



YASMIM ARIELLE TORRES SILVA

**POTENCIAL DA COLORIMETRIA POR IMAGEM DIGITAL
COM SMARTPHONE PARA PREDIÇÃO DO TEOR DE
COMPOSTOS POLARES TOTAIS EM ÓLEOS VEGETAIS
USADOS EM FRITURA**

**LAVRAS – MG
2023**

YASMIM ARIELLE TORRES SILVA

**POTENCIAL DA COLORIMETRIA POR IMAGEM DIGITAL COM SMARTPHONE
PARA PREDIÇÃO DO TEOR DE COMPOSTOS POLARES TOTAIS EM ÓLEOS
VEGETAIS USADOS EM FRITURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia de Alimentos,
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes
Orientador

Thaís Cristina Lima de Carvalho
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2023**

YASMIM ARIELLE TORRES SILVA

**POTENCIAL DA COLORIMETRIA POR IMAGEM DIGITAL COM SMARTPHONE
PARA PREDIÇÃO DO TEOR DE COMPOSTOS POLARES TOTAIS EM ÓLEOS
VEGETAIS USADOS EM FRITURA**

**POTENTIAL OF DIGITAL IMAGE COLORIMETRY WITH SMARTPHONE FOR
PREDICTING THE CONTENT OF TOTAL POLAR COMPOUNDS IN VEGETABLE OILS
USED IN FRYING**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia de Alimentos,
para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 24/07/2023
Cleiton Antônio Nunes DCA/UFLA
Amanda Souza Anconi DQI/UFLA
Yhan Mutz DCA/UFLA

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes
Orientador

Thaís Cristina Lima de Carvalho
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2023**

“Pois o Senhor estará com você em qualquer lugar.”
Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e coragem para chegar aonde estou, por ter me guiado em meu caminho e abençoado todas as minhas decisões nesses anos de graduação, principalmente por ter sido minha força, meu escudo, meu cajado e minha fé. Nos momentos mais difíceis, sempre foi a Ele que recorri, pois sempre soube que conseguiria com suas bênçãos.

Agradeço imensamente a minha mãe Adriana que é tudo em minha vida, nos momentos de medo e frustrações foi meu alicerce. Sempre me apoiou e quis o melhor para minha vida e nunca mediu esforços para que eu tivesse a melhor educação para um futuro brilhante. A minha mãe dedico todos esses anos, pois sempre quis ser seu motivo de orgulho e realizar o sonho de uma vida melhor. A ela dedico a minha formação, foi por ela e para ela. Também agradeço ao meu padrasto Wander que cuidou de mim desde que eu era um bebê e me proporcionou a melhor educação escolar. A eles agradeço por tudo, sempre pensaram em um futuro grandioso para mim e espero poder retribuir de alguma forma um dia.

Agradeço ao meu namorado Breno por ter sido meu companheiro, por me acalmar e amparar nos momentos de medos e dúvidas. Agradeço as minhas amigas da graduação Leticia e Vanessa por serem as melhores companhias de aulas, trabalhos, risadas e conselhos, sem elas não teria sido a mesma coisa, agradeço pela parceria de sempre.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Lavras pela possibilidade de realizar um sonho, ter uma formação em busca de uma vida melhor, além de ter proporcionado me apaixonar pelo curso e ser uma futura Engenheira de Alimentos. Ao meu orientador Cleiton, obrigada por me instruir e direcionar nessa última etapa da graduação. A minha coorientadora Thaís, agradeço por toda ajuda, atenção, disponibilidade e paciência para a finalização dessa etapa.

RESUMO

Os compostos polares totais (CPT) são compostos de degradação formados a partir da oxidação de óleos vegetais. São determinados por meio de um equipamento próprio, o qual pode ser usado para identificar o momento correto em que o óleo de fritura precisa ser descartado ou substituído para que ele não se torne impróprio para consumo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da colorimetria por imagem digital com smartphone para predição do teor de compostos polares totais em óleos vegetais usados em fritura. O processo de fritura foi realizado em um restaurante em Lavras - MG. Foram utilizados três diferentes tipos de óleos vegetais para a fritura de batatas do tipo “chips”: óleo de soja, óleo de girassol e óleo de milho, e foram coletadas um total de 40 amostras para cada óleo em um tempo de fritura de 5 horas. O teor de CPT nos óleos foi determinado usando determinador Testo 270, os quais foram usados como referência nos modelos de calibração. Dois modelos de smartphone foram utilizados na coleta das imagens digitais em diferentes condições de iluminação. Valores de RGB, fator de luminância e sensibilidade do sensor foram obtidos e usados como descritores nos modelos de calibração. Em geral, os modelos tiveram desempenho aceitável, onde a maior parte apresentou valores de RMSE baixos e $R^2 > 0,6$. Os melhores resultados foram obtidos para o óleo de girassol, usando um smartphone Motorola Moto G30 e um mini estúdio fechado com iluminação LED ligada (R^2 de 0,98 e RMSE de 0,25). Concluiu-se que o método proposto de colorimetria por imagens digitais obtidas com smartphone utilizando como descritores os valores de RGB tem potencial para ser usado na estimativa do teor de CPT em óleo de fritura, possuindo como vantagem ser um método mais simples e de baixo custo quando comparado aos métodos tradicionais.

Palavras-chave: Lipídio. Oxidação. Calibração.

ABSTRACT

The total polar compounds (TPC) are the degradation compounds formed from the oxidation of vegetable oils and are determined by means of a specific equipment, which can be used to identify the correct moment in which the frying oil needs to be discarded or replaced so that it does not become unfit for consumption. The objective of this work was to evaluate the potential of digital image colorimetry with a smartphone for predicting the content of total polar compounds in vegetable oils used in frying. The frying process was carried out in a restaurant in Lavras - MG. Three different types of vegetable oils were used for frying potato chips: soybean oil, sunflower oil and corn oil, and a total of 40 samples were collected for each oil in a frying time of 5 hours. The CPT content in the oils was determined using a Testo 270 tester, which were used as a reference in the calibration models. Two smartphone models were used to collect digital images under different lighting conditions. RGB values, luminance factor and sensor sensitivity were obtained and used as descriptors in the calibration models. In general, the models had acceptable performance, where most of them presented low RMSE values and $R^2 > 0,6$. The best results were obtained for sunflower oil, using a Motorola Moto G30 smartphone and a mini closed studio with LED lighting turned on (R^2 of 0,98 and RMSE of 0,25). It was concluded that the standard method of colorimetry by digital images follows with smartphone using the RGB values as described has the potential to be used in estimating the TLC content in frying oil, having the advantage of being a simpler and low cost method when compared to the traditional methods.

Keywords: Lipid. Oxidation. Calibration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mini estúdio usado para padronização da iluminação durante análise por colorimetria por imagem digital.....24
- Figura 2 – Representação gráfica dos valores medidas e preditos para determinação de CPT em óleo de soja, girassol e milho usando o smartphone Moto G30 e o mini estúdio fechado com iluminação LED ligada.....30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos do teor de CPT em óleo de soja, girassol e milho usando valores de RGB.....	29
Tabela 2 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos de CPT em óleo de soja usando valores de sensibilidade do sensor (S) e fator de luminância (LF) juntamente com valores de RGB.....	32
Tabela 3 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos de CPT em óleo de girassol usando valores de sensibilidade do sensor (S) e fator de luminância (LF) juntamente com valores de RGB.....	33
Tabela 4 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos de CPT em óleo de milho usando valores de sensibilidade do sensor (S) e fator de luminância (LF) juntamente com valores de RGB.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Óleos vegetais	12
2.1.1 Óleo de soja	13
2.1.2 Óleo de girassol	14
2.1.3 Óleo de milho	15
2.2 Uso de óleos vegetais no processo de fritura	16
2.3 Compostos polares totais.....	17
2.4 Colorimetria por imagem digital.....	17
2.5 Uso de smartphones na análise de óleos	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 Amostragem	22
3.2 Processo de fritura.....	22
3.3 Análise com determinador Testo 270	23
3.4 Obtenção das imagens digitais com smartphone	23
3.5 Construção e validação dos modelos preditivos.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5 CONCLUSÃO	35
6 REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

Durante o uso de óleos vegetais em frituras ocorrem diversas alterações, sobretudo a oxidação, a qual ocorre pela ação do calor e pela presença de oxigênio atmosférico quando o mesmo reage com ácidos graxos insaturados. Além disso, a oxidação pode ser favorecida por fatores internos e externos, como a incidência de luz, a presença de metais, o calor, entre outros. No processo de fritura, esse tipo de degradação provoca a formação de espuma e o aumento da viscosidade do óleo (CORSINI et al., 2008).

Na oxidação de um óleo vegetal ocorrem reações complexas, dando origem a peróxidos que se decompõem em produtos secundários (aldeídos, álcoois, cetonas e hidrocarbonetos) responsáveis pela coloração (escurecimento do óleo), sabor e odor característico de um óleo oxidado (JORGE et al., 2005). Um dos principais métodos que tem como objetivo o controle da qualidade de óleos em fritura e que quantifica de forma direta os compostos que são formados durante o processo de oxidação se baseia na determinação dos compostos polares totais (CPT) (FREIRE et al., 2013).

Os CPT são os compostos de degradação que estão presentes no óleo oxidado e são todos aqueles que têm uma polaridade maior que os triacilgliceróis, correspondendo aos compostos não voláteis resultantes de modificações oxidativas, térmicas e hidrolíticas. (DEL RÉ et al., 2006). A determinação dos CPT de óleos vegetais pode ser feita por meio de medidor específico, o qual possui uma sonda que é imersa no óleo. Apesar da simplicidade operacional, o equipamento tem um custo elevado, principalmente para pequenas empresas.

Assim, o desenvolvimento de um método operacionalmente simples e de baixo custo para determinação dos CPT facilitaria a adoção deste tipo de controle de qualidade pelos estabelecimentos que usam o processo de fritura, sobretudo aqueles com restrições orçamentárias para aquisição do medidor específico.

Como há alteração de cor nos óleos vegetais durante um processo de fritura, a hipótese é que essa alteração está correlacionada à sua oxidação, e, portanto, à formação dos compostos polares totais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da colorimetria por imagem digital com smartphone para predição do teor de compostos polares totais em óleos vegetais usados em fritura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Óleos vegetais

Os óleos vegetais são obtidos de fontes oleaginosas vegetais e são constituídos principalmente por triacilgliceróis (NELSON et al., 2006), e pequenos teores de componentes não acilgliceróis, como os fosfatídeos, pigmentos e vitaminas lipossolúveis (RINALDI et al., 2007). Os triacilgliceróis são constituídos pela mistura de ésteres com ácidos graxos com diferentes graus de insaturação e tamanho de cadeia, o que varia dependendo da espécie oleaginosa (PATRICIO et al., 2014).

Os ácidos graxos são de fundamental importância na constituição das moléculas de acilgliceróis e não acilgliceróis, compreendendo até 90% da massa total do óleo. Possuem uma cadeia longa de hidrocarbonetos e diferem entre si pelo comprimento da cadeia e pelo número de duplas ligações, além de estarem diretamente relacionados a característica final do óleo, sendo o principal grupo reativo da molécula de triacilglicerol (BRANDÃO, 2009).

Em sua composição estão presentes lipídeos como mono- e diacilgliceróis, ácidos graxos livres, pequenas quantidades de esteróis, tocoferóis, tocotrienóis, compostos fenólicos, pigmentos (carotenoides e clorofilas) e metais de transição como o ferro e o cobre (CHAIYASIT et al., 2007).

Em temperatura ambiente se encontra na forma líquida e tem como fundamental importância fornecer vitaminas ao organismo e ácidos graxos essenciais para a manutenção da saúde, além de ser essencial no fornecimento de energia (MORGADO et al., 2006).

No processo de fritura, os óleos vegetais são componentes essenciais e sua degradação depende da quantidade de ácidos graxos insaturados presentes em sua composição, uma vez que, óleos que possuem altos níveis de ácidos graxos poli-insaturados são mais susceptíveis a sofrer oxidação se comparados aos óleos que apresentam maior quantidade de ácidos graxos saturados (LOLOS et al., 1999). Fatores como o tempo, a temperatura, o tipo de equipamento, o tipo de óleo e alimento, a presença de oxidantes, o ar e a água têm grande influência neste processo (CUESTA et al., 1998).

2.1.1 Óleo de soja

A soja (*Glycine max (L) Merrill*) conhecida também como feijão-soja e feijão-chinês é uma planta herbácea, da classe *Rosidaeae*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*, gênero *Glycine L.*, e espécie *Max*. É nativa da China e sua origem é atribuída ao continente asiático, principalmente a região do rio Yangtse. Apresenta poucas ramificações, raiz formada por um eixo principal e inúmeras raízes secundárias e um caule híspido. Suas folhas apresentam apenas três folíolos (trifoliolada), suas flores realizam fecundação autógama, seu fruto é um legume normalmente chamado de vagem, sendo relativamente arqueada e à medida que amadurece, passa da cor verde para o amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza e, pode conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, com tegumento amarelo-pálido e hilo preto, marrom ou amarelo-palha (EMBRAPA, 2021).

O óleo de soja possui coloração amarelada e é obtido dos grãos da soja por extração com o uso do solvente hexano. O grão de soja passa pelo processo de redução de tamanho (quebra) e de espessura (laminação) para expor o óleo à ação do solvente, com o objetivo de fazer com que o processo de extração com solvente seja mais eficiente (D'ARCE, 2006).

Os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de óleo de soja. No Brasil, os estados do Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso possuem 75% da área cultivada com soja e 77% da produção nacional (CONAB, 2017).

O óleo de soja é composto principalmente por triacilgliceróis e uma pequena quantidade de componentes não-triacilgliceróis, como os fosfolipídios, esteróis, tocoferóis, carotenoides, monoglicerídeos, diglicerídeos e ácidos graxos livres (D'ARCE, 2006). O óleo é fonte de ácidos graxos apresentando em sua composição 50% de ácido linoleico, 7% de ácido linolênico e 23,3% de ácido oleico (ALMEIDA et al., 2013).

Apesar de o óleo de soja possuir vários benefícios a saúde, deve ser levado em consideração que seu uso depende do modo como é utilizado e da quantidade consumida, uma vez que, quando utilizado em grandes quantidades, especialmente em frituras, pode favorecer processos inflamatórios e a oxidação das células, podendo aumentar as chances de problemas cardíacos (TUA SAÚDE, 2019).

2.1.2 Óleo de girassol

O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma planta da classe *Magnoliopsida*, ordem *Asterales*, família *Asteraceae*, subfamília *Asteroideae*, gênero *Helianthus* e espécie *H. annuus* e tem sua origem da América do Norte (TOLEDO et al., 2011). Sua semente possui um pericarpo (casca) formado por três camadas: externa, média e interna. A semente é composta pelo tegumento, endosperma e embrião (MANDARINO et al., 2005). A planta apresenta caule grosso, ereto, robusto e de rápido crescimento, com poucas ramificações no ápice e pode atingir uma altura de até 3 metros (EMBRAPA, 2021).

A semente de girassol possui em sua composição 24% de proteínas, 47% de matéria graxa, 20% de carboidratos totais e 4% de minerais (MANDARINO, 2005), além de possuírem grandes quantidades de óleo. Por isso são utilizadas para a produção do óleo de girassol comestível, mercado de silagem, fins estéticos e para a produção do biodiesel. Anualmente, o girassol abrange 16% da produção mundial de óleo, enquanto a soja é responsável por 46% da produção (EMBRAPA, 2021).

O óleo de girassol possui em sua composição grandes porcentagens de ácidos graxos insaturados, com cerca de 60% de ácido linoleico, sendo considerado um composto fundamental ao organismo. Também contém cerca de 20% de ácido oleico. Seu consumo ajuda na redução dos níveis de colesterol plasmático total, além de reduzir a fração LDL- colesterol (lipoproteínas de baixa densidade). Assim, o óleo de girassol auxilia na prevenção da aterosclerose reduzindo os riscos de doenças cardiovasculares, como por exemplo, o infarto do miocárdio, acidentes vasculares cerebrais e trombozes (MANDARINO, 2005).

A estabilidade oxidativa do óleo de girassol depende da presença de antioxidantes em sua composição, pois devido ao seu alto teor de ácido linoleico (ômega 6), é um dos óleos vegetais mais propensos a oxidação, pois o ácido linoleico é um ácido poliinsaturado que possui duas duplas ligações (MASUCHI et al., 2008). A presença dos antioxidantes tocoferóis (vitamina E) e de compostos fenólicos é um fator determinante para garantir a estabilidade oxidativa (MANDARINO et al., 2005).

2.1.3 Óleo de milho

O milho (*Zea mays*) é um cereal que pertence a classe *Liliopsida*, ordem *Gramineae*, família *Graminaceae*, subfamília *Panicoideae*, gênero *Zea* e espécie *Z. may*. Nativo das Américas, o milho é composto por três partes: pericarpo, endosperma e embrião. O pericarpo constitui a parede externa da semente e é uma camada fina e resistente. O endosperma é envolvido pelo pericarpo, constituído por substâncias de reserva, como por exemplo, o amido, e é a parte mais volumosa da semente. O embrião se encontra ao lado do endosperma e é envolvido por ele (CAMPOS et al., 1973).

O milho é a maior cultura agrícola produzida no mundo e os principais produtores de milho são os Estados Unidos, China, Brasil, Argentina e União Europeia que juntos correspondem a 73,9% de todo o milho que é produzido no mundo. No Brasil, a produção aumentou 75% nos últimos 22 anos devido a boas práticas agrícolas (SYNGENTA, 2022).

Sua importância econômica está relacionada às suas várias formas de sua utilização, desde a alimentação animal, indústrias de alta tecnologia, produção de filmes e embalagens biodegradáveis (PAES, 2006).

O óleo de milho possui grandes quantidade de carboidratos como o amido, lipídios e ácidos graxos, sendo de grande importância para a dieta humana. Os lipídios presentes estão relacionados ao conteúdo de tocoferóis (vitamina E) que atuam como antioxidantes e de carotenoides que atuam em doenças como o câncer e também como antioxidante. O milho possui proteínas e aminoácidos como a lisina e triptofano, além dos ácidos graxos que ajudam na prevenção do colesterol sérico elevado e no combate a doenças cardiovasculares (CRUZ et al., 2008).

A obtenção do óleo de milho se dá pela extração do gérmen do grão do milho, que é a parte mais rica em óleo, mediante processos industriais, como pressão mecânica, extrusão e o uso de solventes orgânicos (EMBRAPA, 2004). É composto principalmente pelos ácidos graxos linoléico, com 59,6%, oléico, com 25,4%, palmítico, com 10,9%, esteárico, com 2%, e linolênico, com 1,2% (D'ARCE et al., 2015).

2.2 Uso de óleos vegetais no processo de fritura

Os óleos vegetais são componentes essenciais no uso doméstico para a fritura de alimentos, assim como no preparo em lanchonetes, bares e restaurantes comerciais ou industriais, sendo usados como componentes de transferência de calor na fritura (COSTA NETO et al., 2000). Seu uso em casa ou em locais comerciais é um processo econômico, rápido e prático de preparação, que garante a redução do tempo de preparo dos alimentos, facilidade no consumo e características sensoriais únicas de cor, sabor, odor e textura, que tornam os alimentos mais atraentes para o consumo (DOBARGANES et al., 1991; O'DONNELL, 1995).

Durante o processo de fritura, os óleos sofrem a ação da temperatura e do oxigênio do ar, ocorrendo reações complexas que originam peróxidos, os quais se decompõem em produtos secundários (aldeídos, álcoois, cetonas e hidrocarbonetos) responsáveis pela coloração, sabor e odor característico de um óleo oxidado (JORGE et al., 2005).

A oxidação é caracterizada por ser um processo degradativo que ocorre quando o oxigênio atmosférico ou o oxigênio que está dissolvido no óleo interage com os ácidos graxos insaturados. A partir disso, reações químicas complexas ocorrem no processo de oxidação e causam, em estágios mais avançados, produtos que são sensorialmente inaceitáveis para o consumidor (JORGE, 2009).

A oxidação proveniente do processo de fritura é o principal motivo da deterioração de óleos vegetais responsável pelos sabores e odores indesejáveis do óleo, conhecido como ranço (BORGIO et al., 2005; PEREDA et al., 2005). Fatores internos e externos como a luz, a presença de metais, o calor e o contato com o oxigênio favorecem a oxidação (MORETTO et al., 2002), assim como o número, a posição e a geometria das duplas ligações na molécula de ácido graxo, uma vez que, isômeros cis são mais propícios a sofrerem o processo de oxidação do que os isômeros trans (SANIBAL et al., 2002).

O processo de oxidação passa pelas fases de iniciação, propagação e terminação. Na fase de iniciação, radicais livres são formados por meio dos ácidos graxos insaturados, que em contato com o oxigênio, formam hidroperóxidos; na propagação, os hidroperóxidos são degradados e ácidos graxos insaturados são oxidados; na terminação, a partir da decomposição dos peróxidos, radicais livres de baixo peso molecular se associam e formam compostos não-radicaís (BORGIO et al., 2005; PEREDA et al.,

2005).

Em estabelecimentos comerciais como restaurantes, o óleo é submetido ao processo de fritura em altas temperaturas, provocando mudanças oxidativas e hidrolíticas no produto, sendo caracterizada pela diminuição da insaturação total e o aumento do teor de ácidos graxos livres, pela presença de espuma, mudanças na coloração (escurecimento do óleo), aumento da viscosidade e a presença de substâncias polares e poliméricas (CORSINI et al., 2006; DAMY et al., 2003; REDA et al., 2007).

2.3 Compostos polares totais

Os compostos polares totais (CPT) são os compostos de degradação que possuem polaridade maior que os triacilgliceróis (polímeros, dímeros, ácidos graxos livres, diglicerídeos e ácidos graxos oxidados), não voláteis, resultantes da alteração oxidativa, térmica e hidrolítica dos óleos, sendo formados, principalmente, em processos de fritura (DOBARGANES et al., 1989). A porcentagem de CPT em óleos de fritura não deve ser superior a 25% (ANVISA, 2004).

A determinação dos CPT pode ser feita por cromatografia em coluna usando sílica gel como fase estacionária. A amostra lipídica é diluída em éter de petróleo e éter etílico e inserida na coluna. A fração apolar é eluída com éter de petróleo/éter etílico e a fração polar é eluída em seguida com éter etílico. Os solventes são evaporados e o teor dos CPT determinado por gravimetria (REDER et al., 2014).

Uma forma mais rápida e menos trabalhosa de determinar os CPT é usando um equipamento específico, como o Testo 270, que possui um sensor que pode ser mergulhado diretamente no óleo quente, indicando, através de seu painel, o teor de CPT e o estado de qualidade do óleo (BERTANHA et al., 2009). Apesar de ser de fácil utilização, o alto custo do equipamento é um fator limitante, principalmente para pequenas empresas, como lanchonetes, bares e restaurantes.

2.4 Colorimetria por imagem digital

A colorimetria por imagem digital se refere a um método de análise colorimétrica baseado na digitalização de imagens coletadas por algumas ferramentas de aquisição de imagem, como telefones celulares, câmeras digitais, webcams, scanners e outros (FAN

et al., 2021).

Cada pixel de uma imagem digital pode ser representado em diferentes sistemas de cor, sendo o sistema RGB (red, green e blue) o mais comumente empregado na colorimetria por imagem digital. Em um modelo RGB, cada pixel da imagem tem seus valores de R, G e B variando de 0 a 255 para a cor de uma imagem digital de 24 bits, sendo 8 bits R + 8 bits G + 8 bits B (FIRDAUS et al., 2014). Logo, cada elemento da imagem possui 256 tons diferentes (2^8) e a imagem RGB possui um total de 16.777.216 cores (2^{24}) (GONZALEZ et al., 2010).

O sistema de cor RGB é geralmente utilizado em equipamentos eletrônicos como televisão, monitores de computador, câmeras digitais, câmeras de smartphones, datashow, fotografias tradicionais (reveladas), ou seja, todos os tipos de imagens que são exibidas em telas. Isso acontece pois o sistema de cor RGB é um espaço de cor aditivo, em que ocorre a mistura das cores primárias que dão origem as cores secundárias de luz (CORRÊA et al., 2014).

Na colorimetria por imagem digital, as informações de cor da imagem da amostra analisada são usadas como descritores na construção de modelos para predição de alguma resposta de interesse. Tais modelos são comumente obtidos por meio de calibração multivariada.

Na calibração multivariada são relacionados dois conjuntos de dados que representam respostas instrumentais para as amostras de calibração: um representa a matriz X (variáveis independentes) e o outro representa o vetor y (variáveis dependentes) (MORAIS, 2015). A matriz X é a propriedade de interesse das amostras e o vetor y é a medida instrumental (FERREIRA, 2015). Para a construção de um modelo de calibração, as respostas instrumentais são adquiridas para uma série de padrões (amostras de calibração) cujos valores da propriedade de interesse são conhecidos (BRAGA et al., 2004).

O processo geral de calibração multivariada se baseia nas fases de calibração, validação e previsão (ou teste). Na calibração se estabelece uma relação matemática entre a matriz X e o vetor y no conjunto de calibração, ou seja, são construídos os modelos matemáticos. Na validação se otimiza a relação no sentido de uma melhor descrição do analito de interesse, avaliando se o modelo construído é adequado para definir suas propriedades. Na etapa de previsão o modelo é avaliado com relação a seu desempenho para a previsão de amostras externas ao grupo utilizado na etapa de

calibração ou outras amostras (FERREIRA et al., 1999).

A regressão linear múltipla (MLR, multiple linear regression) é um método comumente empregado na calibração multivariada. Trata-se de uma aproximação paramétrica em que os coeficientes de regressão são componentes encontrados para que a função linear seja ajustada no espaço multidimensional das variáveis, podendo ser o ajuste de uma reta por meio de pontos no espaço (PITOMBO et al., 2015).

Um modelo geral para avaliar a relação matemática entre a variável dependente e a variável independente é dado pela Equação 1, quando aplicado a uma amostra de tamanho n e com k variáveis de regressão (MONTGOMERY et al., 2021).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

onde, y_i representa o valor da variável dependente analisada na i -ésima observação de um total de n dados, x_1 representa o valor de uma das k variáveis independentes da i -ésima observação de n dados, k representa o número de variáveis independentes, β_0 representa a constante de regressão, β_1 representa o valor de um dos coeficientes de regressão e e_i um valor aleatório (ou resíduo) do erro associado a equação no i -ésimo exemplo de n dados.

A Equação 1 pode ser simplificada para sua forma matricial (MONTGOMERY et al., 2021), mostrada na Equação 2:

$$Y = X\beta + e \quad (2)$$

onde, Y representa o parâmetro de interesse, X representa a matriz com respostas instrumentais, β representa o vetor dos coeficientes lineares de regressão e e representa o vetor dos resíduos.

O valor do coeficiente β pode ser encontrado pelo método dos mínimos quadrados, sendo possível minimizar a soma dos quadrados das diferenças (resíduo) entre os valores estimados e os valores reais (MONTGOMERY et al., 2021), conforme Equação 3:

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (3)$$

A MLR é amplamente utilizada na colorimetria por imagem digital, inclusive na determinação de parâmetros de qualidade de óleos vegetais (DE CARVALHO et al., 2021).

2.5 Uso de smartphones na análise de óleos

Com a crescente utilização das tecnologias é possível perceber o aumento do uso de smartphone para determinações colorimétricas sem que exista a necessidade de instrumentos analíticos tradicionais de bancada. Resende et al. (2023) propuseram a otimização e validação de um método baseado em smartphone para a determinação de esteróis totais em óleos vegetais por colorimetria de imagem digital. As amostras analisadas foram de azeite de oliva, óleo de abacate, óleo de macaúba e óleo de jerivá. O método proposto empregou um smartphone Samsung J5 equipado com uma câmera de 13 MP com resolução 4128×3096 pixels, distância focal de 28 mm, foco automático e estabilização digital. Foi utilizado o aplicativo gratuito Color Picker para Android para obtenção das informações colorimétricas. O método espectrofotométrico foi utilizado como referência para comparação. O melhor sinal analítico foi avaliado com base no coeficiente de determinação (R^2) entre as concentrações das soluções padrão e os valores dos parâmetros de cor RGB, CMY, HSV, XYZ, $L^*a^*b^*$ e L^*C^*h . Foram avaliadas a distância entre a câmera e a amostra, o aplicativo móvel e o tipo de iluminação. Os autores obtiveram como resultados que a melhor linearidade foi obtida usando valores de azul (B) do sistema RGB, com um R^2 médio de 0,96 e um erro padrão próximo ao do método espectrofotométrico. O teor de esteróis totais determinado nos óleos vegetais usando o método proposto não diferiu estatisticamente daqueles obtidos por espectrofotometria. Eles puderam concluir que a determinação colorimétrica de esteróis totais em óleos vegetais por colorimetria por imagem digital baseado em smartphone é viável, relativamente simples, barato, prontamente disponível e útil para avaliações de qualidade de rotina.

Um estudo realizado por Anconi et al. (2022) propôs a determinação do índice de peróxidos em óleos comestíveis com base na colorimetria de imagem digital e teve como objetivo desenvolver um método econômico e não subjetivo com base nesse princípio. Foram analisadas amostras de 14 óleos vegetais de diferentes marcas obtidas no comércio local. O método proposto visou simplificar a metodologia padrão, substituindo a etapa de titulação pela análise de uma imagem digital. Curvas analíticas foram construídas a partir de seis padrões de calibração contendo soluções aquosas com diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio. Para validar o método proposto, 50 amostras de óleo tiveram seu índice de peróxido determinado pelo método titulométrico. Um mini estúdio foi desenvolvido e usado para bloquear o efeito da luz externa na

análise. As imagens digitais foram capturadas com um smartphone Moto C Plus 7.0 com câmera de 8 MP, resolução de 3264×2448 pixels e distância focal de 3,50 mm posicionada no orifício do aparelho de forma que as amostras fossem iluminadas apenas pela luz do flash do smartphone. Os parâmetros de cor dos sistemas RGB, HSV, CMYK, L*a*b* ou XYZ foram calibrados contra o meq O_2 . RMSE e R^2 com valores de 3,21 meq O_2 /kg e 0,97 foram obtidos usando M do sistema de cores CMYK como sinal analítico. A quantidade de reagentes consumidos no método proposto foi 98,7% menor em relação ao método padrão. Concluiu-se que a simplicidade e o baixo custo dos procedimentos permitem que essa abordagem seja utilizada como alternativa à determinação do índice de peróxidos em laboratórios e indústrias, com a necessidade de menor configuração de equipamentos. Além disso, o método proposto eliminou a subjetividade do analista ao substituir a titulação pela análise de dados de imagens digitais.

De Carvalho et al. (2021) realizaram um trabalho que teve como objetivo utilizar um método que pudesse obter dados de imagens digitais obtidas com smartphone que pudesse estimar os teores de clorofila e carotenóides em óleos de oliva e abacate. Foram utilizadas 46 amostras, sendo 7 diferentes amostras de azeite de oliva, e 4 diferentes amostras e azeites de abacate, além de 35 amostras com misturas desses óleos com óleo de soja refinado para obter uma maior variedade de teores de pigmentos, resultando em 46 diferentes teores de clorofila e carotenóides. As imagens digitais foram adquiridas com o smartphone Samsung J2 Prime, com uma câmera de 8 megapixels com resolução de 720×1280 pixels. A amostra foi iluminada apenas pela luz do flash do smartphone e o aplicativo gratuito Photometrix foi utilizado para adquirir os valores totais das imagens no espaço de cores RGB. Foi construído um mini estúdio de EVA com o intuito de eliminar a influência da luz externa. Modelos preditivos foram obtidos calibrando os dados das imagens digitais contra os teores de clorofila e carotenóides obtidos por análise espectrofotométrica. Os dados da imagem foram expressos em diferentes espaços de cores, incluindo RGB, luma (Y), HSV, CMYK, L*a*b* e XYZ. Os autores concluíram que o método baseado em imagens digitais obtidas com um smartphone foi eficiente para estimar o teor de clorofilas e carotenóides em azeite de oliva e óleo de abacate, tendo boa capacidade preditiva em diferentes condições analíticas.

Song et al. (2020) apresentaram um estudo sobre o uso de smartphone, processamento de imagens e quimiometria para quantificar teores de adulterantes em azeite de oliva extra virgem. O smartphone foi utilizado para gerar uma sequência de

cores na tela, variando do roxo ao vermelho, com o objetivo de iluminar as amostras de óleo. Vídeos foram gravados para capturar as mudanças de cor na superfície da amostra e posteriormente foram convertidos em dados espectrais, os quais foram usados em modelos de regressão. Os autores mostraram que os valores reais e previstos foram altamente consistentes. Sendo assim, o sistema baseado no uso de smartphone teve alto potencial para se tornar uma solução para detecção de adulteração de óleos vegetais.

Nesse sentido, o uso de smartphones no campo da análise química por imagens digitais vem crescendo notoriamente, uma vez que essa tecnologia traz vantagens como simplicidade, baixo custo de implementação, praticidade, fácil manuseio, portabilidade, entre outros (GRUDPAN et al., 2015). Além disso, através desse dispositivo é possível coletar, armazenar e processar dados, o que mostra as grandes possibilidades de utilização dessa ferramenta em análises químicas de rotina (REZAZADEH et al., 2019).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Amostragem

Foram utilizados três diferentes tipos de óleos vegetais refinados: óleo de soja (Corcovado), óleo de girassol (Salada) e óleo de milho (Salada). Foram retiradas amostras em duplicata de cada tipo de óleo antes e durante o processo de fritura, totalizando 40 amostras de cada tipo de óleo com diferentes níveis de oxidação. As amostras foram armazenadas em recipiente plástico, envolto em papel alumínio para proteção contra a luz, devidamente identificadas e levadas ao laboratório para análise no mesmo dia do processo de fritura.

3.2 Processo de fritura

No primeiro processo de fritura foram utilizados 4 L de óleo de soja e 13,68 kg de batata Asterix, obtidas de supermercados de Lavras-MG. Já no segundo processo de fritura foram utilizados 5 L de óleo de girassol, pois a quantidade de óleo utilizada no primeiro processo não foi o suficiente para a quantidade de batatas existentes e, 13,07 kg de batata Asterix. No terceiro processo de fritura foram utilizados 5 L de óleo de milho e

13,10 kg de batata Asterix.

Em todos os processos de fritura, as batatas foram selecionadas, lavadas em água corrente, descascadas em formato de batatas “chips” com utensílios adequados e sanitizados em imersão de vinagre e água por 5 minutos, os quais foram separados e colocados em recipientes de material plástico. Foram retiradas amostras em duplicata antes de o óleo ser submetido ao processo de fritura. Em seguida foi iniciada a fritura, com a imersão das batatas no óleo, mexendo quando necessário e retirando amostras em intervalos de 15 minutos em duplicata, totalizando 40 amostras e um tempo total de fritura de 5 horas.

As batatas Asterix são recomendadas para o processo de fritura por possuírem alto teor de amido, uma vez que, o amido auxilia na redução da absorção de óleo durante o processo de fritura e aumenta a crocância do alimento (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2015).

3.3 Análise com determinador Testo 270

Para a determinação do teor de CPT das amostras foi utilizado o equipamento Testo 270. Antes das análises com as amostras, foi realizada a calibração e o ajuste do equipamento, certificando-se que o sensor do equipamento estava completamente limpo, mergulhando o mesmo no óleo referência aquecido em água quente a aproximadamente 50 °C e realizando os devidos ajustes conforme manual de instruções. Em seguida, foram realizadas as leituras das amostras mergulhando o sensor do Testo 270 no recipiente com cada amostra, as quais foram aquecidas até atingir a temperatura de 50 °C.

3.4 Obtenção das imagens digitais com smartphone

As imagens foram coletadas utilizando dois diferentes tipos de smartphones com sistema operacional Android (Motorola Moto G4 e Motorola Moto G30). As imagens das amostras foram obtidas usando as câmeras dos smartphones e em um ambiente de luz padrão em que não houvessem mudanças que pudessem causar interferências. Para a obtenção dos valores do sistema RGB das amostras, foi utilizado o aplicativo ColorPicker.

Para padronizar as condições de análise e eliminar o efeito da luz ambiente, foi desenvolvido um mini estúdio (Figura 1) com dimensões internas de 12 cm x 12 cm x 12 cm (largura x comprimento x altura).

Figura 1 – Mini estúdio usado para padronização da iluminação durante análise por colorimetria por imagem digital.



Fonte: Da autora (2023).

O mini estúdio foi construído internamente com EVA (acetato-vinila de etileno) com o intuito de não haver influência do reflexo do flash. A parte externa foi desenvolvida em papel cartão 2 mm para evitar a entrada de luz externa, com uma tampa removível para facilitar a dinâmica no momento de troca das amostras entre as análises e um suporte feito de EVA para auxiliar como apoio da cubeta contendo as amostras, assim como um orifício por meio do qual a câmera do smartphone poderia ficar alinhada com a cubeta. Este aparato forneceu a possibilidade de obtenção das imagens em duas diferentes condições de iluminação: mini estúdio fechado com iluminação LED ligada e mini estúdio aberto com a iluminação LED desligada (luz ambiente).

3.5 Construção e validação dos modelos preditivos

Para a construção dos modelos preditivos foi utilizado o software Chemoface (NUNES et al, 2012). Os valores de RGB de cada amostra preparada em cada tipo de óleo foram calibrados contra os respectivos teores de CPT obtidos por meio do determinador Testo 270 usando MLR.

No Chemoface, os valores de X foram os valores de RGB obtidos por meio das imagens dos smartphones, e os valores de y foram os teores de CPT obtidos através do determinador Testo 270. Foi usado um grupo de amostras para calibração (75%, 30 observações) e um grupo para teste dos modelos (25%, 10 observações) separados usando o algoritmo Kennard-Stone (KENNARD & STONE, 1969).

Para a análise do desempenho dos modelos, foi utilizado o RMSE (raiz quadrada do erro médio) (Equação 4) e o R^2 (coeficiente de determinação) (Equação 5). Ambos os parâmetros foram usados para avaliar o desempenho dos modelos construídos para as etapas de calibração, validação cruzada e teste.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

onde, y_i representa o valor conhecido da amostra, \hat{y} representa o valor estimado, \bar{y} representa a resposta experimental média e n representa o número de amostras.

Considerando que amostras anômalas poderiam influenciar de forma negativa no desempenho dos modelos, as mesmas foram detectadas e retiradas por meio da análise dos seus *leverages* e resíduos de Student. A *leverage* é uma medida relacionada ao nível de influência da amostra no modelo de regressão. O resíduo de Student é uma medida relacionada à diferença entre o valor esperado e o valor predito, sendo ponderado pela *leverage* (FERREIRA et al., 1999). Este procedimento foi aplicado antes de cada etapa de calibração e teste.

Na validação cruzada (leave-one-out), o modelo foi obtido desconsiderando uma das observações (n-1) e construiu-se um modelo com as observações restantes. Este processo foi repetido n vezes, excluindo cada vez uma observação e calculando o erro de

predição para as observações retiradas (ROY et al., 2009).

Para a etapa de teste, o modelo construído com as 30 observações foi utilizado para a predição das 10 observações separadas para o grupo teste.

Para a validação dos resultados foi utilizado o parâmetro estatístico adicional R^2_{m} (Equação 6), cujo objetivo é fornecer dados sobre a inclinação da curva entre os valores experimentais e os valores previstos para o grupo teste. Por meio dele pode-se garantir um bom coeficiente de correlação na validação e observar que os valores absolutos e os valores preditos são próximos. Um valor superior a 0,5 é considerado aceitável para R^2 (ROY et al., 2009).

$$R^2_{m(test)} = R^2(1 - \sqrt{R^2 - R_0^2}) \quad (6)$$

onde, R^2 e R_0^2 representam o coeficiente de correlação quadrática entre os valores observados e os valores previstos para o conjunto de componentes com intercepção definida como zero.

Foi realizado também um teste de randomização de y com o objetivo de avaliar a presença de sobreajuste ou casualidade de ajuste do modelo através da avaliação de RMSE e R^2 . Através do resultado do parâmetro R^2_p (Equação 7) foi possível avaliar a diferença estatística entre R^2 de calibração (R^2_{cal}) e R^2 sob a randomização de y (R^2_{rand}). Esse teste se baseia no embaralhamento dos dados do vetor y mantendo a matriz X sem alterações, sendo realizadas construções de modelos utilizando os dados embaralhados (ROY et al., 2009). Um valor superior a 0,5 indica uma diferença válida entre R^2_{cal} e R^2_{rand} . É importante mencionar que os modelos obtidos para o teste de randomização de y não devem apresentar bom desempenho, uma vez que, os valores de y estão sendo embaralhados e não correspondem às suas respectivas amostras (MITRA et al., 2010).

$$R^2_p = R_{cal} \sqrt{R^2_{cal} - R^2_{rand}} \quad (7)$$

Com o objetivo de tentar melhorar o desempenho dos modelos construídos usando apenas os valores de RGB, foi utilizado o LF (Fator de Luminância) (Equação 8), calculado a partir da sensibilidade do sensor (S) e do tempo de exposição (t) (VESALI et al., 2015).

$$LF = \frac{1}{tS} \quad (8)$$

onde, LF representa o fator de luminância, t representa a velocidade do obturador ou tempo de exposição e S (ISO) representa a sensibilidade à luz do sensor.

Os parâmetros t e S foram obtidos por meio das informações das imagens digitais dos dois smartphones (Motorola Moto G4 e Motorola Moto G30), para os três diferentes tipos de óleos vegetais (óleo de soja, óleo de girassol e óleo de milho) e para as duas condições de iluminação (mini estúdio fechado com iluminação LED ligada e mini estúdio aberto com a iluminação LED desligada).

Os valores de RGB já adquiridos anteriormente juntamente com os valores de LF (RGLBF) ou S (RGSB) foram então usados como descritores (X) na obtenção de novos modelos para predição dos teores de CPT (y). Assim como na construção dos modelos apenas com os valores de RGB e de Testo 270 realizados anteriormente, nesse novo processo também foram analisados os parâmetros $RMSE$, R^2 , R_m^2 e R_p^2 para as etapas de calibração, validação cruzada e teste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram construídos modelos de calibração multivariada para a predição do teor de compostos polares totais em óleos vegetais usados em fritura a partir de imagens digitais obtidas com smartphone. Os valores das componentes do sistema de cor RGB e os dados das informações das fotos foram calibrados contra os respectivos teores de compostos polares totais obtidos com o Testo 270 usando MLR.

Uma vez que, o limite do teor de compostos polares para descartar um óleo de fritura aceito pela ANVISA é de 25%, o presente trabalho apresentou como valores máximos de CPT para o óleo de soja 8,5%, para o óleo de girassol 7,5% e para o óleo de milho 7% em um tempo total de 5 horas de fritura. Além disso, sabendo que modelos que apresentam boa capacidade preditiva são aqueles que tenham como resultado valores de $RMSE$ baixos, valores de $R^2 > 0,6$, valores de $R_m^2 > 0,5$ e valores $R_p^2 > 0,5$, os resultados dos modelos contruídos foram analisados.

Na construção dos modelos, analisando primeiramente os resultados obtidos apenas a partir dos dados de RGB (Tabela 1) tem-se que, na etapa de calibração, os valores de R^2 ficaram entre 0,68 a 0,97 para os três tipos de óleo em todas as condições de análise, destacando um melhor desempenho para o óleo de girassol usando o smartphone Motorola Moto G30 com o mini estúdio fechado, com R^2 de 0,97 e $RMSE$ de 0,27, o

menor entre os as condições avaliadas.

Observando os resultados do grupo teste e comparando as condições de análise, melhores resultados foram obtidos para o óleo de girassol, com R^2 entre 0,92 a 0,98 e RMSE entre 0,25 a 0,96 para todos os smartphones e condições de iluminação. O óleo de soja também apresentou bons resultados, com R^2 entre 0,59 a 0,90 e RMSE entre 0,44 a 0,92, observando que no caso do óleo de soja, os valores para RMSE foram superiores quando comparado aos valores para o óleo de girassol quando utilizado o mini estúdio fechado com iluminação de LED ligada. Para ambos, os melhores resultados foram obtidos ao usar o Motorola Moto G30 com o mini estúdio fechado, em que se obteve valores menores de RMSE e $R^2 > 0,6$. Além disso, considerando o valor de R^2_m para o grupo teste, a maior parte dos modelos atendeu ao critério mínimo, ou seja, foram maiores que 0,5 confirmando que uma congruência aceitável entre os valores medidos e preditos no grupo teste foi alcançada.

Na etapa de validação cruzada, os melhores resultados também foram encontrados para o óleo de girassol usando o smartphone Motorola Moto G30 com o mini estúdio fechado, com R^2 de 0,96 e RMSE de 0,32. Para o óleo de soja o R^2 foi de 0,63 a 0,87 e o RMSE foi de 0,63 a 1,07, já o óleo de milho os valores foram de 0,62 a 0,76 para R^2 e 0,76 a 0,91 para RMSE.

O teste de randomização de y gerou modelos com baixa capacidade preditiva, com valores de RMSE maiores do que os da etapa de calibração para os três diferentes tipos de óleo, além de valores de R^2 muito baixos. Ademais, os resultados obtidos de $R^2_p > 0,5$ indicaram uma diferença válida entre R^2 de calibração e R^2 de randomização de y , sugerindo que não houve sobreajuste ou casualidade nos ajustes dos modelos.

Tabela 1 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos do teor de CPT em óleo de soja, girassol e milho usando valores de RGB.

Smartphone mini estúdio	óleo	soja				girassol				milho			
		MG4		MG30		MG4		MG30		MG4		MG30	
		F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A
Calibração	RMSE	0.89	0.88	0.53	0.63	0.37	0.53	0.27	0.48	0.75	0.67	0.75	0.81
	R ²	0.74	0.77	0.91	0.83	0.95	0.88	0.97	0.90	0.75	0.81	0.76	0.68
Randomização de y	RMSE	1.61	1.73	1.62	1.44	1.57	1.44	1.50	1.49	1.45	1.47	1.49	1.38
	R ²	0.14	0.14	0.14	0.08	0.10	0.12	0.10	0.10	0.08	0.07	0.07	0.08
	R ² p	0.66	0.70	0.83	0.79	0.90	0.82	0.92	0.85	0.71	0.77	0.73	0.64
Validação cruzada	RMSE	1.07	1.06	0.63	0.76	0.43	0.61	0.32	0.57	0.88	0.76	0.87	0.91
	R ²	0.63	0.68	0.87	0.75	0.93	0.84	0.96	0.87	0.67	0.76	0.69	0.62
Teste	RMSE	0.60	0.92	0.44	0.72	0.42	0.96	0.25	0.50	1.04	0.66	0.64	0.78
	R ²	0.81	0.59	0.90	0.76	0.93	0.92	0.98	0.93	0.51	0.74	0.76	0.78
	R ² m	0.68	0.49	0.88	0.63	0.87	0.71	0.98	0.72	0.00	0.40	0.65	0.21
N° Outliers		1	0	4	3	2	3	1	3	0	1	2	2

MG4: Motorola Moto G4. MG30: Motorola Moto G30. F: fechado (luz artificial e controlada). A: aberto (luz ambiente).

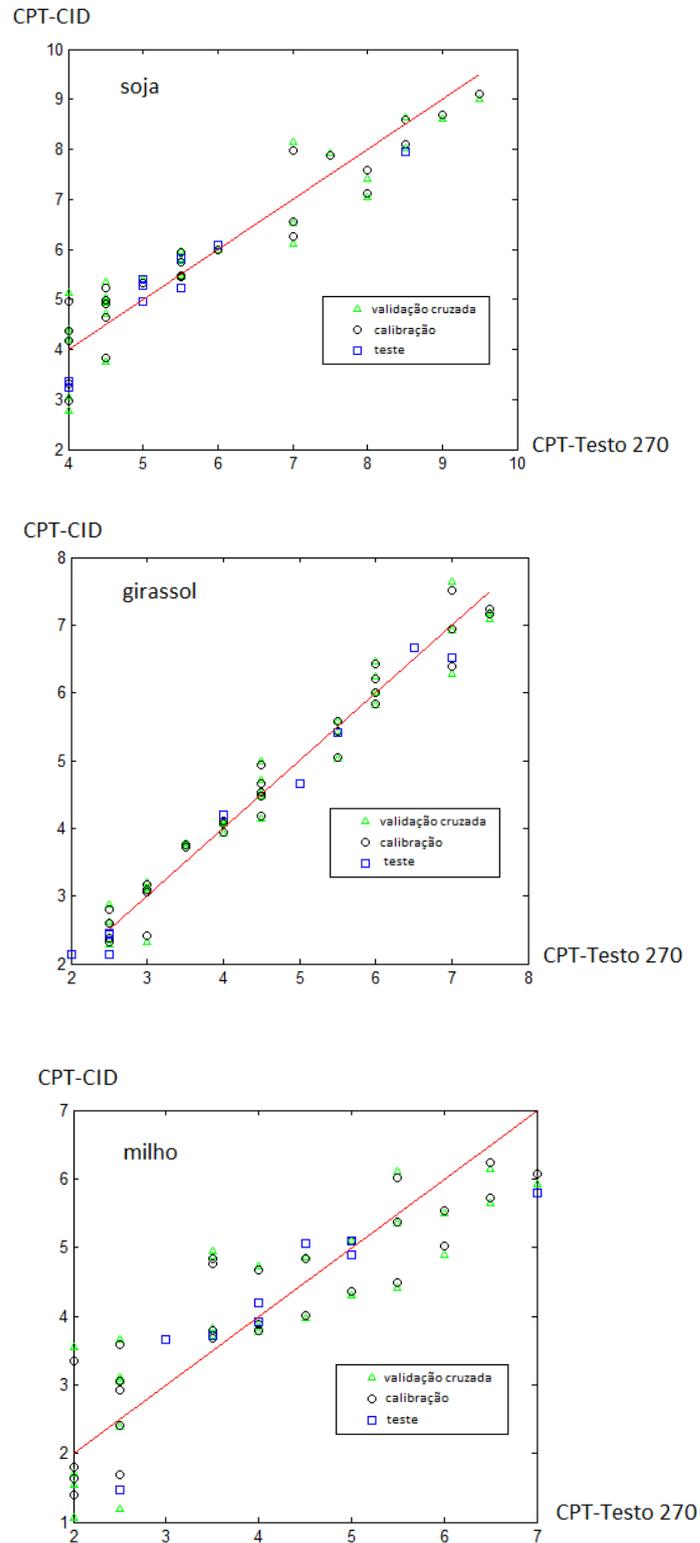
Fonte: Da autora (2023).

A Figura 2 apresenta gráficos contruídos a partir do software Chemoface. Para a construção foram utilizando os três diferentes tipos de óleos vegetais refinados, o smartphone Motorola Moto G30 e o mini estúdio fechado com a iluminação de LED ligada. Os gráficos fazem uma comparação entre os valores de referência, que são os valores obtidos por meio do método proposto da colorimetria por imagem digital e os valores obtidos por meio do método tradicional utilizando o equipamento Testo 270.

Fazendo a análise dos gráficos, os pontos representam as amostras e a linha vermelha representa o valor ideal. Se os pontos estivessem exatamente em cima da linha, significaria que os resultados obtidos por meio do método proposto foram iguais aos resultados obtidos pelo equipamento Testo 270. Quanto mais distantes os pontos estão da linha vermelha, significa que mais distantes os resultados obtidos através do método proposto estão dos resultados obtidos pelo equipamento Testo 270.

Pode-se observar que o gráfico que apresentou o melhor desempenho utilizou o óleo de girassol para a sua construção, uma vez que, foi o gráfico em que os pontos ficaram mais próximos da linha vermelha.

Figura 2 – Representação gráfica dos valores medidos (usando Testo-270) e preditos (por Colorimetria por Imagem Digital - CID) para determinação de CPT em óleo de soja, girassol e milho usando o smartphone Moto G30 e o mini estúdio fechado com iluminação LED ligada.



Fonte: Da autora (2023).

Na tentativa de compensar possíveis interferências causadas por variações na iluminação das amostras, o fator de luminância (LF) e a sensibilidade do sensor (S) foram usado juntamente com os valores de RGB na construção dos modelos preditivos.

Avaliando os resultados obtidos para estes novos modelos utilizando o óleo de soja (Tabela 2) e analisando a etapa de calibração, o RMSE variou de 0,48 a 0,90 e o R^2 variou de 0,73 a 0,92. Avaliando os resultados utilizando o óleo de girassol (Tabela 3) e a etapa de calibração, o RMSE variou de 0,37 a 0,65 e o R^2 variou de 0,83 a 0,96. Avaliando os resultados obtidos utilizando o óleo de milho (Tabela 4) e a etapa de calibração, o RMSE variou de 0,62 a 0,78 e o R^2 variou de 0,75 a 0,83. Para os três os óleos, os melhores modelos foram contruídos utilizando o smartphone Motorola Moto G30, mini estúdio fechado com iluminação de LED ligada e RGB juntamente com a sensibilidade do sensor.

Para a etapa de randomização de y , os três diferentes tipos de óleos vegetais apresentaram baixa capacidade preditiva dos modelos, uma vez que, os valores de RMSE foram maiores do que os da etapa de calibração, além de valores muito baixos de R^2 . Os resultados obtidos de $R^2_p > 0,5$ indicaram uma diferença válida entre R^2 de calibração e R^2 de randomização de y , sugerindo que não houve sobreajuste ou casualidade nos ajustes dos modelos.

Para a etapa de validação cruzada, os melhores resultados foram encontrados para o óleo de girassol (Tabela 3) usando o smartphone Motorola Moto G30, o mini estúdio fechado com iluminação de LED ligada e RGBLF. O valor de R^2 foi de 0,97 e o valor de RMSE foi de 0,30. Para o óleo de soja (Tabela 1) o R^2 variou de 0,58 a 1,11 e o RMSE variou de 0,60 a 0,88. Para o óleo de milho (Tabela 4) os valores variaram de 0,73 a 0,94 para RMSE e 0,64 a 0,77 para R^2 .

Para a etapa teste, o melhor resultado foi encontrado utilizando o óleo de girassol (Tabela 3), o smartphone Motorola Moto G30, o mini estúdio fechado com a iluminação de LED ligada usando RGBS, com RMSE de 0,23 e R^2 de 0,99. Para o óleo de soja (Tabela 2) o valor de RMSE variou de 0,46 a 0,94 e R^2 variou de 0,63 a 0,93. Para o óleo de milho (Tabela 4) o RMSE variou de 0,73 a 0,97 e R^2 variou de 0,35 a 0,84. Os modelos que apresentaram $R_m^2 > 0,5$ atestaram que uma congruência adequada entre os valores medidos e preditos no grupo teste foi alcançada

Tabela 2 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos de CPT em óleo de soja usando valores de sensibilidade do sensor (S) e fator de luminância (LF) juntamente com valores de RGB.

Smartphone Mini estúdio Descritores		MG4				MG30			
		Aberto		Fechado		Aberto		Fechado	
		RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF
Calibração	RMSE	0.90	0.86	0.85	0.89	0.60	0.56	0.48	0.52
	R ²	0.77	0.77	0.76	0.73	0.85	0.88	0.92	0.91
Randomização de y	RMSE	1.76	1.69	1.64	1.60	1.41	1.46	1.54	1.60
	R ²	0.12	0.10	0.12	0.13	0.19	0.16	0.14	0.13
	R ² p	0.70	0.72	0.70	0.67	0.75	0.79	0.84	0.84
Validação cruzada	RMSE	1.11	1.05	1.03	1.10	0.76	0.72	0.58	0.62
	R ²	0.66	0.66	0.66	0.60	0.77	0.80	0.88	0.87
Teste	RMSE	0.84	0.94	0.63	0.47	0.67	0.81	0.64	0.46
	R ²	0.77	0.73	0.86	0.89	0.78	0.63	0.93	0.91
	R ² m	0.60	0.39	0.76	0.57	0.37	0.47	0.65	0.67
N° de outliers		0	0	1	1	4	4	4	4

MG4: Motorola Moto G4. MG30: Motorola Moto G30. F: fechado (luz artificial e controlada). A: aberto (luz ambiente).

Fonte: Da autora (2023).

Tabela 3 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos de CPT em óleo de girassol usando valores de sensibilidade do sensor (S) e fator de luminância (LF) juntamente com valores de RGB.

Smartphone Mini estúdio Descritores		MG4				MG30			
		Aberto		Fechado		Aberto		Fechado	
		RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF
Calibração	RMSE	0.58	0.65	0.48	0.50	0.42	0.44	0.38	0.37
	R ²	0.85	0.83	0.92	0.91	0.92	0.93	0.95	0.96
Randomização de y	RMSE	1.34	1.48	1.57	1.56	1.42	1.53	1.64	1.67
	R ²	0.19	0.12	0.13	0.13	0.13	0.15	0.12	0.17
	R ² _p	0.80	0.82	0.88	0.87	0.88	0.88	0.91	0.89
Validação cruzada	RMSE	0.48	0.55	0.40	0.42	0.34	0.36	0.31	0.30
	R ²	0.89	0.88	0.94	0.94	0.95	0.95	0.97	0.97
Teste	RMSE	1.09	0.84	0.41	0.36	0.47	0.40	0.23	0.23
	R ²	0.93	0.82	0.95	0.96	0.93	0.93	0.99	0.97
	R ² _m	0.42	0.46	0.86	0.95	0.72	0.84	0.88	0.86
Nº de outliers		2	2	1	1	5	4	0	0

MG4: Motorola Moto G4. MG30: Motorola Moto G30. F: fechado (luz artificial e controlada). A: aberto (luz ambiente).

Fonte: Da autora (2023).

Tabela 4 – Parâmetros de desempenho para modelos preditivos de CPT em óleo de milho usando valores de sensibilidade do sensor (S) e fator de luminância (LF) juntamente com valores de RGB.

Smartphone Mini estúdio Descritores		MG4				MG30			
		Aberto		Fechado		Aberto		Fechado	
		RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF	RGBS	RGBLF
Calibração	RMSE	0.64	0.65	0.67	0.66	0.78	0.78	0.62	0.70
	R ²	0.83	0.81	0.81	0.81	0.76	0.75	0.83	0.80
Randomização de y	RMSE	1.45	1.39	1.38	1.38	1.50	1.37	1.42	1.41
	R ²	0.11	0.14	0.17	0.16	0.10	0.21	0.12	0.18
	R ² _p	0.77	0.74	0.72	0.72	0.71	0.63	0.77	0.70
Validação cruzada	RMSE	0.77	0.78	0.82	0.82	0.93	0.94	0.73	0.83
	R ²	0.75	0.73	0.71	0.71	0.66	0.64	0.77	0.72
Teste	RMSE	0.76	0.73	0.91	0.90	0.79	0.97	0.97	0.79
	R ²	0.64	0.73	0.84	0.70	0.36	0.35	0.53	0.63
	R ² _m	0.50	0.46	0.43	0.30	0.00	0.21	0.30	0.57
Nº de outliers		1	1	1	1	1	2	2	2

MG4: Motorola Moto G4. MG30: Motorola Moto G30. F: fechado (luz artificial e controlada). A: aberto (luz ambiente).

Fonte: Da autora (2023).

Em geral, os modelos construídos com os valores de RGBLF e RGBS apresentaram bons desempenhos. Entretanto, não foi observada diferença relevante nos resultados quando comparados aos modelos construídos apenas com valores de RGB. É possível perceber que na etapa de calibração, os modelos construídos com os valores de

RGBLF e RGBS apresentaram praticamente os mesmos resultados que os modelos construídos apenas com valores de RGB. Para a etapa de teste, melhores resultados foram obtidos para o óleo de girassol, com R^2 entre 0,82 a 0,99 e RMSE entre 0,23 a 1,09 para todos os smartphones e condições de análise, exceto para o smartphone Motorola Moto G4 com o mini estúdio aberto para RGBS.

As características mais explícitas observadas quando se avaliou a condição analítica que resultou em melhor desempenho na construção dos modelos foram o uso do smartphone Motorola Moto G30 e do mini estúdio fechado com iluminação LED ligada, uma vez que, esses modelos atenderam ao critério mínimo para RMSE, R^2 , R^2_m e R^2_p .

Em geral, os modelos construídos com os valores de RGB e das informações obtidas através das imagens digitais dos smartphones tiveram desempenho aceitável, apresentando boa capacidade preditiva, com exceção dos modelos para óleo de milho. Isso pode ter ocorrido devido à cor mais amarelada do óleo de milho, a qual, durante as frituras, pode ter sofrido alterações não lineares em relação ao teor de compostos polares totais.

5 CONCLUSÃO

O método baseado em imagens digitais obtidas com smartphone foi capaz de prever o teor de compostos polares totais em óleos vegetais de soja, girassol e milho a partir de modelos de calibração multivariada.

O sistema de cor RGB acrescidos do fator de luminância e da sensibilidade do sensor apresentaram bons resultados na construção dos modelos, porém não foram obtidos resultados com diferença significativa quando comparados aos modelos construídos apenas com os valores de RGB.

A condição que apresentou o melhor desempenho para estimativa dos CPT a partir das imagens digitais usou o mini estúdio fechado, sugerindo que a padronização das condições de iluminação é relevante para uma boa capacidade preditiva. O maior desafio encontrado está relacionado à eliminação ou minimização dos efeitos causados pelas variações decorrentes das diferentes condições de iluminação e das variadas características das câmeras dos smartphones.

A partir dos resultados obtidos conclui-se que a predição do teor compostos polares totais em óleos de fritura realizada por meio de imagens digitais obtidas com smartphone tem potencial para se tornar referência em análises, favorecendo proprietários de comércios alimentícios, uma vez que, é um método barato e rápido, utilizando um smartphone como forma de substituição ao uso do Testo 270.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. M.; MEDEIROS, E. P.; GOMES, J. P.; SOUSA, E. P.; SANTOS, J. W. Caracterização físico-química de misturas de óleos vegetais para fins alimentares. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 32, 2013.
- ANCONI, A. C. S. A.; BRITO, N. C. S.; NUNES, C. A. Determination of peroxide value in edible oils based on Digital Image Colorimetry. **JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS**, v. 113, p. 104724, 2022.
- ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Informe Técnico nº 11, de 5 de outubro de 2004. Óleos e Gorduras Utilizados em Frituras. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos/informes/copy_of_11de2004. Acesso em: 9 mai. 2023.
- BAUMANN, L.; LIBRELOTTO, M.; PAPPIS, C.; SANTOS, R. B.; SANTOS, R. O.; HELFER, G. A.; LOBO, E. A.; COSTA, A. B. Uso do aplicativo PhotoMetrix no monitoramento da concentração de flúor em sistemas alternativos de abastecimento de água. **Águas subterrâneas**, v. 33, n. 2, 2019.
- BERTANHA, B. J.; SANTOS, A. B.; LUIZA, D. M. M.; JORGE, N. Avaliação da qualidade de óleos e gorduras de fritura por meio de testes rápidos. **Hig. aliment**, p. 177-182, 2009.
- BORGO, L. A.; ARAÚJO, W. M. C. Mecanismos dos processos de oxidação lipídica. **Hig. Aliment.**, p. 50-58, 2005.
- BRAGA, J. W. B.; POPPI, R. J. Validação de modelos de calibração multivariada: uma aplicação na determinação de pureza polimórfica de carbamazepina por espectroscopia no infravermelho próximo. **Química Nova**, v. 27, p. 1004-1011, 2004.
- BRANDÃO, L. F. P. Determinação da presença de óleos e gorduras adulterantes em óleo diesel por cromatografia líquida de alta eficiência e métodos multivariados. 2009.
- CAMPOS, T.; CANÉCHIO, F. V. Principais culturas - II. **Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola**, v. 2, 1973.
- CHAIYASIT, W.; ELIAS, R. J.; MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation. **Critical reviews in food science and nutrition.**, 2007.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. A produtividade da soja: análise e perspectivas. v.10, 2017.
- CORRÊA, J. H. G.; VEJA, G. U. S.; CUNHA, N. S.; SILVA, T. G.; MACIEL, P. D. Um modelo simples e parametrizável para classificação de cores no sistema RGB, 2014.
- CORSINI, M. S.; JORGE, N. Estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 27-32,

2006.

CORSINI, M. S.; JORGE, N.; MIGUEL, A. M. R. O.; VICENTE, E. Perfil de Ácidos Graxos e Avaliação da Alteração em Óleos de Fritura. **Quim. Nova**, v. 31, n. 5, p. 956-961, 2008.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, p. 531-537, 2000.

CRUZ, J. C. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

CUESTA, C.; SÁNCHEZ-MUNIZ, F. J. Quality control during repeated frying. **Grasas y Aceites**, v. 49, n. 3-4, p. 310-318, 1998.

DAMY, P. C.; JORGE, N. Determinações físico-químicas do óleo de soja e da gordura vegetal hidrogenada durante o processo de fritura descontínua. **Braz. J. Food Technol**, v. 6, n. 2, p. 251-257, 2003.

D'ARCE, M. A. B. R. O Processamento Industrial do óleo vegetal e do farelo. **Revista Visão Agrícola**, p. 140-141, 2006.

D'ARCE, M. A. B. R.; VIEIRA, T. M. F. S. Considerado nobre pelo consumidor, óleo de milho alcança bons preços no mercado. **Revista Visão Agrícola**, n. 13, 2015.

DE CARVALHO, T. C. L.; NUNES, C. A. Smartphone-based method for the determination of chlorophyll and carotenoid contents in olive and avocado oils: an approach with calibration transfer. **JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS**, v. 104, p. 104164, 2021.

DEL RÉ, P. V.; JORGE, N. Comportamento de Óleos Vegetais em Frituras Descontínuas de Produtos Pré-Fritos Congelados. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 56-63, 2006.

DOBARGANES, M. C.; PÉREZ-CAMINO, M. C. Frying process: selection of fats and quality control. In: **International meeting on fats & oils technology symposium and exhibition**. p. 58-66, 1991.

DOBARGANES, M. C.; PÉREZ-CAMINO, M. C.; MÁRQUEZ-RUIZ, G. Determination of compounds in frying fats and oils. **Grasa y Aceites**, v. 40, n. 1, p. 35-8, 1989.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Características da soja, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>. Acesso em: 25 abr. 2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Girassol, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/materias-primas/girassol>. Acesso em: 25

abr. 2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Óleo de milho: Aspectos químicos e nutricionais. **Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**, 2004.

FAN, Y.; LI, J.; GUO, Y.; XIE, L.; ZHANG, G. Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: A review. *Measurement*, volume 171, p. 108829, 2021.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Editora da UNICAMP, 2015.

FERREIRA, M. M. C.; ANTUNES, A. M.; MELGO, M. S.; VOLPE, P. L. O. Quimiometria I: calibração multivariada, um tutorial. **Química Nova**, v. 22, p. 724-731, 1999.

FIRDAUS, M. L.; ALWI, W.; TRINOVELDI, F.; RAHAYU, I.; RAHMIDAR, L.; WARSITO, K. Determination of Chromium and Iron Using Digital Image-based Colorimetry. **Procedia Environmental Sciences**, v. 20, p. 298-304, 2014.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. O Amido e Suas Propriedades para o Setor Alimentício. n. 35, 2015.

FREIRE, P. C. M.; MARCINI-FILHO, J.; FERREIRA, T. A. P. C. Revista de Nutrição Major physical and chemical changes in oils and fats used for deep frying: Regulation and effects on health. **Rev. Nutr.**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 353-368, 2013.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3^a ed. São Paulo: Pearson, 2010.

GRUDPAN, K.; KOLEV, S. D.; LAPANANTNOPAKHUN, S.; MCKELVIE, I. D.; WONGWILAI, W. Applications of everyday IT and communications devices in modern analytical chemistry: a review. **Talanta**, v. 136, p. 84-94, 2015.

JORGE, N. Química e tecnologia de óleos vegetais. **São Paulo: Cultura Acadêmica**, v. 1, p. 165, 2009.

JORGE, N.; SOARES, B. B. P.; LUNARDI, V. M.; MALACRIDA, C. R. Alterações físico- químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras. **Química Nova**, v. 28, p. 947-951, 2005.

KENNARD, R. W.; STONE, L. A. Computer aided design of experiments. **Technometric**, v. 11, n. 1, p. 137-148, 1969.

LOLOS, M.; OREOPOULOU, V.; TZIA, C. Oxidative stability of potato chips: effect of frying oil type, temperature and oxidants. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 79, p. 1524-1528, 1999.

MANDARINO, J. M. G. Óleo de girassol como alimento funcional. **Girassol no Brasil. EMBRAPA Soja, Brasil, Londrina**, 2005.

MANDARINO, J. M. G.; ROESSING, A. C.; BENASSI, V. T. **Óleos: alimentos funcionais**. Londrina: Embrapa Soja, 2005.

MASUCHI, M. H.; CELEGHINI, R. M. S.; GONÇALVES, L. A. G.; GRIMALDI, R. Quantificação de TBHQ (terc butil hidroquinona) e avaliação da estabilidade oxidativa em óleos de girassol comerciais. **Química nova**, v. 31, p. 1053-1057, 2008.

MITRA, I., SAHA, A.; ROY, K. Exploring quantitative structure–activity relationship studies of antioxidant phenolic compounds obtained from traditional Chinese medicinal plants. **Molecular Simulation**, v. 36, n. 13, p. 1067–1079, 2010.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. y. **Introduction to linear regression analysis**. John Wiley & Sons, 2021.

MORAIS, C. L. M. **Desenvolvimento de novas metodologias analíticas utilizando ferramentas quimiométricas e processamento de imagens para determinação quantitativa de compostos em sistemas biológicos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

MORETTO, E.; FETT, R.; GONZAGA, L. V.; KUSKOSKI, E. M. Introdução à ciência de alimentos. **Editores da UFSC**, 2002.

MORGADO, E.; GALZERANO, L. Utilização de óleos em dietas para equinos. **REDVET. Revista Eletronica de Veterinária**, v. 7, n. 10, p. 1-14, 2006.

NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger Princípios de Bioquímica*, 2006.

NUNES, C. A.; FREITAS, M. P.; PINHEIRO, A. C. M.; BASTOS, S. C. Chemoface: A novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 2003-2010, 2012.

O'DONNELL, C. D. Fats and oils: forces in fried food quality. **Prepared Foods**, v. 1, p. 77- 78, 1995.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. 2006.

PATRICIO, J. S.; HOTZA, D.; NONI JÚNIOR, A. De. Argilas adsorventes aplicadas à clarificação de óleos vegetais. **Cerâmica**, v. 60, p. 171-178, 2014.

PEREDA, J. A. O.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ALVAREZ, L. F. SANZ, M. L. G.; MIGUILLON, G. D. G. F.; PERALES, L. L. H.; CORTECERO, M. D. S. Componentes dos alimentos e processos. *Tecnologia de Alimentos*, v. 1, p. 33-49, 2005.

PITOMBO, C. S.; COSTA, A. S. G. Aplicação conjunta de modelos não paramétricos e paramétricos para previsão de escolha modal. **Journal of Transport Literature**, v. 9, p. 30- 34, 2015.

REDA, S. Y.; CARNEIRO, P. I. B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista Analytica**, v. 27, p. 60-67, 2007.

REDER, M.; BRYŚ, J.; LIGEZA, E.O.; CIEMNIEWSKA-ŻYTKIEWICZ, H; SUJKA, K.; KOCZON, P. Determination of Polar Compound Contents of Vegetable Oils by Differential Scanning Calorimetry and Fourier Transformed Mid-Infrared Spectroscopy. *Akademik Gıda*, 12, 6-10, 2014.

RESENDE, L. M. B.; MAGALHÃES, E. J.; NUNES, C. A. Optimization and validation of a smartphone-based method for the determination of total sterols in selected vegetable oils by digital image colorimetry. **JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS**, v. 117, p. 105111, 2023.

REZAZADEH, M.; SEIDI, S.; LID, M.; PEDERSEN-BJERGAARD, S.; YAMINI, Y. The modern role of smartphones in analytical chemistry. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 118, p. 548-555, 2019.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, v. 30, p. 1374-1380, 2007.

ROY, P. P.; PAUL, S.; MITRA, I.; ROY, K. On two novel parameters for validation of predictive QSAR models. **Molecules**, v. 14, p. 1660–1701, 2009.

SANIBAL, E. A. A.; MANCINI-FILHO, J. Alterações físicas, químicas e nutricionais de óleos submetidos ao processo de fritura. **Food Ingr South Am**, v. 1, n. 3, p. 64-71, 2002.

SONG, W.; SONG, Z.; VINCENT, J.; WANG, H.; WANG, Z. Quantification of extra virgin olive oil adulteration using smartphone videos. **Talanta**, v. 216, p. 120920, 2020.

SYNGENTA, Milho: maior cultura agrícola produzida no mundo, 2022. Disponível em: <<https://portal.syngenta.com.br/noticias/milho-maior-cultura-agricola-produzida-no-mundo>> Acesso em 26 de abril de 2023.

TOLEDO, V. A. A.; CHAMBÓ, E. D.; HALAK, A. L.; FAQUINELLO, P.; PARPINELLI, R. S.; OSTROWSKI, K. R.; CASAGRANGE, A. P. B.; RUVOLO-TAKASUSUKI, M. C. C. Biologia floral e polinização em girassol (*Helianthus annuus* L.) por abelhas africanizadas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, 2011.

TUA SAÚDE, Grupo Rede D'or, “Óleo de Soja: é bom ou ruim?”, 2019. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/oleo-de-soja/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

VESALI, F.; OMID, M.; KALEITA, A.; MOBLI, H. Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 116, p. 211-220, 2015.

