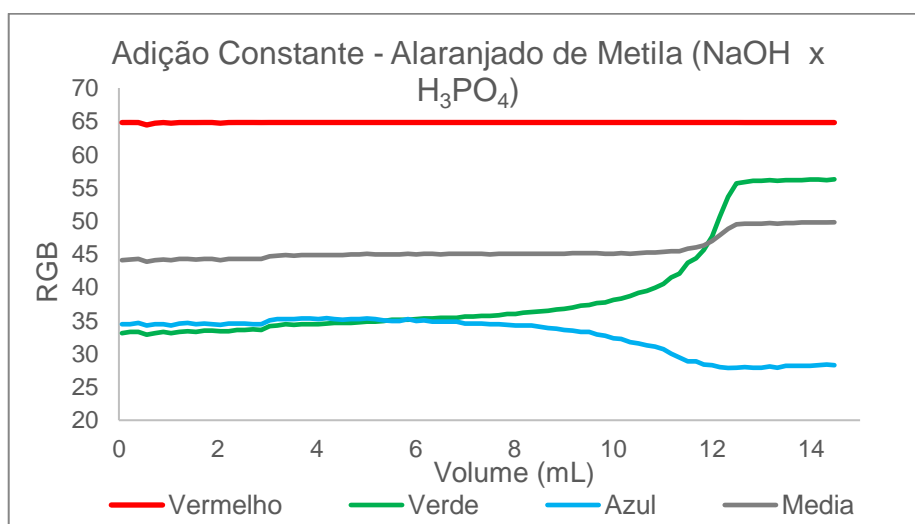
**Figura 45:** Gráfico de titulação adição por bomba, NaOH x H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> com alaranjado de Metila

Figura do autor

Acredita-se que essa mudança seja uma mera questão de escala, uma vez que na faixa onde se observa variação de cor na titulação manual foi dada maior atenção naquele trecho, aumentando o tempo no qual seria observada a maior variação

das componentes. Ao se sobrepor o gráfico da **Figura 45** com a primeira inflexão da curva teórica observada na **Figura 44**, tem-se o a **Figura 46**.

**Figura 46:** Gráfico sobreposição das curvas de adição por bomba para a titulação de  $H_3PO_4$  (alaranjado de metila)

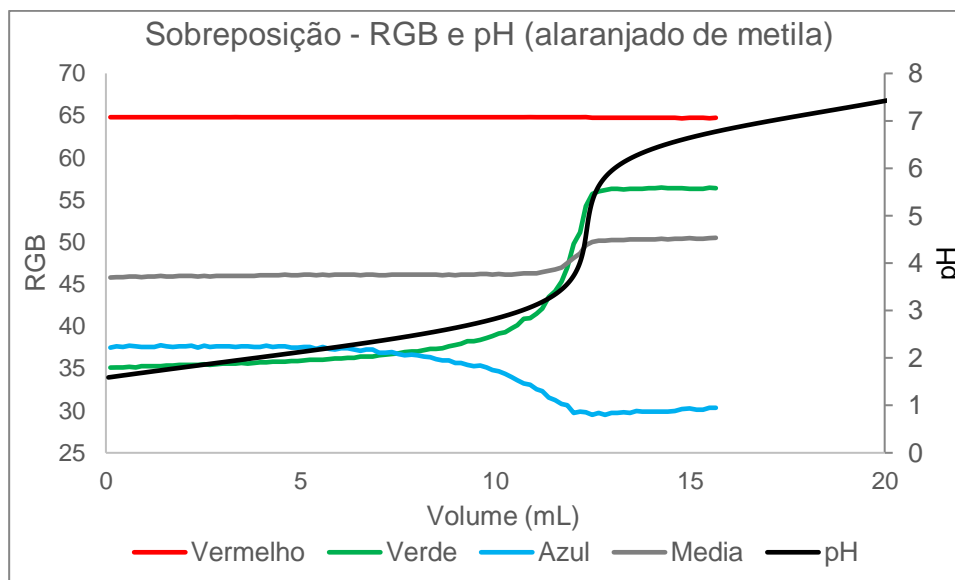


Figura do autor

É possível observar que o momento que foi assinalado por um analista vidente o ponto de virada se aproxima muito ao indicado pela curva.

Considerando esse gráfico, a variação brusca da componente verde nas proximidades do ponto de viragem se torna evidente. Tem-se a crença que ela pode ser utilizada no acoplamento de um sinal sonoro.

A problemática para esse indicador está na adição manual. Enquanto para a fenolftaleína pode haver uma aproximação sensorial devido à sensação de apreensão gerada pelas variações na curva, as adições e interrupções, nesse caso, geraram uma inclinação mais amena, que pode gerar a não identificação no ponto final. Mas, talvez, com o acompanhamento de áudio, não haja tantas interrupções e dúvidas quanto o analista visual teve. Essa questão apenas será solucionada com o acoplamento de som e com os testes realizados por uma pessoa com cegueira.

#### 4.4.4. Verde de Bromocresol

Esse indicador também foi utilizado para a titulação do ácido fosfórico contra uma solução de NaOH.

Na triplicata, o volume gasto de NaOH foi de 12,00 mL, o que gerou uma concentração de  $0,1170 \text{ mol L}^{-1}$  para a solução de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Pela faixa de viragem desse indicador (pH 3,8 – 5,4), era esperado que o volume fosse maior, mas talvez por erros cometidos pelo analista, essa diferença não tenha sido apurada.

O gráfico gerado pela adição manual pode ser observado na **Figura 47**.

**Figura 47:** Curva obtida para a titulação manual de NaOH x  $\text{H}_3\text{PO}_4$  na presença de verde de bromocresol

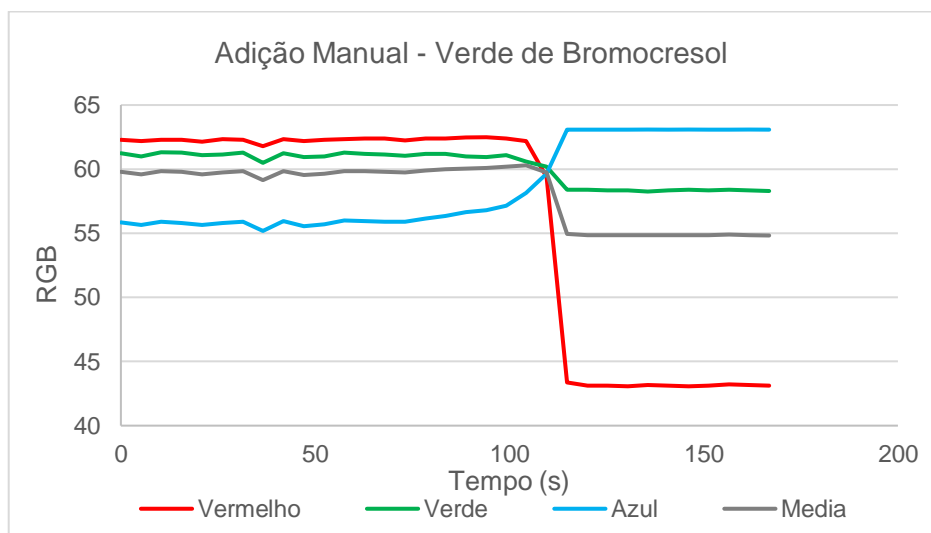


Figura do autor

As oscilações observadas antes de 50 segundos foram ocasionadas por bolhas geradas pela adição excessiva acidental de titulante ao meio. O fluxo foi interrompido ao se observar que a coloração estava bastante próxima ao azul e ao se lavar a bureta e as paredes do Erlenmeyer, as componentes RGB se mantiveram constantes. As componentes vermelha e verde inicialmente são maiores provavelmente devido aos fatores explicados pela aparição da coloração amarela no alarando de metila. Com o aparecimento da coloração azul, há uma queda brusca na com

**Figura 48:** Transição de cor para o verde de bromocresol

Figura do autor

A componente vermelha apresentou a maior variação no ponto de viragem e pode ser aproveitada para o acoplamento de som.

Na análise utilizando o fluxo constante, com adição por bomba, o gráfico apresentou o mesmo perfil.

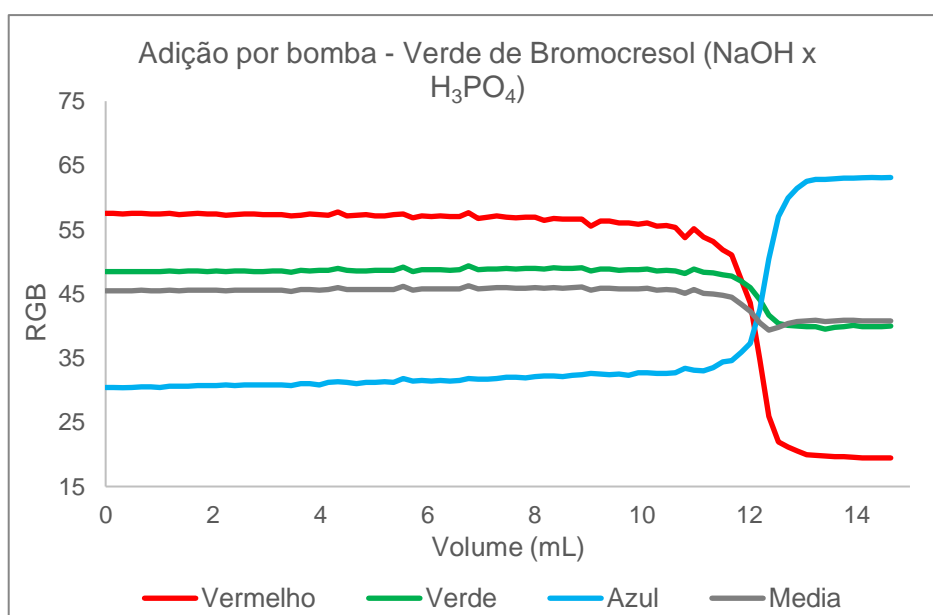
**Figura 49:** Gráfico obtido para a adição por bomba com verde de bromocresol

Figura do autor

A coloração azul final justifica o azul ser a componente de maior intensidade ao fim da titulação. Tanto a componente vermelha quanto a azul apresentaram boa variação, mas como na titulação manual a componente vermelha também se destaca, seria a melhor escolha para o acoplamento de som, uma vez que não é possível prever de qual condição a adição por um analista não vidente se aproximaria.

Ao se sobrepor a curva RGB da **Figura 49** com a curva teórica de pH apresentada na **Figura 44**, tem-se o resultado apresentado na **Figura 50**.

**Figura 50:** Gráfico de sobreposição da curva RGB obtida para a titulação de  $H_3PO_4$  por NaOH e a teórica, com verde de bromocresol.

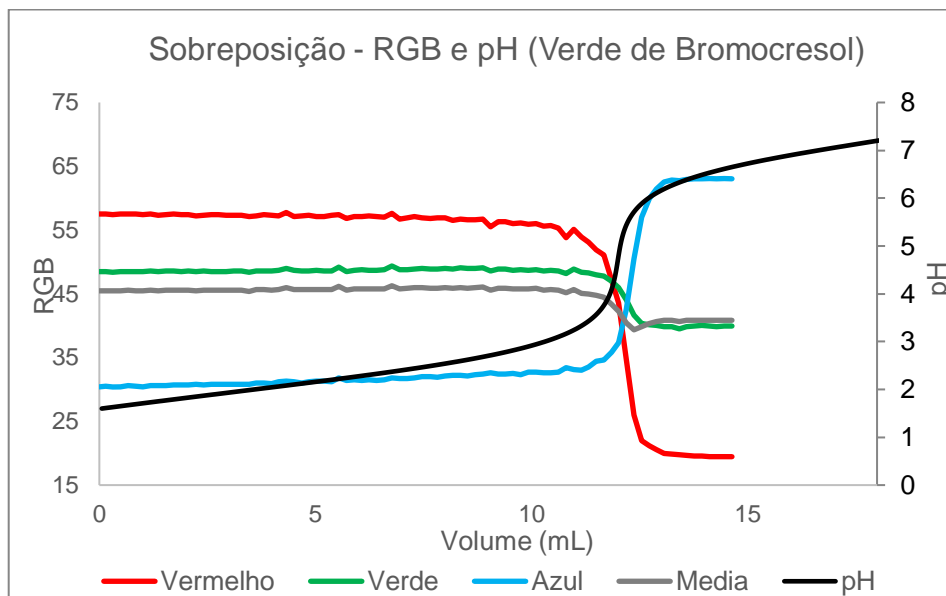


Figura do Autor

A queda brusca da componente vermelha ocorre em instante muito próximo ao detectado pela curva teórica e garante bons resultados para a técnica.

#### 4.5. Proposta de Formulação de um protótipo

Ao se executar os experimentos e impor as condições nas quais eles foram executados, pensando-se em um protótipo físico, encontrou-se algumas barreiras.

Por exemplo, na sessão 3.2 foi dito que a posição do Erlenmeyer e da câmara foram fixadas na placa. Isso foi feito com a demarcação da posição por caneta permanente, que não permite com que a PcD visual execute dessa maneira.

Se tal condição fosse reproduzida em um suposto protótipo final, seria necessário que essas marcações fossem feitas em relevo para que se sinta onde os objetos serão posicionados. Uma fita colada sobre a placa, assim como uma fita crepe, que é texturizada, ou uma fita banana, que é um pouco mais grossa, pode solucionar essa questão.

A placa de agitação utilizada também contava com a opção de aquecimento. O botão tem fácil mobilidade e como o analista precisa tocar a placa para identificar a posição do frasco, esse tipo de placa pode causar acidentes. Pode-se, por exemplo, travar o botão ou optar por uma placa que tenha apenas a função agitação.

Outra questão foram as marcações de volume no Erlenmeyer. Essas marcações foram colocadas distantes do ponto de obtenção da imagem para não causar interferência, mas como isso poderia estar sinalizado na vidraria? Uma marcação em relevo, talvez feita com fita, ou uma marcação feita na própria vidraria indicando a posição dessas marcações ou outros artifícios devem ser explorados.

Durante a análise com o NET, ao se utilizar a câmara fechada, o analista vidente encontrou dificuldades ao montar e posicionar o canal de saída da bomba dentro do Erlenmeyer. E muitas vezes, quando a câmara já estava fechada, ao observar o sistema, notava-se problemas que precisavam ser corrigidos antes de começar a análise. Para esse sistema funcionar seriam necessárias muitas adaptações e por isso, foi descartado na proposição do protótipo, mas, com mais tempo disponível pode ser reavaliado em futuros trabalhos.

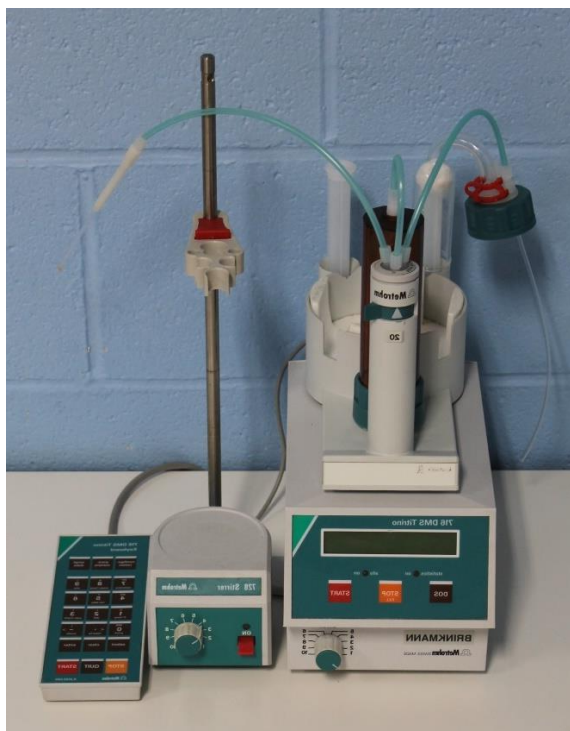
A câmara semi-aberta foge da idealidade, mas ainda permite fácil manipulação da vidraria, sem impedimentos que possam causar derramamentos, fazendo com que o experimento consiga ser executado em tempo adequado e com boas respostas.

Deve-se questionar também se o Erlenmeyer é o frasco titulante mais recomendado. Nesse ponto, coloca-se que sua manipulação, devido ao gargalo estreito, é mais fácil do que a de um bécher, por exemplo. Contudo, dependendo da TA para adição de volume utilizada e do tipo de câmara, o bécher pode se tornar interessante por ter um bocal mais amplo e mais fácil de ser acertado.

Ao se pensar ferramentas de adição de volume preciso, que podem ser utilizadas por PcD visual, tem-se relatado a metodologia utilizada por Silva (2016) mas pode-se propor o uso de bombas-seringas reguladas por Arduíno, dosadas por um operador ou no uso de buretas onde a adição é feita gradualmente com o pressionamento de um botão, como uma bureta de um titulador automático, que mostra o volume em tela.



**Figura 51:** Exemplo de titulador com adição de volume regulada por botão



Retirada de <https://americanlaboratorytrading.com/lab-equipment-products/metrohmbrinkmann-716-dms-titrino-with-716-dms-keyboard-and-728-stirrer-10215>

Acredita-se que todas essas propostas podem fornecer ao analista PcD visual a sensação de controle da análise executada. A bomba com fluxo constante, exemplo utilizado nos testes, foge da idealidade nesse sentido, mas dependendo do que o laboratório tiver disponível, pode ser uma opção válida, pois a interrupção do fluxo ainda fica por conta do operador.

O uso do *RGBView* também deve ser pensado quanto à facilidade em sua utilização. Para um analista visual é fácil encontrar os comandos, mas a adaptação perante os softwares já disponíveis para tornar computadores acessíveis para pessoas com cegueira deve ser avaliado. O uso conjunto com outro aluno ou realizado com poucas assistências assim como sugerido por Santos *et al.* (2016) e Bandyopadhyay e Rathod (2017) também é opção e mantém o aluno com cegueira numa posição de protagonismo na realização de sua aula prática.

Pensando na tradução do sinal gerado para o sentido da audição, que foi priorizado nesse trabalho, partindo-se da observação dos gráficos gerados nesse e em outros softwares, considerando o que o laboratório tinha disponível; e a

experiência da projetista para facilitar o desenvolvimento, levantou-se a possibilidade de realizar o acoplamento de som de duas maneiras: através do Arduíno ou do *Matlab*.

Deve-se acrescentar que apesar dessas ferramentas terem sido avaliadas pelo fácil acesso no NQTR, softwares gratuitos e mais acessíveis assim como o *Python* poderiam ter sido utilizados com essa mesma finalidade.

O Arduíno torna-se uma opção através do acoplamento de um *buzzer* ou outro instrumento capaz de emitir som em uma protoboard, conectado a uma fonte. Contudo, essa opção foi descartada em um primeiro momento nesse trabalho por se tratar de uma proposta teórica de um protótipo e utilizá-lo demandariam alguns testes mais complexos.

Contudo, em uma breve pesquisa, viu-se que Qutieshat, Aouididi e Arfaoui (2019) utilizaram um sistema similar ao citado, com um sensor RGB TCS34725 Adafruit acoplado, para assimilar cores de papel universal de pH em diferentes tons de som, o que sinaliza que provavelmente poderia ser utilizado para a leitura dos gráficos em tempo real.

A proposta do Matlab surge da captura de dados do RGBView, considerando a escala de 0 a 255, a transformação de cada uma das componentes a diferentes tons que poderiam ser percebidos pelo analista.

Ao avaliar as curvas obtidas para os quatro indicadores testados, foi possível verificar que as componentes RGB se alteram de maneira diferente para cada um deles e que a componente média geralmente não possui alterações bruscas ou significativas. Isso impõe que para cada indicador seja selecionada uma componente específica que possa ser utilizada com essa finalidade.

**Tabela 9:** Indicadores testados e componentes selecionadas no RGB

<b>Indicador</b>	<b>Componente selecionada</b>
Fenolftaleína	Verde
NET	Verde ou Vermelha
Alaranjado de Metila	Verde
Verde de Bromocresol	Vermelha

A não uniformização da componente escolhida já era esperada uma vez que em trabalhos como Bernar (2017) e Bandyopadhyay e Rathod (2017) foram necessários algoritmos específicos para indicadores diferentes. Mas isso pode se tornar uma barreira, pois seria necessária uma pré-seleção da componente a ser lida antes de começar o procedimento.

Tentou-se então, utilizar a componente de maior alteração e aplicá-la na programação no Matlab mostrada na **Figura 52**. O código é apresentado no **Apêndice A**.

**Figura 52:** Código da função criada e utilizada para acoplar som às curvas RGB obtidas no Matlab

```
function som(y)
%%
%Pegar a função y (derivada do RGB) e normalizar
for i=1:size(y)
    Fs = 10200;
    secs = 0.1;
    t = linspace(0, secs, Fs*secs+1);
    t(end) = [];
    y(i,1)
    w = 2*pi*((y(i,1)+10)*10);
    s = sin(w*t);
    sound(s, Fs)

    pause(0.5)
end
end
```

Figura do autor

Na função, a variável de entrada y contém os valores de RGB e w é a função que relaciona o RGB com a frequência de som (Fs).

Entretanto, ao se tentar reproduzir a função, notou-se que apesar das curvas visualmente aparentarem ter uma variação brusca na região próxima ao ponto de viragem, a percepção sonora desse ponto para indicadores como o alaranjado de metila, onde isso ocorre após a constância da curva como é observado na **Figura 45**, era difícil de ser acompanhada.

Como Siqueira *et al.* (2017), Lima *et al.* (2016) e Bandyopadhyay e Rathod (2017) realizaram a conversão para outro espaço de cor, separou-se as variáveis RGB para cada uma das curvas e fez-se a conversão para o HSV. Os autores já haviam sinalizado que a transformação para outro espaço de cor poderia levar a redução dos ruídos no sinal. À princípio, achou-se que isso poderia gerar alguma resposta na melhora da transformação sonora, ao se utilizar a componente matiz (H), que foi utilizada nesses trabalhos. Mas assim como aconteceu em Siqueira *et al.* (2017), os gráficos gerados para o NET e para o alaranjado de metila apresentaram menor sensibilidade e curvas mais suaves que ainda não gerariam boa resposta. A fim de exemplificar o ocorrido, a conversão para o alaranjado de metila pode ser observada na **Figura 53**. Todos os gráficos de conversão estão disponíveis no **Apêndice B**.

**Figura 53** - Conversão das componentes da curva obtida para o alaranjado de metila

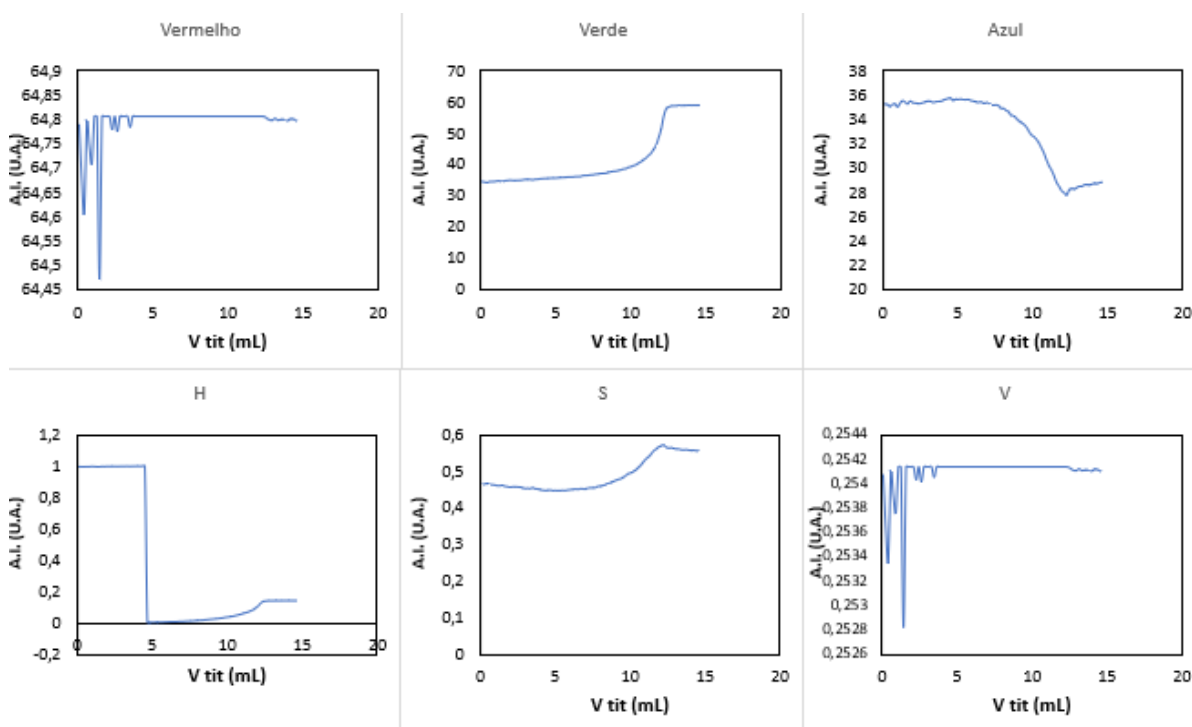


Figura do autor

Consultando a literatura, decidiu-se então optar por verificar o uso da derivada do sinal, que foi utilizado por Gaião *et al.* (2006) e para alguns dos algoritmos de Bernar (2007). Apesar da segunda derivada definir onde a inclinação é máxima na curva de titulação, esse não é o instante na curva RGB onde ocorre o ponto de

viragem. Por exemplo, para a fenolftaleína, o menor erro se dá visualmente quando a coloração começa a mudar, que é quando o pH está em torno de 8,3. No sinal RGB isso ocorre no instante que o sinal RGB começa a decrescer (**Figura 32**). Isso é comum para indicadores que vão do incolor para algum sistema colorido.

Para indicadores no qual o sistema muda entre duas colorações, o mais adequado seria a finalização da titulação na cor final, por exemplo, para o alaranjado de metila (**Figura 45**) o ponto seria alcançado quando a curva atinge constância após a inflexão, que representa que chegou a cor final do indicador (amarela). Logo, acredita-se que a utilização da primeira derivada (que fornece a inclinação da curva) é suficiente para que um analista não vidente identificasse essas mudanças descritas, indicando que a titulação está finalizada. Como a derivada pode assumir valores positivos e negativos, considerou-se inicialmente o módulo dos valores.

A utilização da derivada também é interessante pois mesmo em curvas onde a alteração das componentes ocorre desde o início da titulação, por exemplo, para o NET (**Figura 40**), essa variação é constante e faz com que a derivada também seja.

A derivada também elimina a questão de seleção de qual componente de cor escolher, considerando que, quando há a maior variação das componentes, elas ocorrem simultaneamente. Como a componente vermelha se mantém praticamente constante no alaranjado de metila, optou-se pelo uso da componente verde em todas as titulações e a sua derivada pode ser observada na **Figura 54** para todos os indicadores.

**Figura 54** - Gráficos gerados pela derivada da componente verde para os quatro indicadores na curva de adição por bomba.

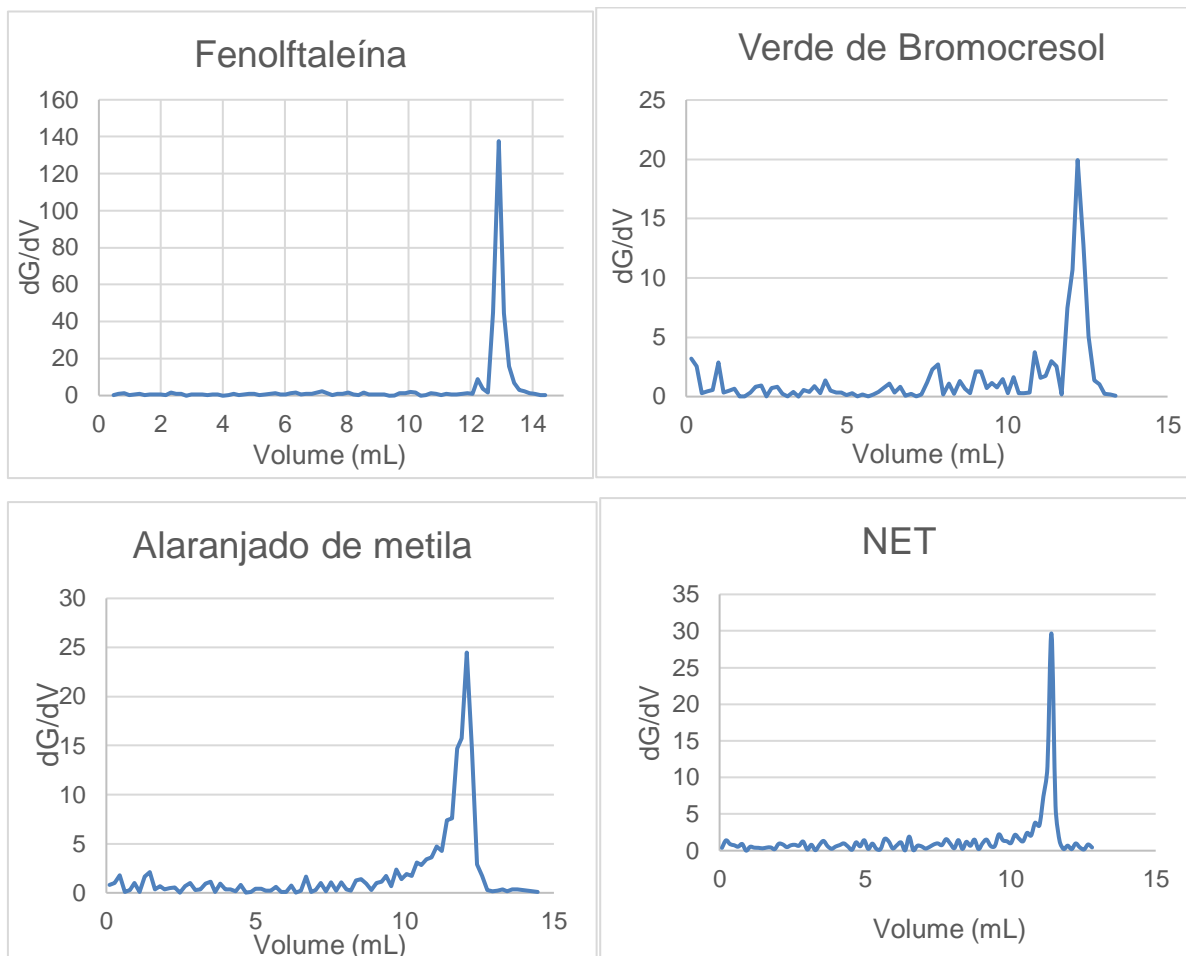


Figura do Autor

As curvas obtidas para o NET, o alaranjado de metila e pelo verde de bromocresol como apresentam variação menor do que a fenolftaleína, tem em seus gráficos bastante ruído, o que atrapalha na conversão do sinal sonoro, dificultando a assimilação do acompanhamento da reação e do ponto de viragem.

Decidiu-se então realizar outra operação com os pontos obtidos da derivada, de maneira que o ruído fosse amenizado. Com isso, elevou-se os valores de  $y$  ao quadrado, e os gráficos da **Figura 55** foram obtidos.

**Figura 55:** Gráficos gerados pela aplicação da função quadrática para os valores  $y$  obtidos para a **Figura 53**

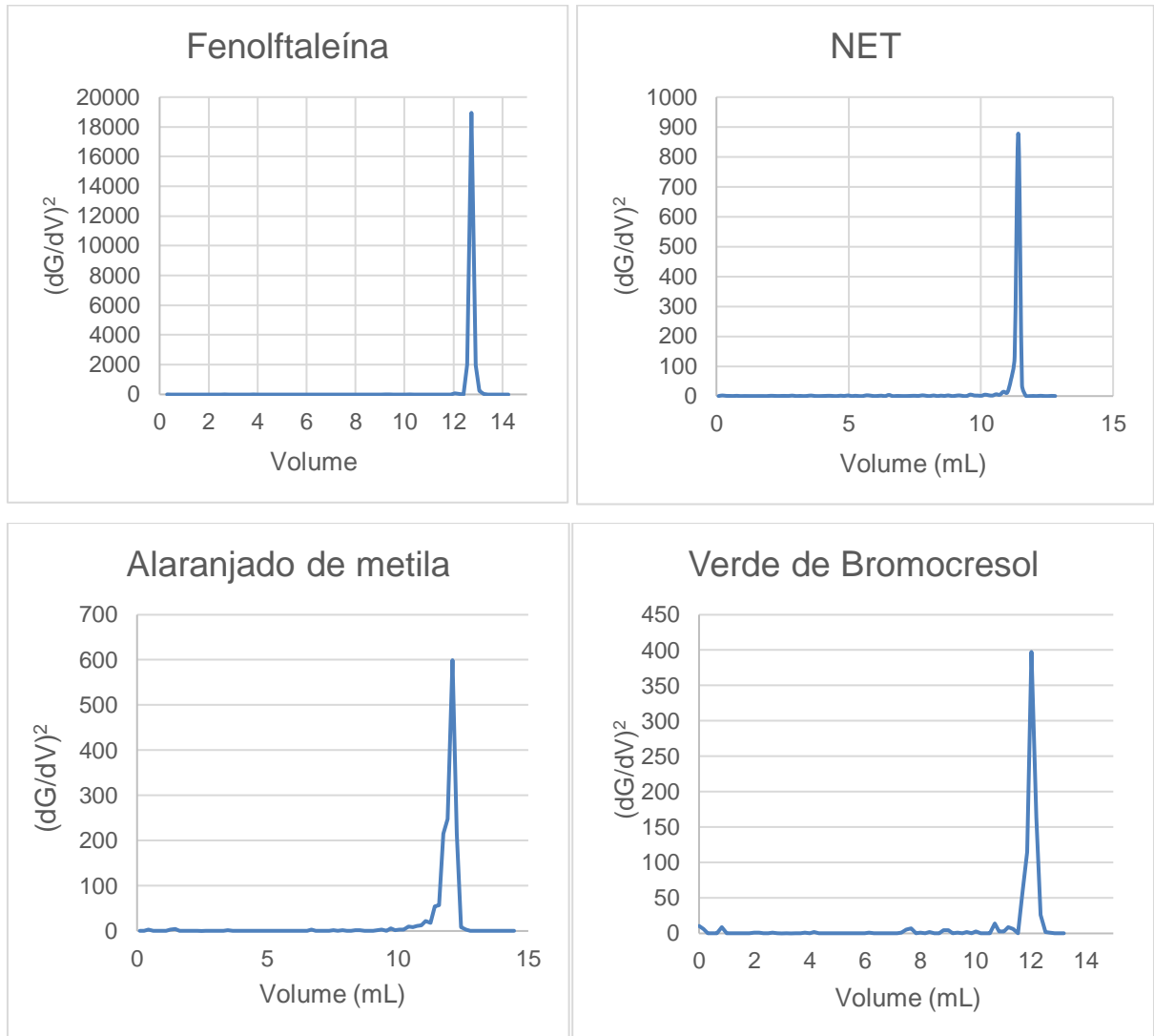


Figura do autor

Os valores de  $(dG/dV)^2$  foram aplicados na equação do Matlab, e o resultado pode ser escutado através dos *QRcodes* na **Figura 56**, através de vídeos no *YouTube*. Os gráficos no vídeo mostram a relação entre a componente verde das curvas RGB e os gráficos apresentados na **Figura 55**, mostrando a variação do som em ambas.

**Figura 56:** QRcodes gerados para os gráficos com som acoplado, sendo (a) Fenolftaleína (b) NET (c) Alaranjado de Metila e (d) Verde de Bromocresol



(a)



(b)



(c)



(d)

A pontualidade do som, simulada com variação a cada 0,5 segundos pode transmitir sensorialmente a sensação da gota caindo e a variação na frequência pode causar ansiedade para a interrupção da reação. O que é bastante interessante e promissor com o objetivo do trabalho, uma vez que passaria a sensação ao analista não vidente.

Acredita-se que essa operação matemática também supriria as diferenças encontradas em comparação das curvas obtidas nesse trabalho e as obtidas por



Siqueira *et al.* (2017) e Bernar (2017), normalizando-as e tornando a conversão acessível para outros leitores RGB.

Deve-se levar em consideração ainda que a percepção do ponto final se dá em um instante diferente para cada curva. Enquanto para a fenolftaleína o ponto final é percebido no momento em que há variação de cor (no início da inflexão da curva RGB), para o NET. alaranjado de metila e verde de bromocresol isso apenas é observado quando há constância no sinal, ao final da inflexão. Com isso, o momento no qual o analista com cegueira deve assinalar o ponto de viragem através do som muda de acordo com o indicador.

No primeiro caso, o analista deveria finalizar a adição do titulante quando começasse a ouvir o som aumentado em frequência, já para o segundo, a interrupção apenas ocorreria quando o som voltasse à frequência normal.

Isso é bem similar ao que acontece para analistas videntes. A fenolftaleína tem seu ponto de viragem registrado visualmente em coloração intermediária e o verde de bromocresol, por exemplo, na coloração final. Esse tipo de questão é treinada no laboratório. Tallman (1978) disse que para que seu aparato pudesse ser utilizado corretamente também foi necessário treinamento. Então, essa é uma questão natural que surge na técnica de titulação e não deve ser considerada uma barreira.

Com isso pode-se dizer que o tratamento realizado para a curva, apesar de serem necessárias adaptações para que seja feito em tempo real, é uma boa solução.

Para a consumação de um protótipo final, contudo, outras coisas devem ser consideradas. É importante conhecer a opinião e as adaptações para as atividades que o aluno que seja uma PcD já utiliza em seu dia-a-dia. Às vezes, ideias mirabolantes que o projetista faz acerca de como adaptar já são resolvidos pelo próprio aluno de maneira mais simples ou que, pelos hábitos que ele já tem, podem trazer mais segurança pelo costume.

É importante se ter em mente que nenhuma TA é aprovada sem a testagem pela PcD que vai utilizá-la.

Mesmo com essas considerações, esse trabalho objetiva na proposição de uma ideia de protótipo. De tudo o que foi observado na literatura e pelos testes realizados no laboratório, considerando a estrutura existente no Instituto de Química da UFRJ, onde no momento acredita-se que não há computadores adaptados com comando de voz, sugere-se que o uso do computador seja realizado por um analista

vidente, com as entradas das informações necessárias para iniciar a leitura pela câmera, no *software* disponível, o *RGBView*.

Opta-se o uso de uma câmara semi-aberta, revestida com papel branco e uma *webcam* acoplada, posicionada sobre uma placa de agitação, com posição fixa demarcada por uma fita em relevo, assim como a fita banana.

Nessa câmara, é necessário existir alguma lâmpada para promover a iluminação do sistema. Recomenda-se o uso do Erlenmeyer, pelo bocal mais estreito e de fácil manipulação. É necessária a marcação da posição dessa vidraria na placa, e para evitar interferências, preferencialmente uma fita branca. A adição do volume pode ser articulada com alguns dos mecanismos citados anteriormente, que aparentam ser de fácil desenvolvimento.

**Figura 57:** Aparência do protótipo teorizado

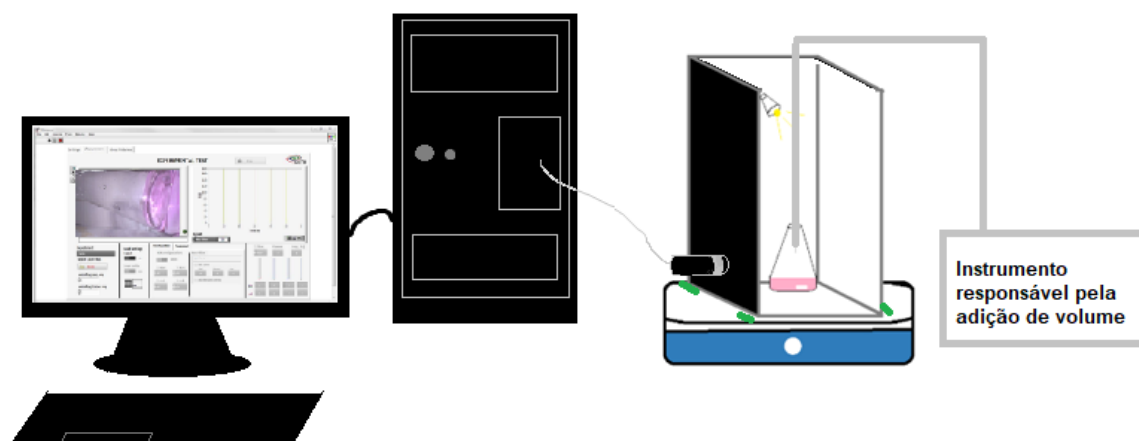


Figura do autor

## 5. Conclusão

Através da pesquisa bibliográfica notou-se que não existem muitas TA que envolvam análise de imagem RGB com o objetivo da titulação, mas que ela pode sim ser utilizada. Ficou claro também que não basta desenvolver uma TA: é necessário considerar o sentimento e as sensações do analista. No caso da análise de imagem em tempo real, um sinal sonoro ou vibratório que contemple o acompanhamento da

reação causando expectativa, ansiedade ou qualquer outro sentimento equivalente ao se realizar a técnica de titulação pode ser aplicado e é válido.

Todos os indicadores testados apresentaram variação gráfica clara no ponto de viragem ou em suas proximidades na leitura RGB. Os gráficos obtidos também apresentaram similaridades com os já registrados na literatura. Contudo, considerando um protótipo físico, para que se tenha a execução com o acoplamento do som, é necessário tratamento matemático e ajustes, que provavelmente podem ser aplicados em outros leitores RGB.

A proposta do trabalho realizada durante a pandemia, baseada exclusivamente com base na bibliografia, não seria suficiente para formular um protótipo, mas auxiliou na formulação final.

O protótipo final proposto foi composto pelo uso de uma webcam conectada ao RGBView, associada à uma câmara semi-aberta, posicionada sobre uma placa de agitação de maneira fixa, com iluminação direta. A vidraria utilizada para a realização do procedimento deve ter sua posição indicada por algum relevo e a adição de volume pode ser realizada por qualquer instrumento disponível que possa ser adaptado para PcD. Acredita-se que essa estrutura seja capaz de trazer independência e emoções similares as dos analistas videntes ao realizar a técnica de titulação.

## 6. Referências

ALCANTARA, Sarai de; Carneiro, Gerson da Silva; Pinto, Maria Lucia Couto Correa **IQA 243 Química Analítica Experimental II**: apostila. 5. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

BACCAN, N; *et al.* **Química Analítica Quantitativa Elementar**. São Paulo - SP-Brasil: Editora Edgard Blucher Ltda., 1979. E-book.

BANDYOPADHYAY, Subhajit; RATHOD, Balraj B.. The Sound and Feel of Titrations: a smartphone aid for color-blind and visually impaired students. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 94, n. 7, p. 946-949, 5 jun. 2017. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00027>.

BERNAR, Lucas Pinto. **Titulação Automática com Detecção Digital RGB e uso de seringa microvolumétrica**. 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

BRASIL. Constituição (2004). Decreto nº 5296/2004, de 2 de dezembro de 2004. Brasília,. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm#art70](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm#art70). Acesso em: 21 ago. 2021.

BRASIL. Constituição (2015). Lei nº 13146/2015, de 6 de julho de 2015. Brasília,. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm) Acesso em: 04 jan. 2023

BRASIL. Constituição (2016). Lei nº 13409/2016, de 28 de dezembro de 2016. Brasília,. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/L13409.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/L13409.htm). Acesso em: 21 ago. 2021.

BRASIL. MEC. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, nº 4024/1996.

CAMARGO, Gabriela do Nascimento. **Desenvolvimento de medidor de pH acessível, de baixo custo efetivo e automatizado, baseado na utilização de corantes naturais**. 2021. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Com Atribuições Tecnológicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

CAMILA NEUMAN (São Paulo). CNN. **Capacitismo: entenda o que é e como evitar preconceito disfarçado de brincadeira**. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/capacitismo-entenda-o-que-e-e-como-evitar-preconceito-disfarçado-de-brincadeira/>. Acesso em: 02 fev. 2022.

CHERNOV, Vladimir; ALANDER, Jarmo; BOCHKO, Vladimir. Integer-based accurate conversion between RGB and HSV color spaces. **Computers and Electrical Engineering**, [S. l.], v. 46, p. 328–337, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.08.005>

CORDCOM/UFRJ. **Ação afirmativa para pessoas com deficiência chega à UFRJ**. 2017. Disponível em: <https://conexao.ufrj.br/2017/07/13/acao-afirmativa-para-pessoas-com-deficiencia-chega-a-ufrj/>. Acesso em: 08 abr. 2021.

CHRISTIAN, Gary D.; DASGUPTA, Purnendu K.; SCHUNG, Kevin A.. **Analytical Chemistry**. 7. ed. United States Of America: Wiley, 2014.

DANIEL, Leonardo Xavier Lopes. **Balança Mecânica Adaptada para Aulas Experimentais Inclusivas de Química**. 2017. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2017.

DATASENADO. (org.). **Condições de vida das pessoas com deficiência no Brasil: Pesquisa revela avanços e desafios na inclusão social de pessoas com deficiência**. 2010. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/institucional/datasetenado/materias/pesquisas/pesquisa-revela-avancos-e-desafios-na-inclusao-social-de-pessoas-com-deficiencia>. Acesso em: 04 jan. 2023.

DIEHL, Harvey; LINDSTROM, Frederick. Eriochrome Black T and Its Calcium and Magnesium Derivatives. **Analytical Chemistry**, Iowa, v. 31, n. 3, p. 414-417, 3 mar. 1959.

GAIÃO, Edvaldo da Nobrega; MARTINS, Valdomiro Lacerda; LYRA, Wellington da Silva; ALMEIDA, Luciano Farias de; SILVA, Edvan Cirino da; ARAÚJO, Mário César Ugulino. Digital image-based titrations. **Analytica Chimica Acta**, [S.L.], v. 570, n. 2, p. 283-290, jun. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2006.04.048>.

GARCIA-LAMONT, Farid; CERVANTES, Jair; LÓPEZ, Asdrúbal; RODRIGUEZ, Lisbeth. Segmentation of images by color features: a survey. **Neurocomputing**, [S.L.], v. 292, p. 1-27, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2018.01.091>.

GUILLÉN, M.G.; GÁMEZ, F.; LOPES-COSTA, T.; CABANILLAS-GONZÁLEZ, J.; PEDROSA, J.M.. A fluorescence gas sensor based on Förster Resonance Energy Transfer between polyfluorene and bromocresol green assembled in thin films. **Sensors And Actuators B: Chemical**, [S.L.], v. 236, p. 136-143, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.06.011>.

HARRIS, Daniel C. **Análise Química Quantitativa**. LTC, Rio de Janeiro, 2001.

HARVEY, David. **Analytical Chemistry 2.1**. Electronic Versions, 2016.

ITO, Shigenori; YAMAMOTO, Daisuke. Structure of the methyl orange-binding site on human serum albumin and its color-change mechanism. **Biomedical Research**, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 247-252, 2015. Biomedical Research Press. <http://dx.doi.org/10.2220/biomedres.36.247>.

JUNIOR, JANACY. **Comissão aprova projeto que reserva 10% de vagas em universidades federais para pessoas com deficiência**. Agência Câmara de Notícias. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/776462-comissao-aprova-projeto-que-reserva-10-de-vagas-em-universidades-federais-para-pessoas-com-deficiencia/>. Acesso em: 28 ago. 2021.

LIMA, Ricardo Alexandre C.; ALMEIDA, Luciano F.; LYRA, Wellington S.; SIQUEIRA, Lucas A.; GAIÃO, Edvaldo N.; PAIVA JUNIOR, Sérgio S.L.; LIMA, Rafaela L.F.C.. Digital movie-based on automatic titrations. **Talanta**, v. 147, p. 226-232, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2015.09.053>.

MESQUITA, Marcos Vinicius Miranda. **Desenvolvimento de método quantitativo por análise de imagens para determinação de aminas terciárias com base em ensaios de feigl**. 2017. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Com Atribuições Tecnológicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

NAZARENKO, Alexander Y.. Optical sensors for manual and automatic titration in undergraduate laboratory. **Spectroscopy Letters**, 43(7/8):555 – 560, 2010.

**NOSSA MISSÃO.** Disponível em: <https://www.iq.ufrj.br/acessibilidade/nossa-missao/>. Acesso em: 10 ago. 21

OLIVEIRA, A. V. B. d.; ORTIZ, R. W. P.; KARTNALLER, V.; VENÂNCIO, F. . Realtime measurement of pH in atmospheric and pressurized systems using a low-cost image analysis method. **IEEE Sensors Journal**, p. 1-1, 2019.

POLÍTICAS públicas levam acessibilidade e autonomia para pessoas com deficiência. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/assistencia-social/2021/09/politicas-publicas-levam-acessibilidade-e-autonomia-para-pessoas-com-deficiencia>. Acesso em: 04 jan. 2023.

PRAZERES, Gilza Maria Piedade; MACIEL, Adeilton Pereira; BATISTA FILHO, Antonio;. Equipamentos alternativos para o ensino de Química para alunos com deficiência visual. **Revista Docência do Ensino Superior**, v. 6, n. 2, 2016.

QUTIESHAT, Abubaker; AOUIDIDI, Rayhana; ARFAOUI, Rayan. Design and Construction of a Low-Cost Arduino-Based pH Sensor for the Visually Impaired Using Universal pH Paper. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 96, n. 10, p. 2333-2338, 10 set. 2019. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b0045>

RIO DE JANEIRO (Estado). **Institui Nova Disciplina Sobre O Sistema de Cotas Para Ingresso nas Universidades Públicas Estaduais e Dá Outras Providências..** Rio de Janeiro, RJ, Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/rj/lei-ordinaria-n-4151-2003-rio-de-janeiro-institui-nova-disciplina-sobre-o-sistema-de-cotas-para-ingresso-nas-universidades-publicas-estaduais-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 04 jan. 2023.

SANTOS, Alexsandro Jhones dos; LIMA, Maycon Douglas de; SILVA, Djalma Ribeiro da; GARCIA-SEGURA, Sergi; MARTÍNEZ-HUITLE, Carlos Alberto. Influence of the water hardness on the performance of electro-Fenton approach: decolorization and mineralization of eriochrome black t. **Electrochimica Acta**, [S.L.], v. 208, p. 156-163, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2016.05.015>.

SANTOS, Sérgio R.B.; DANIEL, Leonardo X.L.; SILVA, Aline de A.; DA SILVA, Paulo R.A.; DE MEDEIROS, Édipo A.S. e DOS SANTOS, Lilian M. Química experimental

para deficientes visuais. **Latin American Journal of Science Education**. Lat. Am. J. Sci. Educ. 2, 12015 (2015).

SASSAKI, Romeu Kazumi. **TERMINOLOGIA SOBRE DEFICIÊNCIA NA ERA DA INCLUSÃO**. 2011. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/gestao-na-camara-dos-deputados/responsabilidade-social-e-ambiental/acessibilidade/glossarios/terminologia-sobre-deficiencia-na-era-da-inclusao>. Acesso em: 03 jan. 2023.

SILVA, Bruno Enedino de Oliveira. **Desenvolvimento de procedimentos didático-pedagógicos de ensino de Química Experimental para a inclusão de alunos deficientes visuais**. 2018. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SILVA, J. F. C.; SILVA, A. P. M.; SENA, R. C. Real-time analysis to evaluate crystallization processes. In: **Crystallization - Science and Technology**. [s.l.] InTech, 2012. p. 305.

SIQUEIRA, Lucas A.; NUNES, Iara S.; ALMEIDA JUNIOR, Pedro L.; LYRA, Wellington S.; ANDRADE, Renato A.N.; ARAÚJO, Mario Cesar U.; ALMEIDA, Luciano F.; LIMA, Ricardo Alexandre C.. Accurate automatic titration procedure for low sharpness and dichroism in end point detection using digital movies as detection technique. **Microchemical Journal**, [S.L.], v. 133, p. 593-599, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2017.04.041>.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R; **Fundamentos de Química Analítica**. 8ª Edição ed. São Paulo - SP: [s. n.], 2006. E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ja00871a056>

SOONG, Ronald; AGMATA, Kyle; DOYLE, Tina; JENNE, Amy; ADAMO, Antonio; SIMPSON, Andre J.. Rethinking a Timeless Titration Experimental Setup through Automation and Open-Source Robotic Technology: making titration accessible for students of all abilities. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 96, n. 7, p. 1497-1501, 13 maio 2019. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00025>.



SOUZA, Íris Mara Guardatti *et al.*. **A inclusão no ensino superior: implantação de políticas de acessibilidade na Universidade Federal do Rio de Janeiro**. 2017.

Disponível em: [https://acessibilidade.ufrj.br/wp-content/uploads/2017/04/SouzaCohenCarreiraDiasHouzel2016CINTEDI\\_InclusaoEnsinoSuperiorImplantacaoPoliticPublicasUFR-1.pdf](https://acessibilidade.ufrj.br/wp-content/uploads/2017/04/SouzaCohenCarreiraDiasHouzel2016CINTEDI_InclusaoEnsinoSuperiorImplantacaoPoliticPublicasUFR-1.pdf). Acesso em: 16 set. 2022.

SUPALO, Cary Alan. **My Experiences as a Blind Chemistry Student**. 2012.

Disponível em: <https://nfb.org/images/nfb/publications/bm/bm12/bm1207/bm120703.htm>. Acesso em: 28 ago. 2021.

SUPALO, Cary Alan. **Teaching chemistry and other sciences to blind and low-vision students through hands-on learning experiences in high school science laboratorie**. 2010. 401 f. Tese (Doutorado) - Philosophy, Eberly College Of Science, The Pennsylvania State University, State College, 2010.

TALLMAN, Dennis E.. pH titration apparatus for the blind student. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 55, n. 9, p. 605, set. 1978. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ed055p605>.

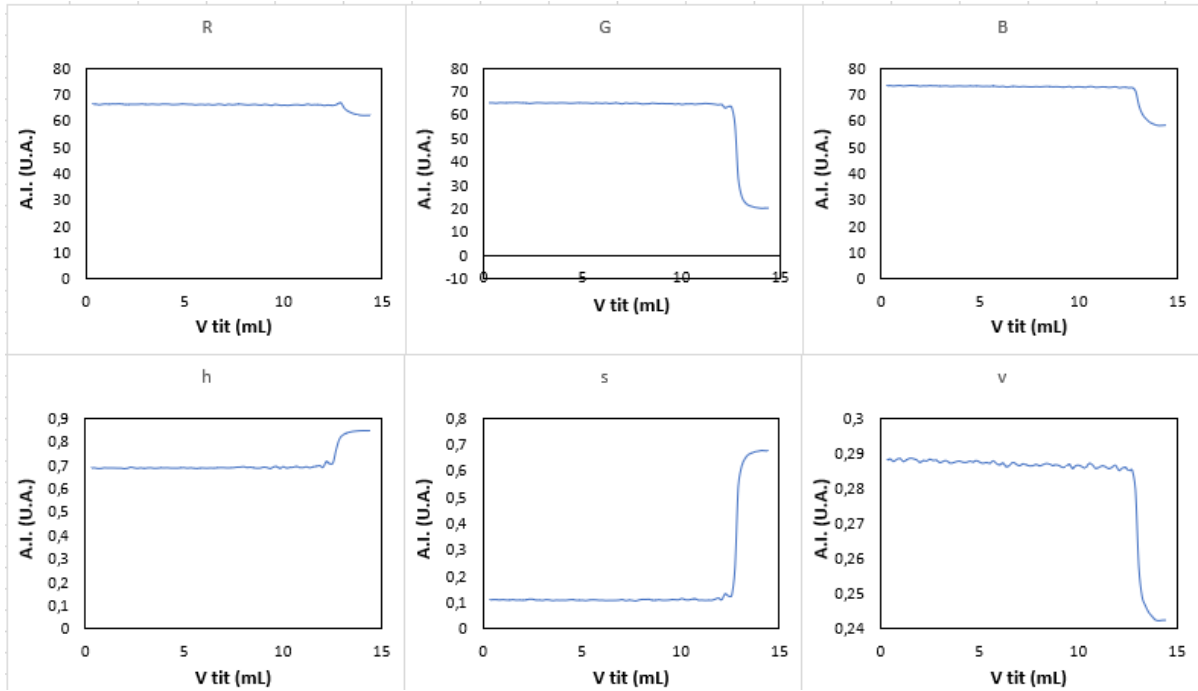
TSUBAKI, Kazunori. Colorimetric recognition using functional phenolphthalein derivatives. **Journal Of Inclusion Phenomena And Macrocyclic Chemistry**, [S.L.], v. 61, n. 3-4, p. 217-225, 7 mar. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10847-008-9419-3>.

VOGEL, Arthur Israel *et al.* **Vogel's textbook of Quantitative Chemical Analysis**. 5. ed. Essex: Longman Scientific & Technical, 1989.

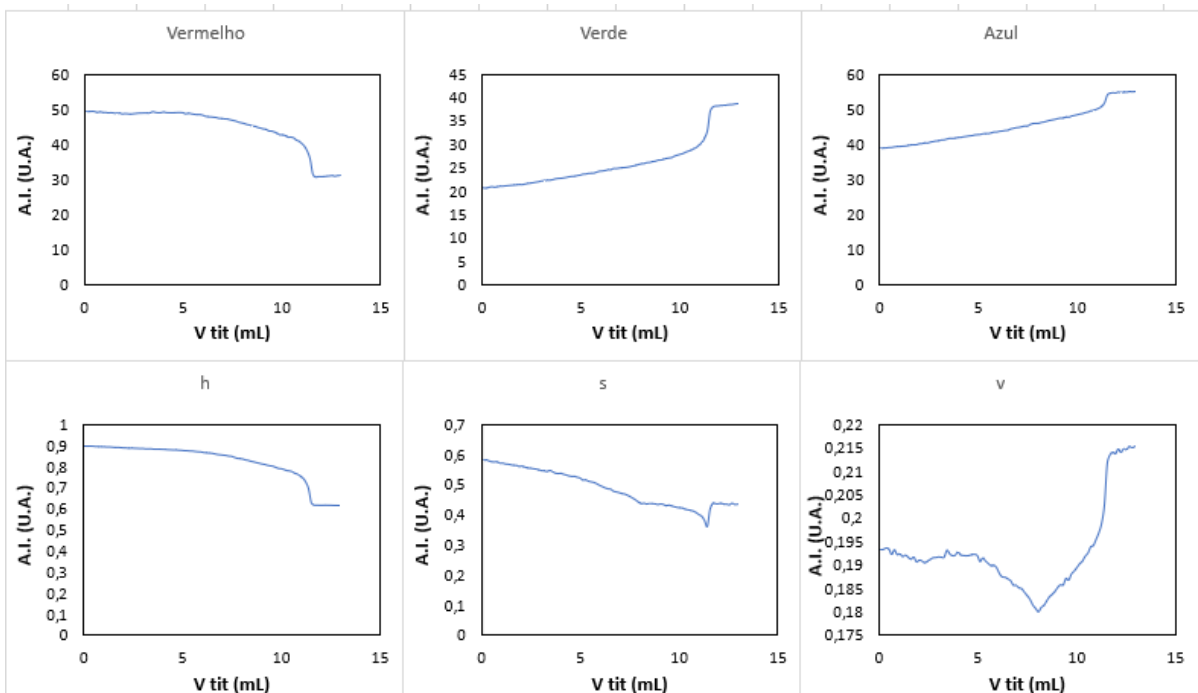
## APÊNDICE A

Gráficos gerados pela conversão da curva RGB em HSV

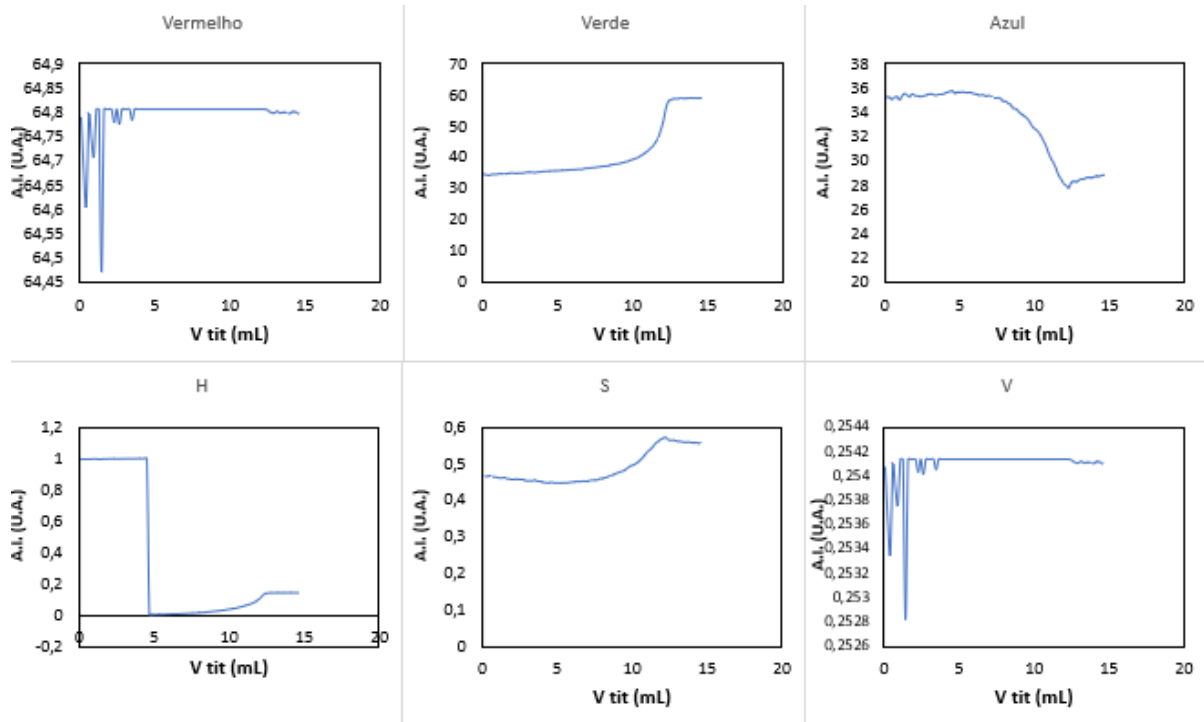
### 1) Fenolftaleína



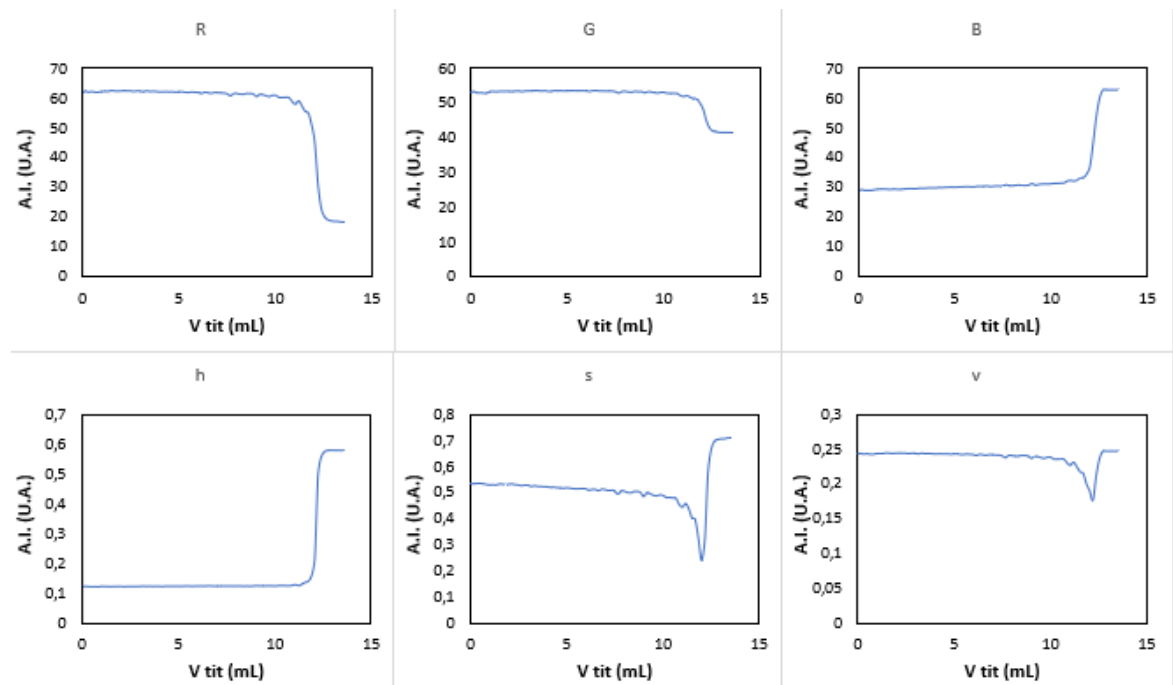
### 2) NET



## 3) Alaranjado de Metila



## 4) Verde de Bromocresol



## APÊNDICE B

Função utilizada para gerar som no Matlab através dos dados da curva

```
function som(y)
%%
%Pegar a função y (derivada do RGB) e normalizar

for i=1:size(y)
Fs = 10200;
secs = 0.1;
t = linspace(0, secs, Fs*secs+1);
t(end) = [];
y(i,1)
w = 2*pi*((y(i,1)+10)*10);
s = sin(w*t);
sound(s, Fs)

pause(0.5)

end
```