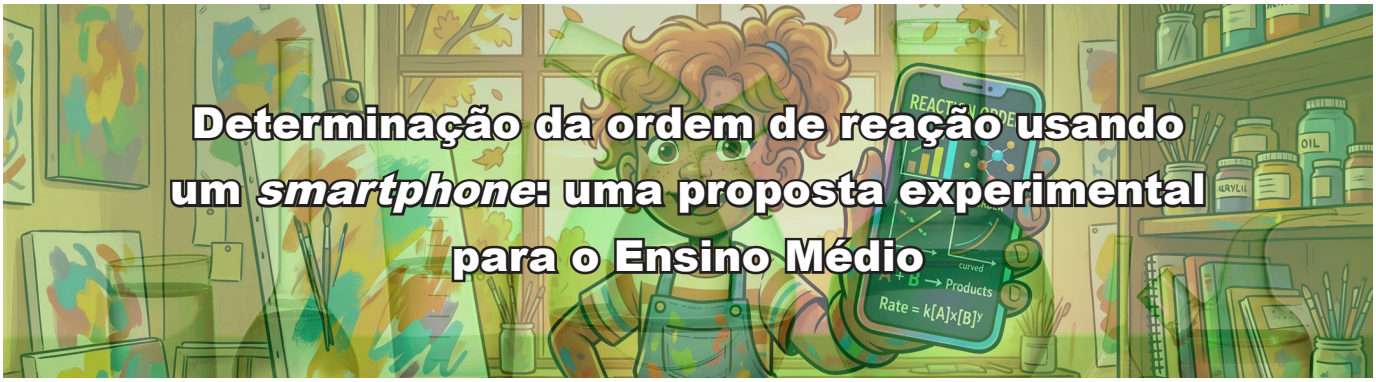
Química Nova na Escola, v. 48, n. 4, p. 429-432, 2026 – http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160507



Determinação da ordem de reação usando um *smartphone*: uma proposta experimental para o Ensino Médio

Airton Vicente Pereira, Charbel Nagib Mouchrek, Eduarda Martins de Barros e Orlando Fatibello Filho

Este trabalho apresenta um experimento voltado ao Ensino Médio que utiliza a colorimetria digital baseada em *smartphone* para a determinação da ordem da reação entre cristal violeta e hidróxido de sódio. O sistema de aquisição de imagens foi construído com materiais de baixo custo e fácil acesso. A partir das imagens da solução ao longo do tempo e da extração dos dados do sistema RGB é possível construir gráficos e demonstrar o comportamento cinético de pseudo-primeira ordem. A comparação entre duas concentrações da base permite discutir a dependência da constante observada em relação à concentração de hidróxido e a ordem global da reação. A proposta articula experimentação, tratamento matemático e uso de recursos digitais, ampliando as possibilidades de abordagem quantitativa da cinética química no Ensino Médio.

▶ ensino de química, cinética química, colorimetria digital ◀

Recebido em 27/02/2026; aceito em 08/05/2026

Introdução

O ensino de cinética química, embora ocupe posição central nos conteúdos curriculares do ensino médio, ainda é frequentemente conduzido por meio de abordagens excessivamente centradas em fórmulas e equações presentes nos livros didáticos, bem como na memorização, sem a devida contextualização (Batista *et al*., 2020). De modo geral, a discussão sobre ordem de reação, constante cinética e dependência da velocidade em relação à concentração limita-se à resolução de exercícios, afastando-se da análise do fenômeno químico propriamente dito.

As dificuldades associadas ao tema cinética química não se restringem ao domínio matemático, mas envolvem também a interpretação de dados e a articulação entre diferentes formas de representação. Um levantamento recente da produção ibero-americana sobre o tema apontou a predominância de estudos voltados às concepções dos alunos e ao uso da experimentação como estratégia didática central (Souza *et al*., 2024). Embora tais iniciativas reforcem a importância das atividades experimentais, ainda persistem lacunas quanto à integração sistemática entre experimentação, análise quantitativa e tratamento matemático de dados no contexto escolar.

No contexto das práticas experimentais no ensino de Química, são comuns atividades baseadas na observação de transformações macroscópicas, como mudanças de cor, formação de precipitados, desprendimento de gases e variações térmicas (Lôres, 2023). Esses experimentos contribuem para introduzir a noção de velocidade de reação, mas não avançam para a coleta e o tratamento quantitativo dos dados.

Os trabalhos de Novaes *et al*. (2013) e Silva *et al*. (2016) demonstram a viabilidade de experimentos com materiais acessíveis, ampliando as possibilidades de execução mesmo em ambientes escolares com infraestrutura limitada. Ainda assim, permanece o desafio de converter observações qualitativas em dados organizados, construção de gráficos e discussão da ordem de reação. Além disso, a literatura tem destacado a importância de abordagens investigativas que favoreçam a análise de evidências e a argumentação em sala de aula (Barbosa e Souza, 2021).

A utilização planejada de *smartphones*, em conjunto com aplicativos gratuitos de processamento de imagens, abre novas perspectivas didáticas para o ensino de ciências. A captura de imagens com câmeras de celulares permite explorar a colorimetria digital no estudo de cinética química (Madriz *et al*., 2021) como alternativa de baixo custo aos espectrofotômetros frequentemente utilizados em cursos

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

superiores para o monitoramento cinético por medidas de absorbância.

A colorimetria digital como método analítico compreende a aquisição de imagens e a quantificação de cores por meio de *softwares* de processamento de imagens (*Photometrix*, *Trigit*, *ImageJ*, *Matlab*, etc.), em diferentes espaços de cor (RGB, CMYK, CIELAB e HSV). Em seguida, pode-se estabelecer uma relação entre os dados extraídos das imagens e a concentração do analito (Soares *et al*., 2023).

Dessa forma, o presente trabalho apresenta um experimento voltado ao Ensino Médio que utiliza a colorimetria digital por meio de *smartphone* na determinação da ordem da reação entre cristal violeta e hidróxido de sódio. A proposta foi estruturada para possibilitar sua aplicação em escolas com poucos recursos, utilizando reagentes e materiais acessíveis, com o objetivo de oferecer ao professor uma possibilidade concreta de abordagem quantitativa da cinética química.

Proposta experimental

Montagem do sistema para captura das imagens

O sistema foi montado sobre uma base de espuma de polietileno expandido (EPE), podendo ser substituída por uma folha de cartolina branca. Uma folha de papel sulfite branca foi utilizada como fundo neutro, a fim de minimizar interferências cromáticas e contribuir para a uniformização da iluminação. Os tubos foram fixados em um suporte de espuma de polietileno e mantidos estáveis por meio de garra. A iluminação foi realizada com uma luminária com luz branca fria, posicionada de modo a evitar a formação de sombras no fundo e uniformizar a incidência de luz sobre a amostra. O *smartphone* foi mantido a uma distância fixa dos tubos com auxílio de um suporte, evitando-se variações de enquadramento e *zoom* entre as fotografias e os experimentos. Uma imagem do sistema está apresentada na Figura 1.

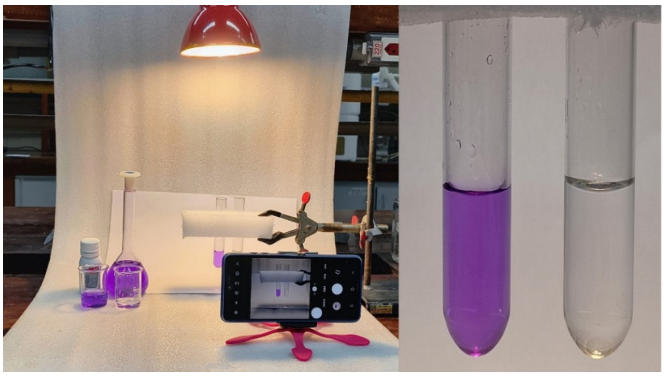


Figura 1: Sistema de colorimetria digital e uma imagem de tubos contendo cristal violeta e água destilada obtida durante o experimento.

Reagentes e preparo das soluções

Utilizou-se uma solução comercial de cristal violeta (comercializada em farmácias como violeta de genciana a 1 ou 2 %) e soluções de hidróxido de sódio 0,10 mol L^{-1} e 0,05 mol L^{-1}. A solução de cristal violeta (MM = 407,98 g mol^{-1}) foi diluída em água destilada para obtenção de uma solução $4{,}0 \times 10^{-5}$ mol L^{-1}, preparada em balão volumétrico. A solução de NaOH 0,10 mol L^{-1} foi preparada por dissolução do reagente sólido em água, sendo posteriormente diluída para obtenção da solução 0,05 mol L^{-1}.

Procedimento experimental

A reação foi conduzida em tubos de ensaio, misturando-se 4,5 mL da solução de cristal violeta (CV) diluída com 0,5 mL de solução de NaOH (0,10 ou 0,05 mol L^{-1}). A quantidade de matéria de cátion cristal violeta (CV^+) utilizada foi de $1{,}8 \times 10^{-7}$ mol. Para as soluções de NaOH, foram $5{,}0 \times 10^{-5}$ mol (0,10 mol L^{-1}) e $2{,}5 \times 10^{-5}$ mol (0,05 mol L^{-1}). Após adição do hidróxido de sódio, seguida de uma rápida homogeneização com uma pipeta de Pasteur plástica, foi iniciada a aquisição das imagens com todo o sistema previamente montado (iluminação ajustada para evitar sombras, celular posicionado e pronto para as fotografias). Um tubo contendo água foi utilizado juntamente com o tubo reacional para calibração e tratamento dos dados.

Aquisição e tratamento das imagens

As imagens foram registradas nos tempos 15, 30, 45 e 60 s; posteriormente, a cada 30 segundos até 5 min e, em seguida, a cada 60 s até 10 min. A seguir, as fotos foram transferidas para um computador e analisadas com o aplicativo *on-line Trigit* (https://trigit.com.au/), obtendo-se os valores dos canais RGB usando a ferramenta *Selection* para a delimitação da região de interesse (*ROI*). Os dados do canal G em função do tempo foram organizados na Tabela S1, disponível como Material Suplementar deste artigo. Para avaliar o comportamento cinético, construiu-se o gráfico de ln(G) em função do tempo.

Resultados e discussão

A reação entre o cátion cristal violeta (CV^+) e o íon hidróxido está representada na Figura 2. Em solução aquosa, essa espécie apresenta um carbono central deficiente em elétrons, estabilizado por ressonância com os anéis aromáticos. Em meio fortemente básico, o CV^+ sofre ataque nucleofílico do íon OH^- nesse carbono, formando uma espécie carbinol (forma leuco). Essa conversão interrompe o sistema conjugado π responsável pela intensa coloração violeta, resultando na diminuição da absorção na região do

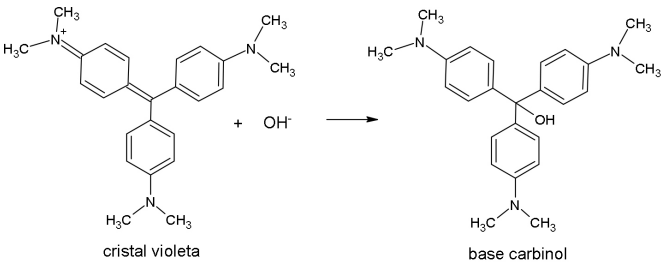


Figura 2: Reação do cátion cristal violeta (CV^+) com íons OH^-, formando a base carbinol (incolor).

visível e no descoramento progressivo da solução ao longo do tempo (Conceição e Diogo, 2013), fenômeno facilmente observável a olho nu.

A Figura 3 apresenta exemplos de imagens sequenciais capturadas durante o transcurso da reação, evidenciando a diminuição gradual da intensidade da cor, mais acentuada na presença de NaOH 0,1 mol L^{-1}.

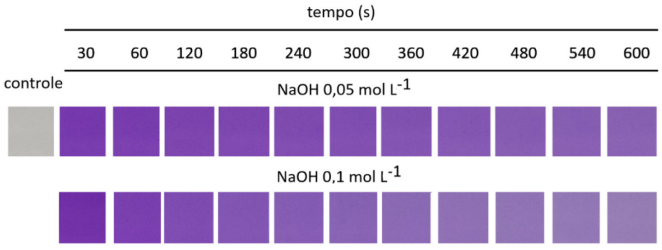


Figura 3: Imagens ilustrativas das regiões de interesse (ROI) analisadas por colorimetria digital ao longo da reação do cristal violeta com NaOH 0,05 e 0,1 mol L^{-1}.

Análise dos dados colorimétricos

A partir das imagens digitais, foram extraídos os valores do sistema RGB por meio do aplicativo *on-line Trigit*, ferramenta gratuita, intuitiva e de fácil utilização (Tjandra *et al.*, 2023). Conforme discutido anteriormente, a coloração violeta está associada ao cátion cristal violeta (CV^+), sendo progressivamente reduzida com a formação da espécie carbinol durante a reação. Essa variação se reflete nos valores (entre 0 e 255) do sistema RGB, e o canal G (verde) foi o mais sensível à diminuição da concentração do corante.

Como os valores de G aumentam com o descoramento, foi realizada uma correção (G_{corr}) utilizando um tubo contendo apenas água nas mesmas condições experimentais (G controle). Os valores foram ajustados segundo:

$$G_{corr} = G_{controle} - G_{amostra}$$

Essa transformação inverte a tendência crescente e produz valores proporcionais à diminuição da concentração do cristal violeta, permitindo aplicar o tratamento cinético de primeira ordem a partir da forma integrada da lei de velocidade.

É importante salientar que variações nas condições de iluminação, diferenças entre modelos de *smartphones*, alterações no posicionamento do dispositivo e ruídos associados à leitura dos valores RGB constituem fontes de erro experimental e podem resultar em variações nos dados obtidos. Além disso, o método apresenta limitações relacionadas à dependência dessas condições e à natureza indireta da medida, baseada na intensidade de cor como aproximação da concentração. Tais fatores, contudo, não inviabilizam sua aplicação, desde que sejam mantidas condições experimentais padronizadas. Ademais, esses aspectos podem ser explorados didaticamente como oportunidade para discutir controle de variáveis experimentais, a reprodutibilidade e a confiabilidade das medidas.

Determinação da ordem de reação

Como o hidróxido de sódio foi utilizado em grande excesso, sua concentração pode ser considerada aproximadamente constante durante o experimento.

$$[OH^-] \approx \text{constante}$$

Nessas condições, a velocidade da reação (ν) pode ser expressa como:

$$\nu = k[CV][OH^-] = k_{obs}[CV]$$

onde: $k_{obs} = k[OH^-]$.

Essa expressão assume a forma de uma reação de primeira ordem: $\nu = k_{obs}[CV]$, cuja forma integrada é dada por $\ln[CV] = \ln[CV]_0 - k_{obs}\,t$. Assim, considerando a proporcionalidade entre G_{corr} e a concentração de CV^+, espera-se uma relação linear entre $\ln(G_{corr})$ e o tempo.

Para verificar a ordem da reação, foram construídos gráficos de $\ln(G_{corr})$ em função do tempo para as duas concentrações de NaOH, conforme apresentado na Figura 4.

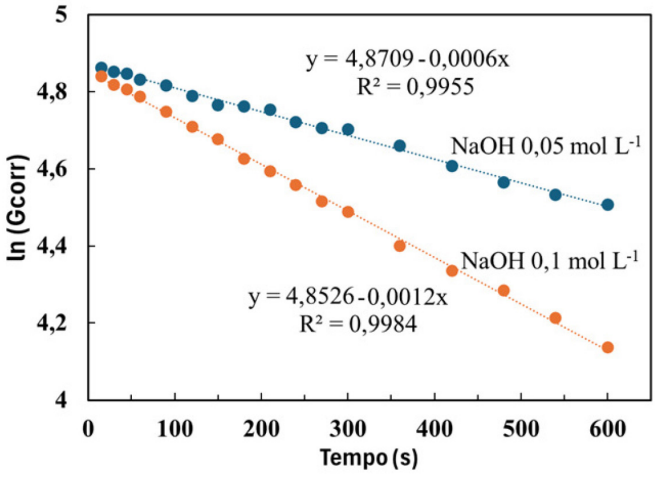


Figura 4: Ajuste linear de $\ln(G_{corr})$ versus tempo para as diferentes concentrações de NaOH.

Para a solução de NaOH 0,05 mol L^{-1}, observou-se um comportamento linear, com a equação $\ln(G_{corr}) = 4{,}87 - (6{,}0 \times 10^{-4})t$ com $R^2 = 0{,}996$. O coeficiente angular da reta corresponde a $k_{obs} = 6{,}0 \times 10^{-4}\ s^{-1}$. Para a solução de NaOH 0,1 mol L^{-1}, a equação obtida foi $\ln(G_{corr}) = 4{,}8 - (1{,}2 \times 10^{-3})t$, com $R^2 = 0{,}998$, resultando em $k_{obs} = 1{,}2 \times 10^{-3}\ s^{-1}$.

Portanto, *há uma* clara dependência de k_{obs} em relação à concentração de hidróxido. A razão entre as constantes obtidas é aproximadamente 2, indicando que ao se dobrar a concentração de NaOH praticamente duplicou-se o valor de k_{obs}. Considerando que:

$$k_{obs} = k[OH^-]^n$$

A proporcionalidade direta observada entre k_{obs} e a concentração de hidróxido indica dependência linear de

primeira ordem em relação ao íon OH^-. Como o tratamento experimental foi conduzido com excesso de base, o sistema apresenta comportamento de pseudo-primeira ordem em relação ao cristal violeta, embora a reação global seja de segunda ordem.

Sugestão de aplicação no Ensino Médio

A atividade pode ser realizada em duas aulas de 50 minutos, com os estudantes divididos em pequenos grupos, de modo a favorecer a participação ativa e a interpretação coletiva dos dados obtidos. A primeira aula é destinada à montagem do sistema e à execução do experimento, com as soluções previamente preparadas, e a segunda voltada à análise das imagens, elaboração de gráficos e discussão dos resultados. Durante a condução, o professor pode destacar a importância da manutenção das condições experimentais do sistema de colorimetria digital, como iluminação, distância e posicionamento do celular e o uso de *zoom*, além de solicitar a análise visual da variação de cor como evidência da transformação química, relacionando-a com conceitos de concentração e cinética. Entre as principais dificuldades dos estudantes, destacam-se a interpretação dos dados obtidos por colorimetria digital e a compreensão da relação entre a cor observada e a concentração do corante, aspectos que podem ser explorados por meio de discussões orientadas.

Conclusão

Os resultados demonstram que a colorimetria digital baseada em *smartphone*, associada ao tratamento matemático dos dados, permite obter parâmetros cinéticos quantitativamente coerentes com aqueles descritos na literatura e determinados por espectrofotometria. Esses achados reforçam o potencial didático da proposta experimental, evidenciando sua viabilidade como estratégia acessível e quantitativa para o ensino de cinética química no Ensino M*édio.*

Material Suplementar

O material suplementar a este trabalho está disponível em https://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/QNEsc_23-26_MS.pdf, na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

Airton Vicente Pereira (airtonvp@uepg.br) é doutor em Química pela UFSCar. Atualmente é docente do curso de Farmácia da Universidade Estadual de Ponta Grossa. **Charbel Nagib Mouchrek** (charbelnm@gmail.com) é bacharel e mestre em Química pela Universidade Federal do Maranhão. Atualmente é doutorando no Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de São Carlos. **Eduarda Martins de Barros** (eduardamartins@estudante.ufscar.br) é graduanda em Química e aluna de Iniciação Científica do Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos. **Orlando Fatibello Filho** (bello@ufscar.br) é doutor em Química pela USP. Atualmente é Professor Titular do Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos.

Referências

BATISTA, J. S.; CORRÊA, D. D. R. e GOMES, M. G. Contextualização, experimentação e aprendizagem significativa na melhoria do ensino de cinética química. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 11, n. 4, p. 79-94, 2020.

BARBOSA, S. M. e SOUZA, N. S. Investigação orientada por argumentos no ensino de química de nível médio: uma proposta em cinética. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 1, p. 74-85, 2021.

CONCEIÇÃO, A. C. L. e DIOGO, H. P. Determinação de parâmetros cinéticos em fluxo com câmara de gradiente e deteção espectrofotométrica: aplicação à reação entre o violeta de cristal e o ião hidróxido. *Química Nova*, v. 36, n. 6, p. 905-910, 2013.

COPPER, C. L. e KOUBEK, E. A kinetics experiment to demonstrate the role of a catalyst in a chemical reaction: a versatile exercise for general or physical chemistry students. *Journal of Chemical Education*, v. 75, n. 1, p. 87-89, 1998.

LÔRES, T. P. S. *Atividades experimentais investigativas para o ensino de Cinética Química: um olhar para a área de Ciências da Natureza*. Dissertação de Mestrado em Educação para Ciências e Matemática, Instituto Federal de Goiás, Jataí, 2023.

MADRIZ, L.; CABRERIZO, F. M. e 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*, v. 98, n. 6, p. 2117-2121, 2021.

NOVAES, F. J. M.; AGUIAR, D. L. M.; BARRETO, M. B. e AFONSO, J. C. Atividades experimentais simples para o entendimento de conceitos de cinética enzimática: *Solanum tuberosum* - uma alternativa versátil. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 1, p. 27-33, 2013.

SILVA, R. M.; SILVA, R. C.; ALMEIDA, M. G. O. e AQUINO, K. A. S. Conexões entre cinética química e eletroquímica: a experimentação na perspectiva de uma aprendizagem significativa. *Química Nova na Escola*, v. 38, n. 3, p. 237-243, 2016.

SOARES, S.; FERNANDES, G. M. e ROCHA, F. R. P. Smartphone-based digital images in analytical chemistry: why, when, and how to use. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, v. 168, p. 1-10, 2023.

SOUZA, L. F. D. S.; NUNES, A. O.; SANTOS, A. G. D. e CONTRERA, Y. P. Cinética química - um olhar sobre a literatura entre 1983 e 2021. *Química Nova na Escola*, v. 46, n. 3, p. 203-218, 2024.

TJANDRA, A. D.; HEYWOOD, T. e CHANDRAWATI, R. Trigit: a free web application for rapid colorimetric analysis of images. *Biosensors and Bioelectronics: X*, v. 14, p. 1-14, 2023.

Abstract: *Determination of reaction order using a smartphone: an experimental proposal for high school.* This work presents an experimental proposal designed for high school that uses smartphone-based digital colorimetry to determine the reaction order between crystal violet and sodium hydroxide. The image acquisition system was built using low-cost and easily accessible materials. From capturing solution images over time and extracting RGB data, plots can be constructed to demonstrate pseudo-first-order kinetic behavior. The comparison between two base concentrations allows discussion of the dependence of the observed rate constant on hydroxide concentration and the overall reaction order. The proposal integrates experimentation, mathematical data treatment, and digital resources, expanding the possibilities for a quantitative approach to chemical kinetics in high school.
Keywords: chemistry teaching, chemical kinetics, digital colorimetry