

## **Aplicação da análise de imagem digital como ferramenta no ensino de química analítica**

### **Application of digital image analysis as a tool for teaching analytical chemistry**

DOI:10.34117/bjdv7n9-247

Recebimento dos originais: 16/08/2021

Aceitação para publicação: 16/09/2021

#### **Jéssica da Silva Alves de Pinho**

Doutorado em Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Instituição: CEFET – RJ (Campus Valença)  
Endereço: Rua Voluntários da Pátria 30 – Belo Horizonte – Valença, RJ  
CEP:27600-000  
E-mail: jessica.pinho@cefet-rj.br

#### **Jean de Aguiar Seabra**

Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Instituição: COPPE/UFRJ  
Endereço: Av. Horário Macedo 2030 – Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, RJ –CEP: 21941-598  
E-mail: bio\_jean@hotmail.com

#### **Rodrigo Ventura da Silva**

Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Instituição: COPPE/UFRJ  
Endereço: Av. Horário Macedo 2030 – Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, RJ –CEP: 21941-598  
E-mail: ventrod@yahoo.com.br

#### **Carlos Alberto Nunes Cosenza**

Pós Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade de Cambridge  
Instituição: COPPE/UFRJ  
Endereço: Av. Horário Macedo 2030 – Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, RJ – CEP: 21941-598  
E-mail: cosenzacoppe@gmail.com

### **RESUMO**

A proposta deste trabalho foi demonstrar como uma técnica alternativa que é rápida e barata pode ser usada para fins de ensino de química analítica seja em cursos de graduação ou técnicos na área de química ou afins. Tal proposta se baseou no uso da análise de imagem digital usando o pacote EImage disponível no software R. Tal pacote permite a decomposição de uma imagem no sistema de cores RGB (vermelho, verde e azul) para fins de quantificação. Para aplicação da metodologia, se trabalhou com a determinação do teor de quercetina em amostras de chá verde. A curva analítica teve a concentração de quercetina variando de 0 – 90 mg/L e o produto colorido formado da reação da quercetina com solução metanólica de cloreto de alumínio foi analisado por meio de aquisição de

imagens que foram posteriormente tratadas no software R. Tal proposta também permitiu reforçar ou introduzir novos conceitos seja de química analítica e/ou de quimiometria.

**Palavras-chave:** smartphone, pacote ebimage, análise de imagem digital, chá verde.

## ABSTRACT

The purpose of this work was to demonstrate how an alternative technique that is fast and inexpensive can be used for teaching purposes of analytical chemistry either in undergraduate or technical courses in chemistry or related areas. This proposal was based on the use of digital image analysis using the EBImage package available in the R software. This package allows the decomposition of an image into the RGB color system (red, green and blue) for quantification purposes. To apply the methodology, we worked with the determination of quercetin content in green tea samples. The analytical curve had the quercetin concentration ranging from 0 - 90 mg/L and the colored product formed from the reaction of quercetin with methanolic solution of aluminum chloride was analyzed through the acquisition of images that were later treated in the R software. This proposal also allowed to reinforce or introduce new concepts either of analytical chemistry and/or chemometrics.

**Keywords:** smartphone, ebimage package, digital image analysis, green tea.

## 1 INTRODUÇÃO

Para ser possível se ter uma rotina de pesquisa com resultados confiáveis, é necessário se ter equipamentos que podem ter um alto custo de aquisição e/ou manutenção (ANDRADE, 2014; MORENO; HEIDELMANN, 2017). Métodos cromatográficos (Fasciotti et al., 2010; Mata – Espinosa et al., 2011; Monfreda et al., 2012; Monfreda et al., 2014; Ruiz – Samblás et al., 2012) podem ser um meio de determinar diferentes analitos, mas, embora a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) seja uma técnica robusta, também é cara e gera um grande gasto de solvente orgânico, o que, ambientalmente, não é desejável. Outra possibilidade seria se recorrer a análise espectrofotométrica no UV – Vis, sendo necessário nesse caso se recorrer a ferramentas quimiométricas para fins de quantificação ao se trabalhar com o espectro completo (Barker; Rayens, 2003).

Assim sendo, a busca por alternativas que permitam tais resultados confiáveis, mas de forma mais rápida e barata vem se mostrando cada vez mais necessária. Uma alternativa que minimiza gastos com solvente e também com aquisição e manutenção de equipamentos pode ser a análise de imagem digital, que pode ser aplicada em produtos oriundos de reações colorimétricas, ou seja, produtos coloridos a serem analisados. Esse tipo de análise baseia-se no modelo de cores do sistema RGB (red, green, blue). Dessa

forma, é possível se ensinar química de uma forma diferente e atrativa fazendo uso de tecnologia para tal (ANDRADE; 2014; MORENO; HEIDELMANN, 2017).

A análise de imagem digital pode ser implementada em laboratórios, nos quais não se tenha acesso a um espectrofotômetro no UV – Vis, por exemplo, visando o ensino de química de conceitos tais como reações colorimétricas, além de outras rotinas de análise, assim como tratamento de dados após a etapa de aquisição. Tal técnica se torna uma alternativa promissora visto que é uma técnica baseada na aquisição de imagens por meio de um smartphone que, posteriormente, são tratadas usando um software gratuito de estatística. Entende-se que o ensino de química analítica pode ser considerado como satisfatório se o mesmo permite aliar o conhecimento teórico ao prático, já que o aluno não só aprende a parte teórica do experimento, mas também consegue por em prática conceitos como coletar dados, trata-los adequadamente, etc. (PINTO, 2012; BARBOSA, 2011; SALESSE, 2012). Dessa forma, a proposta deste trabalho foi demonstrar a aplicabilidade da análise de imagem digital para fins didáticos, para a determinação de quercetina em amostras de chá verde. Visou-se ensinar não apenas conceitos de reações colorimétricas em química analítica, mas também conceitos de quimiometria, tais como calibração univariada.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ENSINO DE QUÍMICA

A química deve ser ensinada de uma forma atrativa e eficiente e não mecanizada seja em qualquer nível de ensino. Assim sendo, não apenas deve se preocupar em transmitir e/ou reforçar conceitos, mas também nas contextualizações e integração de diferentes áreas da química (ANDRADE, 2014; CURY, 2006). Uma maneira de tornar atrativo ao aluno e usar a tecnologia como aliada é o uso de smartphones como uma ferramenta de ensino fazendo uso da análise de imagem digital e inserindo ou reforçando conceitos diversos envolvendo reações colorimétricas e técnicas de tratamento de dados. O uso de tal ferramenta pode permitir que o aluno não tenha apenas aulas expositivas, podendo os alunos serem ativos na construção do conhecimento, aliando conhecimento teórico ao experimental (ALVES, 2007; PINTO, 2012).

### 2.2 ANÁLISE DE IMAGEM DIGITAL E REAÇÕES COLORIMÉTRICAS

O pixel pode ser interpretado como uma coordenada espacial ( $x_i, y_i$ ). Dessa forma, pode-se fazer uma analogia comparando a imagem digital a uma matriz de dados, sendo

o número de linhas o indicador da altura da imagem e o número de colunas um indicador da largura da mesma (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Um dos sistemas de cores que pode ser usado na análise de imagem digital é o sistema RGB (Red, Green, Blue). Esse modelo tem uma variação no índice de cores de 0 a 25 para cada cor do sistema (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999; LOPES, 2009). Tem-se hoje diferentes softwares que podem realizar a decomposição da imagem digital no sistema RGB: Photometrix (HELPER et al., 2017), ImageJ (ABRÀMOFF; MAGALHÃES; RAM, 2004), Cellprofiler (LAMPRECHT; SABATINI; CARPENTER, 2007), Matlab e o software R (por meio do pacote EImage) (PAU et al., 2010). O pacote EImage disponível no software R faz a decomposição como por ser observado na equação 1:

$$\sqrt{RGB^2} = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \quad (1)$$

Nessa equação R, G e B são os canais individuais (vermelho, verde e azul respectivamente), enquanto o RGB seriam os três canais juntos

Diferentes trabalhos já usaram o smartphone como ferramenta propondo diferentes aplicações (MUDANYALI et al., 2012; OZCAN, 2014; VASHIST et al., 2014; MORAES; CONFESSOR; GASPAROTTO, 2015). Vale ressaltar que a aquisição de um smartphone e computador (ou notebook) para realização da técnica custa consideravelmente menos do que a aquisição de um espectrofotômetro que também implica na aquisição de cubetas de quartzo que também possuem um custo relativamente alto.

### 2.3 DETERMINAÇÃO DE QUERCETINA EM AMOSTRAS DE CHÁ VERDE

A *Camellia sinensis* é originada da China, mas também tem cultivos no Brasil para produção de chás (branco, verde, preto e oolong) os quais diferem no método de cultivo, coleta, processamento e acondicionamento do mesmo, o que influencia no aroma e também no sabor. Nas folhas da *Camellia sinensis* há diversas substâncias tais como polifenóis, metilxantinas (ex. cafeína, mas em menor quantidade que no café), vitaminas, aminoácidos, etc (PEREIRA et al., 2014; BRAIBANTE et al., 2014). O chá verde age como antialérgico e antibactericida e diurético auxiliando na perda de peso, enquanto o

chá preto adicionalmente às funções previamente mencionadas, ainda pode auxiliar na diminuição do colesterol total e LDL (BRAIBANTE et al., 2014).

Os compostos fenólicos presentes em frutas e derivados e também chás das mesmas desempenham um papel importante na saúde humana (MORELLI, 2001). Há diversos trabalhos que relacionam a capacidade antioxidante com a quantidade de compostos fenólicos presentes na amostra (ISHIGE; SCHUBERT; SAGARA, 2001; ROBERTS; GORDON, 2003; PINELO et al., 2004).

Há diferentes formas de quantificar tais antioxidantes por meio de reações colorimétricas: reativo de Folin Ciocalteau (ROGINSKY; LISSI, 2005) que na presença de agentes redutores (no caso os compostos fenólicos) formam um produto colorido, de coloração azulada que permite a determinação por meio da espectrofotometria no UV – Vis. Também pode se quantificar teor de flavonoides por meio de uma reação com solução metanólica de cloreto de alumínio formando um produto amarelo, podendo se expressar o resultado em quantidade de quercetina presente na amostra. Como tais produtos formados são coloridos também poderiam ser analisados por meio da análise de imagem digital.

### **3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1 PREPARO DAS SOLUÇÕES PARA ANÁLISE DO TEOR DE QUERCETINA EM AMOSTRAS DE CHÁ VERDE**

Foram preparados padrões contendo quercetina na presença de solução metanólica de cloreto de alumínio e água. A primeira etapa consistiu no preparo de todas as soluções estoque:

Quercetina 1000 mg/L: pesou-se 100 mg de quercetina e dissolveu-se em 100 mL de metanol. A solução foi armazenada em frasco âmbar na geladeira.

Solução metanólica de cloreto de alumínio 10% m/v: pesou-se 10 g de cloreto de alumínio hidratado e dissolveu-se o mesmo em 100 mL de metanol.

As soluções padrão de quercetina para ser analisadas para construção da curva analítica foram preparadas por meio de diluições de diferentes teores de quercetina da solução estoque, que foram misturados com 2 mL da solução de metanólica e avolumados para 10 mL com água. Foram preparadas duplicatas de cada padrão. As concentrações e volumes de quercetina usados podem ser observados na Tabela 1. Após a mistura, aguardou-se 30 minutos para aquisição das imagens. Os tubos Falcon, nos quais foram

preparadas as misturas foram envolvidas com papel alumínio para ficar ao abrigo da luz enquanto a reação ocorria.

Tabela 1: Concentrações dos padrões de quercetina.

Padrão	Volume de quercetina (microlitros)	Concentração de quercetina (mg/L)
1	0	0
2	100	10
3	300	30
4	500	50
5	700	70
6	900	90

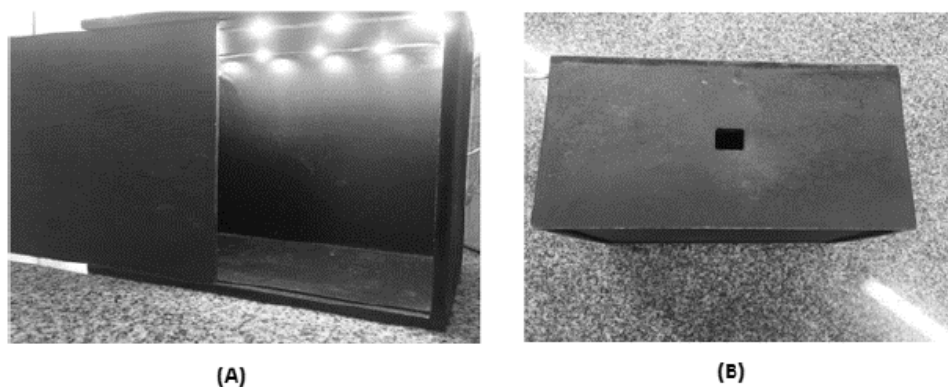
Fonte: Os autores (2021)

As amostras de chá verde foram adquiridas em comércio local na cidade de Valença (Rio de Janeiro). A infusão do chá foi feita com água aquecida até 80°C, ficando o sachê em contato com essa água por um período de 10 minutos para realizar a infusão. Para a análise da amostra de chá, tomou-se uma alíquota de 1 mL acrescida de 2 mL de cloreto de alumínio avolumado para 10 mL com água purificada. O preparo foi feito em duplicata, aguardando-se 30 minutos para análise, mantendo o tubo envolvido em papel alumínio durante esse tempo.

### 3.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

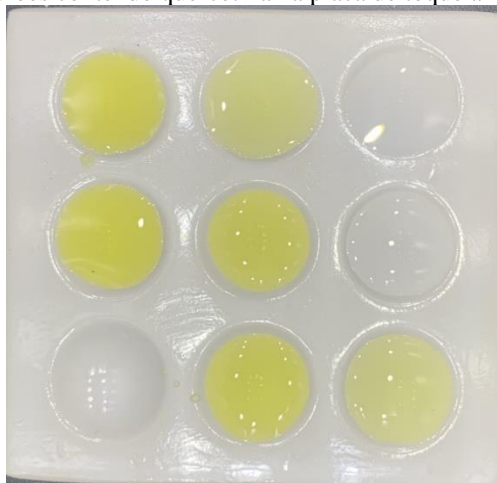
Para aquisição das imagens foi necessário o uso de uma caixa de madeira (20 x 12 x 18 cm) pintada de tinta preta fosca, com fitas de led no interior na parte superior da caixa. A caixa utilizada pode ser observada na Figura 1.

Figura 1: Caixa de madeira usada para aquisição das imagens: (a) vista da parte interna da caixa iluminada com fitas de led branco; (b) topo da caixa com o orifício para colocar a câmera do smartphone.



As amostras (800 µL) foram colocadas em uma placa de toque branca (Figura 2) após a reação para aquisição das fotos.

Figura 2: Amostras de padrões contendo quercetina na placa de toque antes da aquisição da imagem



### 3.3 TRATAMENTO DAS IMAGENS

Após a aquisição das imagens, as mesmas foram passadas para um computador e cortadas (30 x 30 pixels) para serem tratadas no software R usando o pacote EBIImage.

Foram calculados usando-se quatro modelos diferentes: apenas o canal vermelho, apenas o canal azul, apenas o canal verde e os três canais juntos visando checar qual modelo oferecia o melhor resultado de predição.

O software, que é totalmente gratuito, pode ser baixado diretamente da internet e instalado conforme instruções do site ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)). Por meio de comandos específicos pode-se trabalhar em diferentes tópicos, tais como estatística básica, calibração univariada, testes estatísticos para comparação de metodologias, análise de imagem digital, que é o interesse desse trabalho dentre outros. Após instalação do software e abrir o mesmo, deve-se proceder a instalação e habilitação do pacote EBIImage (Figura 3).

Figura 3: Instalação e habilitação do pacote EBIImage

```
source("http://bioconductor.org/biocLite.R")#instalação do pacote
biocLite("EBIImage")

library("EBIImage")#habilitação do pacote
```

Os comandos utilizados foram adaptados do material suplementar disponível no artigo de Moraes et al. (2014). Na Figura 4, pode se observar parte dos comandos adaptados, replicados para cada padrão.



Figura 4: Trecho de comandos adaptados para tratamento das imagens no software R usando o pacote EBImage (a) comandos para importação das imagens e criação dos vetores do sistema RGB; (b) criação dos modelos de regressão linear (intensidade do canal vs concentração predita da solução padrão).

```

blank1 = readImage('Blank1.jpg') #importação da imagem
blank2 = readImage('Blank1.jpg') #importação da imagem
blank = (blank1 + blank2)/2 # cálculo da média das réplicas
pad21 = readImage('padrao 2_1.jpg') #importação da imagem
pad22 = readImage('padrao 2_2.jpg') #importação da imagem
pad2 = (pad21 + pad22)/2 # cálculo da média das réplicas
pad2m = pad2 - blank #normalização dos dados
pad2red = channel(pad2m, 'red') #criação do padrão canal vermelho
pad2redm = mean (pad2red)*255 #criação do padrão canal vermelho
pad2blue = channel(pad2m, 'blue') #criação do padrão canal azul
pad2bluem = mean (pad2blue)*255 #criação do padrão canal azul
pad2green = channel(pad2m, 'green') #criação do padrão canal verde
pad2greenm = mean (pad2green)*255 #criação do padrão canal verde
pad2f = sqrt(pad2redm^2+pad2bluem^2+pad2greenm^2) #criação do padrão para o vetor RGB

X=c(pad2f,pad3f,pad4f,pad5f,pad6f) #criação do vetor das imagens
conc=c(1,2,3,4,5) #criação do vetor concentração
modelo<-lm(X~conc) #construção do modelo linear
plot(conc,X,xlab="concentration (mg/mL)", ylab = "vector RGB", main = "RGB model", pch = 1)#construção do gráfico
abline(modelo, col="red") #inserção da reta de ajuste
summary(modelo) #dados do modelo
coefficients=coefficients(modelo) #coeficientes do modelo para calcular valores medidos

```

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Determinação do teor de quercetina em amostras de chá verde.

Depois da aquisição e tratamento das imagens, foi possível construir os quatro modelos representados na Tabela 02, aonde pode se observar além da equação do modelo, os valores dos coeficientes de correlação e determinação. Pode se observar que com base nos dados da Tabela 03, o modelo que forneceu melhor resultado foi o dos três canais juntos, com coeficiente de correlação igual a 0,9982.

Tabela 2: Modelos obtidos usando o pacote EBImage no R para determinação de quercetina.

Modelo	Equação do modelo	Coefficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	Coefficiente de correlação (R)
<b>RGB (juntos)</b>	Y = 316,59 – 0,54C	0,9965	0,9982
<b>Canal vermelho</b>	Y = 200,43 + 0,0357C	0,503	0,7092
<b>Canal azul</b>	Y = 111,1 – 0,51C	0,983	0,9915
<b>Canal verde</b>	Y = 203,5 – 0,11C	0,7852	0,8861

Fonte: Os autores (2021)

A partir da escolha do melhor modelo, mediu-se os valores de concentração de quercetina tanto nos padrões (Tabela 3) quanto nas amostras de chá (Tabela 4). O padrão de 30 mg/L foi retirados das curvas construídas por se tratar de um outlier (valor discrepante). Os valores de erro relativo na Tabela 6 podem ser considerados como



satisfatórios, mesmo o erro obtido para a concentração de 10 mg/L, considerando que é um valor baixo de concentração, pode se esperar um valor mais alto de erro associado a medição.

Tabela 3: Valores medidos de quercetina para o modelo escolhido

Concentração predita (mg/L)	Concentração estimada (mg/L)	Erro relativo (%)
10	8,6	14
50	52	4,0
70	71	1,4
90	88	2,2

Fonte: Os autores (2021)

Tabela 4: Valores medidos de quercetina em amostras de chá verde

Amostra	Concentração estimada (mg/L)
Chá verde	61,6

Fonte: Os autores (2021)

Embora se tenha tido um valor maior que 10% de erro relativo para a amostra com 10 mg/L de quercetina, o que pode ser explicado pelo fato de se ter uma concentração baixa, o modelo proposto ainda pode ser considerado como satisfatório, visto que tem fins de ensinar a interpretação de dados, bem como avaliar aspectos que poderiam tornar o modelo otimizado, tais como expansão da faixa de linearidade da curva, repetição dos experimentos, calibragem de material volumétrico utilizado, etc.

A partir dos dados obtidos foi possível se trabalhar diferentes conceitos de química analítica e também de quimiometria tais como: calibração univariada, visto que os modelos construídos foram a partir de dados escalares, avaliação de valores discrepantes, avaliação da adequação do modelo, além do conceito de reações colorimétricas, para a determinação de quercetina em amostra de chá e análise de imagem digital para ambos os estudos de caso.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nos dois estudos de caso apresentados mostram o potencial da análise de imagem digital para ser empregada para fins de ensino, usando um smartphone como aliado no processo de ensino-aprendizagem. Valer ressaltar que as duas metodologias, que se basearam na aquisição de imagens, tiveram os dados tratados fazendo uso de um software gratuito. Tal processo pode ser aplicado em aulas práticas de química analítica tanto no nível técnico quanto em nível superior (em cursos de química

ou áreas afins) quando não se tem um espectrofotômetro disponível ou mesmo que se tenha como a inserção de uma nova técnica a ser aprendida pelos alunos.

Os resultados, ainda que haja necessidade de se otimizar os modelos obtidos, já mostram a viabilidade da aplicação da análise de imagem digital como ferramenta de ensino. Visto que, não apenas uma nova técnica seria apresentada, mas também a introdução ou revisão de conceitos importantes vistos na teoria poderiam ser colocados em prática conforme já mencionado.

## REFERÊNCIAS

ABRÀMOFF, M. D.; MAGALHÃES, P. J.; RAM, S. J. Image processing with ImageJ. *Biophotonics international*, 11 (7), 36-42, 2004.

ALVES, W.F.; A formação de professores e as teorias do saber docente: contexto, dúvidas e desafios. *Revista Educação e Pesquisa*, 33, 2, 263, 2007.

ANDRADE, M.S.F.; Monografia de conclusão de curso, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil, 2014.

BARBOSA, E.F.; Aulas práticas de química na formação profissional: uma abordagem da importância e alguns aspectos relevantes. *Enciclopédia Brasileira: Centro Científico Conhecer*, 7, 1, 2011.

Barker, M.; Rayens, W. Partial least squares for discrimination. *Journal of Chemometrics*, 17, 3, 166-173, 2003.

BRAIBANTE, M. E. F.; SILVA, D.; BRAIBANTE, H. T. S.; PAZINATO, M.S. A Química dos Chás. *Química Nova na Escola*. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/QS-47-13.pdf>> (Acesso em 20/04/21)

Fasciotti, M.; Pereira Netto, A.D. Optimization and application of methods of triacylglycerol evaluation for characterization of olive oil adulteration by soybean oil with HPLC–APCI–MS–MS. *Talanta*, 81, 1116-1125, 2010.

HELPER, G. A. et al. Photometrix: an application for univariate calibration and principal components analysis using colorimetry on mobile devices. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28 (2), 328-335, 2017.

ISHIGE, K.; SCHUBERT, D.; SAGARA, Y. Flavonoids protect neuronal cells from oxidative stress by three distinct mechanisms. *Free Radical Biology Medicine*, v 30, p. 433-446, 2001.

LAMPRECHT, M. R.; SABATINI, D. M.; CARPENTER, A. E. CellProfiler™: free, versatile software for automated biological image analysis. *Biotechniques*, 42 (1), 71 - 75, 2007.

LOPES, L.C. Controle metrológico da cor aplicado à estamperia digital de materiais têxteis. 142 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia). Pontifícia Universidade Católica (PUC - RIO). Rio de Janeiro, 2009.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. Processamento digital de imagens. Brasport, 1999.

Mata – Espinosa, P.; Dominguez – Vidal, A.; Bosque – Sendra, J.M.; Ruiz – Medina, A.; Cuadros – Rodriguez, L.; Ayora – Cañada, M.J. Olive oil assessment in edible oil blends by means of ATR-FTIR and chemometrics. *Food Control*, 23, 449-455, 2012.

Monfreda, M.; Gobbi, L.; Grippa, A. Blends of olive oil and sunflower oil: Characterisation and olive oil quantification using fatty acid composition and chemometric tools. *Food Chemistry*, 134, 2283-2290, 2012.

Monfreda, M.; Gobbi, L.; Grippa, A. Blends of olive oil and seeds oils: characterisation and olive oil quantification using fatty acids composition and chemometric tools. Part II. *Food Chemistry*, 145, 584-592, 2014.

MORAES, E.P.; CONFESSOR, M.R.; GASPARTOTTO, 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, 1696, 2015.

MORAES, E.P.; SILVA, N.S.A.; MORAIS, C.L.M.; NEVES, L.S.; LIMA, K.M.G., Low-cost method for quantifying sodium in coconut water and sea water for the undergraduate analytical chemistry laboratory: flame test, a mobile phone camera, and Image Processing. *Journal of Chemical Education*, 91, 1958, 2014.

MORELLI, L.L.L. Avaliação de compostos fenólicos em geleia de uva produzida com a variedade IAC – 138 – 22 (MÁXIMO). 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011

MORENO, E.L. HEIDELMANN, S.P.; Innovators instructional resources for chemistry teaching. *Química Nova na Escola*, 39, 1, 12, 2017.

MUDANYALI, O.; et al. Integrated rapid-diagnostic-test reader platform on a cellphone. *Lab Chip*, 12, 2678, 2012.

OZCAN, A. Mobile phones democratize and cultivate next generation imaging, diagnostics and measurement tools. *Lab Chip*, 14, 3187, 2014.

PAU, G. et al. EBImage—an R package for image processing with applications to cellular phenotypes. *Bioinformatics*, 26 (7), 979 - 981, 2010.

PEREIRA, V.P; KNOR, F.J; VELLOSA, J.C.R; BELTRAME, F.L. Determination of phenolic compounds and antioxidant activity of green, black and white teas of *Camellia sinensis* (L.) Kuntze, Theaceae. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai.*, 16 (3), 490-498, 2014.

PINELO, M.; MONZOCCO, L.; NUÑEZ, M.J.; NICOLI, M.C. Interaction among phenolics in food fortification: negative synergism on antioxidant capacity. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v 52, p 1177-1180, 2004.

PINTO, A.C.; O ensino médio de química: o que fazer para melhorá-lo? *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23, 6, 985, 2012.

ROBERTS, W.G.; GORDON, M.H. Determination of the antioxidant activity of fruits and vegetables by a liposome assay. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, v 51, p 1486- 1493, 2003.

ROGINSKY, V.; LISSI, E.A. Review of methods to determine chain breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, London, v. 92, n.2, p. 235 – 254, junho 2005.

Ruiz – Samblás, C.; Marini, F.; Cuadros – Rodríguez, L.; González – Casado, A. Quantification of blending of olive oils and edible vegetable oils by triacylglycerol fingerprint gas chromatography and chemometric tools. *Journal of Chromatography B*, 910, 71-77, 2012.

SALESSE, A.M.T.; Monografia de especialização. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Brasil, 2012.

VASHIST, S. K.; MUDANYALI, O.; SCHNEIDER, E. M.; ZENGERLE, R.; OZCAN, A. Cellphone-based devices for bioanalytical sciences. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 406, 3263, 2014.