



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ISABELLA MOURA E OLIVEIRA

**Análise de Imagens para a  
Determinação de Parâmetros de  
Cinética Química**

Goiânia  
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE QUÍMICA

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

Isabella Moura e Oliveira

#### 3. Título do trabalho

Análise de Imagens para a Determinação de Parâmetros de Cinética Química

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;



Documento assinado eletronicamente por **Anselmo Elcana De Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 22/07/2024, às 12:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Isabella Moura E Oliveira, Discente**, em 22/07/2024, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4585161** e o código CRC **E8CA864C**.

ISABELLA MOURA E OLIVEIRA

# **Análise de Imagens para a Determinação de Parâmetros de Cinética Química**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Química.

**Área de concentração:** Química.

**Orientador:** Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira

Goiânia  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Oliveira, Isabella Moura e  
Análise de Imagens para a Determinação de Parâmetros de  
Cinética Química [manuscrito] / Isabella Moura e Oliveira. - 2024.  
82 f.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto  
de Química (IQ), Programa de Pós-Graduação em Química, Goiânia, 2024.  
Bibliografia. Anexos.  
Inclui siglas, abreviaturas, símbolos, tabelas.

1. smartphone. 2. análise de vídeo . 3. processamento de  
imagens . 4. ensino de graduação . 5. constante de velocidade. I.  
Oliveira, Anselmo Elcana de , orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE QUÍMICA

**ATA DE DEFESA DE TESE**

Ata Nº **01** da sessão de Defesa de Tese de **Isabella Moura e Oliveira** que confere o título de Mestra em **Química**, na área de concentração em **Química**.

Ao/s **trinta e um dias do mês maio do ano de dois mil e vinte e quatro**, a partir da(s) **14 horas**, no **Auditório 02** do **Instituto de Química**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada "**Cinética Química E Visão Computacional: Uma Aplicação Analítica E Didática Para A Reação Fenolftaleína + Naoh Em Ph > 10**". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Anselmo Elcana De Oliveira (IQ-UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Freddy Fernandes Guimarães (IQ-UFG)**, Professor Doutor **Clarimar José Coelho (PUC-GOIÁS)**. Durante a argüição os membros da banca **fizeram** sugestão de alteração do título do **trabalho** para "**Análise de Imagens para a Determinação de Parâmetros de Cinética Química**". A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido(a) o(a) candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Anselmo Elcana De Oliveira**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **trinta e um dias do mês de maio de dois mil e vinte e quatro**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Freddy Fernandes Guimaraes, Professor do Magistério Superior**, em 01/06/2024, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CLARIMAR JOSÉ COELHO, Usuário Externo**, em 03/06/2024, às 09:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anselmo Elcana De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 03/06/2024, às 09:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4581442** e o código CRC **F8DED5E6**.

---

**Referência:** Processo nº 23070.021902/2024-37

SEI nº 4581442

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador(a).

### **Isabella Moura e Oliveira**

Graduou-se em Licenciatura em Química pela Universidade Federal de Uberlândia em 2019. Durante a graduação foi bolsista pela CAPES no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) de 2014 a 2017. Também participou da primeira turma de residência pedagógica oferecida pela universidade, no período de 2018 a 2019. Participou de forma voluntária do programa de iniciação científica na área de físico-química. Atualmente, é professora de Química.

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio constante, e ao meu orientador, pela orientação e confiança. Ao meu marido, pelo incentivo e compreensão. Este trabalho é dedicado a todos que contribuíram para minha jornada acadêmica e pessoal.

---

## Agradecimentos

---

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por guiar meus passos e iluminar meu caminho durante toda a jornada deste mestrado.

Ao meu estimado orientador, Professor Doutor Anselmo Elcana, expresso minha mais profunda gratidão. Sua orientação, sabedoria, e paciência foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação e comprometimento foram inspiradores e essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço também ao Professor Doutor Freddy, que gentilmente disponibilizou sua aula para que eu pudesse ministrar e aplicar a metodologia em seu curso, o que contribuiu significativamente para a aplicação prática da minha pesquisa. Sua generosidade e conhecimento foram inestimáveis.

Ao Professor Doutor Márlon Herbert, manifesto minha gratidão pela orientação na parte pedagógica deste trabalho. Seus esclarecimentos e conselhos foram de grande valia para a qualidade e relevância do estudo.

Aos meus queridos pais, Vera Lúcia e Otávio, e minha amada avó, Gilda expresso minha profunda gratidão. Mesmo distantes, vocês sempre estiveram presentes, oferecendo amor, apoio e incentivo incondicionais. Seus exemplos de dedicação e perseverança são uma fonte constante de inspiração para mim.

À minha amada irmã Brendha, que sempre foi minha inspiração e fonte de força. Seu apoio inabalável e encorajamento constante foram fundamentais para superar os desafios desta jornada acadêmica.

Por fim, ao meu amado marido Maxsuel Alexandre, meu mais sincero agradecimento. Seu apoio incondicional, compreensão e incentivo foram essenciais para alcançar este objetivo. Sua presença ao meu lado tornou esta jornada mais significativa e gratificante.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

*Muito obrigada!*

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção. Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender.”

**Paulo Freire,**  
*Pedagogia da Autonomia: Saberes Necessários à Prática Educativa.*

---

## Resumo

---

Moura e Oliveira, Isabella. **Análise de Imagens para a Determinação de Parâmetros de Cinética Química**. Goiânia, 2024. 82p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás.

Um aparato experimental de baixo custo foi construído a partir de um dispositivo de captura de vídeo (*smartphone*) e de uma caixa de iluminação. Esse sistema foi empregado para determinar a constante de velocidade do descolorimento da fenoltaleína em meio básico ( $\text{pH} > 10$ ) usando análise de vídeo. Todo o desenvolvimento computacional foi realizado usando softwares livres. A metodologia analítica desenvolvida é estatisticamente equivalente à determinação feita pelo método espectrofotométrico de referência ( $\lambda = 550 \text{ nm}$ ). Um estudo de caso com categorização foi elaborado para avaliar o emprego da metodologia de análise de vídeo como ferramenta de ensino em uma aula do curso de Físico-Química Experimental. Os resultados obtidos reforçam que a metodologia desenvolvida apresentou boa concordância entre os resultados obtidos em sala com os da literatura. Observou-se, também, um interesse positivo dos alunos pela abordagem alternativa, destacando a praticidade e a mobilidade oferecidas pela nova metodologia. Ou seja, essa metodologia pode ser eficaz também em laboratórios de ensino, especialmente como uma alternativa de baixo custo ao uso de espectrofotômetros UV/Vis.

### Palavras-chave

smartphone; análise de vídeo; processamento de imagens; ensino de graduação; constante de velocidade.

---

## Abstract

---

Moura e Oliveira, Isabella. **CHEMICAL KINETICS AND COMPUTER VISION**. Goiânia, 2024. 82p. MSc. Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás.

A low-cost experimental apparatus was built from a video capture device (smartphone) and a lighting box. This system was used to determine the rate constant of fading of Phenolphthalein in NaOH (pH > 10) using video analysis. All computational development was carried out using free software. The analytical methodology developed is statistically equivalent to the determination made by the reference spectrophotometric method ( $\lambda = 550$  nm). A case study using categorization was designed to evaluate the use of video analysis methodology as a teaching tool in a class on the Experimental Physical Chemistry course. The results obtained reinforce that the methodology developed showed good agreement between the results obtained in the classroom and those in the literature. There was also a positive interest among students in the alternative approach, highlighting the practicality and mobility offered by the new methodology. In other words, this methodology can also be effective in teaching laboratories, especially as a low-cost alternative to the use of UV/Vis spectrophotometers.

### Keywords

smartphone; video analysis; image processing; undergraduate education; rate constant.

---

# Sumário

---

Lista de Figuras	15
Lista de Tabelas	17
1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	22
3 REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1 Estudo de Caso	23
3.1.1 A Utilização da Categorização com Instrumentos Analíticos em Estudos de Casos	24
3.2 Visão Computacional	24
3.3 Processamento de Imagem e Espaço de Cores	26
3.3.1 Sistema RGB	27
3.3.2 Sistema HSV	28
4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	31
4.1 Reação Química do Indicador Fenolftaleína	31
4.2 Lei da Velocidade de Descoloração do Indicador Fenolftaleína em pH > 10	33
4.3 Preparo das Soluções	34
4.4 Espectrofotômetro UV/Vis	35
4.4.1 Medidas Espectrofotométricas	36
4.5 Caixa de Iluminação	37
4.6 Captura em Vídeo das Reações	38
4.6.1 Configuração do <i>smartphone</i>	38
4.6.2 Cinética Química - Sistema Fenolftaleína-NaOH	38
4.7 Extração e Processamento de Imagens a Partir dos Vídeos	39
4.8 Estudo de Caso com Categorização	40
4.8.1 Aplicação da Metodologia	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Otimização do Revestimento Interno da Parte Inferior da Caixa	44
5.2 Determinação da Constante de Velocidade Por Análise de Vídeo	46
5.3 Determinação da Constante de Velocidade pelo Método Espectrofotométrico	50
5.3.1 Resultados da Aula Experimental	51
5.3.2 Comparação dos Resultados Espectrofotométricos, Vídeos e Literatura	53
5.3.3 Correlações Experimentais: Resultados e Implicações	53
5.3.4 Custo e Acessibilidade	54
5.3.5 Experiência e Percepção Geral	57

5.3.6	Uso do Espectrofotômetro: Desafios e Limitações	59
5.3.7	Facilidade do Uso e Implementação	60
6	CONCLUSÃO	62
	Referências Bibliográficas	63
A	Roteiro da Aula Experimental	71
B	Questionário	78

---

## Lista de Figuras

---

- 3.1 Formação de cores visíveis pela combinação de feixes de luz, em cores aditivas, branca é a junção das cores verde, vermelho e azul. Já em cores subtrativas, branca corresponde à ausência de cor. Fonte: Adaptado de [61] 27
- 3.2 Cubo tridimensional que representa o espaço de cores RGB e as coordenadas nos eixos. Fonte: Adaptado de Pngwing [12] 27
- 3.3 Representação do modelo HSV. Fonte: Adaptado de Imgbin[31]. 28
- 3.4 Relação entre o modelo de cores RGB e o modelo de cores HSV. Fonte: GONZALEZ [24] 29
- 4.1 Estruturas do indicador fenolftaleína em diferentes pH. Fonte:UNIVERSITY OF VALENCIA[65] 31
- 4.2 Atenuação de um feixe de radiação por uma solução absorvente. A seta incidente, representada por  $P_0$ , feixe maior, indica maior potência radiante,  $P$ , em relação à transmitida pela solução. Fonte:Skoog [62] 36
- 4.3 Componentes instrumentais para a espectrofotometria UV/Vis. Fonte: ROCHA, F. S. M. D.; LOSS, T.; ALMEIDA, B. L. C.; MOTTA, M. S.; KALINKE, M. A. [56] 37
- 4.4 Caixa de iluminação para registro dos vídeos: (a) visão de frente; (b) porta lateral para manipulações; (c) visão superior da caixa onde se encontram as hastes e as lâmpadas de leds. Fonte: Arquivo Pessoal 38
- 4.5 (a) solução de NaOH  $0,280 \text{ mol L}^{-1}$  antes da adição do indicador fenolftaleína; em (b) adição de fenolftaleína; em (c) homogeneização da fenolftaleína na solução; em (d) descoloração da fenolftaleína na solução; (e) após a descoloração de seis minutos da fenolftaleína. Fonte: Arquivo Pessoal 39
- 4.6 Representação da imagem extraída do vídeo (a) da solução de NaOH  $0,280 \text{ mol L}^{-1}$ , seguida pela (b) seleção da região de interesse e da (c) ROI. Fonte: Arquivo Pessoal 41
- 4.7 (a) Captura em vídeo da reação da descoloração do indicador fenolftaleína utilizando a caixa de iluminação durante a aula experimental. (b) Extração dos dados da captura em vídeo usando um notebook. Fonte: Arquivo Pessoal 43
- 5.1 Círculos feitos de papel sulfite branco para serem analisados qual o melhor raio. Fonte: Arquivo pessoal. 44
- 5.2 Gráfico de  $\bar{S}$  em função dos raios dos círculos. 45
- 5.3 Fluxograma para processamento dos vídeos. 47

5.4	Gráfico de $\bar{S}$ versus o número da <i>frame</i> da reação do indicador fenolftaleína com NaOH 0,280 mol L <sup>-1</sup> . No gráfico é possível visualizar os recortes das frames: a) início da gravação; b) adição do indicador fenolftaleína; c) máximo da curva; d) mudança da coloração da solução; e) continuação da mudança de coloração e f) última imagem do vídeo.	48
5.5	Modelo do ajuste não-linear da reação do indicador fenolftaleína com NaOH 0,280 mol L <sup>-1</sup> .	49
5.6	Gráfico da <i>In Absorbância x tempo</i> , $\lambda = 550$ nm, para fenolftaleína em NaOH 0,045 mol L <sup>-1</sup> .	51
5.7	Número de estudantes que já utilizaram o aparelho espectrofotômetro UV/Vis.	54
5.8	Quantidade de alunos já utilizaram <i>smartphones</i> em aulas experimentais.	55
5.9	Divisão da categoria custo e acessibilidade.	55
5.10	Respostas dos alunos para a categoria <i>Experiência e Percepção Geral</i> .	57
5.11	Respostas a categoria "Uso do Espectrofotômetro: Desafios e Limitações".	59
5.12	Respostas a categoria "Facilidade do Uso e Implementação".	61

---

## Lista de Tabelas

---

4.1	Informações sobre as corridas cinéticas registradas em diferentes concentrações de NaOH	40
4.2	Duração da Reação para Diferentes Grupos e Concentrações de NaOH	42
5.1	Informações sobre os vídeos registrados da reação do indicador fenolftaleína em diferentes concentrações de NaOH.	46
5.2	Resultados dos parâmetros $a$ , $b$ e $c$ de todas as reações.	49
5.3	Constantes cinética, $k$ , e molar, $k'$ , para o indicador fenolftaleína determinadas pela análise de vídeo.	50
5.4	Constantes cinética, $k$ e molar, $k'$ para a ocorrência da reação do indicador fenolftaleína em NaOH determinados pelas medidas espectrofotométricas.	51
5.5	Resultados dos parâmetros cinéticos determinados pelos alunos.	52
5.6	Comparação dos resultados para a constante cinética molar, $k'$ .	53

---

# INTRODUÇÃO

---

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), como o emprego de *smartphones* como ferramenta pedagógica, são reconhecidas como metodologias de ensino pois envolvem a formulação da ideia para utilizar o recurso (*smartphone*) e a execução direta do aluno (manipulação do *smartphone*) [27]. São, assim, caracterizadas como suportes no ensino de diversas áreas de conhecimento .

Devido à recente pandemia da COVID-19<sup>1</sup>, os cursos de aulas teóricas e, em especial, práticas, enfrentaram dificuldades no ensino remoto, principalmente nas áreas de ciências [58]. Metodologias de ensino foram repensadas e reformuladas, tanto nos níveis iniciais (ensinos Fundamental e Médio) quanto nos superiores (Graduação e Pós-Graduação), para que os discentes conseguissem utilizar recursos disponíveis do cotidiano em aulas remotas, além de fortalecerem o ensino nas aulas presenciais [14]. Nesse contexto, a visão computacional emergiu como uma ferramenta crucial para aprimorar o ensino remoto e presencial, oferecendo soluções inovadoras para a realização de atividades práticas e experimentais. Por meio da análise e processamento de imagens e vídeos, a visão computacional permite aos estudantes realizar experimentos virtuais, simulações e análises de dados, ampliando suas experiências de aprendizado além das limitações físicas impostas pela pandemia [18].

Madriz e colaboradores [37] são exemplos de pesquisadores que reformularam as aulas experimentais, como a de cinética química. Eles buscaram equipar os alunos da graduação do segundo ano de Química, no curso de Físico-Química, com ferramentas e estratégias para determinar empiricamente os parâmetros cinéticos, como ordem de reação, constante de velocidade, fator de frequência e energia de ligação. A abordagem utilizada com o auxílio do *smartphone*, compunha-se em gravar o branqueamento do corante alimentício presente na bebida comercial *POWERADE* de sabor *Fruit Punch* , da marca Coca-Cola *Company*, também conhecido com RD40, de coloração avermelhada em hipoclorito de sódio, solução de NaOCl.

---

<sup>1</sup>Entre 11/03/2020 [48] e 05/05/2023 [49].

Na Química, a utilização de vídeos e imagens obtidos com dispositivos como *smartphone* alinhados a softwares que extraem informações numéricas dos canais de cores das imagens de interesse já é uma alternativa na coleta de dados [46]. Como exemplos: o emprego da câmera de um *smartphone Samsung*, modelo *Galaxy S5*, para registrar o desbotamento da cor violeta intensa do corante trifenilmetano (cristal de violeta) na reação com NaOH para medir a concentração do corante [8]; determinação da massa de cobre dissolvida em uma solução contendo cobre (II) e ácido nítrico, focando a câmera do *smartphone* na tonalidade da cor que a solução apresenta [45]; registro da descoloração de uma amostra de tris-(1,10- fenantrolina)ferro(II) para determinar a constante de ligação e a concentração de ferro na solução [46]; e a aplicação da captura de imagens de um *smartphone* para medir a adsorção do indicador azul de metileno pela casca de arroz [60].

Em 2017 foi desenvolvido um aplicativo nomeado de *PhotoMetrizPro* [53] para *smartphone* que tem a capacidade de capturar imagens e quantificar a concentração de ferro em três amostras de vitamina de suplemento (sulfato ferroso) com concentrações de 14, 40 e 50 mg de ferro, por comprimido. Para isso, empregaram técnicas de correlação linear simples para análise univariada, além de usar Análise de Componentes Principais (PCA) [28]. Esse aplicativo foi utilizado no acompanhamento da concentração de flúor em sistemas alternativos de abastecimento de água [4], na identificação de etanol em cachaça [5] e no monitoramento de titulações ácido-base [47].

Na área de Ensino de Química, o processamento de vídeo e imagem tem sido implementado em salas de aula e laboratórios com auxílio de metodologias do tipo "faça você mesmo", como na construção de um aparato para análise de dados [35]. Hosker [30] fabricou um aparato com caixa de sapato para auxiliar os alunos na captura de imagens do *smartphone* para, posteriormente, determinar o comprimento de onda, além calcular a absorvância de soluções dos indicadores p-nitroanilina e *Brilliant Blue* pelo aplicativo *Shoebox Spectrophotometer*. Bogucki e colaboradores [6] construíram um adaptador universal para *smartphone* de feixe duplo com, aproximadamente R\$ 10,0 (dez reais). O instrumento permitiu o registro de 5,5 minutos de vídeo da solução de nitrato de amônio para a determinação da relação quantitativa entre absorção e a concentração do nitrato de amônio.

No ensino de Física [19] aplicaram uma aula experimental no ensino médio para ensinar conceitos de espectrofotometria. Para isso, os alunos registraram vídeos dos experimentos e analisaram as imagens no aplicativo *SpectraUBP* para determinação da emissão e absorção da luz, utilizando diferentes fontes emissoras de luz (lâmpadas e LEDs) e substâncias coloridas (corantes alimentícios azul e vermelho diluídos em água). Bruininls e Juurlink [7] retrataram a importância e a facilidade do uso do *smartphone* em aulas experimentais de nível médio, e desenvolveram um aparato para ajudar a captura de imagens, substituindo o uso do espectrofotômetro na identificação de padrões de difração.

Em 2021 [59] confeccionaram, junto aos discentes, um equipamento de cerca de R\$ 100,0 (cem reais) com materiais MDF (Medium Density Fiberboard, painel de fibras de média densidade) e *webcam* para auxiliar os registros na determinação da constante de equilíbrio termodinâmico do dihidroxiantraquinona-3-sulfonato de sódio e obtiveram os espectros de fluorescência de pigmentos naturais de clorofila.

Alguns autores desenvolveram kits "faça você mesmo". Por exemplo, Levente Pap [50] descreve um artefato onde os alunos de graduação testaram um kit que facilitou os registros dos corantes alimentícios para determinação da adsorção, além de ajudar na compreensão do conteúdo de espectrofotometria. Já Kolesnichenko e colaboradores [34] desenvolveram um kit laboratorial de aproximadamente R\$77,00 (setenta e sete reais) no qual os alunos de graduação, do segundo ano de química, mediram os espectros de absorção dos corantes cumarina (amarelo) e cresil violeta (violeta) e da piridina (vermelho). Nos últimos anos, houve avanços impressionantes na tecnologia de *smartphones*, especialmente em relação aos recursos de suas câmeras [34]. Esses avanços têm permitido o uso de vídeos e imagens obtidos com *smartphones* alinhados a softwares que extraem informações numéricas dos canais de cores das imagens de interesse na coleta de dados em Química. Com isso, diversas iniciativas foram verificadas na análise da pressão arterial [21], na detecção do vírus *Zika* [9] e da bactéria *Salmonella typhimurium* [67], dentre outros exemplos.

Embora as metodologias desenvolvidas com o uso de imagens geradas por câmeras de *smartphones* não sejam tão precisas quanto os espectrofotômetros dedicados, elas podem fornecer resultados aproximados em muitas aplicações. A base dessa abordagem é que os *smartphones* possuem câmeras capazes de capturar imagens e vídeos com alta resolução e sensibilidade à cor [7]. Além disso, existem aplicativos disponíveis que podem processar essas imagens e extrair informações espectrais a partir delas como o *GoSpectro*[25] e *PhotoMetriz*[53]).

De modo geral, em um laboratório de ensino há poucas unidades de espectrofotômetros UV/Vis, que têm seu uso alternado entre aulas de graduação e pós-graduação, além do emprego em pesquisa. Dessa forma, as aulas práticas são limitadas para os discentes, visto que há um revezamento em grupos, ou simplesmente esses alunos são meros espectadores do experimento [36].

Assim, almejando ampliar o processo de ensino-aprendizagem, bem como promover a agilidade e rapidez em aulas práticas além, naturalmente, da economia, o uso de ferramentas como *smartphones* que se baseiam na captura de vídeos e imagens está crescendo na área de ensino, com resultados significativos, semelhantes aos obtidos a alguns métodos instrumentais tradicionais [35]. Embora os *smartphones* não substituam totalmente os espectrofotômetros tradicionais em todas as aplicações, especialmente na região do UV, eles oferecem uma alternativa acessível e portátil em muitos casos. Essa aborda-

---

gem tem sido especialmente útil em áreas com recursos limitados, onde a disponibilidade de equipamentos de laboratório é escassa.

Em um espectrofotômetro UV/Vis, a análise é baseada na Lei de Lambert-Beer que estabelece uma relação linear entre a absorvância e a concentração da amostra sendo, portanto, possível determinar a concentração de um analito por meio de sua curva de calibração [13].

De acordo com Madriz [37], um aparelho que consiga capturar imagens/vídeos, como um *smartphone*/câmera, é capaz de mensurar fótons e realizar medições que podem ser correlacionadas aos dados gerados por uma medida espectrofotométrica. Para reconhecer e determinar as medidas fornecidas por um *smartphone*/câmera, a imagem/vídeo registrada é processada e convertida em valores numéricos, com base nas intensidades de suas cores primárias, como no sistema de cores RGB (Red, Green, Blue).

Almejando contribuir com o processo de ensino-aprendizagem, o presente trabalho desenvolveu um aparato experimental, de baixo custo, para registrar os vídeos de uma reação química usando um *smartphone*/câmera. Além disso, o estudo propõe uma nova metodologia de aula sobre cinética química para determinar a constante de velocidade da reação do indicador fenolftaleína, ( $\text{P}^{2-}$ ), em  $\text{pH} > 10$ , usando análise de vídeo. Essa metodologia é uma alternativa ao método convencional que utiliza um espectrofotômetro UV/Vis e foi aplicada em uma aula experimental de físico-química para graduandos do curso de Química, bacharelado.

## OBJETIVOS

---

- Propor uma metodologia experimental, de baixo custo, para a análise de vídeo da reação de descoloração do indicador fenolftaleína em solução de NaOH(aq) em pH > 10;
- Criar uma rotina computacional, em R, para determinar a constante de velocidade da reação a partir do vídeo da reação de decaimento da fenolftaleína;
- Comparar a metodologia desenvolvida visão computacional com a metodologia espectrofotométrica padrão ( $\lambda = 550 \text{ nm}$ );
- Aplicar a metodologia de análise de vídeo da reação de decaimento da fenolftaleína em uma aula de Físico-Química experimental do curso de graduação em Química bacharelado da UFG.

## REFERENCIAL TEÓRICO

---

### 3.1 Estudo de Caso

O estudo de caso é um método de pesquisa amplamente utilizado na educação para examinar fenômenos complexos em situações específicas [69]. Um estudo de caso pode ser definido como uma investigação empírica que examina um fenômeno contemporâneo em um contexto do mundo real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos [63]. A abordagem do estudo de caso permite uma compreensão profunda e detalhada de questões complexas e fornece informações valiosas sobre a prática educacional [69].

O uso de práticas experienciais em sala de aula tem sido reconhecido como uma estratégia eficaz para promover a aprendizagem ativa e o envolvimento dos alunos [29]. Por meio de experimentos práticos, os alunos exploram conceitos abstratos de maneiras concretas e obtêm uma compreensão mais profunda dos princípios científicos. Além disso, os experimentos práticos podem promover o desenvolvimento de habilidades práticas, como pensamento crítico, resolução de problemas e trabalho em equipe [44].

A experimentação em sala de aula é fundamental para o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas, colaboração e pensamento crítico, competências essenciais para o sucesso dos alunos no século XXI [16]. Através da experimentação prática, os alunos têm a oportunidade de aplicar conceitos teóricos em situações do mundo real, tornando a aprendizagem mais significativa.

Um estudo de caso investigaram o impacto da realização de experimentos práticos em sala de aula no desempenho científico dos alunos. Os resultados deste estudo mostraram que os alunos que participaram de exercícios de laboratório melhoraram significativamente seu desempenho em comparação com os alunos que receberam instrução tradicional baseada em palestras. Foram realizados experimentos de demonstração, experimentos de pesquisa e experimentos de simulação. Os resultados mostraram que os alunos demonstraram maior interesse e envolvimento em experimentos de pesquisa e foram capazes de formular questões e planejar e conduzir suas próprias investigações [33].

Além disso, em estudo longitudinal realizado por Garcia [32] investigaram os efeitos de uma experiência de prática docente durante um período de três anos. Os pesquisadores categorizaram os experimentos com base em sua aplicabilidade ao currículo e à aprendizagem dos alunos. Os resultados mostraram que o desempenho acadêmico dos alunos e a retenção de conhecimento continuaram a melhorar ao longo do tempo.

### **3.1.1 A Utilização da Categorização com Instrumentos Analíticos em Estudos de Casos**

A categorização emerge como um instrumento analítico fundamental nos estudos de caso, desempenhando um papel crucial na organização e interpretação de dados complexos. Conforme delineado por Miles [43], essa técnica permite aos pesquisadores discernir padrões, relações e temas intrincados no âmago do estudo de caso. Ao empregar categorias predefinidas ou emergentes, os investigadores podem estruturar e contextualizar as informações coletadas, desvelando nuances e subtextos subjacentes.

Trista Hollweck [69] sublinha que a categorização em estudos de caso não se limita a uma mera rotulagem de dados, mas sim engloba um processo reflexivo e iterativo. Essa abordagem dinâmica possibilita aos pesquisadores uma análise mais aprofundada e uma compreensão mais rica do fenômeno sob escrutínio. Ao revisar continuamente as categorias em consonância com os percepções emergentes, os pesquisadores têm a oportunidade de refinar sua análise e capturar a complexidade do contexto investigado.

Além disso, a categorização pode ser sinergicamente integrada a outras técnicas analíticas, como a codificação aberta, axial e seletiva [11]. Essa combinação de métodos proporciona uma estrutura sólida para a análise dos dados do estudo de caso, conferindo uma profundidade analítica e uma precisão interpretativa incomparáveis.

Sharan Merriam [40] realça que a intersecção entre categorização e outras técnicas analíticas enriquece a investigação qualitativa, possibilitando uma compreensão holística e multifacetada do fenômeno em estudo. Ao empregar uma abordagem integrada, os pesquisadores podem explorar as interconexões entre diferentes dimensões do estudo de caso, revelando percepções profundos e perspicazes.

## **3.2 Visão Computacional**

A visão computacional é uma área da ciência da computação que se preocupa com a automação da interpretação de informações visuais por meio de computadores. Ela envolve o desenvolvimento de algoritmos e técnicas para adquirir, processar, analisar e compreender imagens e vídeos digitais [38]. Essa disciplina combina conhecimentos

de diferentes áreas, como processamento de imagens, reconhecimento de padrões, inteligência artificial e aprendizado de máquina [42]. A visão computacional tem aplicações em uma variedade de campos, incluindo medicina, robótica, automação industrial, segurança, realidade virtual, entre outros. Seu uso crescente tem impulsionado avanços significativos em áreas como reconhecimento facial, detecção de objetos, segmentação de imagens, entre outros, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas mais inteligentes e autônomos [57]. A visão computacional é uma disciplina multidisciplinar da ciência da computação que visa automatizar a interpretação de informações visuais por meio de algoritmos e técnicas computacionais. Sua abordagem abrange conhecimentos advindos de áreas como processamento de imagens, reconhecimento de padrões, inteligência artificial e aprendizado de máquina. Com aplicações em diversos campos, como medicina, robótica, automação industrial, segurança e realidade virtual, a visão computacional tem impulsionado avanços significativos em reconhecimento facial, detecção de objetos, segmentação de imagens e outras áreas.

No contexto educacional, a visão computacional desempenha um papel relevante ao oferecer uma abordagem prática e inovadora para o ensino de disciplinas como a química. Ao facilitar a visualização e compreensão de conceitos abstratos, como estruturas moleculares tridimensionais e interações entre partículas em nível molecular, ela proporciona uma experiência de aprendizado mais envolvente e prática para os alunos. Integrar a visão computacional ao ensino desde as etapas iniciais prepara os alunos para enfrentar desafios reais no campo da química, estimulando o desenvolvimento de habilidades essenciais, como resolução de problemas e pensamento crítico. Essa abordagem inovadora promove uma maior interatividade e engajamento dos alunos, contribuindo significativamente para a formação de profissionais mais qualificados e preparados para os desafios do século XXI [20].

Além das aplicações mencionadas, a visão computacional tem sido fundamental em uma ampla gama de campos e setores. Por exemplo, na medicina, ela é utilizada em diagnósticos médicos auxiliados por computador, permitindo a detecção precoce de doenças a partir de imagens de exames como radiografias, ressonâncias magnéticas e tomografias computadorizadas [66]. Na indústria automobilística, a visão computacional é empregada em sistemas de assistência ao motorista, como detecção de pedestres, reconhecimento de placas de trânsito e prevenção de colisões [22].

Além disso, a visão computacional desempenha um papel crucial na automação industrial, onde é utilizada para inspeção de qualidade de produtos, monitoramento de linhas de produção e robôs industriais [68]. Na área de segurança, sistemas de vigilância baseados em visão computacional são capazes de identificar atividades suspeitas em ambientes monitorados e auxiliar na identificação de pessoas e objetos [3].

### 3.3 Processamento de Imagem e Espaço de Cores

O processamento de vídeo é uma tecnologia que permite que os diferentes sistemas eletrônicos que possuem câmera capturem, processem e extraiam os dados de uma gravação.

O processamento de uma imagem em um software necessita de modelos matemáticos para sua representação e manipulação. O tratamento da imagem permite extrair e identificar informações presentes, baseando-se na forma, na textura, nos níveis de cinza ou nas cores dos objetos presentes nas imagens [52]. Portanto, uma imagem é também definida como uma função de intensidade luminosa, representada por  $f(x, y)$ , em que  $x$  e  $y$  são coordenadas no plano e  $f$  fornece a intensidade, ou o brilho, da imagem em um determinado ponto. Quando as coordenadas e os valores de intensidade de  $f$  são quantidades finitas e discretas, Gonzalez e Woods [24] os chamam de *imagem digital*.

A imagem é formada por dois componentes: a quantidade de *iluminação* da fonte que incide sobre o objeto e a quantidade de iluminação *refletida* por esse objeto. Esses componentes são chamados de componentes de *iluminação* e *refletância* e são expressos por  $i(x, y)$  e  $r(x, y)$ , respectivamente. As duas funções se combinam como um produto para formar  $f(x, y)$  [24]. As características de  $i(x, y)$  são determinadas pela fonte de iluminação e as de  $r(x, y)$  são determinadas pelas características dos objetos de interesse. Combinando-se a *iluminação* e *refletância*, a imagem é formada de acordo com a equação 3-1.

$$f(x, y) = i(x, y) \times r(x, y) \quad (3-1)$$

De acordo com Donald [51], os espaços de cores são modelos matemáticos abstratos utilizados para padronizar e representar numericamente as cores. Frequentemente, são exibidos em uma sequência ordenada de três ou quatro números sendo capazes, então, de serem combinados em diferentes ordens e valores, com o objetivo de retratar todo o espectro de cor possível para cada espaço de cor.

Os sistemas de cores, ou modelos de cores, são formas de representar as cores que as imagens formam em diferentes espaços. Os mais conhecidos são o sistema RGB (*red, green, blue*) e HSV. A escolha do sistema varia de acordo com o objeto ou o ambiente que se deseja retratar. Além disso, os modelos de cores podem ser *aditivos* ou *subtrativos* (Figura 3.1). As cores representadas nos modelos aditivos são combinações de diversos comprimentos de ondas luminosas, sendo o branco a junção das cores verde, vermelha e azul. Em modelos subtrativos, branco corresponde à ausência das cores ciano, magenta e amarela[24].

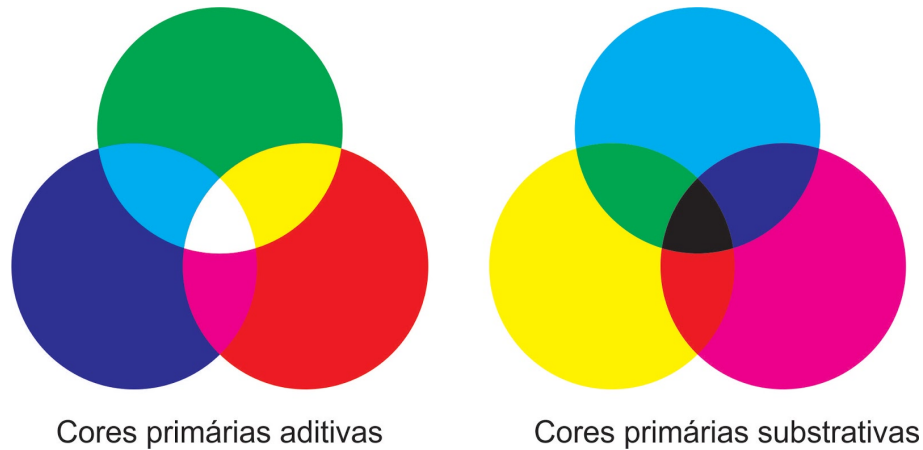


Figura 3.1: Formação de cores visíveis pela combinação de feixes de luz, em cores aditivas, branca é a junção das cores verde, vermelho e azul. Já em cores subtrativas, branca corresponde à ausência de cor. Fonte: Adaptado de [61]

### 3.3.1 Sistema RGB

O sistema RGB é um modelo aditivo, no qual as cores são obtidas por meio das misturas das cores primárias *red* (R), *green* (G) e *blue* (B), em uma matriz tridimensional que pode ser visualizada em um cubo, cujo eixos representam as coordenadas de cada cor primária (Figura 3.2). Cada cor é composta de um valor numérico inteiro entre 0 e 255, que são valores que se referem às coordenadas dos canais R, G e B. Esse sistema é o mais utilizado para armazenar e representar imagens digitais, como monitores e ecrãs de televisão [15]. As cores emitidas por um monitor de um computador por exemplo, são as que os olhos humanos são capazes de captar, ou seja, o vermelho, o verde e o azul, que ao combinarem geram milhões de cores.

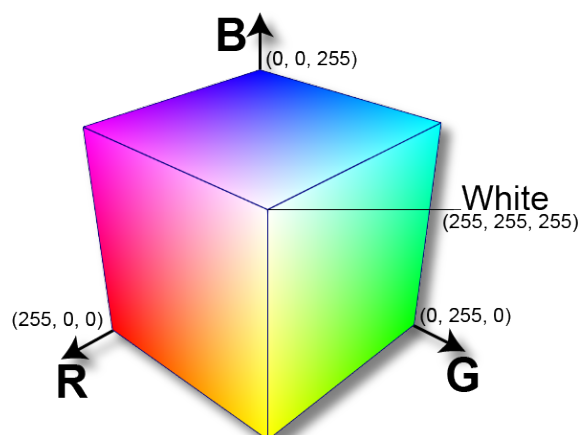


Figura 3.2: Cubo tridimensional que representa o espaço de cores RGB e as coordenadas nos eixos. Fonte: Adaptado de Pngwing [12]

Cada ponto no espaço representado pelo cubo da Figura 3.2 retrata uma cor,

criada pela combinação das coordenadas dos três canais monocromáticos RGB. Desse modo, a combinação dos três é uma coordenada que será visualizada como parte da imagem a ser representada, conhecida como *pixel* (elemento da imagem) [15]. O sistema RGB compreende mais de 16 milhões de pontos que representam diferentes coordenadas. De acordo com [52] o branco é composta pela intensidade máxima (255, 255, 255). Já o preto, por outro lado, é a ausência de cores, ou intensidade mínima (0, 0, 0). Em resumo, o cubo da Figura 3.2 possui  $(2^8)^3 = 16.777.216$  tons de cores<sup>1</sup>.

### 3.3.2 Sistema HSV

Os seres humanos descrevem os objetos que possuem cores com base em seu *matiz* (H), *saturação* (S) e *valor* (V), ou brilho. O matiz (H), também conhecido como tonalidade, refere-se a uma cor pura, que abrange todas as cores do espectro, e seus valores variam de 0° a 360°. A saturação (S) é uma medida do grau de diluição de uma cor pura por uma luz branca. Quanto menor o seu valor, a imagem adquire um tom cinza; quanto maior, mais “pura” é a imagem. Já o valor (V) descreve a quantidade de luz na imagem.

O modelo HSV (Figura 3.3) é derivado do modelo HSI, representando informações de uma imagem, separando o componente de valor (intensidade) dos componentes de cor (matiz e saturação). Essa característica no modelo HSV é importante no desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagens. Em sua obra Gonzalez [24], retrata o modelo HSV como sendo o mais utilizado pela visão computacional, pois é o que mais se assemelha à percepção de cor humana. Além disso, eles exemplificam a aplicação do modelo na automatização de colheita de frutas pelo amadurecimento evidenciado pela sua coloração externa.

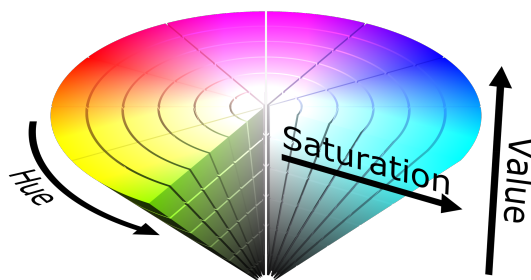


Figura 3.3: Representação do modelo HSV. Fonte: Adaptado de Imgin[31].

<sup>1</sup>Representação binária (0 e 1) no espaço de 8 bits para os 3 eixos.

Uma imagem colorida RGB pode ser convertida para o sistema de cores HSV. Em um cubo do sistema RGB, Figura 3.4 com orientação do vértice preto (0, 0, 0) para baixo e com o vértice branco (1, 1, 1) para cima é possível extrair a intensidade passando um plano perpendicular ao eixo de intensidade e contendo o ponto da cor. A interseção do plano com o eixo de intensidade daria um ponto com um valor de intensidade no intervalo [0, 1]. A saturação (S) pode ser observada como a distância em relação ao eixo da intensidade. No caso da Figura 3.4, a saturação dos pontos no eixo de intensidade é zero. Já a matiz (H) é representado por um plano de três pontos (preto, branco e ciano).

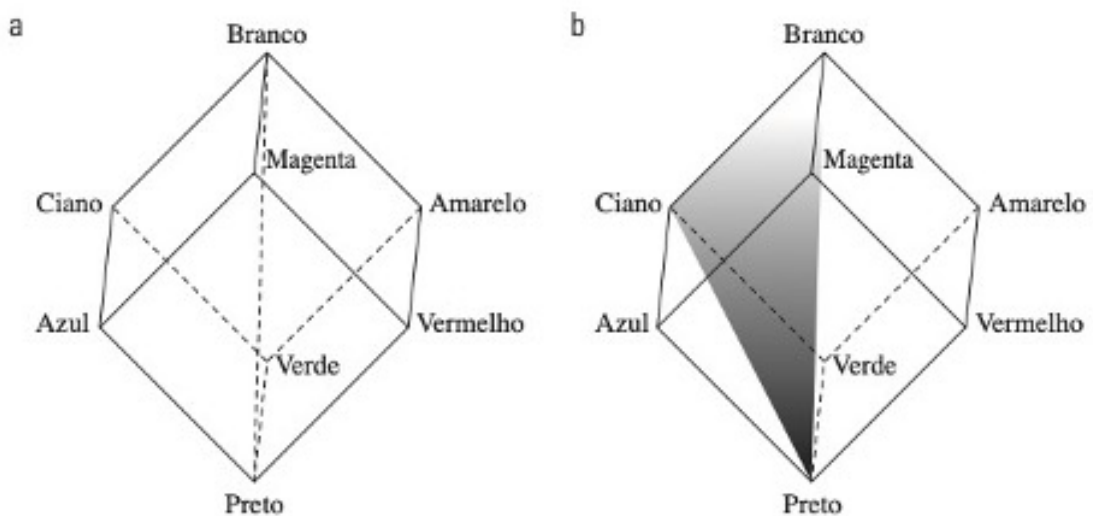


Figura 3.4: Relação entre o modelo de cores RGB e o modelo de cores HSV. Fonte: GONZALEZ [24]

Sintetizando, a relação entre os sistemas RGB e HSV é representada pelo eixo de intensidade vertical e o conjunto de pontos de cor localizados em planos perpendiculares a esse eixo. Caso o plano mova para cima ou para baixo no eixo da intensidade/valor, as interseções de cada plano com relação às faces do mesmo apresentarão semiplanos de forma triangular, ou hexagonal [24].

A conversão do sistema RGB em HSV é obtida pelas equações 3-2; 3-3 e 3-4:

$$V = \max(R, G, B) \quad (3-2)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{V} \quad (3-3)$$

$$H = \begin{cases} 0 & \text{se } V = R \\ \frac{60 \times (G - B)}{V - \min(R, G, B)} + 360 & \text{se } V = G \\ \frac{60 \times (B - R)}{V - \min(R, G, B)} + 120 & \text{se } V = B \\ \frac{60 \times (R - G)}{V - \min(R, G, B)} + 240 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3-4)$$

# METODOLOGIA E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

## 4.1 Reação Química do Indicador Fenolftaleína

Um dos experimentos realizados em laboratórios de ensino de físico-química é a determinação da constante de velocidade do indicador fenolftaleína em meio alcalino [65]. Esse indicador apresenta coloração rosa avermelhada em meio básico, pH acima de 8,3 ( $P^{2-}$ ), e incolor em pH abaixo de 8,3 ( $H_2P$ ). A escolha desse composto no estudo cinético se deve ao fato de que em pH acima de 10 há uma descoloração lenta do indicador (Figura 4.1), o que torna esse processo indicado para medir a velocidade da reação por meio do espectrofotômetro UV/Vis em  $\lambda = 550$  nm, especialmente em um laboratório de ensino.

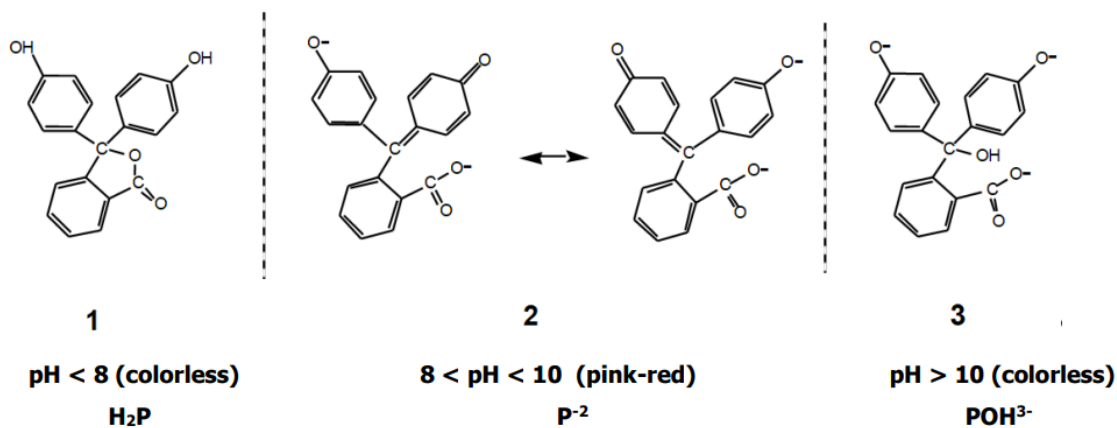


Figura 4.1: Estruturas do indicador fenolftaleína em diferentes pH. Fonte:UNIVERSITY OF VALENCIA[65]

Na Figura 4.1 é possível verificar que quando o indicador fenolftaleína está em uma solução com pH abaixo de 8, o anel da lactona está fechado. Quando há um aumento do pH (pH entre 8 e 10), os prótons fenólicos são removidos e o anel da lactona se abre,

dando origem à coloração rosa avermelhada que conhecemos. Em pH acima de 10 a solução é incolor.

A reação genérica de descoloração do indicador fenolftaleína em pH acima de 10 é:



e a lei de velocidade dessa reação é

$$v = k[P^{2-}]^n[OH^{-}]^m \quad (4-2)$$

onde  $k$  é a constante de velocidade da reação,  $[P^{2-}]$  é a concentração da fenolftaleína em  $\text{pH} > 10$ ;  $[OH^{-}]$  a concentração da base;  $n$  é a ordem da reação em relação ao indicador e  $m$  é a ordem da reação em relação ao íon hidróxido.

Todas as variações cromáticas percebidas no indicador fenolftaleína são reversíveis. Em soluções básicas com  $\text{pH} > 10$ , a transição da tonalidade rosa para incolor ocorre de maneira bem lenta. Essa perda da coloração que pode ser acompanhada por espectrofotometria por meio da medição da absorção em 550 nm. A velocidade desse descolorimento é particularmente interessante, uma vez que pode ser usada como uma demonstração prática para ilustrar um experimento de cinético.

Ao observar a descoloração da fenolftaleína em diferentes concentrações de NaOH, podemos obter informações sobre a cinética ácido-base. O que permite monitorar a taxa em que as alterações estão ocorrendo e como isso está diretamente relacionado à concentração das substâncias envolvidas.

No contexto do ensino da cinética química, o experimento que foi desenvolvido nesta Dissertação, cujo roteiro consta do Apêndice A, visou demonstrar aos estudantes os conceitos de velocidade de reação e a relação entre concentração de reagentes, constante cinética e ordem da reação por meio de uma nova metodologia que aborda a visão computacional. Combinando a percepção visual que a nova metodologia abrange, os alunos podem observar como a variação das concentrações de NaOH afeta a velocidade da reação, tornando a teoria cinética mais tangível e compreensível.

Compreender cinética química é fundamental, pois não só contribui para uma análise mais profunda dos processos químicos, mas também é de grande importância em muitas aplicações práticas, como síntese química, desenvolvimento de medicamentos e otimização de reações industriais. Consequentemente, estudar a descoloração da fenolftaleína contribui para uma compreensão mais robusta e aplicável de cinética química, tanto em contextos educacionais como científicos.

Sendo assim, o experimento da descoloração do indicador fenolftaleína em  $\text{pH} > 10$  com diferentes concentrações de NaOH, proposto como estudo de cinética no nível de graduação, pode ser expandido além da abordagem espectrofotométrica tradicional.

Pensando nessa perspectiva, a metodologia aqui desenvolvida com um *smartphone* pode abrir diversas possibilidades de ensino nos princípios básicos da cinética química para os alunos da graduação e, até mesmo, do ensino médio.

A metodologia Cinética Química e Visão computacional: O Sistema Fenolftaleína - NaOH tem por base a referência técnica publicada pela empresa Mettler Toledo [41], onde substituiremos o espectrofotômetro por um aparato que consiste de uma caixa de iluminação e um *smartphone*. As concentrações dos reagentes serão as mesmas dessa referência a fim de comparar os resultados obtidos e validar a metodologia proposta.

## 4.2 Lei da Velocidade de Descoloração do Indicador Fenolftaleína em pH > 10

A lei da velocidade da equação 4-2 representa uma relação entre a velocidade da reação e o produto da constante de velocidade da reação,  $k$ , pelas concentrações dos reagentes,  $[P^{2-}]$  e  $[OH^-]$ . Nesse caso, considerando um intervalo de tempo onde a reação está longe de alcançar o equilíbrio, pode-se admitir que a velocidade da reação inversa da equação 4-1 é desprezível em comparação com a reação direta.

Usando  $[OH^-] \gg [P^{2-}]^1$ , pode-se admitir que  $[OH^-]$  é praticamente constante durante a reação e, dessa forma, a equação 4-2 pode ser reescrita como:

$$v = k' [P^{2-}]^n \quad (4-3)$$

onde  $k'$  é a constante de velocidade aparente que inclui a concentração molar de  $[OH^-]$ :

$$k' = k [OH^-]^m \quad (4-4)$$

Como é bem conhecido da literatura [41, 26],  $n$  e  $m$  são iguais a 1. Ou seja, essa é uma reação de *pseudo* primeira ordem em relação a cada um dos reagentes e de segunda ordem global. Assim, a equação 4-3 fica

$$v = k' [P^{2-}] \quad (4-5)$$

que é uma equação diferencial com  $v = \frac{d[P^{2-}]}{dt}$ . Reorganizando essa equação:

$$\frac{d[P^{2-}]}{[P^{2-}]} = -k' dt \quad (4-6)$$

<sup>1</sup>A concentração da base é muito maior que a do indicador, como foi feito nos experimentos desse trabalho.

e integrando

$$\int_{[P^{2-}]_0}^{[P^{2-}]_t} \frac{d[P^{2-}]}{[P^{2-}]} = -k' \int_{t=0}^t dt \quad (4-7)$$

resulta:

$$\ln[P^{2-}]_t = -k't + \ln[P^{2-}]_0 \quad (4-8)$$

que é a Lei da Velocidade Integrada para a reação onde  $[P^{2-}]_t$  é a concentração de  $P^{2-}$  no tempo  $t$ ,  $[P^{2-}]_0$  é sua concentração inicial.

Ao analisar a equação 4-8, podemos perceber que ela tem a forma de uma equação de reta, onde o termo  $-k't$  representa a inclinação negativa da reta e  $\ln[P^{2-}]_0$  é a intercepção no eixo  $\ln[P^{2-}]$ .

Dessa forma, a equação 4-8 fornece uma relação linear que descreve como a concentração de  $P^{2-}$  evolui com o tempo. Essa é a essência da Lei da Velocidade Integrada para reação de descoloração do indicador fenolftaleína em  $\text{pH} > 10$ .

### 4.3 Preparo das Soluções

As soluções foram preparadas de modo a criar um ambiente controlado para investigar as mudanças na coloração do indicador fenolftaleína em diferentes concentrações de hidróxido de sódio (NaOH) e foram preparadas conforme a literatura [41]:

- Solução de Fenolftaleína 1 % (m/v)*: 1 g de fenolftaleína p.a (NEON, 99,72%) dissolvida em 100 mL de álcool etílico p.a (NEON 99,8% (v/v));
- Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,280 mol L<sup>-1</sup>*: 12,12 g de NaOH (Biotec, 99%) em 1 L de água destilada e padronização com biftalato de potássio;
- Solução de Cloreto de Sódio (NaCl) 0,300 mol L<sup>-1</sup>*: 17,71 g de NaCl (Tedia, 99%) em 1 L de água destilada;
- Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,170 mol L<sup>-1</sup>*: A partir da solução padrão de NaOH 0,280 mol L<sup>-1</sup> preparada no item b), uma alíquota de 200 mL foi diluída em 100 mL de NaCl 0,300 mol L<sup>-1</sup> e padronização com biftalato de potássio;
- Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,080 mol L<sup>-1</sup>*: A partir da solução padrão NaOH 0,170 mol L<sup>-1</sup> preparada no item d), uma alíquota de 100 mL foi diluída em 100 mL de NaCl 0,300 mol L<sup>-1</sup> e padronizada com biftalato de potássio;
- Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,045 mol L<sup>-1</sup>*: A partir da solução padrão NaOH 0,080 mol L<sup>-1</sup> preparada no item e), uma alíquota de 60 mL foi diluída em 60 mL de NaCl 0,300 mol L<sup>-1</sup> e padronizada com biftalato de potássio.

## 4.4 Espectrofotômetro UV/Vis

Os espectrofotômetros são instrumentos cruciais em análises químicas, permitindo a quantificação de substâncias através da interação da matéria com a radiação eletromagnética [62]. Ao atravessar uma solução contida em uma cubeta, a luz emitida pelo espectrofotômetro é absorvida pela amostra, resultando em uma diminuição na intensidade da luz detectada no receptor. Essa absorção de luz está diretamente relacionada à concentração dos componentes presentes na solução, conforme descrito pela lei de Lambert-Beer.

Uma das aplicações mais comuns dos espectrofotômetros está na determinação de concentração de soluções através de mudanças de cor. Muitas substâncias apresentam cores características quando em solução, e a intensidade dessa cor pode variar conforme a concentração dos componentes presentes. Por exemplo, ao adicionar um indicador químico a uma solução, a cor da solução pode mudar conforme a concentração de determinados íons ou moléculas [55].

O espectrofotômetro detecta essa mudança de cor medindo a quantidade de luz absorvida pela solução em diferentes comprimentos de onda. Ao passar por um filtro específico, a luz incidente é separada em diferentes componentes espectrais, permitindo a identificação e quantificação da absorção em cada região do espectro. Com base nessas medidas, é possível determinar a concentração dos componentes presentes na solução e monitorar qualquer alteração na cor ao longo do tempo ou em resposta a estímulos externos [51]:

$$A = \epsilon b c \quad (4-9)$$

onde  $\epsilon$  é a absorvidade molar,  $b$  o caminho óptico e  $c$  a concentração da amostra.

Na espectrofotometria, a transmitância,  $T$ , de uma solução é a definida como a fração da luz original que passa pela amostra. Essa fração é representada na Figura 4.2 por  $P_0$ . A transmitância é geralmente expressa em forma de porcentagem denominada porcentagem de transmitância, equação 4-10. Já a absorbância,  $A$ , de uma solução está diretamente relacionada com a transmitância de forma logarítmica, equação 4-11. À medida que a absorbância de um analito aumenta, a transmitância diminui [62].

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (4-10)$$

$$A = \log \left( \frac{P_0}{P} \right) \quad (4-11)$$

Tanto a transmitância quanto a absorbância são medidas onde há perda por reflexão ou espalhamento da luz, seja por conta da superfície da cubeta ou de partículas suspensas como a poeira que se encontra no meio. Esse efeito pode causar atenuação

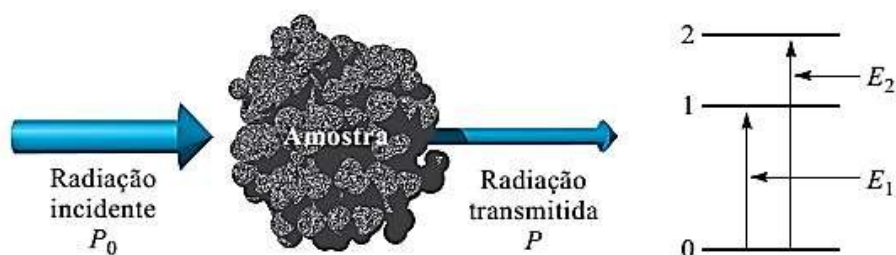


Figura 4.2: Atenuação de um feixe de radiação por uma solução absorvente. A seta incidente, representada por  $P_0$ , feixe maior, indica maior potência radiante,  $P$ , em relação à transmitida pela solução. Fonte: Skoog [62]

do feixe de luz quando passa através da solução. Para diminuir esses efeitos, a potência do feixe transmitida por meio de uma célula contendo a solução do analito, é comparada com a potência que atravessa uma célula idêntica contendo somente solvente (considerado como branco) [62].

Em uma amostra é possível que se tenha mais de um analito presente contribuindo para absorção de radiação dentro de larga faixa de comprimentos de onda. Sendo assim, o comprimento de onda específico cujo analito de interesse apresenta maior valor de absorvidade molar deve ser selecionado para que possa ser diferenciado dentre os demais interferentes da solução amostral. Para selecionar o comprimento de onda de interesse são utilizados monocromadores, como representado na Figura 4.3 [55]. Ao final da leitura realizada por um espectrofotômetro UV/Vis, um gráfico contendo dados da leitura da absorbância *versus* o tempo da reação é fornecido.

#### 4.4.1 Medidas Espectrofotométricas

O espectrofotômetro UV/Vis da marca Bel (Alfa Mare) foi empregado para registrar a descoloração da fenolftaleína nas diferentes concentrações de NaOH. Esse processo foi realizado conforme o modelo cinético com as condições de leitura  $\lambda = 550$  nm e intervalos de registros de absorbância de 0,17 min, como descrito na literatura [41].

Antes de todas as leituras, foi realizada uma calibração do aparelho, utilizando como branco de referência a própria solução alcalina sem o indicador.

Após a calibração do espectrofotômetro UV/Vis, as leituras de absorbância *versus* tempo das soluções de NaOH foram realizadas em triplicatas, na proporção de 3 mL de solução para 1 gota de fenolftaleína, adicionadas à cubeta. Para as soluções NaOH 0,045 e 0,080 mol L<sup>-1</sup> o tempo estimado de reação foi de 20 min. Para NaOH 0,170 mol L<sup>-1</sup> esse tempo foi de aproximadamente 15 min, enquanto que para NaOH 0,280 mol L<sup>-1</sup>

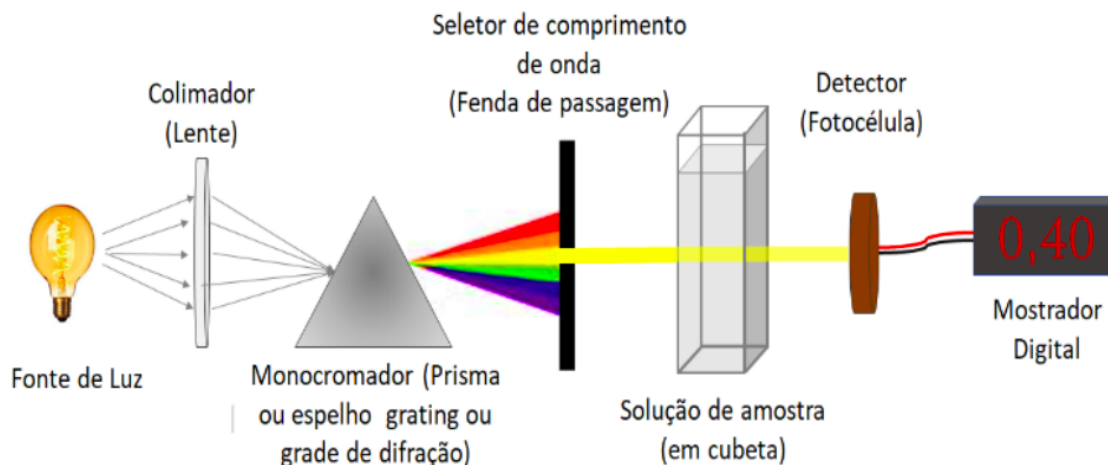


Figura 4.3: Componentes instrumentais para a espectrofotometria UV/Vis. Fonte: ROCHA, F. S. M. D.; LOSS, T.; ALMEIDA, B. L. C.; MOTTA, M. S.; KALINKE, M. A. [56]

foi de cerca de 6 min. É importante ressaltar que os experimentos foram realizados a 25 °C.

## 4.5 Caixa de Iluminação

Uma caixa de iluminação, conforme representada na Figura 4.4, foi construída com o propósito de manter a luminosidade controlada durante a reação e registro dos vídeos. A caixa de iluminação tem por finalidade auxiliar as capturas em vídeos da mudança de coloração do indicador fenolftaleína em diferentes concentrações de NaOH.

A caixa de iluminação é de um cubo com dimensões laterais de 34 cm. Em uma lateral foi feita uma abertura (porta) para a manipulação das amostras. A parte superior da caixa apresenta duas hastes móveis, cada uma com 5 centímetros de largura, proporcionando um suporte adequado para o dispositivo de captura de vídeos (*smartphone*).

A porção superior da caixa apresenta um conjunto de lâmpadas de LEDs e a superfície interna da caixa foi revestida com papel *super crepe* de cor preta. O registro dos vídeos das reações foi feito em uma placa de Petri de vidro que fica no centro da caixa de iluminação.

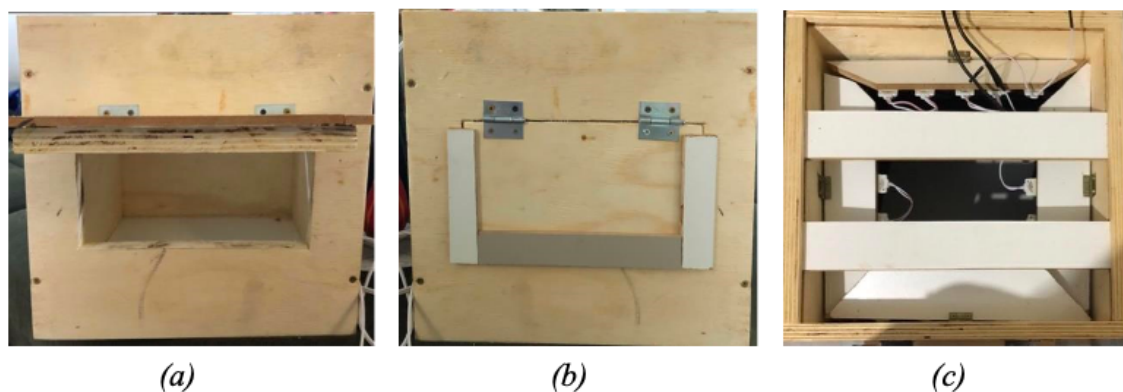


Figura 4.4: Caixa de iluminação para registro dos vídeos: (a) visão de frente; (b) porta lateral para manipulações; (c) visão superior da caixa onde se encontram as hastes e as lâmpadas de leds. Fonte: Arquivo Pessoal

## 4.6 Captura em Vídeo das Reações

### 4.6.1 Configuração do *smartphone*

Todos os vídeos foram registrados com o *smartphone* *iphone X* de câmera 12 megapixels

- Formato dos vídeos*: em configurações de câmera realizou-se a configuração de saída dos vídeos, para que todos estivessem no formato MOV;
- Resolução*: resolução dos vídeos 720x1280 (720 p), profundidade de 24 bpp e taxa de quadros de 30.000 fps (*frames per second*);
- Autofoco*: o autofotoco da câmera foi desligado, pressionando a parte central da câmera.

### 4.6.2 Cinética Química - Sistema Fenolftaleína-NaOH

- No interior e na região central da caixa de iluminação, acomodou-se a placa de Petri;
- Ajustou-se o *smartphone* nas hastes superior da caixa de iluminação, de modo que câmera registrasse o melhor ângulo sobre a placa de Petri, e iniciou-se a gravação em vídeo;
- Adicionou-se 15 mL da solução de NaOH 0,280 mol L<sup>-1</sup> preparada na seção 4.3 no interior da placa de Petri, com o auxílio de uma pipeta de 20 mL;
- Acrescentou-se 5 gotas do indicador fenolftaleína com o auxílio do conta gotas;
- Am seguida, a solução foi imediatamente homogenizada com um bastão de vidro.

- f) Interrompeu-se a gravação em vídeo da reação após a descoloração do indicador fenolftaleína;
- g) Repetiu-se a gravação em vídeo em triplicatas com o mesmo tempo de duração das reações realizadas no espectrofotômetro UV/Vis (seção 4.4.1).

Ao total, foram registrados 12 vídeos da cinética química - sistema fenolftaleína NaOH. A Figura 4.5 representa imagens que exemplificam o momento da iniciação da gravação do experimento (a), adição do indicador fenolftaleína (b), homogeneização do indicador à solução com o auxílio do bastão de vidro (c), a descoloração do indicador (d) e o fim da gravação (e). Os 12 vídeos no formato MOV podem ser visualizados clicando neste [link do Google Drive](#). Os nomes dos vídeos são referentes à corrida cinética da Tabela 4.1.

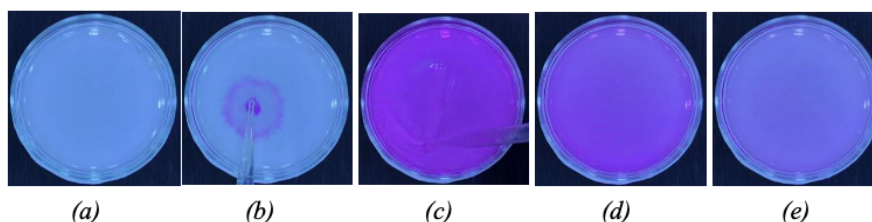


Figura 4.5: (a) solução de NaOH  $0,280 \text{ mol L}^{-1}$  antes da adição do indicador fenolftaleína; em (b) adição de fenolftaleína; em (c) homogeneização da fenolftaleína na solução; em (d) descoloração da fenolftaleína na solução; (e) após a descoloração de seis minutos da fenolftaleína. Fonte: Arquivo Pessoal

## 4.7 Extração e Processamento de Imagens a Partir dos Vídeos

Foram registrados 12 vídeos, como representa a Tabela 4.1. Cada corrida cinética representa um vídeo registrado. Os vídeos foram carregados em um aplicativo *ffmpeg*<sup>2</sup> (*version* 4.4.1) com a finalidade de extrair as imagens a partir dos vídeos no formato png (*Portable Network Graphic*). Foram extraídas 30 imagens por segundo de gravação com as dimensões de  $720 \times 1280 \text{ pixels}$ .

Essas imagens foram carregadas no *software* R [54] usando a interface RStudio [64] que são disponibilizados gratuitamente para *download*. O pacote *imager*, carregado no R, foi usado para o processamento digital das imagens: definição da região de interesse (ROI), Figura 4.6, além da extração e do processamento dos canais de cor.

<sup>2</sup>É uma estrutura multimídia multiplataforma de código livre, capaz de decodificar, codificar, transcodificar, transmitir, filtrar e reproduzir uma infinidade de formatos de mídia.

Tabela 4.1: Informações sobre as corridas cinéticas registradas em diferentes concentrações de NaOH

NaOH [mol L <sup>-1</sup> ]	Corrida Cinética	Quantidade de Frames
0.045	Run 1	038145
	Run 2	049429
	Run 3	068898
0.080	Run 4	037901
	Run 5	036044
	Run 6	036249
0.170	Run 7	028074
	Run 8	030101
	Run 9	028696
0.280	Run 10	011976
	Run 11	013242
	Run 12	012363

Após a definição da ROI, é realizado o processamento das imagens. Para isso, uma lista de arquivos é criada contendo os nomes completos de todas as imagens presentes em um diretório específico. Em seguida, um *loop* (sequência) percorre cada arquivo da lista onde cada imagem é carregada usando a função *load.image*. A função *imsub* é, então, aplicada para definir a ROI da imagem atual e, posteriormente, são extraídas e calculadas as médias das componentes de cor (R, G, B, H, S, V) presentes na ROI.

Os valores médios das componentes de cor são então armazenados em uma lista (*frames.mean*) onde cada elemento corresponde a um arquivo de imagem e contém as médias das componentes de cor para a respectiva ROI.

## 4.8 Estudo de Caso com Categorização

Um estudo de caso *com categorização* é uma abordagem de pesquisa que combina as características de um estudo de caso com a análise de categorias ou temas específicos. Nesse tipo de estudo, um pesquisador seleciona um caso (que pode ser um indivíduo, grupo, organização, evento, entre outros) com objeto de estudo e, em seguida, analisa o caso com base em categorias ou temas pré-definidos [39]. No presente trabalho, o estudo de caso refere-se à aplicação da metodologia criada em um grupo composto por 8 alunos do curso de Química (UFG).

Esse estudo de caso realiza uma investigação qualitativa e quantitativa sobre a aprendizagem do estudo de cinética em química utilizando a metodologia por vídeo com foco nas interações dos indivíduos nos processo de interpretação e integração, e como essa interação gera um aprendizado que pode ser validado por diferentes instituições de ensino.

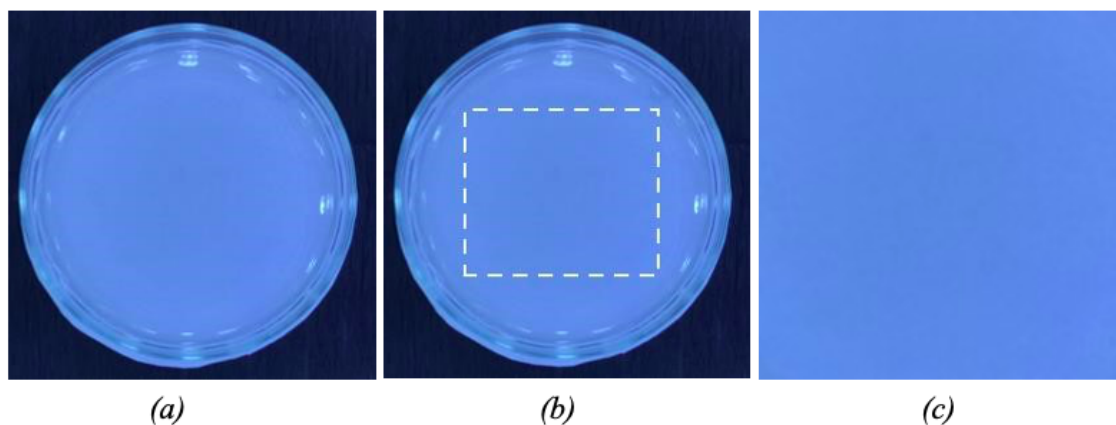


Figura 4.6: Representação da imagem extraída do vídeo (a) da solução de NaOH  $0,280 \text{ molL}^{-1}$ , seguida pela (b) seleção da região de interesse e da (c) ROI. Fonte: Arquivo Pessoal

O processo de categorização envolve a coleta de dados e a organização desses dados em categorias específicas. O trabalho desenvolvido na presente Dissertação utilizou as respostas do questionário proposto aos discentes para a construção das categorias para guiar as análises dos dados coletados (ver Apêndice B).

### 4.8.1 Aplicação da Metodologia

A aplicação da metodologia cinética química e visão computacional do sistema fenolftaleína - NaOH foi proposta com uma aula aos alunos da disciplina de Físico-Química Experimental I do curso de Química Bacharelado da UFG no dia 01 de agosto de 2023. Isso foi previamente comunicado aos discentes e que seria necessário o consentimento de cada aluno na participação dessa pesquisa.

Para apresentar a metodologia, a aula começou abordando os conceitos de cinética química e os cálculos necessários para determinar a Lei de Velocidade Integrada quando ela apresenta diferentes ordens de velocidade. Em seguida, a caixa de iluminação foi apresentada aos participantes e a metodologia proposta para determinação cinética química a partir da visão computacional do sistema fenolftaleína - NaOH em pH acima de 10.

Todas as soluções químicas foram previamente preparadas, e o primeiro registro da reação do indicador solução indicador fenolftaleína em  $0,280 \text{ mol L}^{-1}$  de NaOH foi realizado junto aos alunos, para que eles observassem o procedimento. O vídeo registrado junto aos alunos foi processado conforme a metodologia descrita no item 4.7. Ao final dos cálculos, um arquivo no formato de planilha eletrônica foi gerado com os valores de tempo de reação e do  $\bar{s}$ . De posse dessas informações foi possível determinar a ordem da reação,

esboçando um gráfico de forma linearizada. Também, determinou-se o coeficiente angular da reta ( $k'$ ) por meio do gráfico, utilizando a equação 4-12 genérica que representa a lei da velocidade,  $k'$  é o coeficiente angular da reta que reflete a constante cinética molar da velocidade da reação.

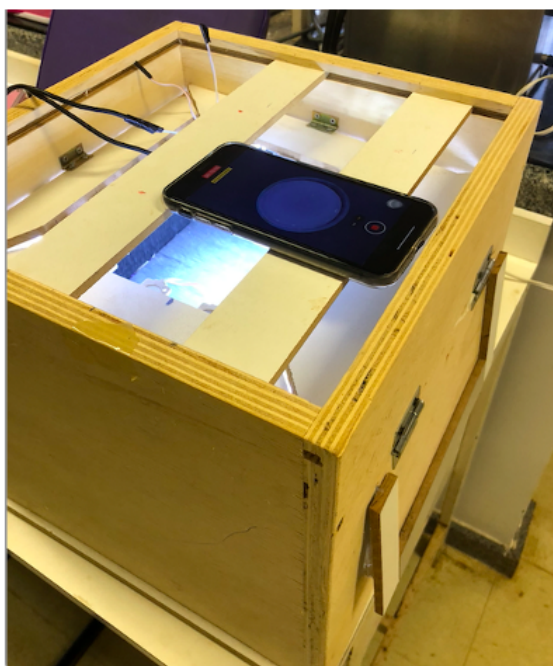
$$\ln[P^{2-}] = -k't + \ln[P^{2-}]_0 \quad (4-12)$$

A turma, composta por 8 alunos, foi dividida em duplas para realizar os registros da descoloração do indicador em diferentes concentrações de NaOH, conforme a tabela 4.2. Cada dupla foi encarregada de realizar 2 registros com seus *smartphones*, sendo uma com concentração de NaOH de 0,280 mol L<sup>-1</sup> por um período de 6 minutos e outra com concentração de 0,170 mol L<sup>-1</sup> por um período de 12 minutos. A Figura 4.7 apresenta a captura de um dos registros realizados pelos discentes. Além disso, os alunos realizaram a padronização das soluções.

Tabela 4.2: Duração da Reação para Diferentes Grupos e Concentrações de NaOH

Grupos	NaOH [mol L <sup>-1</sup> ]	Duração da Reação/min
1	0,170	12
	0,280	6
2	0,170	12
	0,280	6
3	0,170	12
	0,280	6
4	0,170	12
	0,280	6

Após os registros e padronização das soluções, os participantes responderam um questionário (Apêndice B) para avaliar a compreensão dos participantes sobre a experiência geral com a metodologia cinética química e visão computacional do sistema fenolftaleína - NaOH. Esse questionário foi elaborado para fornecer informações sobre o impacto da metodologia no processo de aprendizado e para orientar melhorias futuras no desenvolvimento do curso. As respostas dos participantes foram coletadas de forma anônima e posteriormente categorizadas para avaliar a eficácia da aula e a qualidade da metodologia cinética química e visão computacional do sistema fenolftaleína - NaOH.



(a)



(b)

Figura 4.7: (a) Captura em vídeo da reação da descoloração do indicador fenolftaleína utilizando a caixa de iluminação durante a aula experimental. (b) Extração dos dados da captura em vídeo usando um notebook. Fonte: Arquivo Pessoal

---

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 5.1 Otimização do Revestimento Interno da Parte Inferior da Caixa

A utilização de placas de Petri é uma prática comum em experimentos laboratoriais para a observação de substâncias e reações químicas. Nesse contexto, a escolha entre a tampa e o fundo da placa de Petri podem desempenhar um papel importante na qualidade e precisão das observações. Assim sendo, como os vídeos das reações ocorrem sob essas placas, realizou-se um estudo para avaliar o efeito da tampa e do fundo da placa de Petri nas imagens da reação química entre a solução de NaOH  $0,280 \text{ mol L}^{-1}$  com o indicador fenolftaleína sob um papel sulfite branco, recortado de forma circular. Os raios dos papéis utilizados como fundo foram respectivamente: 4,75 cm, 4,80 cm, 5,05 cm e 5,10 cm, conforme a Figura 5.1.

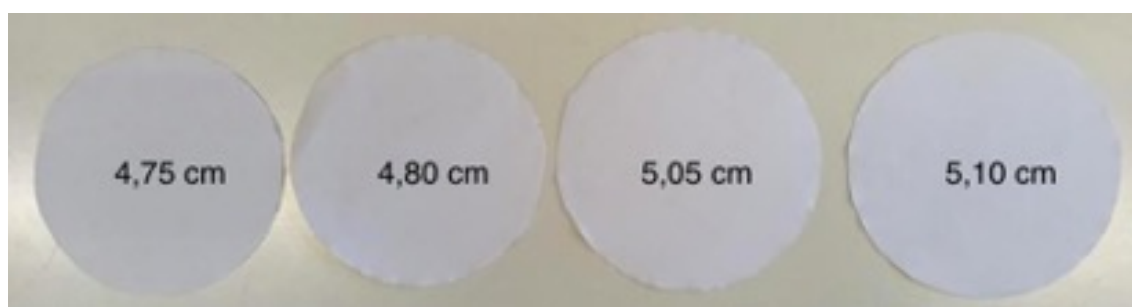


Figura 5.1: Círculos feitos de papel sulfite branco para serem analisados qual o melhor raio. Fonte: Arquivo pessoal.

Fotos das quatro combinações possíveis entre as tampas e os fundos foram registradas, totalizando 8 registros. A execução dos experimentos foi realizada de forma aleatória. As fotos foram processadas pelos softwares R [54] e RStudio [64] e convertidas para o sistema HSV, conforme o *script* descrito no roteiro (Ver Apêndice A). Os valores médios do canal S foram registrados para cada imagem e localizou-se o menor valor para

as diferentes condições experimentais (fundo e tampa da placa de Petri com os respectivos raios) que representa a menor região de sombreamento das imagens.

Ao analisarmos as fotografias registradas, constatamos uma notável variação nas tonalidades da reação entre NaOH e o indicador fenolftaleína, dependendo da interação entre a tampa e o fundo da placa de Petri. Verificou-se que as placas de Petri com raios de 4,75 e 4,80 cm exibiram os menores valores médios para o canal S, sugerindo uma menor área de sombreamento nestes casos. Além disso, a coloração da solução denotou uma distribuição uniforme da fenolftaleína. Em contrapartida, nas situações em que houve uma discrepância nos raios entre a tampa (4,75 cm) e o fundo (5,10 cm), notou-se áreas com tonalidades mais claras e escuras, indicando uma distribuição desigual da fenolftaleína, com regiões de maior sombreamento. A Figura 5.2 ilustra um gráfico que correlaciona  $\bar{S}$  com o raio de cada círculo.

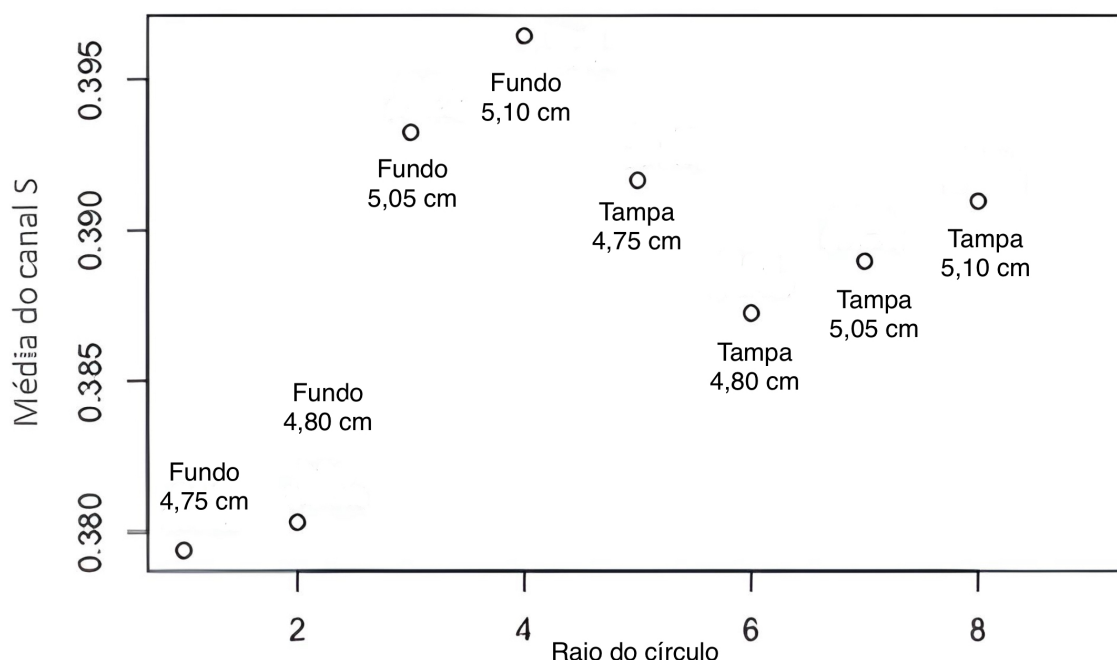


Figura 5.2: Gráfico de  $\bar{S}$  em função dos raios dos círculos.

Os resultados obtidos indicam que tanto a tampa quanto o fundo da placa de Petri podem influenciar as imagens das reações e a uniformidade do raio entre a tampa e o fundo parece ser um fator importante. Sendo assim, os círculos que foram recortados com os menores raios (4,75 cm e 4,80 cm) com o fundo da placa de Petri são os mais indicados para registrar os vídeos das reações em função dos menores valores de  $\bar{S}$ .

## 5.2 Determinação da Constante de Velocidade Por Análise de Vídeo

Após a etapa de otimização, na qual o o fundo da placa de Petri e o raio do papel foram estabelecidos, determinou-se a constante de velocidade com o auxílio de um *script* em R que está descrito no Roteiro (ver Apêndice A) para manipular os dados extraídos das imagens e determinar a constante cinética. Na Tabela 5.1 encontram-se as informações das gravações em vídeo (corrida cinética), com os tempos e tamanhos dos vídeos. Além disso, a Tabela (5.1) contém o número de *frames* extraídas pelo processamento dos vídeos.

Tabela 5.1: Informações sobre os vídeos registrados da reação do indicador fenolftaleína em diferentes concentrações de NaOH.

NaOH/(mol L <sup>-1</sup> )	Corrida Cinética	Tempo/hh:mm	Tamanho/MB	Frames
0,045	Run 1	20:02	322.4	038145
	Run 2	20:10	341.4	049429
	Run 3	20:11	331.0	068898
0,080	Run 4	21:03	398.9	037901
	Run 5	20:01	357.7	036044
	Run 6	20:08	352.5	036249
0,170	Run 7	15:36	240.3	028074
	Run 8	16:43	266.7	030101
	Run 9	15:56	228.3	028696
0,280	Run 10	06:39	113.4	011976
	Run 11	07:21	124.4	013242
	Run 12	06:52	113.5	012363

A Figura 5.3 resume, em forma de fluxograma, as etapas utilizadas no processamento dos vídeos. Uma imagem é carregada no R para se definir a região de interesse (ROI). Em seguida, todas as *frames* são carregadas, extraídos os canais de cores e determinada a média do canal S de cada frame,  $\bar{S}$ . Essa abordagem foi adotada para análise da reação, uma vez que esse canal de cor foi considerado como indicador adequado para capturar as variações de cor durante a reação.

O gráfico de  $\bar{S}$  em função do número da *frames* registrada durante a reação pode ser visualizado na Figura 5.4 para a reação do indicador fenolftaleína com NaOH 0,280 mol L<sup>-1</sup>.

Quando o indicador fenolftaleína é adicionado à solução básica, ocorre uma mudança significativa na Figura 5.4 que é refletida logo no início da curva. Essa mudança está diretamente relacionada à alteração na cor da solução incolor de NaOH. A coloração da solução muda de incolor para rosa conforme  $\bar{S}$  passa de  $\approx 0,60$  para  $\approx 1,0$ . Após atingir o máximo,  $\bar{S}$  começa a diminuir indicando o avanço da reação e o descolorimento

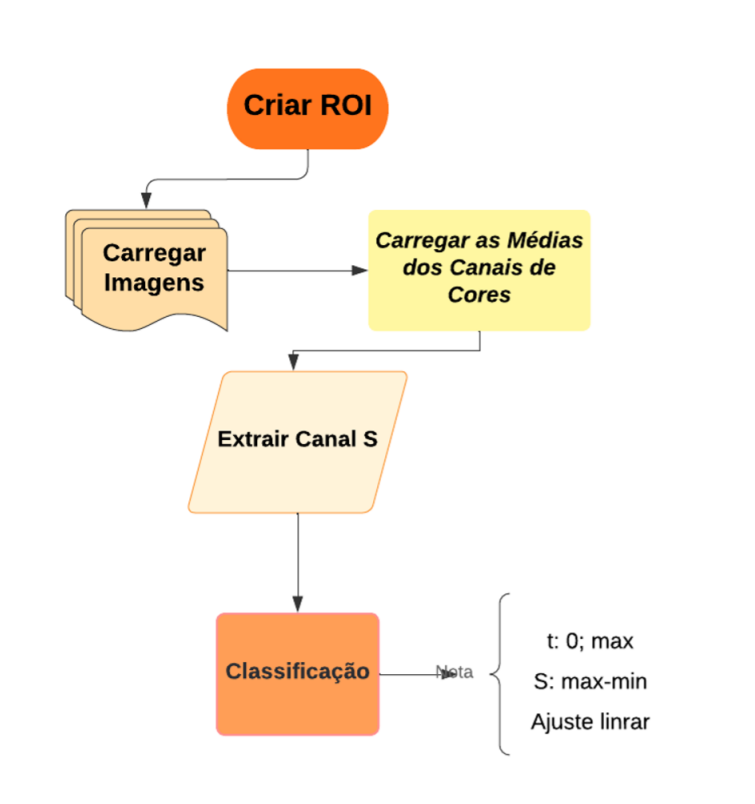


Figura 5.3: Fluxograma para processamento dos vídeos.

da solução resultante. Essa mudança continua até que  $\bar{S}$  fica praticamente constante, sem mudança de cor, característico do final da reação.

Para explorar a relação do canal S com a constante cinética da reação, faz-se um ajuste de um modelo matemático não-linear<sup>1</sup>:

$$\bar{S} = ae^{-bt} + c \quad (5-1)$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros ajustáveis do modelo e  $t$  é o tempo (de descolorimento) da reação.

O objetivo do ajuste é encontrar os melhores valores para os parâmetros do modelo, de forma que a curva gerada seja concordante com os dados experimentais. Dessa forma,  $a$  representa o valor inicial de  $\bar{S}$  para  $t = 0$  (máximo da curva da Figura 5.4 imediatamente antes do início da queda exponencial). O parâmetro  $b$  representa o decaimento exponencial do modelo, que é determinado pelo algoritmo de ajuste durante o processo de otimização<sup>2</sup>. Já o parâmetro  $c$  é uma estimativa de  $\bar{S}$  quando  $t \rightarrow \infty$  ( $\bar{S}_\infty$ ).

É importante ressaltar que o parâmetro  $b$  assume um papel duplo: de um lado, ele

<sup>1</sup>Função *nls* no R.

<sup>2</sup>O valor inicial de -0.02, mencionado anteriormente, é apenas um valor inicial fornecido ao algoritmo de ajuste para ajudar na convergência.

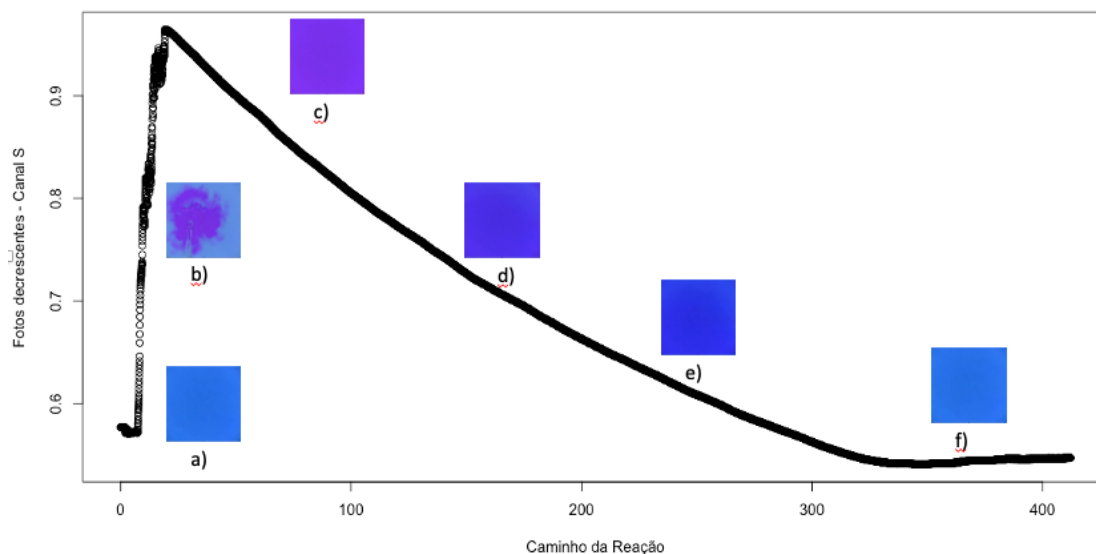


Figura 5.4: Gráfico de  $\bar{S}$  versus o número da *frame* da reação do indicador fenolftaleína com NaOH 0,280 mol L<sup>-1</sup>. No gráfico é possível visualizar os recortes das frames: a) início da gravação; b) adição do indicador fenolftaleína; c) máximo da curva; d) mudança da coloração da solução; e) continuação da mudança de coloração e f) última imagem do vídeo.

representa o canal de cor S que captura as informações sobre a mudança na saturação da cor das imagens registradas no vídeo e, do outro, uma estimativa da constante cinética da reação determinada por análise de vídeo. Isso acontece porque tanto a equação 4-8 quanto a equação 5-1 são formas matematicamente equivalentes para o ajuste de um decaimento exponencial.

Os parâmetros dos ajustes dos modelos conforme a equação 5-1 para cada reação são representados na Tabela 5.2. O valor em a, como mencionado, exprime os valores de  $a$  e representa o valor inicial de  $\bar{S}$  para  $t = 0$ . O parâmetro  $b$  representa o decaimento exponencial do modelo. Todos os resultados dos corridas cinéticas ("run") estão expressos na Tabela 5.2 e com base nas médias do parâmetro  $b$  determina-se as constantes cinéticas molares. Além disso, os valores apresentados nos fornecem meios de representar os gráficos conforme a Figura 5.5, que representa o ajuste não-linear (curva em vermelho) para o run 10. De acordo com o gráfico é possível notar que a curva em vermelho nos fornece valores estimados, e a curva em preto, corresponde ao experimento real do experimento. Nota-se por meio do gráfico que o comportamento do experimento está muito próximo ao comportamento e valores esperados pelo ajuste não-linear. (Tabela 5.1).

Como  $b$  é o parâmetro extraído da análise de vídeo que é equivalente à constante

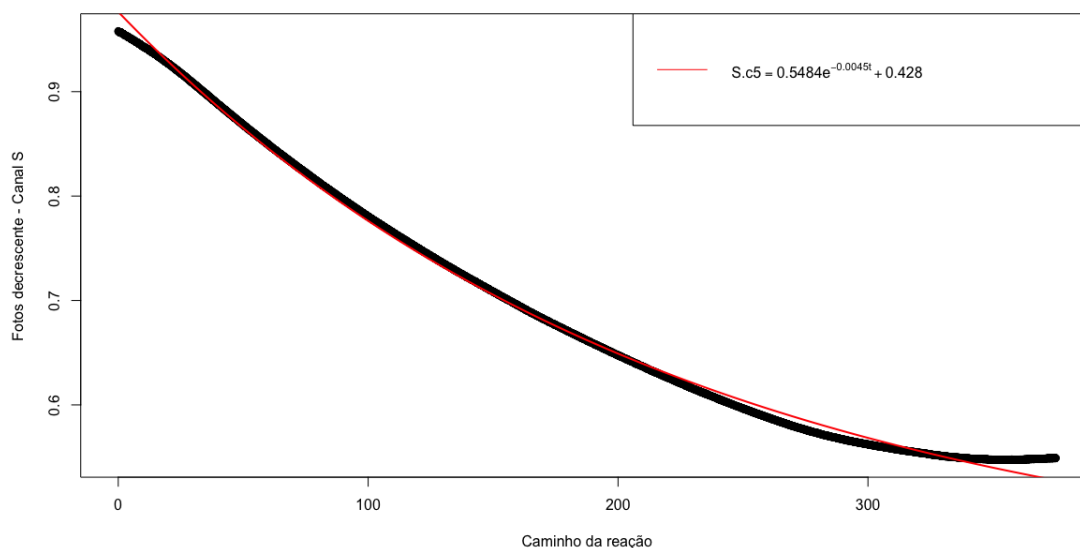


Figura 5.5: Modelo do ajuste não-linear da reação do indicador fenolftaleína com NaOH 0,280 mol L<sup>-1</sup>.

Tabela 5.2: Resultados dos parâmetros *a*, *b* e *c* de todas a reações.

Experimento	NaOH/(molL <sup>-1</sup> )	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1	0,045	0,5247122	0,0003048	0,4279490
2	0,045	0,5170225	0,0002765	0,4014890
3	0,045	0,7687075	0,0002798	0,2253231
4	0,080	0,5700630	0,0014570	0,4279490
5	0,080	0,6257720	0,0012850	0,4014890
6	0,080	0,7530246	0,0008304	0,2933092
7	0,090	0,5400980	0,0012670	0,4327510
8	0,090	0,4930610	0,0012970	0,4843390
9	0,090	0,6129000	0,0011400	0,4019600
10	0,170	0,5471170	0,0035370	0,5080580
11	0,170	0,5503980	0,0036180	0,5133540
12	0,170	0,5913000	0,0029200	0,4881000
13	0,280	0,5483850	0,0045420	0,4280400
14	0,280	0,5630360	0,0049390	0,4389760
15	0,280	0,5321060	0,0050460	0,4469000

de velocidade aparente,  $k'$ , na equação 4-5, a constante de velocidade da reação,  $k$ , pode, então, ser determinada de forma similar por:

$$k = \frac{b}{[OH^-]} \quad (5-2)$$

com  $m = 1$  na equação 4-5. Os parâmetros cinéticos calculados com base nos dados da Tabela 5.2 são apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Constantes cinética,  $k$ , e molar,  $k'$ , para o indicador fenolftaleína determinadas pela análise de vídeo.

[NaOH]/(mol L <sup>-1</sup> )	$k^a$ /(mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	$k'$ /s <sup>-1</sup>
0,045	0,0003 ± 0,0000	0,007
0,080	0,0012 ± 0,0001	0,015
0,090	0,0012 ± 0,0001	0,013
0,170	0,0030 ± 0,0002	0,018
0,280	0,0048 ± 0,0002	0,017

<sup>a</sup>média ± desvio padrão.

Os valores apresentados na Tabela 5.3 nos fornecem resultados bem próximos ao esperados pela literatura [41], demonstrando que os valores obtidos pela nova metodologia com a utilização da visão computacional, os valores da constante cinética e molares  $k$  e  $k'$  e suas incertezas associadas aos valores médios indicam uma boa precisão nas medidas realizadas. Além disso, os resultados estão coerentes e dentro da faixa esperada pela literatura [41].

### 5.3 Determinação da Constante de Velocidade pelo Método Espectrofotométrico

As leituras realizadas pelo espectrofotômetro UV/Vis foram conduzidas com as mesmas soluções listadas na Tabela 5.1. Os resultados dessas leituras foram importados para uma planilha no Excel, onde os dados de absorvância foram processados. Para linearizar os dados de absorvância, foi aplicado o cálculo do logaritmo natural ( $\ln$ ) da absorvância em cada ponto correspondente ao tempo. Esse processo foi realizado para todas as corridas cinéticas.

Posteriormente foram traçados gráficos de  $\ln$  da absorvância em função do tempo para cada uma das corridas experimentais. A Figura 5.6 apresenta o gráfico correspondente à corrida cinética 'run 1' 5.1.

A partir dos dados de absorvância linearizados, determinou-se o coeficiente angular da reta ( $k'$ ) no gráfico, utilizando a equação 4-12, que é a forma linearizada da equação genérica que representa a lei da velocidade para reações de primeira ordem. Nessa equação,  $\ln[P^{2-}]$  representa o logaritmo natural da concentração do íon  $[P^{2-}]$  em função do tempo ( $t$ ),  $\ln[P^{2-}]_0$  é o logaritmo natural da concentração inicial do íon  $[P^{2-}]$ , e  $k'$  é o coeficiente angular da reta que reflete a constante cinética de velocidade da reação.

A partir do coeficiente angular da reta ( $k$ ), determinou-se a constante de velocidade molar ( $k'$ ) dividindo a inclinação da reta pela concentração molar das soluções. Repetiu-se o procedimento descrito acima para todas as corridas experimentais regis-

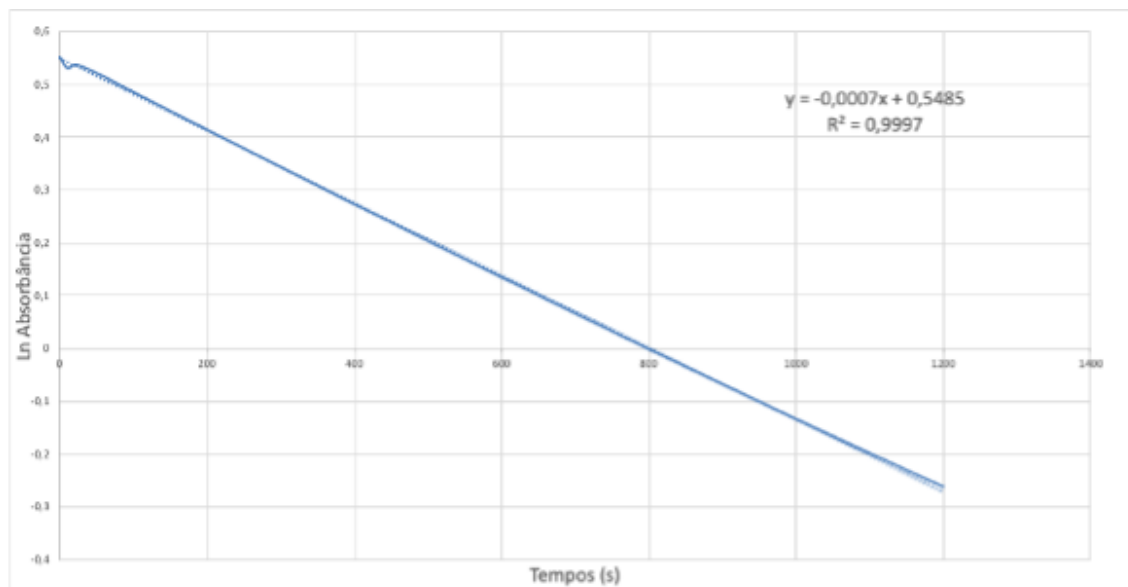


Figura 5.6: Gráfico da  $\ln$  Absorbância  $\times$  tempo,  $\lambda = 550$  nm, para fenolftaleína em NaOH  $0,045 \text{ mol L}^{-1}$ .

tradas na Tabela 5.1. Os resultados dos cálculos do coeficiente angular da reta ( $k$ ) e a constante de velocidade molar ( $k'$ ) estão representados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Constantes cinética,  $k$  e molar,  $k'$  para da ocorrência da reação do indicador fenolftaleína em NaOH determinados pelas medidas espectrofotométricas.

$[\text{NaOH}]/(\text{mol L}^{-1})$	$k^a /(\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1})$	$k' / \text{s}^{-1}$
0,045	$0,00070 \pm 0,00004$	0,016
0,080	$0,00150 \pm 0,00000$	0,019
0,170	$0,00240 \pm 0,00009$	0,014
0,280	$0,00440 \pm 0,00008$	0,016

<sup>a</sup>média  $\pm$  desvio padrão.

Os resultados apresentados na Tabela 5.4 demonstram que os valores obtidos pelo método espectrofotométricos da constantes cinéticas e molares  $k$  e  $k'$  são coerentes e estão dentro da faixa esperada para a reação da fenolftaleína com hidróxido de sódio em meio básico. As incertezas associadas aos valores médios de  $k$  são relativamente baixas, indicando uma boa precisão nas medidas realizadas. Além disso, a comparação com os valores da literatura [41] mostra uma concordância satisfatória, reforçando a confiabilidade dos resultados obtidos.

### 5.3.1 Resultados da Aula Experimental

A aula experimental teve como objetivo validar a eficácia da metodologia proposta em um ambiente real de aprendizado prático. O experimento foi conduzido com um

grupo de oito alunos do quarto período curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia, durante o curso de Físico-Química Experimental I. Durante a execução da metodologia, os alunos seguiram os passos estabelecidos no roteiro (ver Apêndice A). Durante a aplicação da metodologia, pode-se observar que foi de fácil compreensão e execução de todos, que utilizaram os próprios *smartphone* para a coleta de dados.

O experimento consistiu na determinação da constante cinética da reação do indicador fenolftaleína em duas soluções de NaOH de concentrações molares: 0,294 mol L<sup>-1</sup> e 0,186 mol L<sup>-1</sup>. Os resultados quantitativos obtidos foram registrados pelos alunos e entregues na forma de relatório e anexo dos vídeos em drive. A Tabela 5.5 apresenta a média dos valores numéricos da constante de velocidade ( $k$ ) e a constante de velocidade molar ( $k'$ ) determinadas pelos alunos.

Tabela 5.5: Resultados dos parâmetros cinéticos determinados pelos alunos.

[NaOH]/(mol L <sup>-1</sup> )	$k$ /(mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	$k'$ /s <sup>-1</sup>
0,186	0,0019 ± 0,0009	0,006
0,294	0,0055 ± 0,0009	0,029

<sup>a</sup>média ± desvio padrão.

Os resultados demonstram uma boa correspondência da constante de velocidade ( $k$ ), comparados a metodologia desenvolvida 5.2, (ver Tabela 5.3) indicando a precisão da metodologia utilizando a visão computacional. É importante ressaltar que durante a execução dos experimentos foram observados erros instrumentais como, por exemplo, deixar as soluções de NaOH exposta ao ar atmosférico, além da posição correta do *smartphones* na caixa, de modo a reduzir as regiões de sombreamento.

Além dos dados quantitativos, foram registradas observações qualitativas. Os alunos demonstraram interesse na abordagem alternativa, utilizando *osmartphones* como instrumento de medida. Comentários positivos foram feitos sobre a praticidade e mobilidade proporcionadas pela nova metodologia.

A análise dos resultados evidencia a viabilidade da metodologia proposta conforme pode ser verificado na semelhança dos valores de  $k'$  da Tabela 5.6. Isso mostra que a aplicação da metodologia de análise de vídeo utilizando a visão computacional em sala é uma alternativa (de baixo custo) para suprir a demanda com relação ao uso de espectrofotômetro UV/Vis na área de ensino, em aulas experimentais sobre cinética química.

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas, como a falta de familiaridade inicial dos alunos com a nova abordagem, que pode ter influenciado levemente os resultados. No entanto, observou-se uma melhora significativa à medida que se familiarizavam com a metodologia.

Tabela 5.6: Comparação dos resultados para a constante cinética molar,  $k'$ .

	<b>Espectrofotômetro</b>	<b>Vídeo</b>	<b>Literatura<sup>a</sup></b>	<b>Sala</b>
$k'/s^{-1}$	$0,016 \pm 0,002$	$0,014 \pm 0,005$	$0,019 \pm 0,001$	$0,018 \pm 0,001$

<sup>a</sup>Mettler-Toledo[41].

### 5.3.2 Comparação dos Resultados Espectrofotométricos, Vídeos e Literatura

Foram realizados testes de significância (teste  $t$  e teste  $F$ ) a fim de comparar estatisticamente as constantes obtidas entre o metodologia de referência [41], método espectrofotométrico e com a metodologia proposta pela visão computacional. Entre a comparação entre espectrofotometria e análise de vídeo, com valor de  $t$  aproximadamente 0.00078. Já entre a comparação entre espectrofotometria e Literatura, o valor encontrado para  $t$  é aproximadamente 0.0654. Por fim, comparação entre análise de vídeo e literatura, o teste  $t$  foi aproximadamente 0.0636. Para todos os testes  $t$  realizados com intervalos de confiança de 95%. Sendo assim, isso indica que não há diferença significativa entre as médias entre o método espectrofotométrico, metodologia de análise de vídeo e literatura [41].

Além disso, ao calcular o valor  $p$  associado à estatística do teste  $F$ , obtivemos um valor de aproximadamente 0.9473. Como esse valor é maior que o nível de significância escolhido (0.05), não rejeitamos a hipótese nula. Isso sugere que não há diferença significativa entre os métodos de determinação das constantes cinéticas  $k'$  de NaOH. Esses resultados indicam uma consistência notável entre os diferentes métodos analíticos utilizados.

Portanto, com base nos testes de significância realizados, não há diferenças significativas entre a metodologia proposta pela análise de vídeo, método espectrofotométrico e da referência adotada [41].

### 5.3.3 Correlações Experimentais: Resultados e Implicações

A fim de explorar os resultados da aula experimental, empregando a metodologia de análise de vídeo, utilizando a visão computacional, foi aplicado um questionário (ver Apêndice B) para avaliar a metodologia proposta para o ensino de cinética química. Também se realizou uma categorização das respostas com o objetivo de agrupá-las em classes relevantes. Isso permitiu uma análise mais organizada e de fácil compreensão das percepções dos participantes sobre a metodologia proposta.

Um questionamento relevante para a pesquisa é a utilização do equipamento, espectrofotômetro UV/Vis, em aulas práticas. Visto que a espectrofotometria é uma técnica

fundamental na Química, é esperado que os discentes se deparem com o equipamento ao longo da sua formação. Na Figura 5.7 demonstram de forma breve sobre o questionando os estudantes se já utilizaram o espectrofotômetro UV/Vis, 6 deles nunca utilizaram, e apenas 2 dos estudantes utilizaram o aparelho em práticas de laboratório, o que corresponde a 2 alunos. A resposta sobre o uso do espectrofotômetro UV/Vis era esperada, visto que [36] relatou que há limitações do uso do aparelho nos laboratórios das universidades, onde há um revezamento, ou quando é disponibilizado para aulas, os alunos se limitam a ficar observando seu funcionamento.

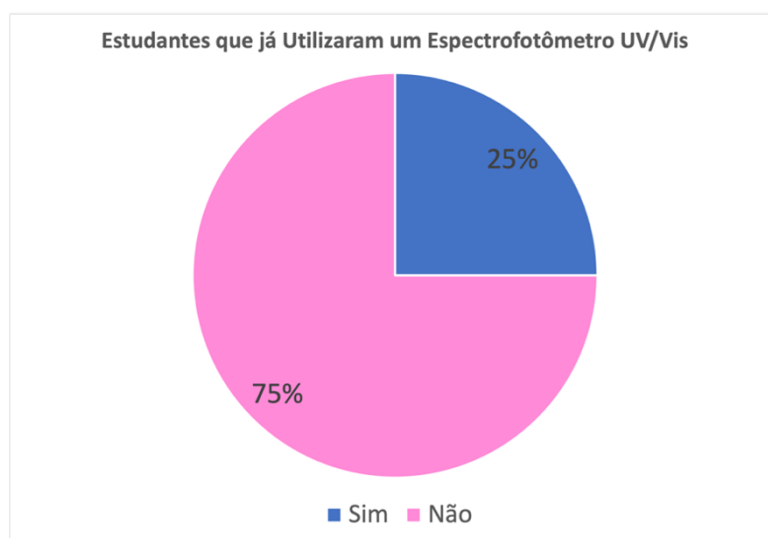


Figura 5.7: Número de estudantes que já utilizaram o aparelho espectrofotômetro UV/Vis.

Quando os estudantes foram questionados se, alguma vez, usaram um *smartphone* como principal metodologia experimental, 7 alunos disseram que nunca usaram, enquanto que 1 já usavam. A Figura 5.8 representa a relação descrita.

Mesmo com a pandemia, onde os professores se reinventaram e desenvolveram metodologias para aulas experimentais, percebe-se que o uso dessa tecnologia ainda não está inserido no ensino experimental. Embora ciência e tecnologia sempre estiveram interligadas, ainda há muita resistência quando tentamos uni-las no ambiente educacional, seja ele acadêmico, ou não [23]. A ideia de que usar *smartphones* como ferramenta de ensino pode melhorar o aprendizado dos alunos, bem como o seu envolvimento e interesse pela ciência e outras áreas acadêmicas, continua ser um desafio [37].

### 5.3.4 Custo e Acessibilidade

Nesse item, obtivemos 54 respostas. Uma das categorias emergentes foi *Custo e Acessibilidade* com 38,89%, que englobou respostas relacionadas ao custo financeiro e à sua acessibilidade em termos de disponibilidade e recursos para implementação da metodologia criada, utilizando a visão computacional, Figura 5.9.

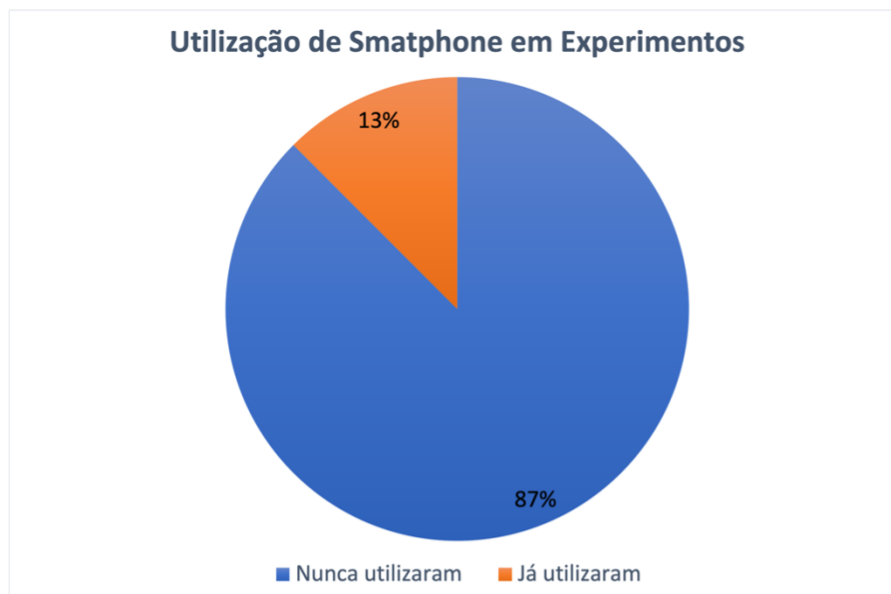


Figura 5.8: Quantidade de alunos já utilizaram *smartphones* em aulas experimentais.

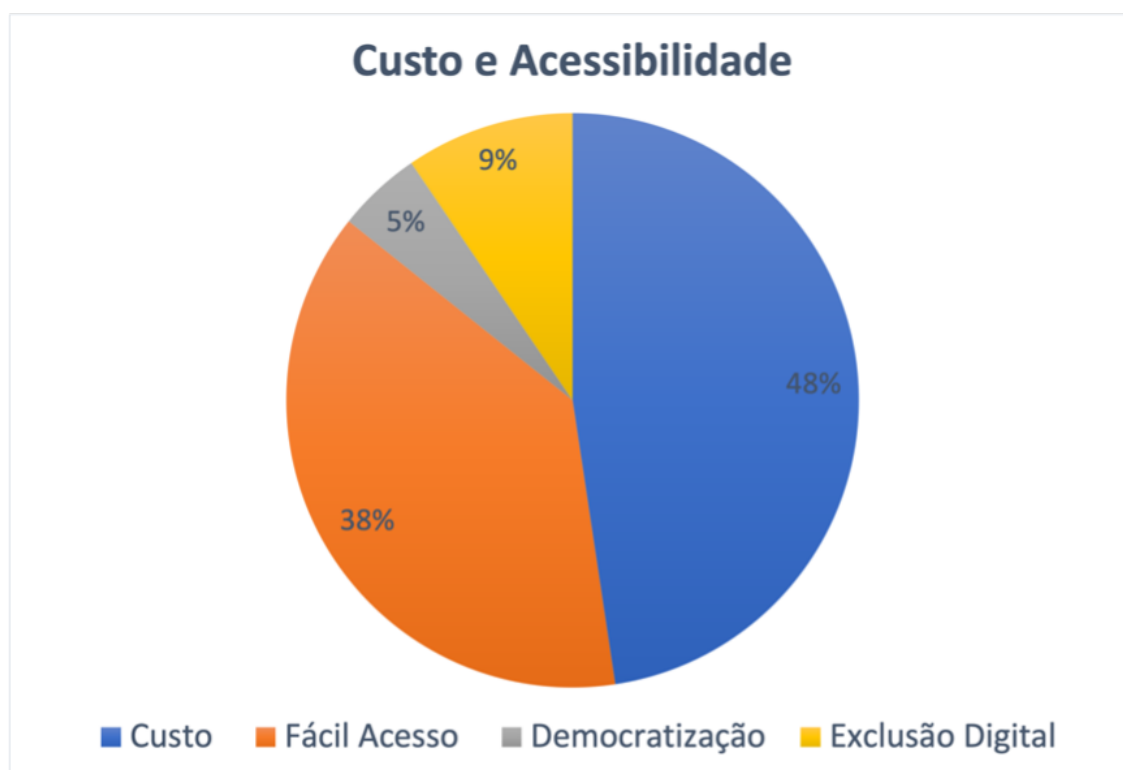


Figura 5.9: Divisão da categoria custo e acessibilidade.

Nessa categoria, os comentários que se referem diretamente aos gastos financeiros para implementação da metodologia, como a confecção da caixa, foram os mais cotados. O *smartphone* não foi somado ao custo entre os participantes, visto que é um recurso que todo os participantes possuíam durante o experimento. Além disso, o *smartphone* é

uma ferramenta presente no cotidiano dos brasileiros sendo que, de acordo com CNN [2], há mais *smartphones* do que habitantes no Brasil. A palavra “custo” levantada pelos alunos é referente à construção do aparato comparado ao valor do espectrofotômetro UV/Vis. Para os discentes a metodologia apresenta como um dos pontos positivos o custo (48%) para criação da caixa, quando comparado ao espectrofotômetro UV/Vis.

Outro fator relevante sobre a categoria de *Custo e Acessibilidade* apontada na pesquisa é o fácil acesso que a metodologia criada permite, com 38% das respostas. Esse "fácil acesso", apontado pelos alunos, está relacionado à acessibilidade da metodologia de análise de vídeo em comparação com o espectrofotômetro, além de incluir a disponibilidade do *smartphone*, a condição financeira e facilidade do emprego da metodologia. Para essa distinção, o "fácil acesso" entende-se, também, como uma possibilidade de condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização da metodologia, em igualdade de oportunidades, bem como a autonomia sobre os recursos. Dessa forma, a facilidade de acesso à nova metodologia pode ter implicações significativas para o ensino, como ampliar o acesso a experimentos de cinética para uma gama mais ampla de estudantes, tanto de graduação como pós-graduação e ensino médio.

Com 5% das respostas, a palavra "democratização" foi apontada nos formulários. A democratização é destacada como a acessibilidade à metodologia de análise de vídeo, utilizando a visão computacional, o que contribui para tornar a educação científica mais democrática e acessível a um público mais amplo no ensino de cinética química. Sendo assim, a democratização que a metodologia permite pode beneficiar escolas, instituições de ensino superior e laboratórios de pesquisas que não possuem recursos para investir em equipamentos caros. Com isso, a metodologia criada permite reduzir as barreiras de custo e infraestrutura, promovendo a diversidade e inclusão na pesquisa científica [36].

Apesar da acessibilidade da nova metodologia, ainda existem desafios a serem superados na busca pela verdadeira democratização. A exclusão digital (9%) apontada pelos alunos é referente à falta de acesso ou habilidades em relação ao uso de tecnologias digitais como *smartphone*, computadores, acesso à internet, etc. No contexto da implementação da metodologia, a exclusão digital pode representar um desafio, uma vez que alguns participantes podem não estar familiarizados com o uso de aplicativos específicos necessários para o experimentos, como o *ffmpeg*, R[54] e RStudio[64]. Para tentar superar o desafio da exclusão digital na implementação da metodologia, foi fornecido uma vídeo-aula sobre a utilização do aplicativo *ffmpeg* e dos softwares R [54] e RStudio [64] na plataforma de ensino do curso.

Reconhecer a exclusão digital como um desafio a acessibilidade foi fundamental para promover a inclusão e a equidade na implementação da nova metodologia, para assim, garantir que a falta de acesso ou habilidades tecnológicas não impeçam a participação dos discentes, contribuindo assim para uma experiência mais inclusiva de aprendizado e

pesquisa.

### 5.3.5 Experiência e Percepção Geral

A categoria sobre *Experiência e Percepção Geral* da metodologia ocupou 24% das respostas nos formulários. Essa categoria tem por objetivo analisar as percepções dos participantes em relação à metodologia análise de vídeo, com foco na experiência e nas reações gerais que os discentes tiveram ao usar essa abordagem. Na Figura 5.10 é possível notar as principais impressões dos participantes sobre a metodologia em comparação com os métodos tradicionais, como o espectrofotômetro UV/Vis.



Figura 5.10: Respostas dos alunos para a categoria *Experiência e Percepção Geral*.

Ocupando 39% dessa categoria, temos os participantes que nunca utilizaram *smartphone* como principal recurso em um experimento em uma aula de laboratório, mesmo após a recente pandemia da Covid 19 onde os cursos de práticas de laboratório foram reformulados para experiências completamente remotas [14]. Esse resultado revela uma lacuna significativa entre a adoção da tecnologia móvel e as práticas de laboratório tradicionais. É possível notar que mesmo com os avanços tecnológicos e a crescente integração da tecnologia em nosso cotidiano, alguns alunos não tiveram a oportunidade de utilizar o *smartphone* como uma ferramenta principal no laboratório. Isso pode indicar um desafio na relutância em adotar métodos alternativos.

Se levarmos em conta que as aspirações sociais, os avanços tecnológicos e os temas do cotidiano não podem ficar de fora dos muros das escolas, então elas devem estar abertas às aspirações atuais, tanto as escolas como as universidades. Nesta nova “realidade” em que vivemos, as instituições de ensino têm um papel importante a desempenhar na distribuição e no incentivo ao uso dessas tecnologias, como forma permanente de ensino nas suas salas de aula e laboratórios, para terem cada vez mais novos métodos de ensino. A aprendizagem leva cada vez mais em conta o ambiente em que os alunos estão inseridos para construir seu conhecimento [10].

As subcategorias “*Interessante*” e “*Inovador*”, com 16% e 15% respectivamente sugerem que os participantes consideraram a metodologia de análise de vídeo, como algo novo e intrigante. Ambas as descrições utilizadas pelos alunos podem ser um indicativo de que a abordagem despertou interesse e entusiasmo entre os alunos. As seguintes frases descritas em um questionário reforçam a ideia: “Uma metodologia muito legal e interessante, com fácil entendimento e aparatos conhecidos”; “Acredito que possa ser inovador, e servir com grande auxílio dentro dos laboratórios especificamente nas faculdades e para pesquisas”.

O fato dos participantes terem sido categorizados como respostas de “*Interessante*” e “*Inovador*” podem indicar que a metodologia pode estimular a curiosidade dos alunos em relação à ciência e às práticas de laboratório. Sendo assim, quando os alunos consideraram a metodologia interessante, significa que há uma boa chance de que eles se envolvam de forma mais ativa nas aulas de laboratório. Isso pode levar a uma compreensão mais profunda dos conceitos apresentados. Essas subcategorias também destacam a importância da inovação na educação. A introdução de novas abordagens e tecnologias no ensino de práticas pode tornar o aprendizado mais estimulante e relevante.

Os participantes mencionaram a “*mobilidade*”, com 15% , como uma subcategoria da “*Experiência e Percepção Geral*” da metodologia. Nessa subcategoria podem ser destacados a capacidade de realizar experimentos em locais diferentes, comparado a mobilidade de um espectrofotômetro UV/Vis tradicional. Isso poder ser particularmente relevante em situações de ensino, ou pesquisa, em que os recursos de laboratório são limitados. A mobilidade permite que os alunos levem a prática experimental para fora da sala de aula, isso é mencionando nas respostas de alguns participantes, como: “Maior acessibilidade e mobilidade para análises”; “Pontos fortes: acessibilidade, portabilidade” e “Acredito que a nova metodologia deve auxiliar locais que não possuem bom recurso financeiro e precisam de facilidade para demonstração dos experimentos”.

A “*Praticidade*” representa 15% da categoria “*Experiência e Percepção Geral*”. Os participantes que enfatizaram a praticidade podem estar se referindo à facilidade de configuração e manipulação da metodologia, para manipulação e coleta de dados (Vídeo). Essa simplicidade pode ser vista como uma vantagem em relação ao espectrofotômetro

UV/Vis. Além disso, a “praticidade” também pode estar relacionada à economia de recursos, tornando a prática mais acessível. Tais afirmações podem ser evidenciadas pelas frases de alguns participantes: “O experimento pode ser mais fácil de realizar” e “A nova é mais barata e prática de usar”.

### 5.3.6 Uso do Espectrofotômetro: Desafios e Limitações

Ocupando 24,01% das respostas, a categoria “*Uso do Espectrofotômetro: Desafios e Limitações*” aborda questões referentes ao conhecimento do aparelho e sua técnica. A Figura 5.11 apresenta um gráfico que ilustra a distribuição percentual das respostas dentro dessa categoria. O gráfico revela que a maioria dos participantes (54%) não deu respostas específicas, indicando uma possível falta de familiaridade com o aparelho. Além disso, 38% dos entrevistados afirmaram nunca ter tido contato com o espectrofotômetro, evidenciando um nível significativo de inexperiência. Outros 8% disseram encontrar desafios na execução da técnica, indicando que mesmo quando há familiaridade, a habilidade de utilização do aparelho pode ser uma barreira.

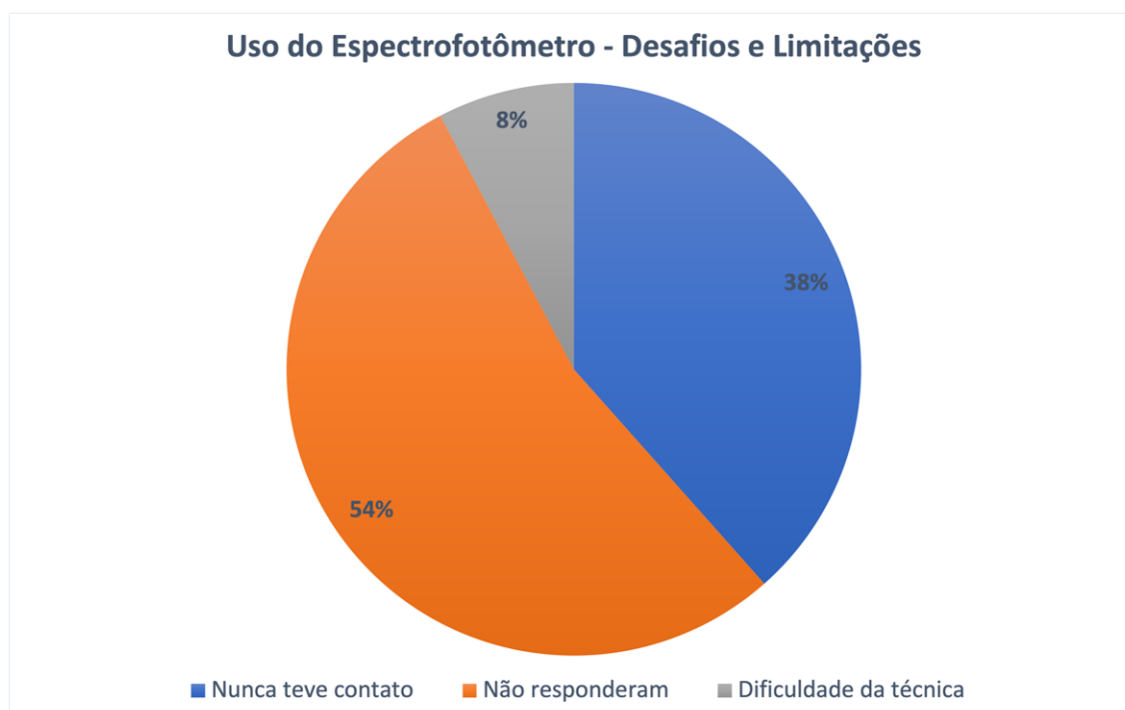


Figura 5.11: Respostas a categoria "Uso do Espectrofotômetro: Desafios e Limitações".

Os resultados revelaram algumas considerações importantes. A alta porcentagem de participantes (54%) que não deram respostas relacionadas ao espectrofotômetro evidencia que os participantes não conhecem o instrumento, ou sua fundamentação. Os 38% dos participantes que nunca tiveram contato com o espectrômetro é também notável, em

um contexto em que o uso de tecnologia é essencial para a formação do conhecimento. Ambos os resultados destacam o que já foi mencionando 1 (página 16), que o uso do espectrofotômetro em aulas práticas é limitado. Além disso, os 8% dos participantes que mencionaram dificuldades com a técnica de utilização do espectrofotômetro destacam, aqui, um ponto adicional. E isso sugere que, mesmo quando há contato com o aparelho, as habilidades práticas e o conhecimento específico da técnica podem representar desafios.

### 5.3.7 Facilidade do Uso e Implementação

A subcategoria “*Facilidade do Uso e Implementação*”, representando 12,96% das respostas, relaciona o quão prático é aplicar a metodologia de análise de vídeo. Os participantes mencionaram que a metodologia é fácil de realizar (43%) visto que a parte experimental relacionada ao uso do sistema do *smartphone* é apenas para configurar a captura de vídeo reação da solução, sendo necessário atentar para o posicionamento do *smartphone* na caixa.

A interface da caixa foi projetada de forma intuitiva, o que facilita a aplicação da metodologia. Nesta categoria de “*Facilidade do Uso e Implementação*” Figura 5.12, a resposta mais citada pelos alunos, foi o “*fácil de realizar*”, com 43%. Uma metodologia fácil de usar pode promover o aprendizado ativo, onde os alunos estão mais envolvidos na execução dos experimentos, em vez de concentrarem em detalhes técnicos. A facilidade do uso pode contribuir para tornar a metodologia mais acessível a um público mais amplo. Isso é particularmente importante no contexto do ensino, onde a acessibilidade é fundamental para garantir que todos os alunos possam participar.

Com 29% das respostas, os participantes alegaram que a utilização do *Softwares* dificultou os próximos passos da metodologia para a obtenção dos dados. Em algumas respostas, a utilização de *Softwares* foi considerada um ponto fraco, como citado pelos discentes: “A facilidade e a obtenção de resultados de forma rápida são pontos fortes. Apenas a dependência de *Softwares*, que algumas vezes dá trabalho, pode ser considerado um ponto fraco”; “Ponto fraco: muito complexo o *Software* usado na prática” e “Pontos fracos: empecilho de ferramentas auxiliares (ex.: *softwares* próprios)”.

As respostas recorrentes sobre a dificuldade da utilização de *softwares* remetem a uma “geração de superusuários” que se refere a uma geração que demonstram um domínio em relação ao uso de tecnologia, em particular dispositivos eletrônicos, aplicativos, redes sociais entre outras ferramentas digitais [1]. A atual geração de estudantes, também conhecida como “nativos digitais” cresce convivendo com interfaces gráficas intuitivas, onde grande parte das tarefas é realizada com poucos toques na tela. Quando são confrontados com *softwares* de design, que requerem comandos de digitação, eles podem

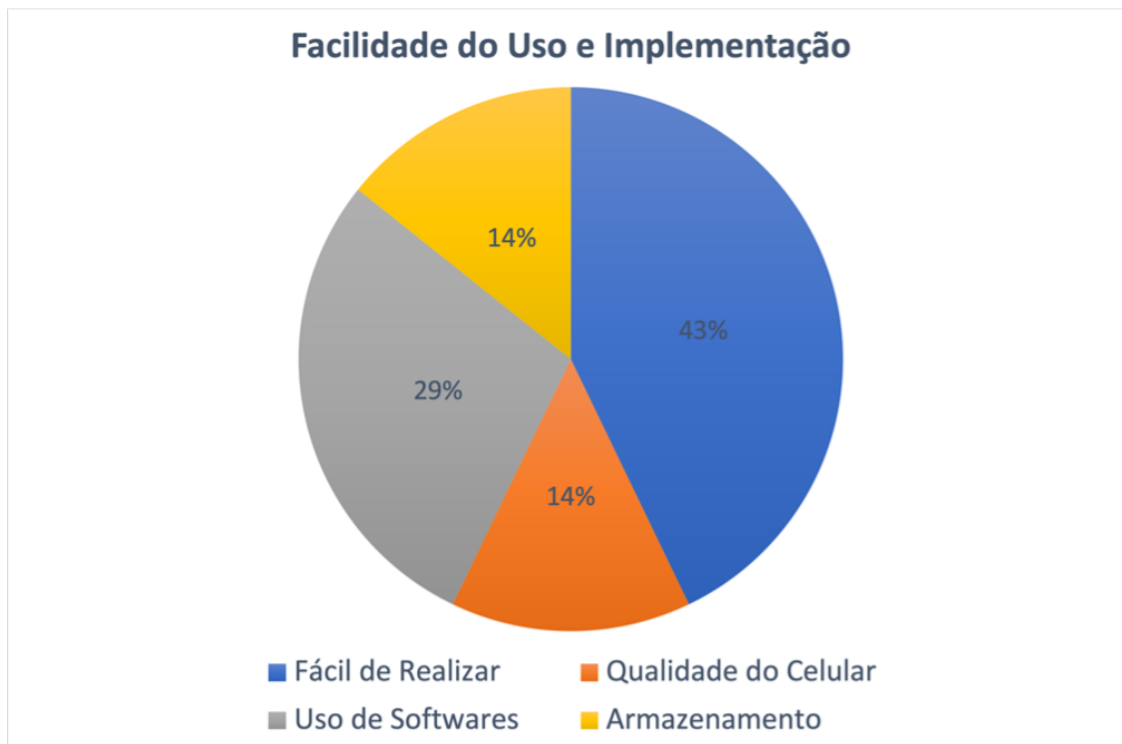


Figura 5.12: Respostas a categoria "Facilidade do Uso e Implementação".

se sentir desafiados [17].

Para extrair os dados de saturação obtidos pelos vídeos, por exemplo, os alunos precisaram passar por dois *softwares* que utilizam linguagens de comando para executar as tarefas. Nesse sentido, os discentes podem ter pouca, ou nenhuma, experiência em trabalhar com os comandos de texto, o que pode criar uma barreira inicial. Para intermediar a dificuldade apresentada, foi criado um tutorial em vídeo para manipular os *softwares* necessários para executar as atividades propostas no roteiro (ver Apêndice A).

Por fim, os participantes apresentaram a “*qualidade do celular*”, com 14% das respostas, como uma característica de facilidade do uso e implementação. Os discentes apontaram o armazenamento como principal fator e a qualidade da câmera. Em umas das respostas aos principais desafios encontrados ao realizar o experimento com a metodologia proposta e *smartphone*, obteve-se a seguinte respostas: “Falta de espaço e câmera do celular precisa ser de uma qualidade boa.”.

## CONCLUSÃO

---

A determinação da constante de velocidade da reação de descolorimento da fenolftaleína em meio básico ( $\text{pH} > 10$ ) usando análise de vídeo se mostrou analiticamente equivalente à determinação espectrofotométrica feita em  $\lambda = 440 \text{ nm}$ . Ou seja, o sistema baseado em visão computacional foi capaz de reconhecer a constante de velocidade de uma reação química com base no vídeo do processo.

O aparato experimental de baixo custo foi construído a partir de uma caixa de iluminação e do processamento de vídeos gravados com um *smartphone*, usando *softwares* livres.

O estudo de caso com categorização aplicado para testar a metodologia de análise por vídeo como uma ferramenta didática evidenciou o interesse dos alunos nessa abordagem, elogiando sua praticidade e mobilidade. Esses resultados potencializam o emprego da metodologia de modo a facilitar o acesso à prática experimental e promover uma aprendizagem mais envolvente e inclusiva no ensino de ciências.

O método apresentado se mostrou uma excelente alternativa tanto analítica quanto didática, para o estudo cinético de reações químicas que podem ser acompanhadas por mudança visual na sua cor.

---

## Referências Bibliográficas

---

- [1] ALEXANDRINO, N.; SILVA, C.; TARGA, C.; CONRADO, D. **Ps4w: Programa de inclusão jovem e feminina na Área tecnológica.** In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, p. 204–210, Porto Alegre, RS, Brasil, 2021. SBC.
- [2] ANDRADE, A. P. G. D. **Telejornalismo na quarentena: a estreia da cnn brasil na pandemia de covid-19.** In: *Anais do XVIII Encontro Nacional de Pesquisadores em Jornalismo*, Brasília, DF, 2020. SBPJor.
- [3] ANDRADE, R. G. D. **Classificação das castanhas do Brasil por origem e seleção de suas amêndoas utilizando visão computacional.** PhD thesis, Universidade de São Paulo, 2010.
- [4] BAUMANN, L.; LIBRELOTTO, M.; PAPPIS, C.; SANTOS, R. B. D.; SANTOS, R. O.; HELFER, G. A.; LOBO, E. A.; COSTA, A. B. D. **Uso do aplicativo photometrix no monitoramento da concentração de flúor em sistemas alternativos de abastecimento de água.** *Águas Subterrâneas*, 33(2), maio 2019.
- [5] BÖCK, F. C.; HELFER, G. A.; DA COSTA, A. B.; DESSUY, M. B.; FERRÃO, M. F. **Rapid determination of ethanol in sugarcane spirit using partial least squares regression embedded in smartphone.** *Food Analytical Methods*, 11:1951–1957, 2018.
- [6] BOGUCKI, R.; GREGGILA, M.; MALLORY, P.; FENG, J.; SIMAN, K.; KHAKIPOOR, B.; KING, H.; SMITH, A. W. **A 3d-printable dual beam spectrophotometer with multiplatform smartphone adaptor.** *Journal of Chemical Education*, 96(7):1527–1531, 2019.
- [7] BRUININKS, B.; JUURLINK, L. B. F. **An inexpensive 3d printed periscope-type smartphone-based spectrophotometer for emission, absorption, and fluorescence spectrometry.** *Journal of Chemical Education*, 99(5):2168–2174, 2022.
- [8] CAMPOS, A. R.; KNUTSON, C. M.; KNUTSON, T. R.; MOZZETTI, A. R.; HAYNES, C. L.; PENN, R. L. **Quantifying gold nanoparticle concentration in a dietary**

- supplement using smartphone colorimetry and google applications.** *Journal of Chemical Education*, 93(2):318–321, 2016.
- [9] COLEMAN, B.; COARSEY, C.; KABIR, M.; ASGHAR, W. **Point-of-care colorimetric analysis through smartphone video.** *Sensors and Actuators B Chemical*, 11 2018.
- [10] COSTA, A. C. D.; SILVA, I. B. G.; SANTOS, L. N. S. D.; MORAIS, L. M. D. S. **Educação e Inovação: Práticas Educacionais Inovadoras com o Uso das Tecnologias.** Instituto Federal Goiano, 2022.
- [11] CRESWELL, J. W. **Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches.** Sage, 2013.
- [12] <https://www.pngwing.com/pt/free-png-sndev>. Acesso em: 07 de abril de 2024.
- [13] CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; ANDRADE, J. C. D. **Lei dos processos de absorção da radiação.** *Revista Chemkeys*, p. 1–5, set. 2018.
- [14] DA ROCHA, F. S. M.; LOSS, T.; ALMEIDA, B. L. C.; MOTTA, M. S.; KALINKE, M. A. **O uso de tecnologias digitais no processo de ensino durante a pandemia da covid-19.** *Revista Interações*, 16(55):58–82, Dez. 2020.
- [15] DAMASCENO, D. **Controle de qualidade de águas potáveis utilizando análise multivariada de imagens.** PhD thesis, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- [16] DARLING-HAMMOND, L.; LIEBERMAN, A. **Teacher education around the world: What can we learn from international practice?** *Teacher education around the world changing policies and practices*, p. 151–169, 01 2012.
- [17] DE AZEVEDO, D. S.; DA SILVEIRA, A. C.; LOPES, C. O.; AMARAL, L. D. O.; GOULART, I. D. C. V.; MARTINS, R. X. **Letramento digital: uma reflexão sobre o mito dos “nativos digitais”.** *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 16(2):615–625, dezembro 2018.
- [18] DE QUEIROZ, L. R.; BERGERMAN, M.; MACHADO, R. C.; BUENO, S. S.; ELFES, A. **Educação a distância em robótica e visão computacional.** *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 3(1):19–26, 1998.
- [19] DOS ANJOS, J. R.; DE ANDRADE NETO, A. S. **Espectrofotômetro de baixo custo: uma proposta para o ensino de ciências.** *Revista Valore*, 6:1042–1056, 2021.

- [20] EPPEL, S.; XU, H.; BISMUTH, M.; ASPURU-GUZI, A. **Computer vision for recognition of materials and vessels in chemistry lab settings and the vector-labpics data set.** *ACS Central Science*, 6(10):1743–1752, 2020. PMID: 33145411.
- [21] FREY, L.; MENON, C.; ELGENDI, M. **Blood pressure measurement using only a smartphone.** *NPJ Digit Med*, 5(1):86, Jul 2022.
- [22] GEREMIAS, J. P.; RODRIGUES, V. D. S. **Desenvolvimento de um sistema detector de distração para uso em veículos utilizando esp32 e visão computacional.** *Revista Vincci - Periódico Científico do UniSATC*, 8(1):187–211, 2023. Acesso em: 30 abr. 2024.
- [23] GIL-PÉREZ, D.; CACHAPUZ, A.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A necessária renovação do ensino das ciências**, 2005.
- [24] GONZALEZ, R.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagem.** Pearson, 2010.
- [25] **Gospectro - handheld smartphone spectrometer.** <https://shop.axiomoptics.com/products/gospectro-handheld-smartphone-spectrometer>. Acesso em 24/04/2024.
- [26] GREGGILA, M. **Cinética química usando um espectrômetro de smartphone.** Williams Honors College, Projetos de Pesquisa Honors, 2019.
- [27] GRUNEWALD NICHELE, A.; ZIELINSKI DO CANTO, L. **Ensino de química com smartphones e tablets.** *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 14(1), jul. 2016.
- [28] HELFER, G. A.; MAGNUS, V. S.; BÖCK, F. C.; TEICHMANN, A.; FERRÃO, M. F.; COSTA, A. B. D. **Photometrix: an application for univariate calibration and principal components analysis using colorimetry on mobile devices.** *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28:328–335, 2017.
- [29] HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. **The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century.** *Science Education*, 88:28 – 54, 01 2004.
- [30] HOSKER, B. S. **Demonstrating principles of spectrophotometry by constructing a simple, low-cost, functional spectrophotometer utilizing the light sensor on a smartphone.** *Journal of Chemical Education*, 95(1):178–181, 2018.
- [31] **Hsv.** <https://imgbin.com/png/aDvdtdJD/hsl-and-hsv-rgb-color-model-rgb-color-sp>  
Acesso em: 07 de abril de 2024.
- [32] HUSSAIN, M.; AKHTAR, M. **Impact of hands-on activities on students' achievement in science: An experimental evidence from pakistan.** *Middle East Journal of Scientific Research*, 16:626–632, 01 2013.

- [33] JOHNSON, D.; JOHNSON, R. **Cooperative learning: Improving university instruction by basing practice on validated theory.** *Journal on Excellence in College Teaching*, 25:85–118, 01 2015.
- [34] KOLESNICHENKO, P. V.; ERIKSSON, A.; LINDH, L.; ZIGMANTAS, D.; UHLIG, J. **Viking spectrophotometer: A home-built, simple, and cost-efficient absorption and fluorescence spectrophotometer for education in chemistry.** *Journal of Chemical Education*, 100(3):1128–1137, 2023.
- [35] KOVARIK, M. L.; CLAPIS, J. R.; ROMANO-PRINGLE, K. A. **Review of student-built spectroscopy instrumentation projects.** *Journal of Chemical Education*, 97(8):2185–2195, 2020.
- [36] KUNTZLEMAN, T. S.; JACOBSON, E. C. **Teaching beer's law and absorption spectrophotometry with a smart phone: A substantially simplified protocol.** *Journal of Chemical Education*, 93(7):1249–1252, 2016.
- [37] MADRIZ, L.; CABRERIZO, F. M.; VARGAS, R. **Exploring chemical kinetics at home in times of pandemic: Following the bleaching of food dye allura red using a smartphone.** *Journal of Chemical Education*, 98(6):2117–2121, 2021.
- [38] MARENGONI, M.; STRINGHINI, S. **Tutorial: Introdução à visão computacional usando opencv.** *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, 16(1):125–160, Mar. 2010.
- [39] MAXIMIANO, A. C.; SBRAGIA, R.; BOOG, G. **Manual de treinamento e desenvolvimento**, 1980.
- [40] MERRIAM, S. B. **Qualitative research: A guide to design and implementation.** Jossey-Bass, 2009.
- [41] METTLER-TOLEDO. **Fading of phenolphthalein in naoh.** [https://www.mt.com/us/en/home/supportive\\_content/ana\\_chem\\_applications/uvvis/M9201.html](https://www.mt.com/us/en/home/supportive_content/ana_chem_applications/uvvis/M9201.html), 2016. Acesso em: 24 de abril de 2024.
- [42] MILANO, D. D.; HONORATO, L. B. **Visão computacional**, 2013. Acesso: 24 de abril de 2024.
- [43] MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative data analysis: An expanded sourcebook.** Sage, 1994.
- [44] MILLER, S.; PFUND, C.; PRIBBENOW, C.; HANDELSMAN, J. **Scientific teaching in practice.** *Science (New York, N.Y.)*, 322:1329–30, 12 2008.

- [45] MONTANGERO, M. **Determining the amount of copper(ii) ions in a solution using a smartphone.** *Journal of Chemical Education*, 92:150702125525006, 07 2015.
- [46] MORAES, E. P.; CONFESSOR, M. R.; GASPAROTTO, L. H. S. **Integrating mobile phones into science teaching to help students develop a procedure to evaluate the corrosion rate of iron in simulated seawater.** *Journal of Chemical Education*, 92(10):1696–1699, 2015.
- [47] NOGUEIRA, S.; SOUSA, L.; SILVA, N.; RODRIGUES, P.; COLTRO, W. **Monitoring acid–base titrations on wax printed paper microzones using a smartphone.** *Micromachines*, 8, 04 2017.
- [48] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração universal dos direitos humanos da onu.** <https://brasil.un.org/pt-br/90275-covid-19-e-o-novo-coronav%C3%ADrus>, 2020. Acesso em: 24 de abril de 2024.
- [49] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Declaração universal dos direitos humanos da onu.** <https://brasil.un.org/pt-br/230307-chefe-da-organiza%C3%A7%C3%A3omundial-da-sa%C3%BAde-declara-o-fim-da-covid-19-como-uma-emerg%C3%Aancia-des%C3%BAde>, 2023. Acesso em: 24 de abril de 2024.
- [50] PAP, L. G. **An inexpensive 3d-printable do-it-yourself visible spectrophotometer for online, hybrid, and classroom-based learning.** *Journal of Chemical Education*, 98(8):2584–2591, 2021.
- [51] PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S.; VYVYAN, J. R. **Introdução à Espectroscopia: Tradução da 4ª Edição Norte-Americana.** Cengage, 2010.
- [52] PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de imagens digitais: princípios, algoritmos e aplicações.** Cengage Learning, 2008.
- [53] **Photometriz pro.** <https://www.photometrix.com.br/>. 24/04/204.
- [54] REINALDO, F.; MAGALHÃES, D. R.; REIS, L. P.; GAFFURI, S.; FREDDO, A.; HALLAL, R. **Impasse aos desafios do uso de smartphones em sala de aula: investigação por grupos focais.** *RISTI, Porto*, (19):77–92, 2016.
- [55] ROBINSON, J. W.; FRAME, E. S.; FRAME II, G. M. **Undergraduate instrumental analysis.** CRC press, 2014.

- [56] ROCHA, F. S. M. D.; LOSS, T.; ALMEIDA, B. L. C.; MOTTA, M. S.; KALINKE, M. A. **O uso de tecnologias digitais no processo de ensino durante a pandemia da covid-19.** *Revista Interações*, 16(55):58–82, Dez. 2020.
- [57] RUDEK, M.; DOS SANTOS COELHO, L.; JUNIOR, O. C. **Visão computacional aplicada a sistemas produtivos: Fundamentos e estudo de caso.** *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*, 2001. Acesso: 24 de abril de 2024.
- [58] SELCO, J. **Using hands-on chemistry experiments while teaching online.** *Journal of Chemical Education*, 97, 08 2020.
- [59] SILVA, W.; SUAREZ, W.; REIS, C.; SANTOS, V.; CARVALHO, F.; REIS, E.; VICENTINI, F. **Multifunctional webcam spectrophotometer for performing analytical determination and measurements of emission, absorption, and fluorescence spectra.** *Journal of Chemical Education*, XXXX, 02 2021.
- [60] SINGH, V.; SUSANIYA, A.; JAIN, S.; VAISH, R. **Demonstrating a rice-husk-based adsorption process using smartphone colorimetry to teach students about kinetic models and their applications.** *Journal of Chemical Education*, 98, 09 2021.
- [61] **Cores primárias.** <http://proideablog.blogspot.com/2013/08/cores-primarias.html>. Acesso em: 07 de abril de 2024.
- [62] SKOOG, D.; WEST, D.; HOLLER, F.; CROUCH, S. **Fundamentos de Química Analítica.** Thomson Learning Ltda, 2006. Tradução da 8<sup>a</sup> Ed.
- [63] STAKE, R. **Qualitative case studies.** *The Sage handbook of qualitative research*, 01 2005.
- [64] TOLLEFSON, M. **Downloading r and rstudio and setting up a file system.** In: *R 4 Quick Syntax Reference: A Pocket Guide to the Language, API's and Library*, p. 3–14. Springer, 2022.
- [65] UNIVERSITY OF VALENCIA. **Teaching guide for chemistry: Qf1.** [https://www.uv.es/qflab/2021\\_22/descargas/cuadernillos/qf1/english/p3\\_teaching\\_guide.pdf](https://www.uv.es/qflab/2021_22/descargas/cuadernillos/qf1/english/p3_teaching_guide.pdf), 2021. Acessado em: 24/04/2024.
- [66] VAZ, G. C. **Aplicação de modelos de deep learning para qualificação da área da engenharia biomédica: um estudo de caso de visão computacional em imagens de raio-x da região torácica.** PhD thesis, [sn], 2023.
- [67] WANG, S.; ZHENG, L.; CAI, G.; LIU, N.; LIAO, M.; LI, Y.; ZHANG, X.; LIN, J. **A microfluidic biosensor for online and sensitive detection of salmonella typhimurium**

**using fluorescence labeling and smartphone video processing.** *Biosensors and Bioelectronics*, 140:111333, 05 2019.

[68] WERNKE, M.; PLÁCIDO, F. G. **VisÃO computacional aplicada no controle de qualidade para comparação de cores na indústria têxtil.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), 2023. Acesso em: 30 de abril de 2024.

[69] YIN, R. K. **Case study research: Design and methods.** Sage, 2014.

# **Appendices**

## **Roteiro da Aula Experimental**

---

O roteiro da página seguinte foi elaborado e aplicado no curso de Físico-Química Experimental I para 8 (oito) alunos do curso de Química Bacharelado da Universidade Federal de Goiás, no dia 01/08/2023.

# DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE CINÉTICA DO INDICADOR FENOLFTALEÍNA UTILIZANDO SMARTPHONE

## 1. INTRODUÇÃO

A cinética química é um ramo da química que estuda quantitativamente a velocidade de uma reação. As velocidades das reações dependem das concentrações dos reagentes (e/ou produtos), temperatura e pressão. Diversas técnicas de monitoramento cinético de reações são empregadas atualmente, sendo a mais conhecida a Espectrofotometria na região Ultravioleta-Visível (UV/Vis). O aparelho é conhecido pelo emprego de baixas quantidades de reagentes e a capacidade de automação das medidas cinéticas. No monitoramento cinético via (UV/Vis) a absorbância em determinados comprimentos de onda é monitorada em função do tempo (SKOOG, 2006).

O indicador fenolftaleína ( $C_{20}H_{14}O_4$ ) é o mais comum nos laboratórios na determinação do ponto de viragem em titulações de ácido-base. Em uma solução alcalina de hidróxido de sódio (pH acima de 11) no qual contém este indicador deixada em repouso, observa-se um desvanecimento lento da coloração rosa-avermelhada que é característica em meio básico. A conversão de  $H_2P$  para  $P^{2-}$  é muito rápida e completa, enquanto na conversão de  $P^{2-}$  (rosa avermelhado intenso) para  $POH^{3-}$  (incolor) é lenta o suficiente para medir a velocidade da reação por meio da absorbância a 550 nm. A descoloração do indicador fenolftaleína em solução alcalina pode ser representada pela forma simplificada abaixo (GARCIA, 2002).



Na cinética química, a determinação da constante de velocidade do indicador fenolftaleína é estabelecida graficamente pelo logaritmo ( $\ln$ ) da absorbância *versus* o tempo (dados da leitura de um espectrofotômetro UV/Vis), no qual a inclinação do gráfico corresponde à taxa da velocidade. A constante de velocidade ( $k'$ ) é determinada, dividindo a inclinação da reta (slope) pela concentração molar de íon hidroxila ( $OH^{-}$ ), de acordo com a equação abaixo (METTLER-TOLEDO, 2016).

$$k' = \frac{\text{slope}}{[OH^{-}]} \quad (2)$$

Uma alternativa mais prática e acessível com relação ao aparelho Espectrofotômetro UV-Vis para soluções coloridas é o monitoramento em vídeo de reações empregando um smartphone/câmera. A utilização de vídeos/imagens, alinhados à programação, estão sendo amplamente operadas como uma nova metodologia no estudo de cinética química e na determinação de concentrações em química analítica (SINGH, 2021).

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo, aplicar o procedimento alternativo adotado na determinação da constante de velocidade do indicador fenolftaleína, ordem da reação e compará-lo aos dados obtidos pela literatura.

### 3. MATERIAIS

#### *Instrumentos e Vidrarias*

- Espectrofotômetro UV/VIS;
- Caixa iluminada;
- Balança analítica;
- Balões volumétricos;
- Erlenmeyers ou Béquer;
- Pipeta e Pera;
- Bastão de Vidro;
- Placa de Petri;
- Conta gotas;
- Smartphone/Câmera;
- Notebook/Computador.

#### *Amostras e reagentes*

- Hidróxido de sódio;
- Cloreto de Sódio;
- Fenolftaleína;
- Etanol, 96%.

### 4. METODOLOGIA

#### *4.1 Preparo das Soluções*

##### *a) Solução de fenolftaleína (0,02%)*

Pesar cerca de 0,1 g de fenolftaleína em balão volumétrico de 100 mL e adicionar um pouco quantidade de 50% de etanol a ele. Dissolver completamente e, em seguida, encha até a marca com o mesmo solvente. Esta é a solução estoque de fenolftaleína (0,1%). Diluir 1 mL de solução estoque de fenolftaleína com 4 ml de etanol 96%.

##### *b) Solução de cloreto de sódio (NaCl) 0,300 mol L<sup>-1</sup>*

Pesar cerca de 17,71 g de NaCl em balão volumétrico de 1 L. Adicione uma pequena quantidade de água destilada. Dissolver completamente e completar a marca com água destilada.

##### *c) Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,300 mol L<sup>-1</sup>:*

Pesar cerca de 6,06 g de NaOH e dissolver em 0,500 L de água destilada. Padronizar a solução com biftalato de potássio.

##### *d) Solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,200 mol L<sup>-1</sup>:*

A partir da solução padrão de NaOH 0,300 mol L<sup>-1</sup> preparada anteriormente, extraia uma alíquota de 200 mL de NaOH 0,300 mol L<sup>-1</sup> e dilua em 100 mL de NaCl 0,300 mol L<sup>-1</sup>. Padronize a solução com biftalato de potássio.

## 4.2 Medições

### Caixa iluminada

Centralize a placa de Petri dentro da caixa iluminada, de modo que receba a maior quantidade de luz. Em seguida acomode o smartphone/câmera nas hastes da caixa e ajuste a câmera de vídeo para capturar a imagem da placa de Petri por inteiro. Realizado os ajustes necessários, **habilite o autofocus da câmera de vídeo**.

Na placa de Petri, adicione 15 ml de solução de NaOH 0,300 mol L<sup>-1</sup> com o auxílio da pipeta e pera e em seguida, acrescente 5 gotas de solução de fenolftaleína 0,02 %. Com o bastão de vidro, mexa a solução. Tempo estimado de duração da reação, 6 minutos.

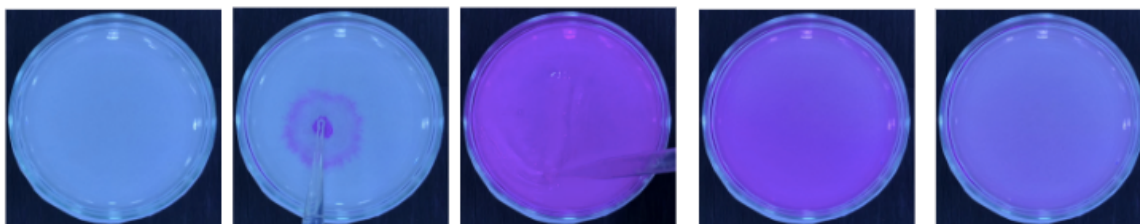


Figura 1: Imagens de etapas de reação da solução de NaOH no interior da caixa de iluminação.

Repita o processo para solução de NaOH 0,200 mol L<sup>-1</sup>. Tempo estimado de duração da reação, 16 minutos.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Vídeo

#### 5.1.1 Conversão do vídeo em imagens:

- Realize o upload do vídeo de seu smartphone/câmera em um notebook/computador.
- Instale o aplicativo *ffmpeg* (gratuito):  
<https://ffmpeg.org/download.html>
- Abra o aplicativo *ffmpeg* e em seguida converta o arquivo de multimídia em frames (fotos) com o seguinte comando:

```
ffmpeg -i/caminho/do/seu/vídeo/NOMEVIDEO.MOV img%06d.png
```

#### 5.1.2 Processamento das imagens do vídeo:

- Instale o software R e RStudio respectivamente (ambos são gratuitos);

Software R: <https://cran-r.c3sl.ufpr.br/>

Software RStudio: <https://cran.rstudio.com/>

b) No aplicativo RStudio, instale o pacote “imager” com o seguinte comando:

```
install.packages("imager")
```

Em seguida, ative o pacote com o comando:

```
library("imager")
```

c) Definir a ROI: Carregue uma imagem para realizar os recortes:

```
plot(load.image("/Volumes/TOSHIBA_EXT/run1/img000001.png"))  
  
plot(imsub(load.image("/Volumes/TOSHIBA_EXT/run1/img000001.png"),  
x<545, x>95,  
y<665, y>265))
```

### 5.1.3 Cálculo

Script

#### Conversão das imagens em números

```
file_list <- list.files(path="/Volumes/TOSHIBA_EXT/run1", full.names = TRUE)  
frames.mean = list()  
for (i in file_list) {  
  frame.x = imsub(load.image(i), x<585, x>230, y<730, y>370)  
  r.mean = mean(R(frame.x))  
  g.mean = mean(G(frame.x))  
  b.mean = mean(B(frame.x))  
  h.mean = mean((RGBtoHSV(frame.x))[,1])  
  s.mean = mean((RGBtoHSV(frame.x))[,2])  
  v.mean = mean((RGBtoHSV(frame.x))[,3])  
  frames.mean[[i]] = c(r.mean, g.mean, b.mean, h.mean, s.mean, v.mean)  
}  
roi.circ <- frames.mean  
save(roi.circ, file = "teste.roi.circ.RData")
```

### 5.2 Extraindo a tabela tempo x saturação

a) Instalar o pacote 'openxlsx'

```
if(!requireNamespace("openxlsx", quietly = TRUE)) {  
  install.packages("openxlsx")  
}
```

b) Carregar a biblioteca 'openxlsx'

```
library(openxlsx)
```

```

c) Carregar os dados extraídos do arquivo 'teste.roi.circ.RData'
load(file = "teste.roi.circ.RData ")
nframes <- length(roi.circ)
teste_circ.df <- matrix(unlist(roi.circ), ncol = 6, nrow = nframes, byrow = TRUE)

frames.i <- which.max(teste_circ.df[, 5])
frames.f <- dim(teste_circ.df)[1]
S.c5 <- teste_circ.df[frames.i:frames.f, 5]
tempo <- seq(0, (frames.f - frames.i)) / 30

```

e) Criar um data frame com as colunas "tempo" e "coluna 5" para a curva  
 dados\_curva <- data.frame(tempo, coluna\_5 = S.c5)

```

# Especificar o nome do arquivo Excel
nome_arquivo_excel <- "teste.xlsx"

```

```

# Criar um objeto workbook e adicionar um worksheet chamado "Curva"
wb <- createWorkbook()
addWorksheet(wb, "Curva")

```

```

# Escrever os dados no worksheet "Curva"
writeData(wb, sheet = "Curva", x = dados_curva)

```

```

# Salvar o arquivo Excel
saveWorkbook(wb, file = nome_arquivo_excel, overwrite = TRUE)

```

```

# Mensagem de confirmação
cat("A curva foi salva em:", nome_arquivo_excel, "\n")

```

### 5.3 Excel

- Linearize os dados de saturação;
- Esboce um gráfico do ln da saturação versus o tempo;
- Determine o coeficiente linear da reta (esse valor corresponde a velocidade molar da reação,  $k'$ ). *obs.:*  $K' = k/[OH]$

5.4 Preencha a tabela abaixo e indique qual a ordem da reação com base nos gráficos.

NaOH mol/L	$k'$	$k$

## 6. REFERÊNCIAS

GARCÍA, Jaime Lora. Convocatória para a constituição de um banco de empregos para técnico médio de laboratório no Departamento de Engenharia Química e Nuclear do campus da cidade de Alcoy. 2022. Elaborado por Universidade Politécnica de Valência. Disponível em: <http://www.upv.es/entidades/DIQN/infoweb/diqn/info/U0909966.pdf>.

METTLER-TOLEDO (org.). Fading of Phenolphthalein in NaOH. *Select Science*, [s. l.], p. 1-2, jun. 2016.

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

SINGH, Vishvendra P; et al. Demonstrating a Rice-Husk-Based Adsorption Process Using Smartphone Colorimetry to Teach Students about Kinetic Models and Their Applications. *Journal of Chemical Education*, 98 (10), p. (3288 – 329 6), outubro, 2020. Disponível em: [doig.org/10.1021/acs.jchemed.1c00065](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00065).

## Questionário

---

Após os registros e padronização das soluções, os estudantes responderam um questionário (página seguinte) para avaliar a compreensão dos participantes sobre a experiência geral do emprego da metodologia de determinação da constante de velocidade da reação de descolorimento da fenolftaleína em meio básico ( $\text{pH} > 10$ ) usando análise de vídeo.

Esse questionário foi elaborado para fornecer informações sobre o impacto da metodologia no processo de aprendizado e para orientar melhorias futuras no desenvolvimento do curso. As respostas dos participantes foram coletadas de forma anônima.



## QUESTIONÁRIO

Prática “DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE CINÉTICA DO INDICADOR FENOLFTALEÍNA UTILIZANDO SMARTPHONE”.

- 1) Qual período está cursando? \_\_\_\_\_
- 2) Você já utilizou um espectrofotômetro UV/Vis em uma prática laboratorial?  
 Sim                       Não
- 3) Já utilizou o smartphone, como recurso principal, para executar alguma prática de laboratório?  
 Sim                       Não
- 4) Para aqueles que responderam “sim” na questão anterior (2), na sua opinião, o espectrofotômetro tradicional é uma ferramenta de fácil utilização em experimentos de instrução cinética e ordem de reação? Por quê?
- 5) Você já encontrou alguma restrição específica ao usar um espectrofotômetro tradicional para análises na faixa do visível? Quais foram as restrições?
- 6) Você já teve contato com uma nova metodologia experimental proposta para substituição do espectrofotômetro (sem ser a proposta de hoje)? Se sim, como você se sentiu em relação a essa mudança?

- 7) Quais são suas expectativas em relação ao uso do smartphone como substituto do espectrofotômetro?
  
- 8) Quais foram os principais desafios encontrados ao realizar o experimento com a caixa e smartphone?
  
- 9) Como você avalia a precisão dos resultados obtidos com a metodologia da caixa/smartphone em comparação com o espectrofotômetro tradicional?
  
- 10) Você considera a nova metodologia prática e viável para o uso em laboratórios de ensino e pesquisa?
  
- 11) O que você considera como pontos fortes e fracos da nova abordagem como a caixa e smartphone?
  
- 12) Você considera que a nova metodologia possui alguma vantagem em termos de custo em relação às técnicas tradicionais, em especial o espectrofotômetro UV/Vis?
  
- 13) Em quais áreas ou setores você acredita que a nova metodologia com o smartphone pode ter maior aplicação e impacto?

- 14) Você acredita que essa metodologia pode ser uma alternativa útil em contextos com recursos limitados?
- 15) Com base em sua experiência, você recomendaria o uso da nova metodologia do smartphone para substituir o espectrofotômetro em experimentos futuros?
- 16) No espectrofotômetro tradicional UV/Vis, durante a reação, não é possível visualizar a cubeta. No entanto, no experimento com a caixa e smartphone, a solução contida na placa de Petri é visualizada o tempo todo. Considerando essa diferença, você acredita que a possibilidade de visualizar a amostra durante todo o experimento torna o entendimento do procedimento e conceito cinético mais fácil?
- 17) No espectrofotômetro UV/Vis, é comum adicionar o indicador fenolftaleína à solução que está na cubeta fora do aparelho antes de iniciar a corrida cinética. Entretanto, surge a questão: você acredita que esse intervalo de tempo entre adicionar o indicador e ligar o aparelho possa levar à "perda de dados"?
- 18) Existe algo mais que você gostaria de acrescentar sobre sua participação no experimento ou sobre a nova metodologia em geral?

Prezado(a) Participante,

Gostaria de expressar nossa sincera gratidão pela sua valiosa contribuição ao participar de nosso estudo sobre a nova metodologia experimental para determinação cinética e ordem da reação utilizando o smartphone como substituto do espectrofotômetro.

Sua participação ativa e respostas cuidadosas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Com sua colaboração, pudemos obter interpretações importantes e avaliar a viabilidade e eficácia dessa inovadora abordagem. Suas opiniões e percepções nos permitiram compreender melhor os aspectos práticos e as possíveis aplicações dessa metodologia.

Agradecemos sinceramente o tempo dedicado para responder ao questionário. Suas informações são essenciais para a produção de conhecimento científico relevante e para o aprimoramento contínuo da pesquisa em nossa área.

Caso tenha algum interesse em acompanhar os resultados ou receber mais informações sobre o progresso do nosso estudo, por favor, não hesite em nos contatar ([isabellamoura@discente.ufg.br](mailto:isabellamoura@discente.ufg.br)). Estamos sempre à disposição para compartilhar nossos avanços e responder a quaisquer dúvidas.

Mais uma vez, agradecemos sua participação e contribuição para o desenvolvimento desta pesquisa. Seu envolvimento foi fundamental para o enriquecimento do nosso trabalho.

Atenciosamente,  
Isabella Moura e Oliveira  
Universidade Federal de Goiânia