

AVALIAÇÃO DO USO DA CÂMERA DE UM CELULAR ASSOCIADO A UM APLICATIVO DE MEDIÇÃO DE CORES PARA DETERMINAÇÃO FOTOMÉTRICA DE NITRITO EM ÁGUA

Maria C. Souza¹; Joaquim B. B. C. D. Oliveira¹; Elaine R. Luz¹.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, Rio de Janeiro, Brasil.

Autor para correspondência: Elaine Rocha da Luz (elaine.luz@ifrj.edu.br)

Palavras-Chave: Espectrofotometria, PhotometrixPRO, Smartphone.

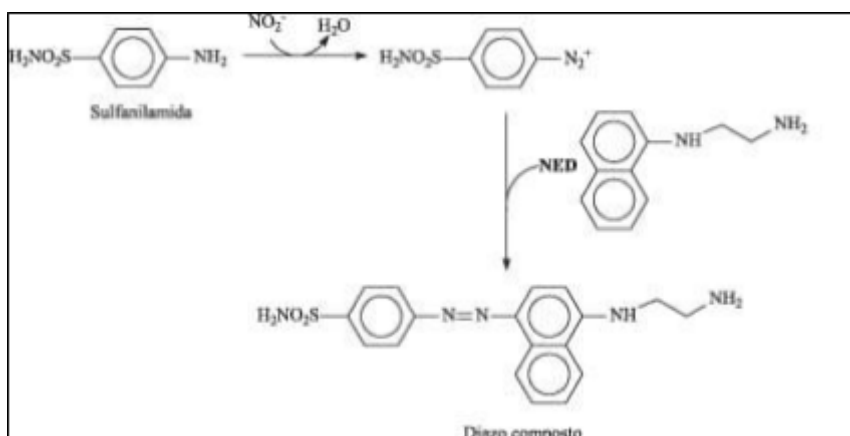
Introdução

As formas de nitrogênio mais frequentes nos ecossistemas aquáticos são nitrogênio orgânico e amoniacal (formas reduzidas), e nitrito e nitrato (formas oxidadas). O nitrito pode ser formado pela oxidação biológica da amônia e pode ser posteriormente convertido em nitrato, podendo estar presente em altas concentrações no solo, bem como em águas industriais e subterrâneas. Essa alta concentração de nitrito pode levar a problemas de saúde pública, pois reage com aminas formando N-nitrosaminas, que são possíveis carcinógenos de animais e humanos. Sabe-se também que vestígios de nitrato e nitrito na água potável podem levar à interação do nitrito com o ferro (III) da hemoglobina, levando a uma forma fatal de anemia em lactentes chamada metemoglobinemia (FRAIHAT, 2016).

O Ministério da Saúde do Brasil estipula que o limite máximo de nitrito em água potável é de 1 mg L⁻¹ (BRASIL, 2011). É relatado que os níveis de nitrito fornecem bons índices de poluição orgânica na água quando correlacionados com as outras formas de nitrogênio presentes (FONSECA, 2017). Assim, a avaliação de nitrito é muito importante e vários métodos já foram relatados para determinação de nitrito em diferentes amostras de água, sendo os mais comuns os métodos espectrofotométricos que geralmente são baseados na formação de um azo-composto colorido (WU, *et al.* 2015; SHARIATI-RAD, 2015).

No Brasil, o método oficial para a determinação do nitrito, segundo a NBR 12619 (ABNT, 1995), é o método Griess-Ilosvay, no qual o nitrito reage com a sulfanilamida em meio ácido, formando um diazo composto que reage com o cloridrato de N-(1-naftil) etilenodiamina (NED), gerando um composto de coloração rosa intensa (FABRIS, 2020). A **Figura 1** representa um mecanismo de reação proposto para o método de Griess (RAMOS, 2006).

Figura 1. Formação do diazo composto colorido no método de Griess



Fonte: RAMOS, 2006



Desenvolver metodologias que permitam aumentar a frequência de medição dos níveis de nitrogênio no ambiente é cada vez mais recomendado para a gestão dos recursos hídricos e a manutenção de seus diversos usos (RESENDE *et al.*, 2018). O desenvolvimento de novas metodologias analíticas envolve a obtenção de procedimentos mais rápidos, sensíveis, simples, informativos, com baixo impacto ambiental e amplamente disponíveis em termos de baixo custo e aplicabilidade (CHEMAT *et al.*, 2019; MARCINKOWSKA *et al.*, 2019; KALINOWSKA *et al.*, 2021).

Na última década, houve vários exemplos de uso da tecnologia de smartphones em pesquisa de química analítica, principalmente para uso em análises químicas colorimétricas e espectrofotométricas. Em geral, as análises com smartphones são atraentes porque são compactas, portáteis e fáceis de usar e de baixo custo. Como resultado, os smartphones são ferramentas promissoras para uso em análises de campo em regiões remotas e países em desenvolvimento (DESTINO e CUNNINGHAM, 2020).

O aplicativo Photometrix, que é uma ferramenta para análises químicas colorimétricas desenvolvida por pesquisadores brasileiros, permite a decomposição de imagens digitais adquiridas por câmeras de smartphones e seu processamento dentro do mesmo dispositivo, permitindo análises *in situ*. Os dados da imagem são capturados pela câmera principal do dispositivo e podem ser analisados usando uma combinação de canais de cores selecionados individualmente (R, G ou B) ou seus histogramas (HELFER, *et al.* 2017). Embora o RGB seja o modelo utilizado com mais frequência, há outros modelos que podem ser gerados a partir dele, como o HSV: Matiz (Hue) Saturação (Saturation) e Valor (Value). Assim, empregando técnicas de correlação linear simples para análise univariada e análise de componentes principais para análise exploratória multivariada.

Portanto, o presente projeto justifica-se, pois, uma vez verificado que os resultados para o teor de NO_2^- em água obtidos com o método proposto são equivalentes estatisticamente aos obtidos com o espectrofotômetro, uma metodologia mais simples e de baixo custo estaria disponível para implementação no controle da qualidade da água. Assim, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o uso da câmera de um celular associado a um aplicativo de medição de cores para a realização de determinações espectrofotométricas de nitrito em amostras de água.

Material e Métodos

As curvas analíticas e amostras foram preparadas conforme o método de Griess. Todas as soluções-padrão, brancos e amostras tiveram seus valores de absorvância medidos utilizando o Espectrofotômetro Varian Cary 50. Para as medições realizadas com celular, foi empregado um aparato de posição fixa no laboratório (**Figura 2**), visando minimizar interferências luminosas, evitar movimentos indesejados durante a captura de imagens e fixar a distância entre a câmera e a cubeta. As imagens foram capturadas sem flash, no modo automático do aplicativo, e com um fundo de papel branco. Os valores de RGB e HSV foram medidos pelo aplicativo Photometrix PRO para todas as soluções, incluindo branco, padrões e amostras.

Figura 2. Aparato utilizado para capturar as imagens digitais com o smartphone.



A solução de sulfanilamida foi preparada pesando 1,0 g do reagente sólido, o qual foi dissolvido em 10 mL de HCl 2,0 mol L⁻¹. Em seguida, a solução foi transferida, quantitativamente, para um balão volumétrico de 100,00 mL e completada com água deionizada até o menisco. Para o preparo da solução de N-(1-naftil)etilenodiamina, pesou-se 0,10 g do composto, que foi dissolvido em água deionizada. A solução resultante foi transferida para um balão volumétrico de 100,00 mL e o volume foi completado com água deionizada. A solução estoque de nitrito (7.210 $\mu\text{mol L}^{-1}$) foi obtida a partir da secagem do sal NaNO₂ em estufa a 110 °C por 2 horas. Após esse processo, foram pesados 0,6899 g, o qual foi dissolvido em água deionizada e o volume ajustado para 1000,00 mL em balão volumétrico.

Para o preparo da curva de calibração, foi utilizada uma solução padrão de nitrito com concentração de 7.210 $\mu\text{mol L}^{-1}$. As diluições foram realizadas com o auxílio de pipetas automáticas de 100 a 1000 μL , de modo que a faixa de concentração trabalhada estivesse entre 1,4 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 12,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$, para isso foram usados balões volumétricos de 100,00 mL. Aliquotas de 10,00 mL foram transferidas para tubos de ensaio, onde foram adicionados 400 μL de sulfanilamida e 400 μL de NED, com tempos de reação de 2 e 15 minutos, respectivamente. Após o período de reação, as soluções foram lidas no espectrofotômetro Varian Cary 50 e capturadas imagens com um Smartphone Samsung Galaxy A14, utilizando um aparato de caixa fechada para garantir capturas adequadas e consistentes.

Tabela 1. Tabela referente às alíquotas usadas no preparo das soluções padrão.

Padrão	[NO ₂ ⁻] μmol L ⁻¹	Solução – Padrão (μL)	Sulfanilamida (μL)	NED (μL)
B	0	0	400	400
P1	1,442	30	400	400
P2	4,326	50	400	400
P3	6,489	70	400	400
P4	7,931	90	400	400
P5	9,373	110	400	400
P6	10,815	130	400	400
P7	12,257	150	400	400

Com o objetivo de avaliar a exatidão do método proposto, uma amostra sintética de NO₂⁻ foi usada nas análises. Alíquotas de 10,00 mL foram adicionadas em tubos de ensaio para a reação com os reagentes colorimétricos, de modo que se formasse o composto de coloração vermelha intensa. As amostras foram lidas em sextuplicata, a fim de garantir confiabilidade aos resultados.

Resultados e Discussão

A figura 5 mostra a curva analítica obtida a partir da análise pelo espectrofotômetro. As figuras seguintes mostram as curvas analíticas obtidas para o método proposto utilizando os parâmetros V, R, G e B, respectivamente. Ambos os métodos forneceram curvas analíticas com alta linearidade, na faixa de 1,4 a 12,3 μmol L⁻¹, com valores de R² maiores que 0,99, para o método espectrofotométrico e para os parâmetros G e V.

Figura 3. Curva analítica de NO₂⁻ na faixa de concentração 1,4 a 12,3 μmol L⁻¹ empregando valores de absorvância medidos em 541,0 nm.

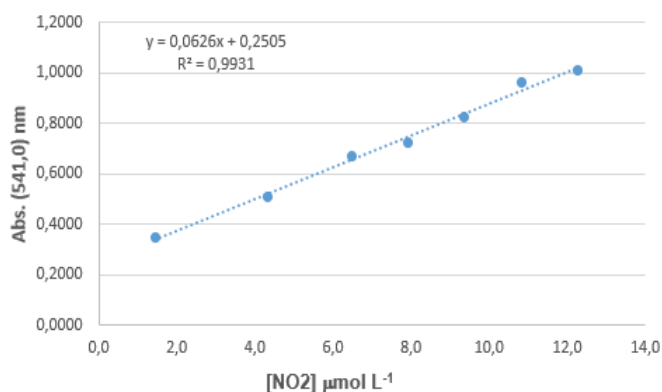


Figura 4. Curva analítica de NO_2^- na faixa de concentração 1,4 a $12,3 \mu\text{mol L}^{-1}$, empregando valores do parâmetro R medido no aplicativo Photometrix PRO.

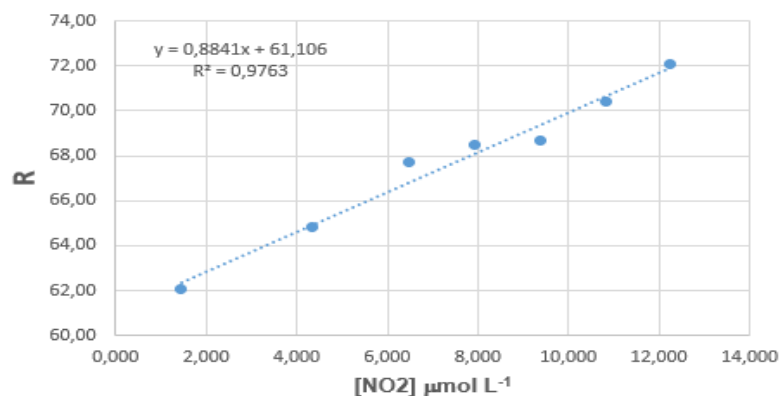


Figura 5. Curva analítica de NO_2^- na faixa de concentração 1,4 a $12,3 \mu\text{mol L}^{-1}$, empregando valores do parâmetro G medido no aplicativo Photometrix PRO.

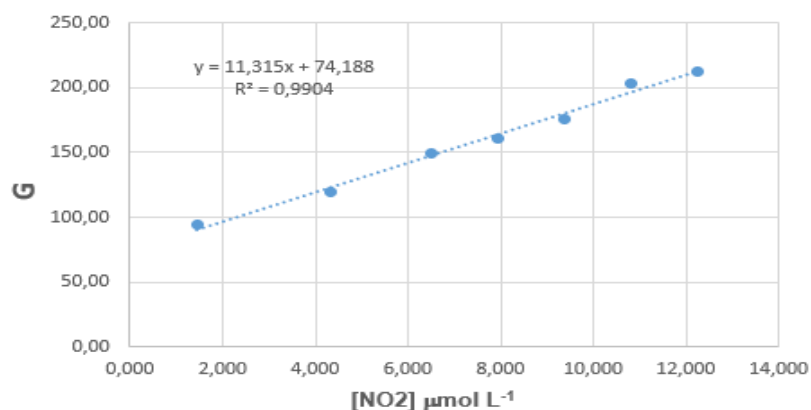


Figura 6. Curva analítica de NO_2^- na faixa de concentração 1,4 a $12,3 \mu\text{mol L}^{-1}$, empregando valores do parâmetro B medido no aplicativo Photometrix PRO.

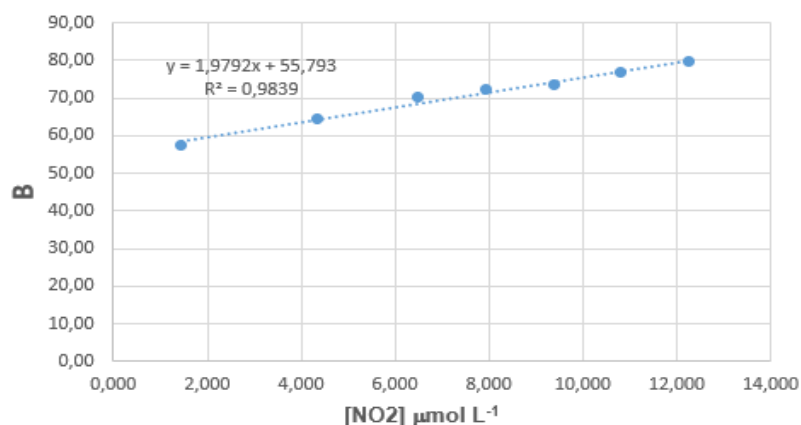
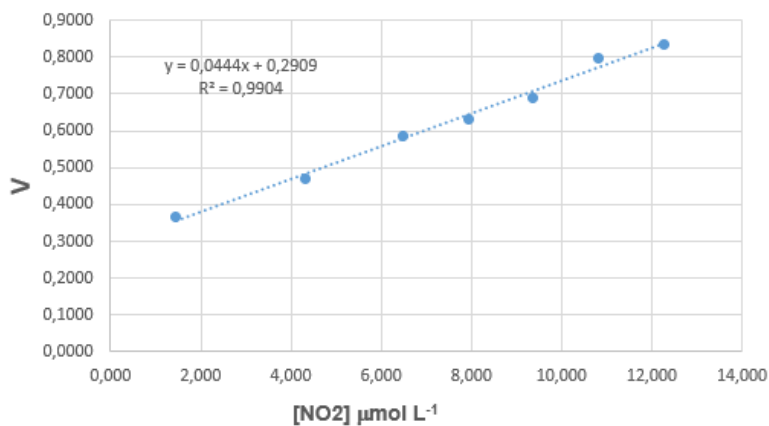


Figura 7. Curva analítica de NO_2^- na faixa de concentração 1,4 a 12,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$, empregando valores do parâmetro V medido no aplicativo Photometrix PRO.



De acordo com KUNTZLEMAN & JACOBSON (2015), uma roda de cores pode ser útil para estimar a cor da luz que é absorvida por uma substância em solução. Esta aproximação é feita observando a cor na roda que é oposta à cor observada. Por exemplo, se uma substância parecer violeta em solução, provavelmente absorverá luz verde. Dessa maneira, nas Figuras 3 – 5, observa-se que a curva analítica usando os valores G tem um coeficiente angular maior do que aquelas obtidas usando os valores R e B, ou seja, o parâmetro G confere maior sensibilidade ao método. Logo, isso equivaleria ao realizar uma medida espectrofotométrica no comprimento de onda de máxima absorção do cromóforo.

Figura 8. Roda de cores usada para estimar a cor da luz absorvida por uma solução.





Tabela 2. Comparação da concentração de Nitrito em amostra sintética pelo espectrofotômetro Varian Cary 50 e os parâmetros medidos pelo sistema RGB e HSV (usamos apenas a medição V).

	[NO ₂ ⁻] µmol L ⁻¹				
Estatística	Absorbância	Valor	Vermelho (R)	Verde (G)	Azul (B)
Média	5,89	5,97	5,66	6,12	6,49
DPR (%)	1,33	2,06	18,5	1,85	4,96

Com objetivo de determinar se o método que utiliza a câmera do celular associado ao aplicativo testado fornece resultados equivalentes aos obtidos com um espectrofotômetro, a concentração de nitrito em uma amostra sintética foi determinada utilizando ambos os métodos. A amostra foi preparada em sextuplicata e a precisão das metodologias foram avaliadas pelo desvio padrão relativo (DPR%), representado na tabela 3. Tendo em vista os resultados obtidos com o aplicativo Photometrix PRO, o Desvio Padrão Relativo para os parâmetros R, B e V apresentaram valores inferiores a 5%, o que os torna adequados para a análise proposta.

A comparação com a metodologia de referência é feita para estudar o grau de proximidade dos resultados obtidos, para isso podem ser realizados os testes de hipótese (Teste F e Teste t de Student). Para a seguinte análise, primeiramente, aplica-se o Teste F para avaliar se as variâncias são estatisticamente equivalentes ou não. O teste t de Student é utilizado em sequência para verificar se as médias dos resultados podem ser consideradas estatisticamente iguais. (INMETRO, 2020). A aplicação do teste F aos resultados de NO₂⁻ apresentados na Tabela 3 evidenciou que apenas os parâmetros V e G apresentaram variâncias estatisticamente equivalentes em relação ao método de referência, considerando um intervalo de confiança de 95%. Nessa condição, o teste t de Student, sob a premissa da equivalência entre as variâncias, indicou que as concentrações de nitrito determinadas pelos dois métodos não diferem significativamente dos valores obtidos pelo método de referência. Em contraste, para os parâmetros R e B, o teste F revelou ausência de equivalência entre as variâncias. Diante disso, o teste t de Student, aplicado sob a suposição de variâncias distintas, apontou diferença estatisticamente significativa entre os teores de nitrito determinados e aqueles obtidos pelo método de referência, também a um nível de confiança de 95%.

Conclusão

Relata-se, neste trabalho, uma metodologia alternativa para a determinação de nitrito baseada nos parâmetros dos modelos de cores RGB e HSV obtidos com um smartphone. Os dispositivos digitais, em especial o smartphone, configuram-se como ferramentas promissoras para aplicações analíticas, uma vez que a proposta demonstrou elevada viabilidade, destacando-se pelo curto tempo de análise, baixo custo, simplicidade operacional e portabilidade da instrumentação empregada. Ademais, essa abordagem pode contribuir para o avanço e a consolidação de um novo campo na análise química, pautado na quantificação de um amplo espectro de analitos por meio do uso de telefones celulares associados à análise de imagens. Na determinação da concentração de NO₂⁻ em amostras de água, via reação de Griess-Ilosvay, os resultados obtidos apresentaram concordância com aqueles fornecidos pelo método espectrofotométrico de referência, sendo evidenciados como mais robustos os parâmetros G, do modelo RGB, e V, do modelo HSV. Ressalta-se, entretanto, que ainda se faz



necessária a determinação de parâmetros de mérito adicionais, tais como limites de detecção e de quantificação, a fim de consolidar a aplicabilidade analítica do método. Contudo, os resultados apresentados até o momento permitem considerar a estratégia proposta como altamente promissora.

Agradecimentos

Agradecemos ao IFRJ Campus Nilópolis e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa e à equipe do Laboratório de Análise Instrumental por todo apoio e incentivo durante a execução do projeto.

Referências

- BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.
- DOS SANTOS, S. D. C. et al. 2021. Determinação colorimétrica do teor de ferro em formulações farmacêuticas utilizando a câmera de um smartphone associada a aplicativos de medição de cores. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia*. Vol. 13. 2021.
- FABRIS, B. T.; JOÃO, J. J. e BORGES, E. M. Quantificação de Nitrito em Água Utilizando um Scanner de Mesa. *Revista Virtual de Química*, 12 (3), 569-582, 2020.
- RAMOS, L. A.; CAVALHEIRO, C. C. S. E CAVALHEIRO, E. T. G. Determinação de nitrito em águas utilizando extrato de flores. *Química Nova*, Vol. 29, No. 5, 1114-1120, 2006.
- DAMASCENO, D. Controle de Qualidade de Águas Potáveis Utilizando Análise Multivariada de Imagens, 2015. 177p. Tese de Doutorado. Goiânia, Departamento De Química, Universidade Federal de Goiás.
- SKOOG DA, WEST DM, HOLLER FJ, CROUCH SR. Fundamentos de Química Analítica. Editora Thomson, tradução da 8ª edição, Philadelphia, 2006.
- FAN, Y et al. Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: A review. *Measurement* 171, 2021.
- BYRNE, L et al., Digital imaging as a detector for generic analytical measurements, *Trends in Analytical Chemistry* 19 (8), 2000.
- BÖCK, FC et al. PhotoMetrix and colorimetric image analysis using smartphones. *Journal of Chemometrics*, e3251, 2020.
- PLACIDO KM. Avaliação do uso de imagens digitais obtidas por smartphones para determinação de amônia total em águas [Trabalho de Conclusão de Curso]. Brasília: Instituto de Química, Universidade de Brasília; 2017. 34 s. Graduação em Química Tecnológica.
- KUNTZLEMAN T.S, JACOBSON EC. Teaching Beer's Law and Absorption Spectrophotometry with a Smart Phone: A Substantially Simplified Protocol. *J. Chem. Educ.* 93 (7), 1249–1252, 2016.
- INMETRO. Orientações sobre Validação de Métodos de Ensaio Químicos. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, DOQ-CGCRE-008, 9ª revisão, 2020.



64º Congresso Brasileiro de Química
04 a 07 de novembro de 2025
Belo Horizonte - MG