

^a Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Química, Av. Colombo
5790, CEP 87020-900, Maringá-PR, Brasil

*E-mail:
oliveirasantos.oscardeoliveira@gmail.com

Submissão: 25 de Fevereiro de 2025

Aceite: 30 de Maio de 2025

Publicado online: 16 de Junho de 2025

O Uso de uma Câmera de Celular como uma Ferramenta Analítica Rápida, Barata e Não Destrutiva para Quantificar o Teor de Sólidos Solúveis no Catchup

The Use of a Standard Cell Phone Camera as a Quick, Cheap, and Non-Destructive Analytical Tool to Quantify the Content of Soluble Solids in Ketchup

Marcela de S. Zangirolami,^a  Oscar O. Santos^{a,*} 

The total soluble solids content (TSS) is an important parameter in the sensorial and nutritional quality of ketchup. This work developed a new method for determining soluble solids in ketchup using digital image processing. Visible images were acquired and processed using a smartphone, with refractometer analysis as the reference method. Samples were separated into calibration, validation, and prediction sets, then images were captured and inserted into the Redgim app. Preprocessing involved selecting regions of interest (ROI) and processing was done using partial least squares (PLS) regression. The latent variables were chosen by “leave one out” cross-validation based on the evaluation of the magnitude of calibration model prediction error (RMSECV). The predictive ability of the built model showed high prediction ($R^2 > 0.99$) in the soluble solids content determination and low error (RMSEP < 0.55) in the prediction of new samples indicating that this is a fast, non-invasive, and cost-effective alternative to predict soluble solids content in ketchup.

Keywords: Tomato; soluble solids; digital images; smartphone; multivariate data analysis.

1. Introdução

A polpa de tomate, principal ingrediente envolvido na produção de catchup, exerce uma influência direta nos parâmetros físico-químicos e reológicos do produto final. A variedade e o grau de maturação dos tomates utilizados no processamento são responsáveis pela fração de sólidos presente, o que, conseqüentemente, afeta as mudanças de cor observadas.¹⁻⁷

Para alcançar o tamanho, firmeza, textura e cor desejados, os tomates passam por estágios de divisão celular, expansão celular e, por fim, maturação. Na fase inicial, ocorre uma rápida divisão celular, com pouca mudança no tamanho do fruto. Em seguida, inicia-se a fase de expansão, durante a qual o fruto cresce lentamente até atingir seu tamanho final. Esse processo pode levar de 5 a 8 semanas. Além disso, as sementes e a casca se desenvolvem nessa etapa, resultando, ao final, em um fruto verde maduro.

Por fim, o fruto entra na fase de maturação, caracterizada por um comportamento climatérico. Nessa etapa, a produção de etileno e as taxas de respiração aumentam significativamente.^{8,9} A maturação dos tomates pode ser monitorada por meio das mudanças de cor observadas no fruto. À medida que a clorofila, responsável pela cor verde, se degrada, ocorre a síntese de licopeno, resultando na pigmentação vermelha dos tomates maduros.¹⁰

Nessa etapa, também podem ser observadas mudanças internas no tomate, como reações químicas envolvendo a hidrólise do amido em sacarose, frutose e glicose, resultando no aumento dos sólidos solúveis. Além disso, ocorre a degradação da matriz péctica, regulada por enzimas que afetam diretamente as propriedades físicas do fruto, como o amolecimento. Assim, o teor de sólidos solúveis totais no fruto é representado pela soma de açúcares (sacarose e hexoses), bases conjugadas dos ácidos cítrico e málico (citrato e malato) e outros componentes menores, como fenóis, aminoácidos, pectinas solúveis, ácido ascórbico e minerais¹¹ e é considerado um parâmetro importante para estimar sua qualidade interna.¹² Essa correlação entre a intensidade da cor vermelha e o aumento do teor de açúcares tem importantes implicações para a avaliação não destrutiva da qualidade do tomate. Ao monitorar a cor do fruto, especialmente o tom de vermelho, é possível estimar indiretamente o teor de

sólidos solúveis totais, que reflete o conteúdo de açúcares e outros compostos solúveis no tomate.

A determinação do teor de sólidos solúveis totais é comumente realizada por meio de refratômetros, instrumentos baseados na medição do índice de refração, que corresponde à razão entre a velocidade de propagação da luz em diferentes meios.¹³ No entanto, esse método é destrutivo e demorado. Por outro lado, métodos ópticos, como a espectroscopia, têm sido utilizados em conjunto com a quimiometria para autenticar/discriminar, identificar e quantificar adulterantes em especiarias, como canela,¹⁴ gengibre em pó,¹⁵ páprica,¹⁶ chá preto,¹⁷ entre outras, principalmente por se tratar de uma técnica não destrutiva e rápida.¹⁸

Nos últimos anos, houve um avanço significativo no uso de imagens digitais acopladas à quimiometria para extrair informações,¹⁹ classificar e prever a qualidade dos alimentos^{20,21} como alternativa aos métodos convencionais. Isso se deve ao fato de que as características das câmeras utilizadas para a captura de imagens são semelhantes às integradas em dispositivos espectrofotométricos.²² A luz refletida nessas câmeras é convertida em um histograma de cores RGB, seguido por uma matriz numérica que serve como entrada para a aplicação de métodos quimiométricos, como classificação de padrões e regressão multivariada.²³

A busca por metodologias confiáveis, mais rápidas, menos poluentes, economicamente viáveis e acessíveis tem impulsionado o desenvolvimento de aplicações quimiométricas que permitem a captura e o processamento de imagens no mesmo dispositivo. Diversos estudos têm explorado essa abordagem, como na química forense, para obtenção de dados analíticos na quantificação de cocaína e fenacetina em amostras ilícitas apreendidas no Brasil²⁴, assim como na detecção de metanfetamina.²⁵ Além disso, o método demonstrou eficácia na avaliação da estabilidade térmica do leite cru por meio da determinação quantitativa do pH utilizando o teste da alizarina²⁶ e na identificação e quantificação de adulterantes em amostras de leite e catchup.^{27–29}

O aplicativo REDGIM foi desenvolvido em 2016 e está disponível gratuitamente para o sistema Android, oferecendo análise multivariada por meio do método de Mínimos Quadrados Parciais (PLS, do inglês „*Partial Least Squares*”). No entanto, poucos estudos avaliaram seu potencial em comparação com outros aplicativos, como o PhotoMetrix, amplamente explorado em técnicas de identificação e quantificação de compostos.^{30,31} Portanto, o objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo para quantificar os sólidos solúveis presentes em amostras de catchup, utilizando um refratômetro como método de referência, além do processamento de imagens visíveis obtidas por meio da câmera de um celular com o aplicativo REDGIM. Essa técnica tem ganhado destaque devido às suas vantagens, incluindo versatilidade, por exigir apenas um celular, baixa demanda operacional, baixo custo e resultados rápidos.

2. Experimental

2.1. Amostras

Vinte e oito amostras de catchup tradicional, todas com a mesma composição e provenientes de diferentes lotes de produção, foram obtidas de uma indústria de condimentos e processamento de produtos à base de tomate, localizada no interior do estado de São Paulo, Brasil, entre Maio e Junho de 2024. Da mesma indústria, também foi coletada uma amostra líquida contendo apenas os seguintes ingredientes do catchup: água, vinagre e conservante (EDTA, ácido etilenodiamino tetra-acético). Esta amostra foi utilizada como representante da fração que não contribui para a medição do índice de refração e empregada na construção da curva analítica como branco. As análises descritas a seguir foram realizadas imediatamente após a coleta.

2.2. Teor de sólidos solúveis

A análise padrão para determinação dos sólidos solúveis (°Brix) foi realizada utilizando um refratômetro digital de bancada (Abbe Mark III, Reichert, Nova York, EUA) com escala de 0 a 95%. Antes de realizar a análise foi feita a calibração do equipamento aplicando água destilada sobre o prisma limpo, aguardando o equilíbrio térmico, ajustando a linha de sombra ao centro do “X” no visor e confirmando a operação no menu “*Adjust Set Point*”. Para a análise, uma pequena quantidade da amostra foi coletada com uma espátula e depositada sobre um pedaço de algodão. O algodão foi então pressionado para permitir que 2 a 3 gotas caíssem sobre a superfície do prisma. Com o compartimento do prisma fechado, a linha de fronteira foi ajustada ao centro da cruz (utilizando o botão de foco localizado na base para ajustar o campo de visão), e o botão “READ” foi pressionado para obter a leitura.³²

2.3. Preparação das amostras e aquisição das imagens

Aproximadamente 30 g de cada amostra foram colocados em béqueres plásticos dispostos sobre uma superfície branca. As imagens visíveis foram adquiridas utilizando um *smartphone* Redmi Note 8, modelo M1908C3JG, com câmera de resolução de 48 megapixels, a uma distância aproximada de 20 cm (distância entre a câmera e a amostra). As imagens foram capturadas no mesmo ambiente, mantendo as mesmas condições de fundo e de iluminação.

2.4. Processamento das imagens

As imagens foram processadas utilizando o aplicativo RedGIM®, versão 2.0.0.3.2 beta, desenvolvido em 2016 por um grupo de pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES, Brasil), em colaboração com contribuintes da Universidade Federal do Rio Grande do

Norte (UFRN, Brasil) e do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES, Brasil). O aplicativo está disponível gratuitamente para uso no sistema Android.

No aplicativo RedGIM®, as imagens foram inseridas no modo colorímetro para análise. Inicialmente, foram utilizadas as imagens adquiridas no modo de captura única e, para cada imagem, uma região de interesse (ROI) foi determinada. O tamanho da ROI foi definido como 50×50 pixels, seguindo o método descrito por Rosa *et al.* (2022), o que resultou em um total de 2.500 pixels dentro da ROI.

O cálculo desses pixels resultou em histogramas para cada canal de cor RGB. Em seguida, esses histogramas foram organizados em conjuntos de calibração e predição para a aplicação da técnica de regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS, do inglês „*Partial Least Squares*”). Inicialmente, os dados foram organizados em uma matriz X (matriz preditora), na qual as linhas correspondem às amostras e as colunas representam as variáveis medidas.

No método PLS (do inglês „*Partial Least Squares*”), essa matriz é relacionada à matriz Y (matriz de resposta), que contém informações sobre a propriedade de interesse. As matrizes são decompostas simultaneamente em *scores* e *loadings*, originando as variáveis latentes (LVs). Essas variáveis são chamadas de latentes porque têm o objetivo de encontrar a melhor correlação entre X e Y, perdendo, assim, sua ortogonalidade.

2.5. Análise de dados

A análise estatística fornecida pelo aplicativo para o modelo de calibração inclui o coeficiente de correlação (R^2), o erro quadrático médio da calibração (RMSEC) e o erro quadrático médio da predição (RMSEP). Os resultados obtidos foram comparados com a metodologia de referência por meio de um teste t para duas amostras independentes ($p = 0,05$) utilizando o software OriginPro, versão 8.5.

3. Resultados e Discussão

A rotina na indústria de alimentos envolve uma série de etapas até que os produtos finais sejam obtidos e estejam prontos para comercialização. Entre essas etapas, há rigorosos controles de qualidade, por meio dos quais o produto é monitorado durante o processamento e ao final, garantindo sua qualidade e segurança para o consumidor.

Com base nos resultados obtidos pelo refratômetro, seis amostras foram selecionadas para a construção da curva de calibração do modelo de previsão de sólidos solúveis, abrangendo uma faixa de 31 a 34° Brix, que representa o padrão e os valores mínimo e máximo toleráveis estabelecidos para a marca. Além disso, uma amostra líquida contendo apenas os ingredientes água, vinagre e EDTA (cedida pela mesma indústria que forneceu o catchup)

foi utilizada para a calibração do modelo (branco), pois sua fração de sólidos solúveis era de apenas 3,7° Brix, contribuindo com menos de 10% do total.

As imagens das amostras foram capturadas individualmente dentro do aplicativo usando o *smartphone*. A região de interesse (ROI) selecionada para cada imagem possuía o mesmo formato e tamanho (50×50 pixels) e foi escolhida em áreas com mínima interferência externa. Assim, as imagens foram nomeadas como “branco”, “padrão” ou “amostra”, de acordo com as configurações do aplicativo. Além disso, os valores de Brix obtidos pelo refratômetro para as amostras padrão utilizadas na construção da curva de calibração foram inseridos no aplicativo.

A otimização do modelo foi realizada utilizando o método de validação cruzada *leave-one-out* (LOO) fornecido pelo aplicativo. Nesse método, o modelo é construído excluindo-se uma amostra por vez e utilizando as demais para prever a amostra excluída. Esse processo é repetido até que todas as amostras tenham sido deixadas de fora uma vez, e um erro médio (RMSECV, do inglês *Root Mean Square Error of Cross Validation*) é calculado para cada número de variáveis latentes empregadas. Com base nos erros calculados, foram selecionadas 4 variáveis latentes, pois esse número resultou no menor erro, de 1,324.

Os valores medidos pelo método de referência em comparação com os valores previstos pelo modelo de regressão multivariada usando PLS, bem como as características de desempenho fornecidas pelo aplicativo, podem ser observados na Figura 1 (A) e 1 (B).

O coeficiente de correlação (R^2) e o erro de previsão (RMSEP) obtidos foram 0,9984 e 0,053, respectivamente. Assim, o método proposto pode ser uma alternativa confiável para aplicação nas operações diárias da indústria, pois pode acelerar o tempo de preparação, que normalmente é demorado devido à grande variedade de produtos e exigências de produção, além de não requerer pessoal altamente qualificado.

Ainda que os resultados obtidos pelo método proposto e pelo refratômetro tenham apresentado médias estatisticamente equivalentes ($p > 0,05$), a análise da precisão dos métodos também foi considerada. O desvio padrão das medições realizadas pelo refratômetro foi de 0,5 °Brix ($n = 3$ para cada amostra), enquanto a predição por imagem obteve RMSEP de 0,053, o que representa menos de 0,2% de erro relativo sobre a faixa de trabalho avaliada (31-34 °Brix). Esse nível de erro é compatível com aplicações de controle de qualidade em indústrias alimentícias. Além disso, o modelo de regressão apresentou um RMSECV de 1,324 na validação cruzada *leave-one-out*, indicando boa repetibilidade e robustez do ajuste multivariado. Assim, embora o método de imagem apresente uma precisão ligeiramente inferior à do refratômetro, seus resultados são estatisticamente consistentes e adequados para uso prático, especialmente considerando seu caráter não destrutivo e operacionalmente mais simples.

Conforme mostrado na Figura 2, os resultados previstos de sólidos solúveis totais obtidos por meio da nova

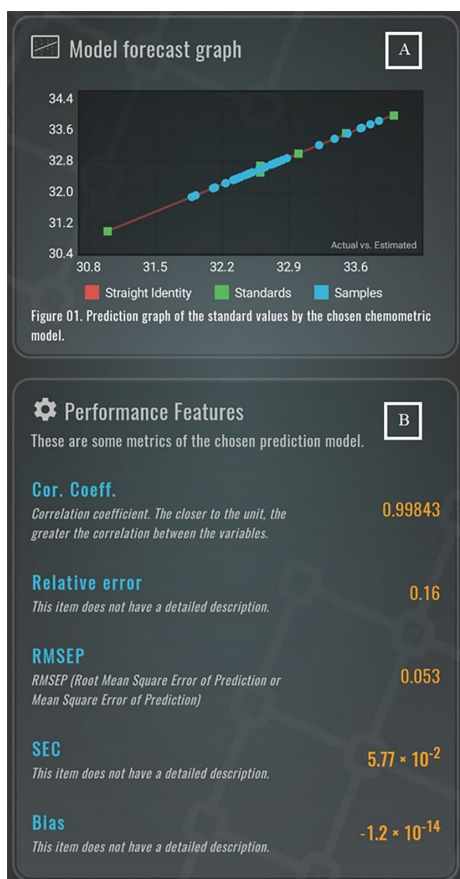


Figura 1. Tela do aplicativo exibida após o processamento, mostrando (a) o gráfico de previsão e (b) as características de desempenho do modelo

metodologia apresentaram uma boa correlação com os valores fornecidos pelo refratômetro. O valor de p do teste t para duas amostras independentes, conforme interpretado pelo RedGIM em comparação com os valores determinados

pelo refratômetro, foi de 0,08, indicando que os valores de ambos os grupos não são considerados estatisticamente diferentes.

A correlação observada entre a cor vermelha presente nas imagens e o teor de sólidos solúveis totais não representa uma relação matemática direta entre variáveis isoladas, mas sim uma associação empírica multivariada. Isso se deve ao fato de que, durante a maturação do tomate, tanto o acúmulo de pigmentos como o licopeno quanto a elevação dos açúcares solúveis ocorrem concomitantemente, refletindo-se na coloração mais intensa do produto. Dessa forma, a regressão por PLS é empregada para explorar as variações em toda a matriz RGB da imagem, permitindo identificar padrões latentes que estão correlacionados ao teor de sólidos solúveis. Esse modelo, embora baseado em dados empíricos, apresentou excelente desempenho preditivo ($R^2 > 0,99$), sendo adequado para capturar a complexidade da relação entre cor e °Brix.

Da mesma forma que sugerimos a aplicação da técnica como alternativa ao refratômetro, também foi demonstrada a viabilidade de quantificar gordura, evitando a geração de resíduos e o uso de reagentes químicos ou solventes, o que representa uma vantagem em relação ao método convencional de Soxhlet.³³ Além disso, verificou-se que a técnica pode ser utilizada para determinação de pH, produzindo resultados muito semelhantes aos do método de referência utilizando um pHmetro, e para determinação de fosfato, validada por cromatografia iônica como metodologia de referência, sendo capaz de reduzir significativamente a manipulação das amostras.^{34,35}

Nossos resultados estão alinhados com o demonstrado por Shamili³⁶ na predição do teor de sólidos solúveis em frutas ($R^2 = 0,98$), o que pode simplificar o monitoramento dos principais índices de qualidade durante o armazenamento. O uso de imagens digitais já foi empregado anteriormente

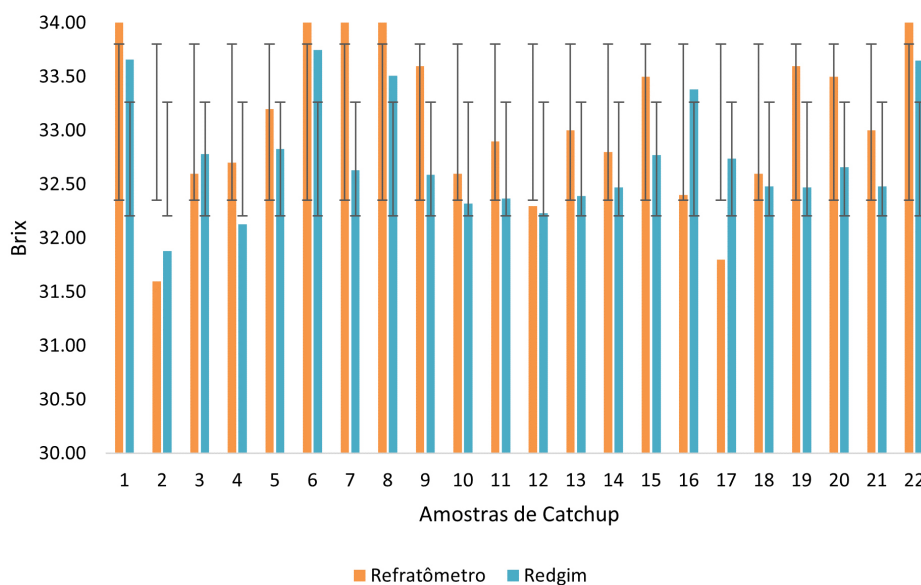


Figura 2. Comparação entre os valores de Brix obtidos pelo refratômetro como método de referência e os valores obtidos pelo RedGIM

para classificar tomates naturalmente maturados de acordo com seu estágio de maturação, com base na medição da cor, uma vez que a coloração muda de verde para vermelho à medida que o tomate amadurece, devido à degradação da clorofila e à síntese de carotenoides, como o licopeno. Os tomates utilizados no estudo abrangeram toda a faixa de estágios de maturação, desde o verde até o totalmente vermelho. As imagens foram capturadas a partir de frutos frescos utilizando uma câmera digital (Canon EOS 1000D), e 15 pontos (3 × 3 pixels) foram selecionados após processos de calibração de cor e remoção do fundo, resultando em um conjunto de valores de cromaticidade L^* , a^* , b^* e H . Esses valores foram então correlacionados com espectros de UV-visível por meio de análise de regressão não linear. O modelo construído permitiu a discriminação e classificação dos tomates de acordo com seu estágio de maturação ($R^2 > 0,95$), além da estimativa do teor de licopeno presente nas amostras.¹⁰

A metodologia também tem sido utilizada para avaliar os níveis de isômeros de licopeno em tomates frescos e processados (sucos, tomates em cubos enlatados, catchup, concentrado enlatado, tomates peneirados, polpa de tomate enlatada, tomates triturados e tomates inteiros enlatados).³⁷ Além disso, foi aplicada no desenvolvimento de um analisador de fluxo em batelada para especiação química de ferro em tomates³⁸ e na identificação e quantificação do adulterante Sudan I no catchup. O Sudan I é um corante sintético proibido devido às suas propriedades carcinogênicas, mutagênicas e genotóxicas.²⁸ No entanto, até o momento, não foram encontrados estudos especificamente focados na determinação das propriedades físico-químicas do catchup.

Os resultados obtidos são inéditos para a determinação do Brix em catchup e são promissores, uma vez que o método empregado é capaz de interpretar análises com base em dados quantitativos. Do ponto de vista industrial, a substituição do instrumento de medição convencional pela nova metodologia pode reduzir em mais de 50% o tempo necessário para a obtenção de resultados confiáveis, sem a necessidade de investimentos significativos. Isso ocorre porque o monitoramento do produto pode ser realizado no próprio local de preparo, utilizando um dispositivo de baixo custo.

4. Conclusões

O uso do aplicativo RedGIM® em *smartphones* foi aplicado com sucesso na análise de produtos colorimétricos, fornecendo dados analíticos para análises quantitativas. As concentrações de sólidos solúveis nas amostras de catchup analisadas apresentaram excelente correlação com os dados obtidos pelo refratômetro, técnica convencional para essa finalidade. Embora os resultados obtidos pela abordagem com imagens digitais tenham apresentado forte correlação com os valores de °Brix determinados por refratometria, é importante destacar que, do ponto de vista estritamente

analítico, essa metodologia é mais bem classificada como semi-quantitativa. Isso se deve à sua dependência de variáveis operacionais (condições de iluminação, padronização da ROI, tipo de câmera) e à ausência de padronização espectral absoluta. A sensibilidade observada dentro da faixa de trabalho foi suficiente para discriminar variações de até 0,05 °Brix, o que é satisfatório para fins de controle de qualidade industrial, mas inferior à precisão absoluta de métodos consagrados como a refratometria ou cromatografia. Ainda assim, os baixos valores de RMSEP e o alto coeficiente de determinação ($R^2 > 0,98$) demonstram que a proposta é robusta, rápida, e adequada para aplicações em ambientes com limitação de recursos analíticos tradicionais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

1. Liang, X.; Ma, C.; Yan, X.; Liu, X.; Liu, F.; Advances in research on bioactivity, metabolism, stability and delivery systems of lycopene. *Trends in Food Science and Technology* **2019**, 93, 185. [Crossref].
2. Salehi, B.; Sharifi-Rad, R.; Sharopov, F.; Namiesnik, J.; Rooitán, A.; Kamle, M.; Kumar, P.; Martins, N.; Sharifi-Rad, J.; Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. *Nutrition* **2019**, 62, 201. [Crossref] [PubMed].
3. Wu, X.; Yu, L.; Pehrsson, P. R.; Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. *Advances in Nutrition* **2022**, 13, 138. [Crossref] [PubMed].
4. Juszczak, L.; Oczadły, Z.; Gałkowska, D.; Effect of Modified Starches on Rheological Properties of Ketchup. *Food and Bioprocess Technology* **2013**, 6, 1251. [Crossref].
5. Rajchl, A.; Voldřich, M.; Čížková, H.; Hronová, M.; Ševčík, R.; Dobíáš, J.; Pivoňka, J.; Stability of nutritionally important compounds and shelf life prediction of tomato ketchup. *Journal of Food Engineering* **2010**, 99, 465. [Crossref].
6. Diantom, A.; Curti, E.; Carini, E.; Vittadini, E.; Effect of added ingredients on water status and physico-chemical properties of tomato sauce. *Food Chemistry* **2017**, 236, 101. [Crossref] [PubMed].
7. Komeilyfard, A.; Fazel, M.; Akhavan, H.; Mousakhani Ganjeh, A.; Effect of Angum gum in combination with tragacanth gum on rheological and sensory properties of ketchup. *Journal of Texture Studies* **2017**, 48, 114. [Crossref] [PubMed].

8. Hu, B.; Sun, D. W.; Pu, H.; Wei, Q.; Recent advances in detecting and regulating ethylene concentrations for shelf-life extension and maturity control of fruit: A review. *Trends in Food Science and Technology* **2019**, *91*, 66. [Crossref].
9. Penchovsky, R.; Kaloudas, D.; Molecular factors affecting tomato fruit size. *Plant Gene* **2023**, *33*, 100395. [Crossref].
10. Liñero, O.; Ciudad, M.; Arana, G.; Nguyen, C.; de Diego, A.; The use of a standard digital camera as an inexpensive, portable, fast and non-destructive analytical tool to measure colour: Estimation of the ripening stage of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) as a case study. *Microchemical Journal* **2017**, *134*, 284. [Crossref].
11. Magwaza, L. S.; Opara, U. L.; Analytical methods for determination of sugars and sweetness of horticultural products-A review. *Scientia Horticulturae* **2015**, *184*, 179. [Crossref].
12. Huang, Y.; Dong, W.; Chen, Y.; Wang, X.; Luo, W.; Zhan, B.; Liu, X.; Zhang, H.; Online detection of soluble solids content and maturity of tomatoes using Vis/NIR full transmittance spectra. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* **2021**, *210*, 104243. [Crossref].
13. Deetlefs, M.; Seddon, K. R.; Shara, M.; Predicting physical properties of ionic liquids. *Physical Chemistry Chemical Physics* **2006**, *8*, 642. [Crossref] [PubMed]
14. Castro, R. C.; Ribeiro, D. S. M.; Santos, J. L. M.; Páscoa, R. N. M. J.; Authentication/discrimination, identification and quantification of cinnamon adulterants using NIR spectroscopy and different chemometric tools: A tutorial to deal with counterfeit samples. *Food Control* **2023**, *147*, 109619. [Crossref].
15. Yu, D. xin; Guo, S.; Zhang, X.; Yan, H.; Zhang, Z. yu; Chen, X.; Chen, J. yan; Jin, S. jie; Yang, J.; Duan, J. ao; Rapid detection of adulteration in powder of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by FT-NIR spectroscopy combined with chemometrics. *Food Chemistry: X* **2022**, *15*, 100450. [Crossref] [PubMed].
16. Monago-Maraña, O.; Eskildsen, C. E.; Galeano-Díaz, T.; Muñoz de la Peña, A.; Wold, J. P.; Untargeted classification for paprika powder authentication using visible – Near infrared spectroscopy (VIS-NIRS). *Food Control* **2021**, *121*, 107564. [Crossref].
17. Firmani, P.; De Luca, S.; Bucci, R.; Marini, F.; Biancolillo, A.; Near infrared (NIR) spectroscopy-based classification for the authentication of Darjeeling black tea. *Food Control* **2019**, *100*, 292. [Crossref]
18. Beć, K. B.; Grabska, J.; Huck, C. W.; In silico NIR spectroscopy – A review. Molecular fingerprint, interpretation of calibration models, understanding of matrix effects and instrumental difference. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* **2022**, *279*, 121438. [Crossref] [PubMed]
19. Beltrame, K. K.; Gonçalves, T. R.; Gomes, S. T. M.; Matsushita, M.; Rutledge, D. N.; Março, P. H.; Valderrama, P.; Digital images and independent components analysis in the determination of bioactive compounds from grape juice. *LWT* **2021**, *152*, 112308. [Crossref].
20. Rahman, M. M.; Bui, M. V.; Shibata, M.; Nakazawa, N.; Rithu, M. N. A.; Yamashita, H.; Sadayasu, K.; Tsuchiyama, K.; Nakauchi, S.; Hagiwara, T.; Osako, K.; Okazaki, E.; Rapid noninvasive monitoring of freshness variation in frozen shrimp using multidimensional fluorescence imaging coupled with chemometrics. *Talanta* **2021**, *224*, 121871. [Crossref] [PubMed]
21. Vidal, M.; Garcia-Arrona, R.; Bordagaray, A.; Ostra, M.; Albizu, G.; Simultaneous determination of color additives tartrazine and allura red in food products by digital image analysis. *Talanta* **2018**, *184*, 58. [Crossref] [PubMed].
22. Meenu, M.; Kurade, C.; Neelapu, B. C.; Kalra, S.; Ramaswamy, H. S.; Yu, Y.; A concise review on food quality assessment using digital image processing. *Trends in Food Science and Technology* **2021**, *118*, 106. [Crossref].
23. Rosa, T. R.; Siqueira, B. M. M.; Costa, R. A.; dos Reis, J. Z.; Pacheco, W. L. S.; de Moura, P. R. G.; Romão, W.; Filgueiras, P. R.; REDGIM como Aplicativo de Smartphone para Aplicações Quimiométricas por meio de Análise de Imagens: um Uso em PLS. *Química Nova* **2022**, *45*, 550. [Crossref].
24. Tosato, F.; Rosa, T. R.; Morais, C. L. M.; Maldaner, A. O.; Ortiz, R. S.; Filgueiras, P. R.; Gomes Lima, K. M.; Romão, W.; Direct quantitative analysis of cocaine by thin layer chromatography plus a mobile phone and multivariate calibration: A cost-effective and rapid method. *Analytical Methods* **2016**, *8*, 7632. [Crossref].
25. Choodum, A.; Parabun, K.; Klawach, N.; Daeid, N. N.; Kanatharana, P.; Wongniramaikul, W.; Real time quantitative colourimetric test for methamphetamine detection using digital and mobile phone technology. *Forensic Science International* **2014**, *235*, 8. [Crossref] [PubMed]
26. Helfer, G. A.; Tischer, B.; Filoda, P. F.; Parckert, A. B.; dos Santos, R. B.; Vinciguerra, L. L.; Ferrão, M. F.; Barin, J. S.; da Costa, A. Ben; A New Tool for Interpretation of Thermal Stability of Raw Milk by Means of the Alizarol Test Using a PLS Model on a Mobile Device. *Food Analytical Methods* **2018**, *11*, 2022. [Crossref].
27. Costa, R. A.; Morais, C. L. M.; Rosa, T. R.; Filgueiras, P. R.; Mendonça, M. S.; Pereira, I. E. S.; Vittorazzi, B. V.; Lyra, M. B.; Lima, K. M. G.; Romão, W.; Quantification of milk adulterants (starch, H₂O₂, and NaClO) using colorimetric assays coupled to smartphone image analysis. *Microchemical Journal* **2020**, *156*, 104968. [Crossref].
28. Reile, C. G.; Rodríguez, M. S.; Fernandes, D. D. de S.; Gomes, A. de A.; Diniz, P. H. G. D.; Di Anibal, C. V.; Qualitative and quantitative analysis based on digital images to determine the adulteration of ketchup samples with Sudan I dye. *Food Chemistry* **2020**, *328*, 127101. [Crossref]
29. Silva, A. F. S.; Rocha, F. R. P.; A novel approach to detect milk adulteration based on the determination of protein content by smartphone-based digital image colorimetry. *Food Control* **2020**, *115*, 107299. [Crossref].
30. Böck, F. C.; Helfer, G. A.; da Costa, A. B.; Dessuy, M. B.; Ferrão, M. F.; Low cost method for copper determination in sugarcane spirits using Photometrix UVC® embedded in smartphone. *Food Chemistry* **2022**, *367*, 130669. [Crossref] [PubMed]
31. Lumbaque, E. C.; da Silva, B. A.; Böck, F. C.; Helfer, G. A.; Ferrão, M. F.; Sirtori, C.; Total dissolved iron and hydrogen peroxide determination using the PhotoMetrixPRO application: A portable colorimetric analysis tool for controlling important conditions in the solar photo-Fenton process. *Journal of Hazardous Materials* **2019**, *378*, 120740. [Crossref] [PubMed]

32. Instituto Adolfo Lutz; Em *Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos*; IMESP, org.; 3a. ed, São Paulo, 2008.
33. Fernandes, D. D. de S.; Romeo, F.; Krepper, G.; Di Nezio, M. S.; Pistonesi, M. F.; Centurión, M. E.; de Araújo, M. C. U.; Diniz, P. H. G. D.; Quantification and identification of adulteration in the fat content of chicken hamburgers using digital images and chemometric tools. *LWT* **2019**, *100*, 20. [[Crossref](#)].
34. Ramos Carvalho, Â.; Candice Genz Bazana, L.; Meneghello Fuentefria, A.; Flôres Ferrão, M.; Digital images coupled to PLS regression for pH prediction in sterile culture medium. *Biomedical Signal Processing and Control* **2022**, *73*, 1034635. [[Crossref](#)].
35. Berasarte, I.; Bordagaray, A.; Garcia-Arrona, R.; Ostra, M.; Vidal, M.; pH measurement and phosphate determination in pharmaceutical eye drops for eye diseases by digital image analysis. *Microchemical Journal* **2021**, *162*, 105854. [[Crossref](#)].
36. Shamili, M.; The estimation of mango fruit total soluble solids using image processing technique. *Scientia Horticulturae* **2019**, *249*, 383. [[Crossref](#)].
37. Stinco, C. M.; Rodríguez-Pulido, F. J.; Escudero-Gilete, M. L.; Gordillo, B.; Vicario, I. M.; Meléndez-Martínez, A. J.; Lycopene isomers in fresh and processed tomato products: Correlations with instrumental color measurements by digital image analysis and spectroradiometry. *Food Research International* **2013**, *50*, 111. [[Crossref](#)].
38. Rodrigues, A. R.; Nunes, I. S.; Fernandes, J. P. A.; Andrade, S. I. E.; Pessoa, A. G. G.; de Lima, R. A. C.; A digital image-based flow-batch analyzer for iron speciation in tomato. *Journal of Food Composition and Analysis* **2023**, *115*, 104998. [[Crossref](#)].