

QUANTIFICAÇÃO DE PERMANGANATO DE POTÁSSIO EMPREGANDO IMAGENS DIGITAIS

Isavânia Patrícia de Barros e Adamastor Rodrigues Tôrres*

Faculdade Pernambucana de Saúde - Avenida Jean Emile Favre, 422, 51200-060, Recife-PE, Brasil

*e-mail: adamastor.torres@fps.edu.br

RESUMO:

O permanganato de potássio, KMnO_4 , está entre os agentes oxidantes mais antigos usados na volumetria. As titulações feitas usando esse reagente como titulante são chamadas de Permanganometria. Para titulações em solução fortemente ácida, o KMnO_4 serve como seu próprio indicador, pois o produto Mn^{2+} é incolor. O ponto final da titulação é assinalado com a primeira aparição persistente da cor rosa-pálida do íon MnO_4^- . A quantificação de compostos coloridos pode ser realizada através de análise de imagens, pois uma imagem é o resultado de um estímulo luminoso que está associado aos comprimentos de onda refletidos no sensor de um dispositivo eletrônico, tal como câmeras digitais, câmera de celular, tablets, scanner e outros equipamentos que registrem a luz. O objetivo deste trabalho propõe o uso de imagens digitais, capturadas com um celular, para a quantificação de permanganato de potássio em comprimidos de 100 mg. O método recomendado pela Farmacopeia Brasileira para quantificação do permanganato de potássio requer uma titulação de óxido-redução de retorno entre o permanganato e o ácido oxálico em meio ácido. Este método utiliza a medição de volumes para a determinação da concentração de KMnO_4 nos comprimidos. A quantificação por meio da imagem digital foi gerada de acordo com o sistema de cor Hue – Saturation - Brightness (HSB), nos quais os valores médios da componente S definiram o valor de cor obtido. Esse valor foi adotado como resposta analítica para a construção das curvas de calibração pelas imagens digitais. A fim de ilustrar a viabilidade desta quantificação foram analisadas amostras de 5 lotes de comprimidos de permanganato de potássio de 100 mg. Os resultados obtidos pela análise das imagens digitais foram comparados com os obtidos pelo método volumétrico usado como referência. Constatou-se que não há diferença sistemática estatisticamente significativa entre os resultados, aplicando-se teste *t*-emparelhado ao nível de 95% de confiança.

Palavras-chaves: Titulação redox, Imagens digitais e Permanganato de potássio.

INTRODUÇÃO

A Química Analítica é uma área científica que desenvolve e aplica métodos, instrumentos e estratégias para obter informações sobre a composição da matéria no espaço e no tempo. Para isso, dois aspectos estão envolvidos: a identificação das espécies presentes e a determinação das quantidades relativas de cada uma dessas espécies.

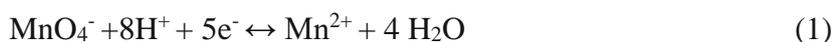
A análise qualitativa compreende os ensaios que permitem ao químico identificar elementos presentes e, eventualmente, também, seu estado de combinação em uma amostra. Já a análise quantitativa compreende as técnicas e métodos para determinação das quantidades dos componentes na amostra.

A volumetria tem sido usada para a realização de análises quantitativas há mais de 200 anos^[1]. Sendo tradicionalmente considerada como um método clássico de análise, é muito utilizada para validar outros métodos secundários. Apesar de ser uma técnica antiga, a análise por titulação se mostra bastante usual nos dias atuais. Na Farmacopeia Brasileira ^[2] pode-se observar que fármacos como por exemplo, o haloperidol, sulfato ferroso, sulfato de salbutamol, carbonato de cálcio, ácido benzoico, ácido paraminobenzóico, são doseados por titulação.

Titulação é o processo de adição de quantidades discretas de um dos reagentes, geralmente com o auxílio de uma bureta, no meio reacional para quantificar alguma propriedade. Quando se pretende encontrar uma concentração, a titulação é um procedimento analítico e, geralmente, são feitas medidas de volume, caracterizando as titulações volumétricas; mas, em alguns casos, pode-se monitorar a variação gradual de uma outra grandeza, como a massa, caso das titulações gravimétricas, ou a absorção da luz, como nas titulações espectrofotométricas ^[3].

Titulação de óxido – redução, ou titulação redox, se baseia em uma reação de oxirredução entre o analito e o titulante, ou seja, reações de transferência de elétrons. Nestas reações existem espécies oxidantes (removem elétrons) e espécies redutoras (doam elétrons) ^[4].

O permanganato de potássio (KMnO₄) é um oxidante forte de cor violeta intensa e em soluções fortemente ácidas (pH ≤ 2), ele é reduzido a Mn²⁺ incolor, de acordo com a equação 1:

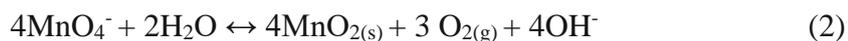


O permanganato de potássio está entre os agentes oxidantes mais antigos usados na volumetria. As titulações feitas usando esse reagente como titulante são chamadas de

Permanganometria. Conforme as condições do meio em que atua o permanganato pode ser reduzido aos estados de oxidação +2, +3, +4 e +6.

Para titulações em solução fortemente ácida, o KMnO_4 serve como seu próprio indicador, pois o produto Mn^{2+} é incolor. O ponto final é considerado a primeira aparição persistente da cor rosa-pálida do MnO_4^- . Se o titulante estiver muito diluído, pode-se utilizar um indicador como a ferroína [5].

O permanganato é um oxidante tão forte que pode oxidar a água, como mostrado na equação 2



Soluções de permanganato muito puro são bastante estáveis porque essa reação é lenta na ausência de catalisadores. Uma das substâncias que catalisam a reação é o MnO_2 tornando a reação auto-catalítica. A reação também é catalisada por luz de certos comprimentos de onda, um processo chamado de decomposição fotoquímica.

O permanganato de potássio não é um padrão primário, pois traços de MnO_2 estão invariavelmente presentes. Além disso, a água destilada geralmente contém quantidades suficientes de impurezas orgânicas para reduzir algum MnO_4^- recentemente dissolvido a MnO_2 .

Por não ser um padrão primário, é necessário a realização da padronização das soluções de permanganato. A padronização consiste em tornar uma solução qualquer em uma solução com concentração e fator conhecido. Na química analítica, soluções aquosas padronizadas de KMnO_4 são empregadas como titulante em titulações de redução-oxidação, devido a sua coloração violeta.

O permanganato também é encontrado sob a forma de comprimidos, sendo comumente usado como substância anti-séptica e anti-bactericida.^[6] O fármaco é de uso tópico e o comprimido pode ser dissolvido em água para lavagem da ferida ou usado em forma de compressa, aumentando a capacidade de cicatrização. Como modo de uso recomenda-se diluir 100mg de permanganato de potássio em 4 litros de água morna e lavar a região afetada com esta água. Pode-se ainda permanecer imerso na água com permanganato de potássio, se as feridas forem generalizadas, como ocorre na catapora, por exemplo. [7]

A quantificação de compostos coloridos pode ser realizada através de análise de imagens, pois uma imagem é o resultado de um estímulo luminoso que está associada aos comprimentos de onda refletidos no sensor de um dispositivo eletrônico, tal como câmeras digitais, câmera de celular, tablets, scanner e outros equipamentos que registrem a luz.

Existem na literatura diversos trabalhos empregando a análise de imagens digitais em química analítica [8-14]. De maneira geral, as imagens são obtidas pelos dispositivos eletrônicos e analisadas em um microcomputador por programas que computam todos os elementos gráficos das imagens (“pixels”), permitindo diferenciar padrões (*exemplo*, claro-escuro, tons de cinza ou alguma coloração específica) e obter relações numéricas entre estes padrões.

As imagens digitais podem ser classificadas quanto a sua forma de armazenar as informações através da representação numérica dos pixels. Desta forma, uma imagem pode ser binária (black e white), tons de cinza (grayscale), indexadas (indexed) ou RGB. Os modelos de cores foram criados para permitir a especificação das cores em um formato padronizado. Em linhas gerais, um modelo de cores é uma representação tridimensional na qual cada cor é representada por um ponto no sistema de coordenadas 3-D. Os modelos mais utilizados para representação de cores são RGB (do inglês Red, Green, Blue), CMY (do inglês Cyan, Magenta, Yellow), CMYK (variante do modelo CMY, onde K denota black) e HSB (do inglês Hue, Saturation, Brightness)^[15].

O modelo de cores RGB é baseado nas três cores primárias (vermelho, verde e azul) e em um sistema de coordenadas cartesianas. O subespaço de interesse é um cubo, como representado na Figura 1, no qual as três cores primárias estão em três vértices, e alternadamente as cores secundárias (ciano, magenta e amarelo) em outros três vértices. A cor preta se localiza na origem desse cubo e o oposto encontra-se a coloração branca, além disso, entre essas duas cores há a escala de cinza (pontos em que valores de RGB são iguais). Por convenção usa-se valores normalizados de 0 a 1 para cada cor e as cores neste modelo são definidas por vetores que partem da origem.

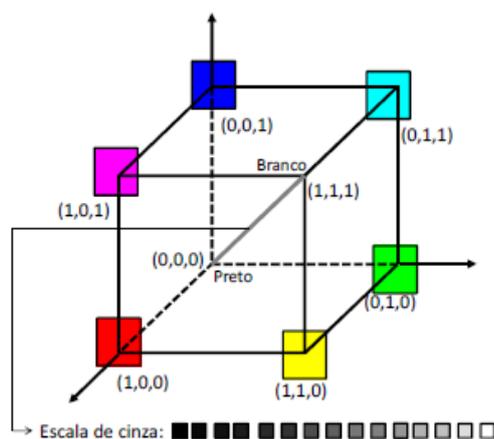


Figura 1- Cubo de cores RGB, e representação da escala cinza que parte da coloração preta (0,0,0) até a coloração branca (1,1,1)

O modelo de cor HSB é a abreviatura para o sistema de cores formadas pelas componentes Hue (tonalidade), Saturation (saturação) e Brightness (brilho), respectivamente. Esse sistema de

cores define o espaço de cor utilizando os três parâmetros. A tonalidade (H) está relacionada com a cor em si e define a tonalidade dominante de uma área, diferenciando o azul do vermelho, por exemplo; a saturação (S) mede a pureza da cor da área, ou seja, o grau da cor pura com o branco; e o brilho (B) define, como o nome já diz, o brilho da cor^[8-9]. O modelo HSB também é conhecido como HSV (do inglês Hue, Saturation e Value).

Geometricamente, o modelo HSB é caracterizado como uma transformação não-linear do sistema de cores RGB. Isto permite que uma imagem obtida por um dispositivo eletrônico no modelo RGB possa ser convertida para o modelo HSB. A Figura 2 ilustra a relação entre o cubo de cores RGB e o hexágono que representa o modelo HSB.

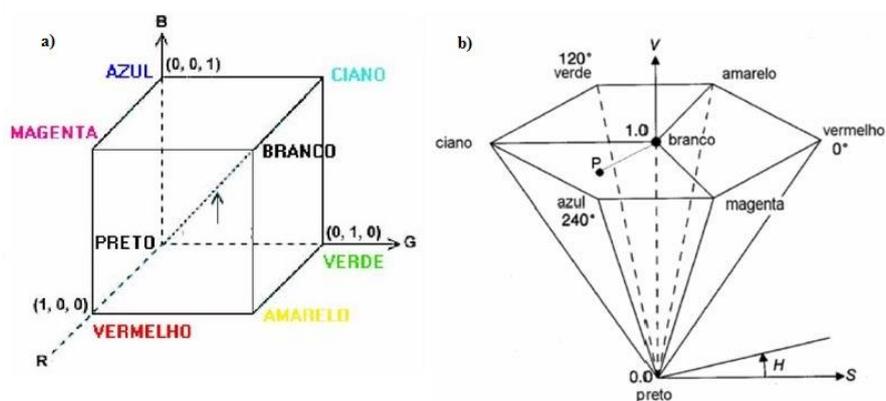


Figura 2 – (a) Cubo de cores do modelo RGB e (b) Hexágono de cores do modelo HSB.

Conforme ilustração da Figura 2b, o sistema HSB é representado por coordenadas em um espaço dentro do qual o modelo definido é um cone em forma hexagonal (hexacone), ou, uma pirâmide invertida de seis lados.

Analisando a Figura 2b, é possível identificar que a componente H é medida por ângulos em torno do eixo vertical, onde o vermelho é 0° , o verde é 120° e o azul é 240° . Assim quando $H=0^\circ$, a cor é vermelha, quando $H=60^\circ$, a cor é amarela, e assim por diante. Neste modelo, o valor da saturação (S) é uma razão variando de 0, no centro da linha do eixo V, para 1, na base (lado) do triângulo hexacone. Logo, quanto mais distante o ponto P, na Figura 2b, estiver do centro do triângulo, mais saturada será a cor. Já o valor de B que contém as informações de brilho de uma imagem, varia de 0 (preto) a 1 (branco) ao longo do eixo V do hexágono onde se encontra a escala de cinza^[16].

É por meio das relações numéricas encontradas nos modelos de cores que as imagens digitais podem fornecer informações úteis para o desenvolvimento de metodologias em análise química quantitativa. O objetivo do presente trabalho é realizar a quantificação de comprimidos de

100 mg de permanganato de potássio empregando uma metodologia baseada em análise de imagens digitais obtidas por um aparelho de celular.

PARTE EXPERIMENTAL

Reagentes, soluções e amostras

Neste trabalho foram utilizados os reagentes: permanganato de potássio (KMnO_4) da marca Neon Comercial, oxalato de sódio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) da marca Ensure Merck, ácido sulfúrico (H_2SO_4) da marca Microquímica e água destilada H_2O .

Soluções de oxalato de sódio 0,05 mol/L e de ácido sulfúrico concentrado em água (1:2,5) foram preparadas e empregadas na padronização da solução de 0,02 molar de KMnO_4 .

Amostras de 5 cartelas, de diferentes lotes do mesmo fabricante (1 cartela / lote), de comprimidos de 100 mg de permanganato de potássio foram adquiridas em farmácias da cidade do Recife-PE.

Quantificação do KMnO_4 por Titulação Redox

Padronização da solução 0,02 M de permanganato de potássio.

A titulação de padronização da solução de KMnO_4 foi realizada em triplicata, utilizando-se como titulante a solução preparada de KMnO_4 e como titulado 20 mL da solução 0,05 M oxalato de sódio com 7 mL da solução ácido sulfúrico:água^[5]. A solução do titulado foi colocada em um béquer de 100 mL e a titulação realizada à temperatura de 60°C. O ponto final da titulação é assinalado pela formação de uma coloração violeta clara, tendendo ao rosa, por pelo menos 30 segundos. Os volumes gastos do titulante foram empregados para se obter o valor padronizado da solução de KMnO_4 .

Quantificação dos comprimidos de permanganato de potássio.

A Farmacopeia descreve a titulação de óxido-redução para o doseamento do permanganato de potássio^[2]. Inicialmente mediu-se o peso individual dos 10 comprimidos de permanganato de potássio contidos em cada cartela. Logo em seguida, encontrou-se a média das amostras e as macerou. O valor da média serviu para definir a massa usada da amostra referente a cada lote. O valor desta massa foi dissolvida em 25 mL de água destilada, e posteriormente transferida para um béquer de 100 mL. Foi adicionado posteriormente ao béquer 50 mL da solução de ácido oxálico

0,05 M e 7 ml da solução ácido sulfúrico:água. Por fim, esta mistura foi titulada com a solução de KMnO_4 padronizada anteriormente. O ponto de viragem foi observado com a formação da coloração violeta clara, tendendo ao rosa. Esse procedimento foi realizado em triplicata para cada cartela de comprimido.

Sistema de aquisição e tratamento das imagens digitais

O sistema para obtenção das imagens foi montado utilizando-se uma caixa- plástica “tipo arquivo” com dimensões 14 cm x 35 cm x 26 cm, como mostrado na Figura 3.

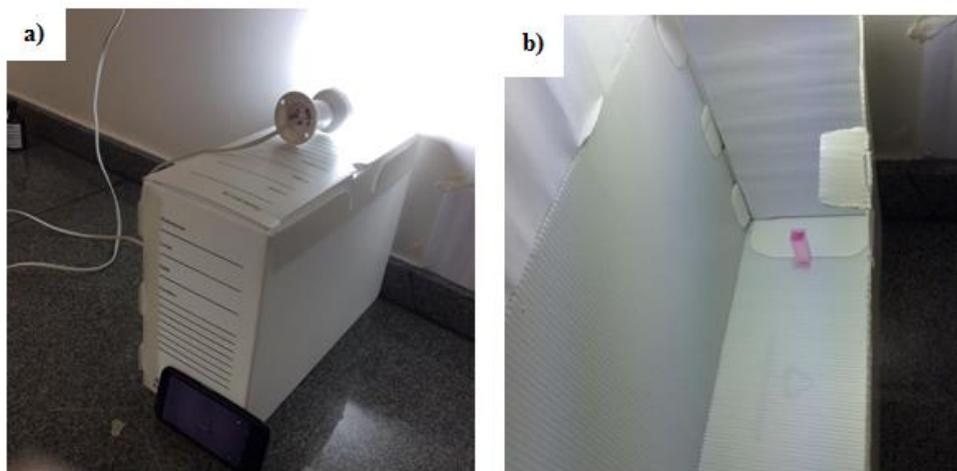


Figura 3 – (a) Sistema de aquisição das imagens: caixa-plástica e lâmpada fluorescente (b) Cubeta no interior da caixa contendo a amostra.

O interior da caixa foi iluminado por uma lâmpada fluorescente de 40 watts, através de um orifício na parte superior da mesma (Figura 3a). A luz incidia diretamente sobre uma cubeta de plástico de 4,5 mL posicionada no interior da caixa, usada para conter a amostra durante a captura da imagem (Figura 3b). As imagens digitais foram obtidas com um celular Iphone®, modelo 5S. No momento da aquisição das imagens o aparelho celular era posicionado diante do orifício localizado na parte frontal da caixa, de modo a garantir o mesmo posicionamento entre as amostras.

Para o processamento e análise das imagens digitais foi utilizado o programa *ImageJ* de código aberto desenvolvido por Wayne Rasband, do *U. S. National Institute of Health* (NIH), em plataforma Java ^[17]. A Figura 4 ilustra o software utilizado na análise e tratamento das imagens obtidas pelo celular.

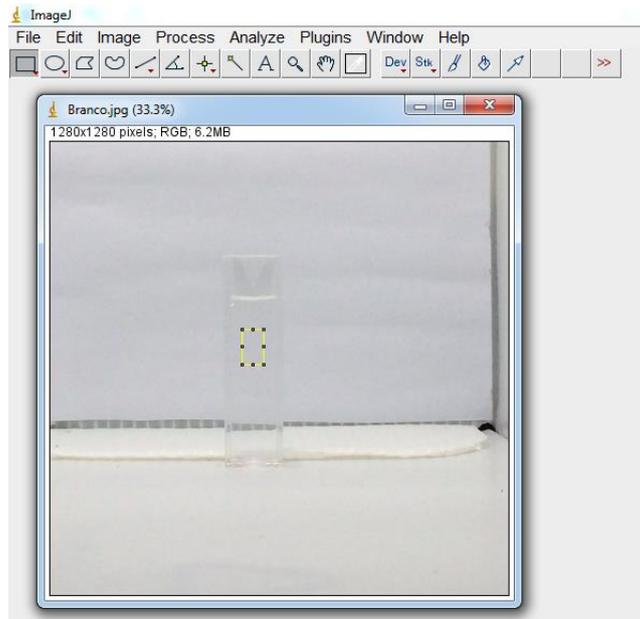


Figura 4 - Área de trabalho do software *ImageJ*

Após abrir o arquivo da imagem (**File**), a área da imagem a ser analisada deve ser especificada (**Edit**). Nesse trabalho foi selecionada uma área de 60 x 100 pixels. Em seguida, no menu **Image**, foi efetuada a conversão do modelo de cor RGB para o modelo HSB. O software *ImageJ* realiza a separação dos canais HSB da imagem em seus valores individuais H, S e B, permitindo o cálculo do valor de cor, por meio do menu **Analyze**. O valor da componente S correspondeu à resposta analítica de interesse no presente trabalho e foi usado para a construção da curva de calibração.

Análise estatística para validação dos resultados analíticos

A ferramenta computacional empregada neste trabalho para a análise estatística dos dados obtidos foi o software Excel da Microsoft.

A variância entre os dois métodos foi avaliada pela aplicação do teste F. Para comparar se existe diferença estatística entre os dois métodos foi utilizado o teste *t*-emparelhado adotando um nível de 95% de confiança.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação de KMnO_4 por titulação

A quantificação do teor de permanganato de potássio envolve uma titulação redox em meio ácido de acordo com a equação química:



No Ponto de Equivalência (PE) as quantidades de permanganato e de oxalato de sódio reagiram de acordo com a estequiometria da equação 3, sendo a concentração do KMnO_4 calculada partindo do pressuposto de que a reação se completou. O ponto final da titulação foi sinalizado pela mudança de coloração, passando de incolor à rosa no PE, onde o próprio permanganato é empregado como indicador.

O procedimento descrito na Farmacopeia para a determinação de KMnO_4 nas amostras de interesse caracteriza uma titulação de retorno. Conceitualmente, a titulação de retorno também chamada de retrotitulação ou titulação indireta, consiste em adicionar um excesso, exatamente conhecido, da solução padrão ao analito e depois determinar a parte desse excesso que não reagiu com uma outra solução padrão^[14]. Ao se adicionar o peso médio referente a cada amostra (cartela) de comprimidos à solução do titulado, as relações estequiométricas da equação 3 são atingidas e a massa de permanganato adicionada à solução é consumida totalmente pelo oxalato de sódio. O excesso de oxalato de sódio restante na solução deve então ser titulado com a solução anteriormente padronizada de permanganato. Os respectivos pesos médios das amostras de comprimidos e os resultados da média de três determinações dos volumes de titulante gastos na retrotitulação do KMnO_4 estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Peso médio dos lotes de comprimidos e média de três determinações do volume de titulante gasto na retrotitulação do permanganato de potássio.

AMOSTRAS	Peso Médio (mg)	Volume de titulante (mL)
1	105,85	18,1
2	103,94	10,5
3	104,95	16,0
4	106,47	14,7
5	103,33	18,8

A volumetria utiliza a medição de volumes para a determinação de uma concentração de uma solução. A partir do volume de titulante observado na Tabela 1 o cálculo empregado para quantificar o permanganato de potássio presente nas amostras de comprimidos foi realizado através da equação:

$$m_{amostra} = \frac{MM_{KMnO_4} (2M_{oxalato} V_{oxalato} - 5M_{KMnO_4} V_{KMnO_4})}{5} \quad (4)$$

onde $m_{amostra}$ é a quantidade de permanganato que se deseja determinar, MM é a massa molar de $KMnO_4$ (158,03 g/mol), $M_{oxalato}$ e $V_{oxalato}$ são respectivamente a molaridade (0,05 mol/L) e o volume (0,05 L) de oxalato de sódio presente no titulado, M_{KMnO_4} é a molaridade da solução padronizada de permanganato (0,0195 mol/L) e V_{KMnO_4} o volume de titulante gasto na titulação. O termo entre parênteses na equação 4 corresponde à titulação do excesso de oxalato de sódio após a adição da massa referente ao peso médio dos lotes de comprimidos.

Determinação de $KMnO_4$ empregando imagens digitais

A curva de calibração para o método baseado em imagens digitais foi construída a partir de 5 diluições da solução padronizada de permanganato de potássio. As soluções de calibração usadas para a quantificação do permanganato de potássio foram 3,1; 9,2; 15,4; 21,6 e 30,8 mg/L. A curva analítica foi construída com base na média dos sinais obtidos em triplicata para cada concentração. A Figura 5 mostra a curva de calibração construída para a quantificação do permanganato de potássio pelo método baseado em análise de imagens.

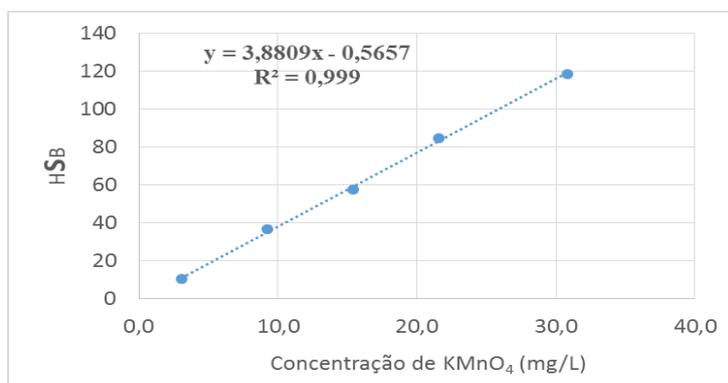


Figura 5 – Curva de calibração do permanganato de potássio obtida por meio das imagens digitais

Na Figura 5, observa-se que a curva analítica exibe uma relação linear entre o valor medido na componente S do modelo de cor HSB e a concentração das soluções de calibração. A linearidade refere-se a capacidade do método de gerar resultados linearmente proporcionais a concentração do analito, quando estão de acordo com a faixa analítica especificada. Julga-se satisfatória a linearidade do gráfico quando o coeficiente de correlação (R^2) da reta obtida não é estatisticamente diferente da unidade^[18]. Um valor próximo a unidade ($R^2=0,999$) foi obtido caracterizando uma relação linear forte na faixa de concentração estudada.

A estimativa do limite de detecção (LOD) e quantificação (LOQ) foram baseados nos parâmetros da curva analítica, e calculados de acordo com as equações:

$$\text{LOD} = 3S_b/\beta$$

$$\text{LOQ} = 10S_b/\beta$$

onde β é a inclinação da curva analítica estimada pela regressão linear através do método dos mínimos quadrados e S_b é o desvio padrão do branco para 30 medidas. O LOD está relacionado a menor concentração do analito que pode ser detectada, já o LOQ corresponde a concentração mais baixa que pode ser quantificada dentro dos limites de reprodutibilidade das medidas para o método empregado. O LOD e o LOQ para o método baseado em imagens digitais estimados a partir da curva analítica foram, respectivamente, 0,95 mg/L e 3,1 mg/L.

A Figura 6 exibe os valores da componente S obtidos para a cor exibida pelas diferentes concentrações empregadas na calibração.

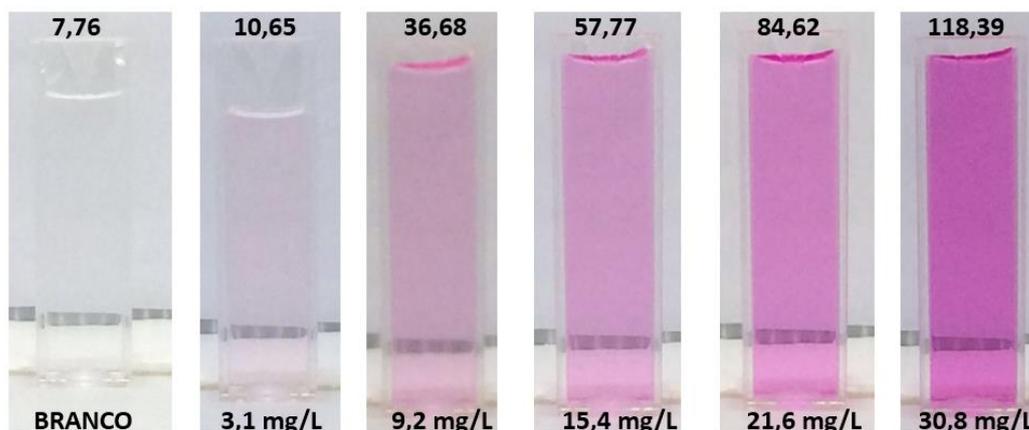


Figura 6 – Valor da componente S (parte superior) do modelo de cor HSB e as diferentes concentrações de permanganato de potássio em mg/L (parte inferior).

As imagens da Figura 6 foram adquiridas no modelo de cor RGB e em seguida convertida para o modelo HSB, de onde obteve-se o valor da saturação. Uma vez que S mede a pureza da cor da área, e varia de 0 a 1, isto explica por que o valor de S aumenta à medida que a solução colorida de KMNO_4 vai se tornando mais concentrada, corroborando com a linearidade exibida no gráfico analítico. De certa forma, a saturação é a característica que diferencia a cor rosa da cor vermelho. Enquanto a cor vermelho é a cor pura, valor de $S = 1$, a cor rosa é um vermelho com alguma quantidade de cor branca, valor de $0 < S < 1$.

Teoricamente, o valor de S para o branco na Figura 6 deveria ser zero, pois a saturação mede algum grau de mistura da cor pura com o branco. Entretanto, obteve-se um valor de $S = 7.76$. Na prática, os efeitos da iluminação artificial sobre o interior da caixa-plástica podem ter interferido na captação da radiação luminosa, pois equipamentos de aquisição compactos, como câmeras de celulares, apesar de possuírem sensores com alta resolução dependem que suas lentes capturem de modo adequado esta radiação e não gerem ruídos na imagem devido a produção de calor quando expostos a esta ^[19]. Para superar este inconveniente a subtração do valor do branco foi realizada nas imagens das soluções de calibração de permanganato.

Assim, o procedimento baseado em imagens digitais empregando curvas de calibração com padrões de permanganato de potássio foi utilizado na determinação deste analito nas amostras de comprimidos. As alíquotas das amostras a serem analisadas foram baseadas na faixa de concentração das soluções de calibração, de forma a garantir que os sinais das amostras estejam dentro da curva analítica.

Comparação dos resultados obtidos pelo método volumétrico e baseado em imagens digitais

Os resultados da quantificação, expressos em mg, para cinco amostras de comprimidos de permanganato de potássio obtidos por titulação e por imagem digital, estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das médias de três determinações da massa de comprimidos, em termos de mg de KMnO_4 , obtidos por titulação e por imagem digital.

AMOSTRAS	MÉTODO	
	TITULAÇÃO	IMAGEM DIGITAL
1	102,2 ± 0,3	101,5 ± 0,2
2	125,7 ± 0,3	125,2 ± 0,3
3	108,6 ± 0,1	107,9 ± 0,2
4	112,8 ± 0,1	114,5 ± 0,3
5	100,0 ± 0,3	99,3 ± 0,2

Pode-se observar na Tabela 2 a concordância entre os resultados obtidos por ambos os métodos. Para validar os resultados das determinações realizadas utilizando o método volumétrico e o método baseado em imagens, foram aplicados testes estatísticos para fins de comparação, tais como: o teste F e o teste t emparelhado baseado no teste de hipóteses^[20].

O teste F foi aplicado para verificar se as variâncias entre os dois métodos não diferem significativamente. A razão entre a variância do método volumétrico e a variância do método proposto foi $F_{\text{cal}} = 1,03$. Ao comparar este valor calculado com o valor de F tabelado ($F_{\text{tab}} = 2,4$), verifica-se que as variâncias não diferem significativamente, pois $F_{\text{cal}} < F_{\text{tab}}$, ao nível de 95% de confiança.

O teste t emparelhado foi usado para avaliar se existem diferenças sistemáticas estatisticamente significativas entre as médias dos resultados dos dois métodos analíticos. O valor de t calculado (t_{cal}) é baseado na média e no desvio-padrão da diferença entre cada par de resultados. O valor $t_{\text{cal}} = 1,01$ assim obtido, quando comparado a um valor crítico ($t_{\text{cri}} = 2,13$) ao nível de 95% de confiança revelou que não há diferença sistemática, estatisticamente significativa, entre os resultados no nível de confiança adotado uma vez que $t_{\text{cal}} < t_{\text{cri}}$.

Apesar dos testes estatísticos reforçarem a inferência de que há uma boa concordância entre os valores obtidos por ambos os métodos, o teor de KMnO_4 nas amostras de comprimidos analisadas neste trabalho não se encontravam dentro do especificado pela Farmacopeia. As determinações envolvendo o método volumétrico revelaram um teor entre 96,5 – 120,9%. O método baseado em imagens digitais revelou teores entre 95,8 – 120,5%. A Farmacopeia especifica um

limite bem mais estreito contendo no mínimo 99% e, no máximo, 100,5% de KMnO_4 , em relação à substância dessecada.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi demonstrado a viabilidade do uso de imagens digitais em química analítica através da quantificação de permanganato de potássio em comprimidos. Como o permanganato de potássio possui coloração com intensidade que varia de acordo com sua concentração, as relações numéricas existentes no modelo de cor HSB permitiram demonstrar sua quantificação por meio da análise da imagem digital.

A metodologia baseada em imagens digitais foi comparada com volumetria de óxido-redução descrita como técnica de referência pela Farmacopeia para esta substância. Os testes estatísticos aplicados aos resultados obtidos não revelaram diferenças significativas entre o método de referência e o método baseado em imagens digitais ao nível de 95% de confiança.

Para as amostras de comprimidos de permanganato de potássio analisadas neste trabalho o método baseado em imagens digitais revelou teores entre 95,8 – 120,5%. A Farmacopeia recomenda teores compreendidos entre 99,0 – 100,5% para esta substância.

REFERÊNCIAS

1. Terra, J.; Rossi, A. V.; *Quim. Nova* **2005**, 28, 166.
2. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Fundação Oswaldo Cruz. **Farmacopéia Brasileira**. Vol. 2, 5ª Ed. Brasília: Anvisa, 2010
3. Harris, D.C., Bonapace, J.A.P., Barcia, O.E. *Análise Química Quantitativa*. 6ª Ed., editora LTC, **2005**.
4. Mendham, J. et al., *Vogel: Análise Química Quantitativa*. 6ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2002.
5. Baccan, N. et al., *Química Analítica Quantitativa Elementar*, 3ª ed., São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

6. <http://qnint.s bq.org.br>, acessada em julho 2016.
7. <http://www.farmaciapopular.org/permaganato-d%D0%B5-potassio-prematon>, acessada em julho 2016.
8. Oliveira, L. F.; Canevari, N. T.; Jesus, A. M. D.; *et al*; *Rev. Virtual de Quim.* **2013**, 5, 169-178.
9. Godinho, M. S.; Pereira, R. O.; Ribeiro, K. O.; *et al*; *Quim. Nova* **2008**, 31, 1485-1489.
10. Gomes, M. S.; Trevisan, L. C.; Nóbrega, J. A.; *et al*; *Quim. Nova* **2008**, 31, 1577-1581
11. Paula, V. I.; Lima, D. R. S.; *Revista Engenho* **2014**, 9, 63-76.
12. Gaião, E. N.; Martins, V. L.; Lyra, W. S.; *et al*; *Anal. Chim. Acta* **2006**, 570, 283-290.
13. Lyra, W. S.; Santos, V. B.; Dionízio, A. G. G.; *et al*; *Talanta* **2009**, 77, 1584-1589.
14. Torres, A. R.; Lyra, W. S.; S. I. E.; *et al*; *Talanta* **2011**, 84, 601-606.
15. Leão, A. C.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2005.
16. ALVES, D. R.; *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil, 2010.
17. Gonzalez RC., Woods RE. *Digital Image Processing*. 3^a Ed., Estados Unidos da América. Editora Pearson, 2007.
18. Currie, L. A.; Svehla, G; *Pure & Appl.Chem.* **1994**, 66, 595.
19. Ribeiro, E.; Santos, D. R.; *Revista Brasileira de Cartografia* **2011**, 15, 15.
20. Barros neto, B. B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E.; *Como fazer experimentos*. 4a Ed., Editora bookman: Porto Alegre, **2010**.