

Degradação do azul de metileno pelo método Fenton: proposta experimental para o curso de graduação em química

João G. A. Botti (IC)¹, Jane S. de Medeiros* (PQ)¹

1- Universidade Federal do Espírito Santo – Departamento de Química, Campus Goiabeiras

Resumo: Foi estudada a estruturação de um roteiro experimental para aulas de cinética no contexto da graduação em Química. Centrou-se no estudo cinético da degradação do corante Azul de Metileno, utilizando o Processo Oxidativo Avançado (POA) Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$). Adaptou-se da literatura para a realidade dos laboratórios de ensino, envolvendo o monitoramento da descoloração do corante por espectrofotometria UV-Vis (665 nm) ao longo de 30 minutos. Foram testadas diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio (0,125 e 0,250 mol L⁻¹) e sulfato ferroso (0,005 e 0,025 mol L⁻¹). Os dados de absorbância foram tratados com um modelo cinético linearizado ($t/(1 - C_n/C_0) = \rho + \sigma \times t$), permitindo a obtenção dos parâmetros de velocidade ($1/\rho$) e capacidade oxidativa ($1/\sigma$). Os resultados demonstraram que maiores concentrações do catalisador (Fe^{2+}) aumentaram a velocidade e a eficiência de degradação, que atingiu 100% em um dos ensaios. A prática, viável dentro do período de uma aula (4h), permite aos alunos relacionarem teoria cinética com um problema ambiental real, desenvolvendo habilidades técnicas e críticas.

Palavras-chave: Ensino de química, Experimentação, Cinética química, Método Fenton, Azul de metileno.

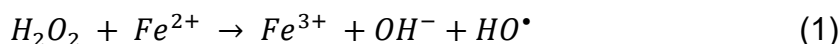
Introdução

A cinética é uma área da físico-química de extrema importância, dedicando-se ao estudo da velocidade de reações. Estudar essa área é estudar a rapidez com que uma mistura reacional se aproxima do equilíbrio, o que depende diretamente de variáveis manipuláveis, como pressão, temperatura e uso de catalisador, permitindo a otimização das condições reacionais. Além disso, o estudo das velocidades de reações permite compreender o mecanismo de uma reação, isto é, analisar a reação como um conjunto individual de etapas (Atkins, 2017).

Todavia, a metodologia tradicional de ensino, baseada em aulas expositivas, vem se demonstrando ineficiente para o aprendizado dos alunos nos cursos de graduação, pois pouco estimula a participação do estudante, e enfraquece a relação aluno-professor (Romero; Paiva, 2019). A experimentação, portanto, surge como uma forma de facilitar a compreensão dos alunos, motivando os estudantes a aprenderem não só o conteúdo de uma disciplina, como também habilidades humanas e críticas, como trabalho em grupo, criatividade, capacidade de observação e argumentação (Silva, 2016). Essa experimentação, entretanto, não se justifica por si só, devendo, sempre, estar associada à contextualização do tema abordado com o cotidiano do estudante (Salesse, 2012).

Nesse contexto, o estudo cinético de degradação de corantes se torna relevante. Os corantes constituem um dos principais poluentes nos efluentes industriais. Em ambientes aquáticos, eles são prejudiciais porque impedem a penetração da luz solar, atrapalhando a fotossíntese. Além disso, possuem baixa biodegradabilidade e seus subprodutos, como as aminas aromáticas, são tóxicos e potencialmente cancerígenos (Lima; Almeida; Paula, 2017).

O uso de Processos Oxidativos Avançados (POAs) é uma alternativa crescente para tratar poluentes emergentes. Esses processos baseiam-se na geração de radicais altamente reativos, como a hidroxila (HO^{\bullet}), que degradam poluentes de forma eficiente e não seletiva em tempos curtos, reduzindo impactos ambientais e aumentando a biodegradabilidade (Lima; Almeida; Paula, 2017). Um dos métodos utilizados para a geração de radicais hidroxila é o método Fenton, que utiliza íons Fe^{2+} e H_2O_2 reagindo segundo a Eq. 1. O radical formado pode, então, reagir com o corante, quebrando-o em moléculas de baixa toxicidade e de fácil tratamento. Além disso, reações secundárias entre o radical e os reagentes podem ocorrer, afetando a velocidade da reação (Chan; Chu, 2003).



Nesse sentido, pode-se aplicar o método Fenton para o azul de metileno. Esse corante possui cor azulada, e sua cinética de degradação pode ser estudada com base na perda dessa coloração. Para isso, uma ferramenta é a espectrofotometria na região do ultravioleta e visível (UV-Vis). Em específico, o azul de metileno possui pico na região visível de 665 nm, e uma análise da absorbância inicial e final do sistema pode refletir a eficiência da degradação do método (Paulino; Araújo; Salgado, 2015). Essa relação é descrita pela Eq.2, onde a_1 corresponde à absorbância final, e a_0 absorbância inicial:

$$Eficiência (\%) = (1 - a_1/a_0) \times 100 \quad (2)$$

Os parâmetros cinéticos podem ser obtidos por meio da Eq. 3, proposta por Chan; Chu (2003), onde C_n corresponde à absorbância em determinado tempo $t = n$, C_0 à absorbância inicial, e ρ e σ representam a cinética reacional (min) e a capacidade oxidativa do sistema (adimensional):

$$C_n/C_0 = 1 - t/(\rho + \sigma \times t) \quad (3)$$

Rearranjando-se a equação anterior, obtém-se a Eq. 4, que descreve linearmente a relação entre tempo de reação e absorbância, pela qual obtêm-se os parâmetros cinéticos da reação.

$$t/(1 - C_n/C_0) = \rho + \sigma \times t \quad (4)$$

Assim sendo, quanto maior for a razão $1/\rho$, maior é a velocidade da reação de decomposição, enquanto $1/\sigma$ é equivalente à capacidade máxima de oxidação do processo ao final da reação. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo propor um experimento para aulas experimentais da graduação em Química da Universidade Federal do Espírito Santo - *Campus Goiabeiras*, associado à cinética química de degradação do corante azul de metileno por um POA, utilizando aparelhagem de UV-Vis para se estudar parâmetros cinéticos.

Metodologia

Foram estudados diversos artigos e trabalhos que abordassem reações de oxirredução de corantes e estudos cinéticos. Os procedimentos descritos foram filtrados em função da complexidade de se desenvolver a prática, limitação de reagentes e de tempo, esse último visando-se uma prática que fosse possível no tempo seguido de 4 horas, estabelecido pela grade do curso de Química para aulas experimentais. Assim, foi selecionado o método descrito por Paulino; Araújo; Salgado (2015) para o azul de metileno.

Analizou-se uma amostra inicial de azul de metileno no UV-Vis antes da adição dos reagentes. Em seguida, os reagentes foram adicionados ao azul de metileno em um tubo de ensaio. Marcando-se esse momento como o tempo $t = 0$, analisou-se o comportamento da reação no UV-Vis a cada 3 minutos, durante um período de 30 minutos.

Resultados e Discussão

Quanto às concentrações dos reagentes, os ensaios demonstraram que as melhores combinações de agente oxidante e catalisador são tais quais descritas na Tabela 1. Como mostra a tabela, tem-se duas concentrações de peróxido de hidrogênio e duas de sulfato ferroso, totalizando quatro análises. Para todos os casos, foram utilizados 5,0 mL de azul de metileno, 2,0 mL de peróxido de hidrogênio e 1,0 mL de sulfato ferroso.

Tabela 1 - Relação da concentração de cada reagente em cada uma das análises propostas.

Experimento	[H ₂ O ₂] (mol L ⁻¹)	[FeSO ₄] (mol L ⁻¹)	[Azul de metileno] (mg L ⁻¹)
I	0,250	0,005	20
II	0,125	0,005	20
III	0,125	0,025	20
IV	0,250	0,025	20

Fonte: Os próprios autores (2025).

O primeiro ponto a se notar é que o tempo somado das análises no equipamento é de 2 horas, o que corresponde à metade do período de aula, sendo um tempo aceitável, e que

permite o preparo dos reagentes pelos alunos sem extrapolar o tempo previsto. O segundo é que, apesar de serem somente duas concentrações de cada reagente, as análises ainda permitem visualizar-se, mesmo que de modo qualitativo, como cada reagente influencia na cinética reacional.

Em seguida, os dados foram tratados segundo as equações Eq.2 e Eq.4, obtendo-se os resultados expressos na Tabela 2.

Tabela 2 - Eficiência de descoloração e parâmetros cinéticos em função das concentrações de cada reagente da reação Fenton.

Experimento	Eficiência (%)	$1/\rho$ (min ⁻¹)	$1/\sigma$	R^2
I	59,4	0,217	0,629	0,991
II	67,1	0,237	0,714	0,992
III	100,0	1,170	1,034	1
IV	98,9	0,483	1,055	0,999

Fonte: Os próprios autores (2025).

Observa-se pela tabela que a capacidade oxidativa do sistema e a eficiência da descoloração apresentaram pequeno incremento ao se diminuir a concentração do peróxido de hidrogênio. Possivelmente, isso se deve ao fato da reação ser radicalar, de forma que o aumento da quantidade de matéria de peróxido favorece o ataque do radical hidroxila a uma molécula de peróxido, causando a finalização em água e espécies aniônicas (Chan; Chu, 2003), em detrimento da degradação do corante.

Por outro lado, o aumento da concentração do catalisador de sulfato ferroso promoveu um grande aumento em todos os parâmetros, sendo a velocidade de reação especialmente favorecida na menor concentração de peróxido. Nesse caso, a velocidade de reação aumentou cerca da mesma proporção que a concentração do catalisador, enquanto, para o experimento IV (maiores concentrações de peróxido e catalisador), o aumento foi de 2 vezes, o que corrobora a hipótese dos radicais hidroxila estarem interagindo com outras espécies que não o corante.

Com todas as informações apresentadas, montou-se, finalmente, um roteiro experimental de estudo cinético com reação Fenton, com orientações de preparo das soluções nas concentrações da Tabela 1, quantidade de cada reagente a ser utilizada e passo a passo de manuseio do UV-Vis.

Considerações Finais

O trabalho apresentado visou esquematizar e montar um roteiro experimental para aulas de graduação do curso de graduação em Química da Ufes, objetivando-se os estudos cinéticos e contato com equipamentos analíticos. A produção do roteiro experimental foi satisfatória, uma vez que foram realizados diversos ensaios para adequação das condições experimentais para a realidade laboratorial da instituição. Além disso, os dados obtidos foram tratados e demonstraram que se adequam à interpretação de conclusões desejáveis do experimento.

Agradecimentos

Agradecemos ao Departamento de Química e à Universidade Federal do Espírito Santo - UFES pelo suporte oferecido para a realização deste trabalho.

Referências

ATKINS, P. **Físico-Química – Fundamentos**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

CHAN, K. H.; CHU, W. Modeling the reaction kinetics of Fenton's process on the removal of atrazine. **Chemosphere**, v. 51, n. 4, p. 305–311, 2003.

LIMA, D. R. de S.; ALMEIDA, I. Luiza A. de; PAULA, V. I. de. Degradação de corantes por processos oxidativos avançados. **Revista Eletrônica Multidisciplinar – FACEAR**, v. 2, n. 6, 2017.

PAULINO, T. R. S.; ARAÚJO, R. dos S.; SALGADO, B. C. B. Estudo de oxidação avançada de corantes básicos via reação Fenton ($\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 347–352, 1 jul. 2015.

ROMERO, A. da S.; PAIVA, M. A. V. Metodologia investigativa no ensino da cinética química. **Revista Eletrônica DECT**, v. 9, n. 1, p. 219–247, 2019.

SALESSE, A. M. T. **A experimentação no ensino de Química**: importância das aulas práticas no processo de ensino aprendizagem. 39 f. Monografia (Especialização em Educação: Métodos e Técnicas de Ensino) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.

SILVA, V. G. da. **A importância da experimentação no ensino de Química e Ciências**. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Bauru. 2016.