FACULDADE REBOUÇAS

BACHARELADO EM FÁRMACIA

DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO DE CHÁ *Camellia sinensis* UTILIZANDO IMAGEM DIGITAL E ANÁLISE MULTIVARIADA

Vitória Rachel Soares Fernandes

Ana Miquelle Neves do Nascimento

Campina Grande - PB

2023

VITORIA RACHEL SORES FERNANDES
ANA MIQUELLE NEVES NASCIMENTO

DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO CHÁ DE *Camellia sinensis* UTILIZANDO IMAGEM DIGITAL E ANÁLISE MULTIVARIADA

Trabalho de conclusão de curso na modalidade *artigo científico*, apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel em farmácia pela Faculdade Rebouças.

Orientadora: Prof. Dra. Welma Thaise Silva Vilar

Campina Grande – PB

FACULDADE REBOUÇAS® DE CAMPINA GRANDE

ANA MIQUELLE NEVES DO NASCIMENTO
VITÓRIA RACHEL SOARES FERNANDES

DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO DE CHÁ CAMELLIA SINENSIS UTILIZANDO IMAGEM DIGITAL E ANÁLISE MULTIVARIADA

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade *Artigo Cientifico*, apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharéis em Farmácia pela Faculdade Rebouças.

DATA DA AVALIAÇÃO: 27 de novembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Welma Thaíse Silva Vilar

Profª. Drª. Welma Thaíse Silva Vilar
(Orientadora - Faculdade Rebouças)

Jéssica Cabral de Andrade

Profª. Drª. Jéssica Cabral de Andrade
(Examinadora Interna - Faculdade Rebouças)

Pablo Rayff da Silva

Prof. Dr. Pablo Rayff da Silva
(Examinador Interno - Faculdade Rebouças)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os colegas de turma, em especial Zilmara, caio e Lucas que fizeram esse processo ser mais leve. Obrigada por toda ajuda e apoio;

Agrademos a nossa querida orientadora Welma Vilar, por toda disponibilidade, suporte e atenção. Ela é parte dessa conquista e sem sua contribuição com toda certeza, esse trabalho não teria êxito. Welma a senhora é um grande exemplo de pessoa e profissional, só lhe desejemos muito sucesso na sua vida pessoal, como também na sua trajetória acadêmica e profissional. Você nasceu para brilhar!

Agradecemos a banca avaliadora pela disponibilidade e pelas correções atribuídas de forma positiva para melhoria do trabalho;

Agradecemos a todos os professores que passaram por nossa vida escolar e acadêmica e deixaram seu legado, em especial nosso muito obrigada aos queridos professores Gessenildo e Dayanne por ter nos impulsionado com a publicação de artigos científicos;

Agradecemos aos profissionais Assys e Emerson por toda ajuda e apoio dado nos laboratórios.

Eu, Vitória Rachel primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me guiado até este momento. Sua presença constante tem sido meu alicerce;

Agradeço imensamente à minha mãe, Andrea Rodrigues, e ao meu pai, Rosivaldo Fernandes, pelos incansáveis esforços, renúncias e palavras de apoio que me conduziram até este dia. Em momentos de dúvida, nunca desistiram de mim, mostrando-me a força que eu carregava. Esta conquista é realmente nossa;

Expresso a minha profunda gratidão à minha avó, Odete Raquel, detentora dos conselhos mais sábios. Ela não apenas torcia e vibrava a cada passo que eu dava, mas também sempre se enchia de orgulho a cada aprendizado. Mal sabia ela que orgulho maior sempre foi tê-la ao meu lado, sua presença foi crucial nesse processo;

Agradeço profundamente ao meu querido avô, João Fernandes, que não se encontra mais aqui, cujo a sabedoria e incentivo ao estudo moldaram meus caminhos. Vovó, hoje compartilho minha conquista contigo e reconheço que devo muito disso ao senhor, sua presença sempre vai persistir em cada realização da minha vida;

Expresso minha sincera gratidão ao meu irmão, João Fernandes, por acreditar em meu potencial. Obrigada por sua ajuda nessa jornada; você é o melhor irmão que poderia ter;

Ao meu querido namorado, Adrielzo Bruno, expresso profunda gratidão por ter sonhado ao meu lado e por oferecer apoio incondicional ao longo de todo o processo. Obrigada pela paciência e pelo incentivo constante;

Eu, Ana Miquelle, Agradeço a Deus por ser meu guia e ter me sustentado nessa jornada acadêmica, todas as vezes que pensei em desistir ele colocou no meu coração que fosse forte e corajosa pra seguir com processo, sem ele nada disso seria possível. Também Agradeço a minha santa intercessora Nossa Senhora de Aparecida, por sempre ter me acolhido no seu colo de mãe e me escutado todas as que clamei pelo seu nome;

Aos meus pais Jovanildo e Aparecida expresso minha profunda gratidão, por serem minha base e meus maiores exemplos de vida . Eles que abdicaram de muita coisa e me proporcionaram as melhores condições pra que hoje eu estivesse traçando esse jornada. Meu muito obrigada painho e mainha, essa conquista não só minha, é nossa e espero algum dia retribuir tudo vocês fizeram por mim. Amo vocês;

As minhas irmãs de sangue Ana Iris, Monique e Mirelle e minha irmã de coração Joelma, por serem meu porto seguro e por todo apoio. Obrigada por todas as palavras de conforto quando mais precisei. Vocês foram essencial nesse processo;

As minhas sobrinhas Ana Lis, Natalie e Lorena, por serem meus três raios de sol e iluminarem meus dias cinzentos. Mesmo sem entender, cada momento vivido com elas foram meu refúgio, que recarregaram minhas energias nos dias difíceis;

Ao namorado e melhor amigo Rildo, ele que foi parte da minha força, me acolheu nos piores dias e fez tudo ficar mais leve. Obrigada por todo companheiros, amor, cuidado e incentivo;

A minha vó Maria das Neves por ser alegria dos meus dias. Aos meu cunhados Erdeson e Neto, por toda ajuda e amizade até Aqui.

A minha dupla Vitória Rachel, por ter segurado na minha mão durante essa jornada acadêmica. Ela que esteve literalmente comigo desde o primeiro dia de aula até hoje, muito obrigada por todo apoio e carinho. És merecedora de coisas grandiosas e sempre estarei aqui vibrando por cada conquista sua! E por fim agradeço

a todos familiares e amigos, que de forma direito ou indireta torceram e contribuíam de alguma forma pra que hoje eu alcançasse esse objetivo;

ARTIGO

DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO DE CHÁ *CAMELLIA SINENSIS* UTILIZANDO IMAGEM DIGITAL E ANÁLISE MULTIVARIADA

DETECTION OF ADULTERATION OF CAMELLIA SINENSIS TEA USING DIGITAL IMAGE AND MULTIVARIATE ANALYSIS

Vitória Rachel Soares Fernandes[1]
Ana Miquelle Neves do Nascimento[1]
Welma Thaise Silva Vilar[2]

RESUMO

Camellia sinensis é uma planta comumente consumida no mundo inteiro, como uma bebida aromatizada e para fins terapêuticos como anti-inflamátorio e antioxidante. Desta forma, com intuito de baratear essa matéria-prima são constantemente adulteradas através da inserção contaminantes resultando em uma amostra enganosa podendo ocasionar danos à saúde do consumidor. Mediante isso, faz-se necessário um controle de qualidade eficiente na rastreabilidade desse insumo, no qual, a imagem digital se destaca por apresentar algumas vantagens sobre outras técnicas quando associado a quimiometria. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é investigar a utilização da análise de imagem digital e quimiometria como uma abordagem eficaz para detecção e verificação da adulteração do chá verde e preto. Com isso, foi utilizado imagem digital que consiste em um método rápido, de baixo custo e não destrutivo para a amostra associado a quimiometria por meio de técnicas de reconhecimento de padrões não supervisionado (PCA) e supervisionado (LDA/SPA, PLS/DA) para a classificação das amostras autênticas e adulteradas do chá verde e preto. Neste sentido, a aplicação do modelo PLS-DA apresentou o melhor resultado para o chá verde, classificando 96% das amostras de forma assertiva, já para o chá preto os dois modelos LDA-SPA e PLS-DA classificaram 100% das amostras. Com isso, estes resultados sugerem que o método avaliado se torna uma alternativa promissora para autenticação e inspeção do controle de qualidade desses chás.

Palavras-chave: controle de qualidade, chá verde, chá preto, adulteração, LDA-SPA, PLS-DA.

ABSTRACT

Camellia sinensis is a plant commonly consumed throughout the world, as an aromatized drink and for therapeutic purposes as an anti-inflammatory and antioxidant.Therefore, in order to make this raw material cheaper, it is constantly adulterated through the insertion of contaminants, resulting in a misleading sample that could cause harm to the consumer's health. Therefore, efficient quality control in the tracebility of this input is necessary, in which digital imaging stands out for presenting some advantages over other techniques when associated with chemometrics. In this context, the objective of this work is to investigate the use of digital image analysis and chemetrics as an effective approach for detecting and verifying adulteration of green and black tea. Therefore, digital imaging was used, which consists of a fast, low-cost and non-destructive method for the sample associated with chemometrics through uspervised (PCA) and supervised (LDA/SPA, PLS/DA) pattern recognition techniques.

[1]Graduanda do curso de Farmácia da Faculdade Rebouças. anamiquelle99@gmail.com/vitoriarachel56@gmail.com
[2]Mestre e Doutora em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba. profwelmavilar@gmail.com

for the classification of authentic and adulterated samples of green and black tea. In this sense, the application of the PLS-DA model presented the best result for green tea, classifying 96% of the samples assertively, while for black tea the two models LDA-SPA and PLS-DA classified 100% of the samples. Therefore, these results sugest that the evaluated method becomes a promising alternative for authentication and quality control inspection of these teas.
Keywords: Green Tea; Black tea; Digital Image; LDA-SPA and PLS-DA.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, diversas culturas possuem um vasto conhecimento tradicional, onde chás oriundos de plantas além de ser amplamente consumidos como uma bebida aromatizada, seu uso está diretamente associado a promoção em saúde da população. Posto isto, muitas plantas medicinais estão sendo estudadas para estabelecer seus mecanismos de ação para novas farmacoterapias (Sousa *et al.*, 2008).

Nesse contexto, pode ser citada *Camellia sinensis* que é evidenciada como uma planta quimicamente complexa amplamente utilizada, caracterizada por possuir mais de 700 produtos químicos úteis à saúde humana (Monda, 2014), sendo a bebida mais popular do mundo, além da água, consumida por mais de 2 bilhões de pessoas em aproximadamente 170 países e regiões (Fernandes *et al.*, 2023).

Neste cenário, estudos clínicos comprovam os benefícios à saúde, proporcionados pelo consumo do chá dessa planta em várias doenças crônicas, onde sua ação antioxidante e anti-inflamatório corroboram para a prevenção de patologias como o câncer e doenças cardiovasculares (Zhao *et al.*, 2020).

A ação terapêutica da *Camellia sinensis* está correlacionada com os seus bioativos presentes incluindo polifenois, alcaloides, aminoácidos, carboidratos, proteínas, clorofila, compostos voláteis, minerais, oligoelementos e outros compostos (Karori *et al.*, 2007).

Desta maneira, a partir dessa planta pode originar-se diferentes tipos de chás que são separados de acordo com o grau de fermentação, o chá oolong é parcialmente oxidado; já o chá preto e vermelho é oxidado após a colheita, no chá branco as folhas e botões são selecionados e apenas lavados e secos e o chá verde não é oxidado (Passos *et al.*, 2022). Com isso, o chá preto e verde destaca-se por ser o mais utilizado pela população.

Diante desse contexto, o chá por ser amplamente utilizado e existir poucos estudos na literatura torna-se necessário um controle de qualidade, segurança e autenticidade eficaz. De acordo com Fernandes *et al.* (2023), a prática de fraude tem sido comumente detectada e consiste na inserção de produtos de qualidade inferior com o intuito de baratear o insumo, isso resulta em produtos enganosos que representa riscos para a saúde dos consumidores.

Santos *et al.* (2018) retratam que as plantas comercializadas de forma seca e fragmentadas ou em sachês adquiridas pela população, pode apresentar em sua maioria um controle de qualidade indesejado, ou seja, fora do padrão de qualidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Brasil, 2002). Com isso, podendo apresentar adulterantes não mencionados no rótulo, impurezas como parte de outras plantas, insetos, fungos e areia.

No caso de fraudes ou disputas comerciais, é necessário introduzir métodos de detecção sensíveis, precisos e rápidos como complemento do sistema de rastreabilidade de alimentos para prevenir e verificar informações e produtos falsos (Zhang *et al.*, 2011). Com isso, vários métodos são citados na literatura com o intuito de detectar possíveis inconformidades como espectrofotometria derivada, cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), acoplada a eletroforese capilar, cromatografia gasosa-espectrometria de massa (GC–MS), bem como espectrometria Raman, imunoensaios e espectroscopia (Santos *et al.*, 2013), imagem digital (Fernandes *et al.,* 2023). Entretanto alguns deles possui custo alto de aquisição e manutenção.

Neste âmbito, as imagens digitais têm despertado o interesse de inúmeros grupos de pesquisas, dentre eles como ferramenta para o controle de qualidade (Antunes *et al.*, 2023). Visto que, se destaca sobre outros métodos analíticos na utilização de aparelhos como computadores e impressoras, onde consiste em um detector simples que não destrói a amostra, trabalhando com pequenos volumes, custo baixo e rapidez. Além disso, ele pode ser correlacionado com possíveis métodos como quimiometria que é empregada a fim de analisar os dados obtidos das imagens, resultando na construção de modelos estatísticos que relacionam as características extraídas com a presença de adulterantes.

Diante do exposto, objetivo deste trabalho foi investigar a utilização da análise de imagem digital e quimiometria como uma abordagem eficaz para a detecção e verificação da adulteração do chá verde e preto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Camellia sinensis*

Camellia sinensis é uma planta com múltiplas aplicações benéficas para o ser humano. Com isso, suas características botânicas são relatadas por Chaudhari *et al.* (2020), onde a mesma pertence à família Theaceae e gênero *Camélia* com o maior crescimento em climas tropicais, e melhor adaptação em um solo com umidade e pH entre 5 e 7. As características macroscópicas se dar por um arbusto de um a cinco metros, suas folhas são alongadas entre 4-15 centímetros tendo coloração verde escura quando mais velha, já suas sementes são subglobosas, marrom com o diâmetro de 1 a 4 centímetros.

Neste âmbito, a forma mais utilizada desta planta são as folhas e brotos para confecção do chá que são considerados como a segunda bebida não alcoólica mais consumida no mundo, logo depois da água, no qual, em 2014, o mundo produziu 5,5 milhões de toneladas de chá e, até 2023, o consumo deverá atingir 7,1 milhões de toneladas. (Thiruvengadam *et al.,* 2023).

Desta forma, dependendo do grau de fermentação durante o processo, o chá pode ser dividido em três grupos: não fermentado (chá verde), semi-fermentado (chá oolong) e totalmente fermentado (chá preto) (Yamanishi; Kobayashi, 1999). No qual, 78% da quantidade total de chá produzido e consumido era chá preto, 20% era chá verde e menos de 2% era chá amarelo ou oolong (LI *et al.*, 2013).

Logo, para o manuseio do chá verde faz-se necessário ferver e escaldar para preservar a sua coloração. Por outro lado, Zhu *et al.* (2022) relataram a fermentação do chá preto, no qual, se recomenta a fixação das folhas e subsequentemente enrolar e armazenada em um ambiente com umidade e temperatura fixa, o que vai permitir uma proliferação com intuito de acontecer reações entre a ação conjunta de enzimas e microrganismos como, por exemplo, *Aspergillus, Bacillus, Candida, Cyberlindnera, Debar yomyces, Eurotium, Klebsiella, Lactobacillus.*

Com isso, de acordo com o grau de oxidação no processamento dessa planta pode-se modificar as características fitoquímicas e sensoriais da matéria (Chen *et al.*, 2021). Desta forma, estudos são realizados para analisar e quantificar esses bioativos.

FIGURA 1 – Alguns compostos bioativos importantes da *Camellia sinensis*



Fonte: Adaptado de Sarma; Bania e Das (2023).

Imerso nessa análise, Azevedo *et al.* (2019) estudou a composição bioativa da infusão do chá preto e verde empregou a cromatografia e métodos quimiométricos para a determinação e avaliação da amostra. Foram desenvolvidos e validados o modo de extração e separação para onze extratos comercializados na cidade de Salvador-BA do chá preto e verde. A verificação multivariada dos dados bem como o teste de Tukey foram utilizados para relacionar o perfil cromatográfico com diferentes analitos. Foram aplicadas análises de cluster hierárquica (HCA) e componentes principais (PCA) com a finalidade de separação das amostras do chá verde e chá preto. Como conclusão o método mostrou-se eficiente para extração e separação dos constituintes.

Em contrapartida, a qualidade química e as propriedades bioquímicas estão também correlacionados com a maturidade do broto sendo de grande valia para mensurar a qualidade e valor da terapia. Mediante a isso Xu *et al.* (2021) por meio de avaliação realizada in vitro analisou metabolitos e bioatividade do chá verde processado utilizando diversas maturidades do broto. Logo, a análise mostrou

diferenças significativa entre os diferentes estágios do broto do chá verde, resultando na identificação de vários metabólitos bioativos importantes.

Por fim, Zhu *et al.* (2022), através da ação dos microrganismos frente a essa planta pode resultar em cinco tipos de chás através de reações da composição química como degradação, metilação e oxidação que leva ao desenvolvimento da qualidade desta matéria. Desse modo, por meio da utilização de espectroscopia e ressonância magnética nuclear pode-se avaliar a constituição química de 150 componentes dentre eles estão os flavonóides, flavonas e seus glicosídeos, catequinas, ácidos fenólicos e seus subtipos, terpenóides e alcalóides.

Outro estudo realizado por Fernandes *et al.* (2023), utilizou o sistema analítico baseado em histograma de cores assistido por quimiometria como ferramenta para análise da qualidade de chás de Camellia sinensis, sendo possível observar que, esse modelo mostrou ser uma boa alternativa como análise de controle de qualidade não destrutiva da amostra.

2.2 ATIVIDADE FARMACOLÓGICA

O chá da *Camellia sinenses* se destaca pelas evidências científicas sobre os seus benefícios para a população com ação de prevenir múltiplas doenças tornando-se o seu consumo um hábito de promoção a saúde. Desta forma, o chá verde e preto apresenta atividades farmacológicas versáteis, para uso terapêutico (Zhu *et al.*, 2022).

Logo, Wu *et al.* (2013) relataram que o chá e o extrato produzido desta planta apresenta ação biológica importante, dentre elas, o efeito antidiabético, visto que, o mesmo pode atuar na resistência à insulina e distribuição de lipídeos, modificando a regulação genética envolvidos no equilíbrio dinâmico da glicose e insulina resultando na diminuição da mesma no sangue melhorando a sua resistência além desse estudos relatar um grande potencial para a melhora das complicações causadas por essa patologia.

Por outro lado, uma das atividades farmacológicas que mais se destacam é a ação antioxidante do chá preto e verde estando associada aos fotoquímicos presentes nessa planta como as catequinas e teaflavinas. Com isso, Peluso e Serafini (2016) descreveram essa atividade que está relacionada com a indução de uma via redox

endógena, no qual, pode envolver tanto a transferência de átomos de hidrogênio quanto reações de doar elétrons únicos ou ambos os processos.

Outra ação farmacológica elucidada na literatura é a utilização da *Camellia sinenes* como uma forma de terapêutica alternativa para a obesidade. No qual, Luz *et al.* (2016) aborda os potenciais mecanismo promovido através dos seus bioativos como os flavonóides e polifenóis que pode atuar inibindo enzimas reguladoras do metabolismo lipídicos, elevação da expressão genica que ativa a oxidação de gordura e ação no sistema nervoso central.

2.3 ADULTERAÇÃO

A fraude de insumos consiste em deliberar intencional a adição, substituição e adulteração de alimentos ou fornecimento de declaração falsa ou enganosa de produtos com a finalidade de obter lucros (Spink; Moyer, 2011). Quando relacionada aos chás pode apresentar riscos eminentes a saúde afetando negativas sua qualidade e segurança.

Desta forma, para minimizar os custos pode haver a inserção de componentes com qualidades duvidosa, no qual, não são mencionados no rótulo do produto final. Como por exemplo, vários tipos de corantes azo, como amarelo crepúsculo, tartrazina e índigo carmim, têm sido usados para adulterar vários tipos de chá (Mohamed *et al.*, 2023).

Nesse âmbito, estudo realizado para Wei *et al.* (2020), foi desenvolvido um método rápido e confiável para detectar a presença de carmim em chá preto, combinando espectrofotometria e aprendizado de máquina. O modelo qualitativo obteve uma taxa de precisão de 100% na identificação do carmim no chá preto. Esse método pode ser uma ferramenta útil para identificar adulterações de chá preto no mercado.

Outros adulterantes utilizados com intuito de baratear é arroz, farinha chicória, cafeína, giz francês, flocos de espumas entre outros. Com isso, pesquisas feitas por LI *et al.* (2020) analisaram 475 amostras de chá puro adulterada com açúcar e arroz utilizando o método de micro infravermelho próximo espectroscopia (NIRS), que se mostrou seguro para avaliação desse insumo, rastreando possíveis adulterações.

Passos *et al.* (2022) abordaram a adulteração pela inserção de outras plantas ou contaminando, visto que, essa prática é difícil de ser detectada pelos consumidores, pois a maioria das vezes as folhas são vendidas em pó ou em pequenos fragmentos, dificultado assim a identificação correta da matéria-prima vegetal. No entanto, como forma de controle pode utilizar pesquisa morfoanatômicos surgem como uma alternativa para identificar essas irregularidades, podendo ser utilizada no controle de qualidade.

2.4 CONTROLE DE QUALIDADE DOS CHÁS

Os chás por ser uma bebida amplamente consumida pela população mundial, faz-se necessário um melhor controle de qualidade na sua fabricação. Desta forma, a pouca qualidade é amplamente vista em decorrência a mal eficiência da fiscalização diante este produto, no qual, uma problemática atualmente evidenciada no Brasil é a ocorrência de fraudes feita pela adição de plantas morfologicamente parecidas ou pela inserção de contaminantes na matéria (Passos *et al.*, 2022).

A legislação que estabelece as diretrizes para o chá pronto para consumo é a Portaria nº. 544, datada de 16 de novembro de 1998, emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 19). Essa portaria trata do Regulamento Técnico que define os padrões de identidade e qualidade para o chá pronto, e é responsabilidade exclusiva desse Ministério fazer o registro do produto.

Segundo o item 8.1 da mesma portaria, o rótulo do chá pronto deve apresentar sua denominação de forma visível e legível, com uma fonte de tamanho mínimo de 2 mm e da mesma cor (Brasil, 1998). É proibido incluir qualquer declaração, designação, figura ou desenho que possa induzir a erro de interpretação ou criar dúvidas quanto à origem, natureza ou composição do produto.

Neste sentido, Firmino (2011) aborda que a manipulação errônea do material para a fabricação de chás resulta em elevação na umidade que pode gerar bactérias e fungos, resultando na criação de compostos tóxicos e alterando os bioativos causando prejuízo ao consumidor e ausência de ação desejada. Frente a isso é importante avaliar presença de impureza, cinzas totais, avaliação microscópica, macroscópica e parâmetros físico-químicos.

Aboulwafa *et al.* (2018) retrataram que para analisar a qualidade do chá verde utilizou as técnicas de HPLC, UV-Visível e FTIR em 38 amostras do Leste e sul asiático, no qual, conclui-se a autenticação da mesma verificada por meio da associação desses métodos, ofertando um modelo fidedigno para o controle de qualidade desse insumo assegurando uma maior eficiência sem trazer riscos à saúde do consumidor evidenciado uma boa qualidade.

Já estudos realizados por Santos *et al.* (2023) analisaram o controle de qualidade de múltiplos cultivos de chá verde através de uma ferramenta analítica denominada espectroscopia de ressonância magnética nuclear de rotação de ângulo mágico de alta resolução, que consiste na avaliação da amostra semissólida ou em estado natural da planta. Com isso, pode-se concluir que o tempo da colheita e o clima está relacionado com a qualidade do produto bem como a quantidade de princípios ativos presente no mesmo.

Entretanto, para diminuir a vulnerabilidade do chá à adulteração se torna o ponto principal a ser observado, diante disso para se avaliar essa qualidade é amplamente utilizado cromatografia gasosa e espectroscopia, no entanto esses métodos de análise a nível de qualidade desse insumo não são suficientes para sua inspeção além de caracterizar-se por apresentar custos elevados (Farag *et al.,* 2023). Neste contexto, alternativas são estudadas para diminuir essas incidências através de sistemas de rastreabilidade como imagem digital que se destaca pelo seu baixo custo e análise em um período de tempo menor.

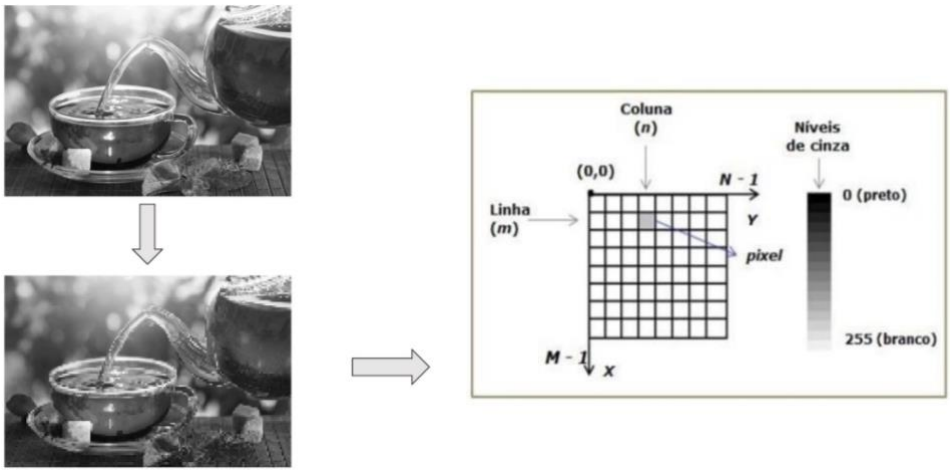
É importante ressaltar que não foram encontrados na literatura artigos que retratem estudos de adulteração de chá verde e chá preto utilizando ferramenta analítica simples, econômica, eficaz e rápida como imagens digitais associado com quimiometria.

2.5 IMAGEM DIGITAL

A imagem digital é definida por Gonzalez e Woods (2014), como uma matriz bidimensional caracterizada por X e y que são coordenadas espaciais e F denominada de nível de cinza (ou R, G e B) ou intensidade da uma imagem em um definido ponto.

Nesta perspectiva, uma imagem analógica não consegue ser processadas por computadores, com isso o sistema de conversão optoeletrônica das imagens analógicas em imagens digitais reside na formação de uma matriz M por N pontos, na qual cada ponto é designado pixel ou elemento de imagem (Queiroz; Gomes 2001; Marques Filho; Vieira Neto, 1999).

FIGURA 2 – A interpretação de uma imagem monocromática em imagem digital



Fonte: Adaptada de Queiroz e Gomes (2001).

Logo, o processo para construção de uma imagem de boa qualidade está correlacionado com o tamanho da matriz, visto que, quanto mais amplitude a resolução será melhor, e quanto maior a mesma menor será o pixel, onde se caracteriza por ser a menor partícula da imagem digital onde cada pixel apresenta um único valor numérico correspondente ao nível de sinal naquele ponto (Solomom; Breckon, 2011).

Segundo Milanez (2013), a transformação do conjunto de números representados pelos pixels em uma imagem ocorre através da utilização de um mapa de cores, que atribui um tom específico a cada valor numérico da imagem. Os tons de cor variam dentro de uma escala que vai de 0 até um valor máximo, dependendo do nível do sinal.

A imagem digital apresenta múltiplas vantagens sobre outros métodos mencionado na literatura. Com isso, Diniz (2020), descreve que essa tecnologia associada por análise multivariada pode permitir uma melhor avaliação dessa imagem

como, por exemplo, uso de histogramas de cores como indicador analítico emerge como uma excelente opção quando correlacionado com quimiometria.

Destarte, esse método em ensaios químicos apresenta vantagens na detecção de cores, o uso destes sensores torna possível a aplicação e desenvolvimento de diferentes plataformas e geometrias experimentais para acompanhar e determinar analitos em reações químicas colorimétricas (Passaretti, 2015).

2.6 QUIMIOMETRIA

A International Chemometrics Society (ICS) traz a quimiometria como métodos matemáticos e estatísticos que permite melhorar o processo retirando uma quantidade de informações maior, por meio de análise de dados multivariados. Desta forma, a mesma pode ser dividida planejamentos e otimização de experimentos, calibração multivariada e reconhecimento de padrões (Botelho *et al.*, 2014).

Dentre os tipos citados anteriormente o reconhecimento de padrões consiste em uma abordagem computacional usada para determinar padrões ou relacionamentos entre objetos (Brereton, 2015). Podendo ser dividido em duas categorias distintas reconhecimento de padrões supervisionado e não supervisionado.

Desta forma, uma das técnicas mencionada é a de padrões não supervisionado, no qual, não necessita de suposições iniciais sobre a estrutura dos dados, nessa técnica avaliasse a presença de agrupamentos naturais existentes entre os grupos de amostras (Beebe *et al.*, 1998). Com isso, os métodos que se destacam são a análise de componentes principais (PCA) e análise de agrupamentos Hierárquicos (HCA).

A análise de componentes principais (PCA) consiste, após a obtenção dos dados, os mesmos são organizados em uma matriz de dimensão n x m, onde as linhas (n) representam as amostras e as colunas (m) representam as variáveis correspondentes aos valores dos sinais instrumentais (Milanez, 2013). Logo, a matriz de dados pode ser grande, com isso a utilização do PCA transforma em menores dimensões resultando em uma melhor avaliação e interpretação.

Por outro lado, as técnicas de reconhecimento de padrões supervisionados, necessita de informações iniciais sobre o estudo. Mediante a isso, a resposta instrumental é relacionada com os índices de classes e modelos multivariados são

obtidos e validados com intuito de classificar amostras de identidades desconhecidas (Beebe *et al.*, 1998; Castro; Prado, 2002). Dentre esse cenário pode se ter classificações, onde se destacam a análise descriminante linear (LDA) e modelagem independente e flexível por analogia de classe (SIMCA).

Com enfoque na modelagem independente e flexível por analogia de classe (SIMCA), França (2022) a técnica SIMCA é usada para medir a distância entre as classes e avaliar a capacidade de modelagem e discriminação a distância de classe pode ser determinada através do cálculo da distância geométrica a partir dos modelos de componentes principais. Isso permite a criação de um modelo para cada classe de amostras no conjunto de treinamento. Para isso, é aplicada uma análise de componentes principais (PCA) para modelar a forma e a posição do objeto ou estrutura formada pelas amostras em um espaço multidimensional, a fim de definir uma classe.

Os métodos clássicos como a Análise Discriminante Linear (LDA) foi primeiro realizada por Fisher em 1930, no qual, ele busca uma função linear da variável no espaço multivariado que maximize a razão entre ambas as variâncias em comparação com a variância dentro do grupo (Bansal, 2014). No entanto, quando esse número é maior do que o número de observações não é recomendado utilizar esse método.

É importante salientar que o método de descriminação linear pode estar associado a métodos de seleções variáveis como algoritmo das projeções sucessivas (SPA), em que constrói uma cadeia ordenada de variáveis, onde cada elemento é selecionado de forma a apresentar a menor colinearidade com os anteriores (Pontes *et al.*, 2005). E o Algoritmo Stepwise consiste em outro método de seleção de variáveis que vem sendo também aplicados em problemas de classificação (Silva *et al.,* 2012).

Outro método comumente utilizado, é a análise descriminante de mínimos quadrados parciais (PLS-DA) que consiste em uma técnica supervisionada, que molda os caracteres distintas entre múltiplas classes através de um modelo de regressão PLS. Quando há apenas duas classes para discriminar, o PLS-DA usa apenas uma variável de resposta (x), codificada como −1 para uma classe e +1 para a outra classe. Com isso quando uma amostra desconhecida é prevista com o modelo, ela assume um valor previsto em torno de -1 ou +1 e é atribuída a uma determinada classe usando um limite predefinido e otimizado (Alsaqri *et al.,* 2023).

3 METODOLOGIA

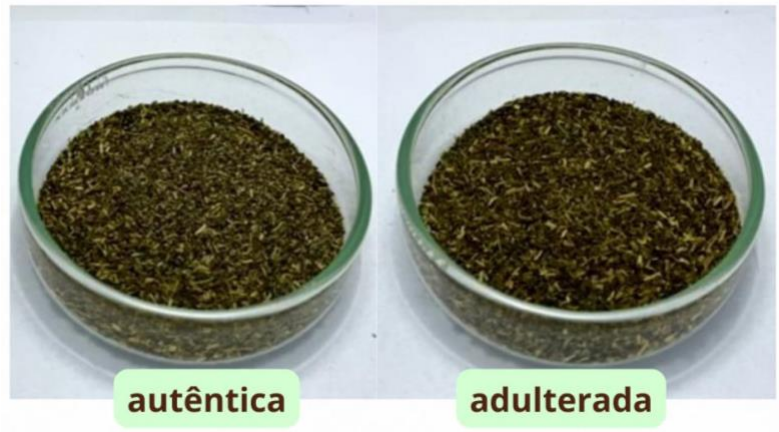
3.1 AMOSTRAS

A princípio dezessete amostras de chás verde e oito amostras do chá preto foram adquiridas em supermercados e feira livre do estado da Paraíba com lotes e fabricantes diferentes para assegurar a variabilidade deste estudo. Neste sentindo, ainda com intuito de ampliar o banco de dados, misturas foram realizadas, resultando em sua totalidade 129 amostras do chá verde sendo 65 autêntica e 66 adulteradas e 111 amostras do chá preto sendo 57 autênticas e 54 adulteradas a serem trabalhadas.

3.1.1 Chá verde

As amostras de chá verde foram homogeneizadas e peneiradas utilizando peneira em malha 25 e subsequentemente pesadas para manter o padrão de aproximadamente 2g cada e foram armazenadas. A partir disso, as amostras foram adulteradas com farinha de arroz glutinoso, variando a concentração entre 0,2% e 15% (Li *et al;* 2020) e peneiradas novamente e armazenadas nos seus saquinhos de origens.

FIGURA 3 - Imagens do chá verde obtidos pelo sistema de imagem.



Fonte: Autoria própria, 2023

3.1.2 Chá preto

As amostras de chá preto foram preparadas pelo método clássico (instrução do fabricante), no qual, os sachês adquiridos foram mergulhados em 100ml de água com temperatura entre 75 ± 5 °C, com o tempo estimado de três minutos, subsequentemente o saquinho foi retirado e resfriado em temperatura ambiente. As mesmas foram adulteradas com a solução de corante carmim, no qual é comumente utilizada na indústria alimentícia, onde para a sua utilização, foi diluído em dez vezes em concentração de 0,1 a 2% (Wei *et al;* 2020).

FIGURA 4 - Imagens do chá preto obtidos pelo sistema de imagem.



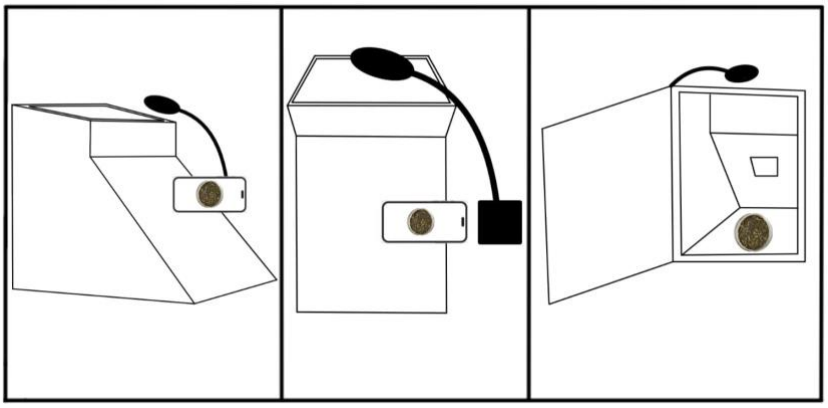
Fonte: Autoria própria, 2023.

3.2 AQUISIÇÕES DAS IMAGENS

Para a obtenção das imagens foi construído um sistema composto por uma caixa de madeira com abertura circular no centro, com objetivo de isolar as amostras da influência da luz externa e facilitar o controle da iluminação incidente sobre elas, no que foi revestida interiormente com papel ofício branco para promover a captura de todas as cores presentes na imagem.

No interior deste compartimento foram colocadas placas de petri com as amostras para a captura das fotos. Ainda uma lâmpada de led foi posicionada fora do suporte com objetivo de facilitar e uniformizar a iluminação. Por fim, um smartphone e um notebook permitiram comandar a captura das fotos e processamento de dados relacionado a todo o procedimento quimiométrico.

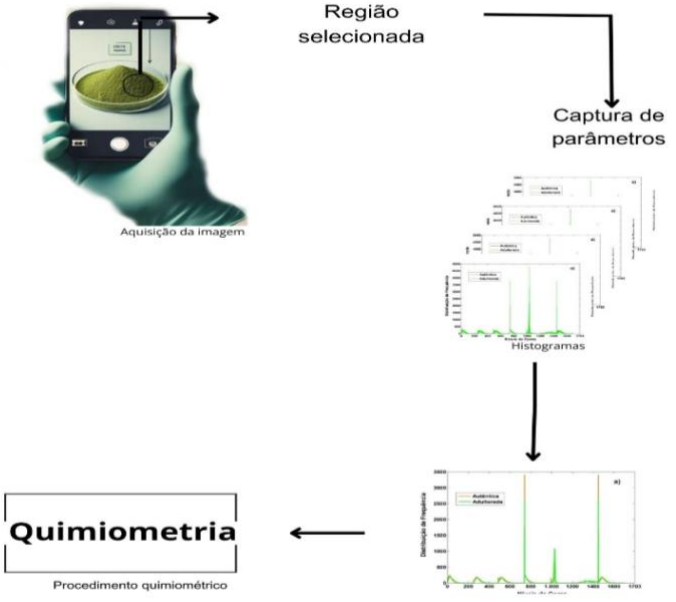
FIGURA 5 - Projeto do equipamento para aquisição das imagens



Fonte: Autoria própria, 2023.

Desta forma, cinco imagens foram capturadas por amostra, e cada uma delas foram divididas em histogramas correspondentes a uma região inerente da imagem, após isso foram realizados a média, ao final foi obtido um histograma para cada amostra, que desempenhou uma resposta instrumental para aquela amostra, como demonstrado a seguir na Figura 6.

FIGURA 6 - Passo a passo para análise da amostra através dos métodos citados.



Fonte: Autoria própria, 2023.

3.3 ANÁLISES QUIMIOMÉTRICAS

Os procedimentos de estudo foram aplicados para classificar os chás verde e preto separadamente, como autêntico e adulterados. Em ambos os casos, os conjuntos de dados foram divididos em subconjuntos de treinamento (60%) e teste (40%), usando o método clássico Kennard-Stone (KS) (Kennard e Stone, 1969). A Tabela 1 apresenta o número de amostras em cada classe nos dois chás.

TABELA 1 - Número de amostras de treinamento e teste em cada classe de chás.

CLASSES		**SUBCONJUNTOS**	
		TREINAMENTO	**TESTE**
CHÁ VERDE	Autêntica	40	25
	Adulterada	40	26
CHÁ PRETO	Autêntica	30	27
	Adulterada	30	24

Fonte: Autoria própria, 2023**.**

Foram realizados estudos iniciais para avaliar a capacidade de discriminar das componentes de cores utilizadas. Para isso, uma análise exploratória PCA foi construída, bem como modelos SPA-LDA e PLS-DA foram avaliados e comparados com base no uso das combinações de cores.

Os subconjuntos de treinamento e validação foram utilizados no procedimento de modelagem, enquanto o subconjunto de teste foi empregado para avaliação do desempenho dos modelos resultantes. A métrica de comparação dos modelos foi realizada em função da taxa de classificação correta (TCC) (**Equação 1**)**.**

$$\mathbf{TCC}\ (\%) = \frac{(\mathbf{Número\ de\ acertos\ de\ classificação})}{(\mathbf{Número\ total\ de\ amostras\ do\ subconjunto\ de\ teste})} \times \mathbf{100} \qquad \mathbf{(1)}$$

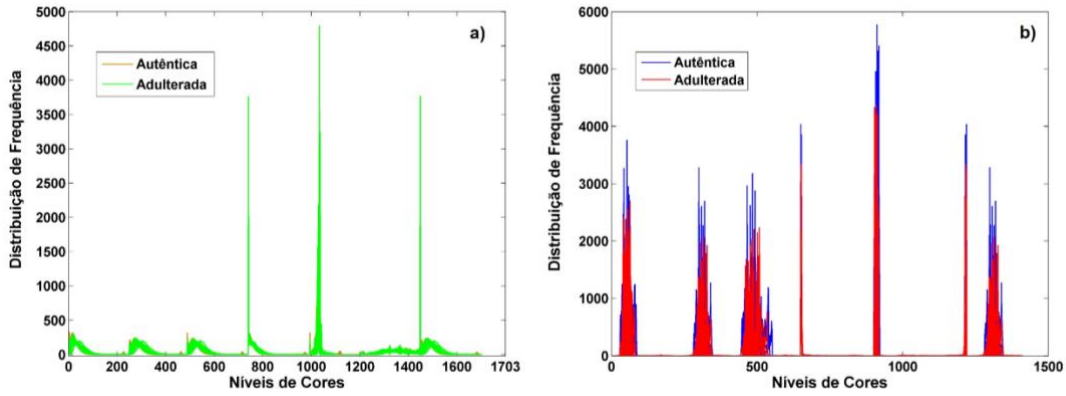
O SPA foi empregado de acordo com Pontes *et al.* (2005), e as amostras de treinamento foram utilizadas como critério para escolha do melhor subconjunto. O menor valor de erros de classificação foi avaliado para PLS-DA de acordo com Ballabio *et al.* (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 HISTOGRAMAS

A Figura 7 apresenta os histogramas das 130 amostras de chá verde adulterada (verde) e não adulterada (laranja) e 111 amostras de chá preto adulteradas (roxo) e não adulterada (azul) analisados. Esses histogramas obtidos possuem os níveis de cores (ou tons) cinza, R, G, B, H, S e V, respectivamente. Cada componente de cor possui 256 níveis de cores, podendo assumir o intervalo de 0 a 255, somando-se 1792 níveis de cores obtidos. Desta forma, como entre os níveis de cores ficaram variáveis de valor 0, estas foram removidas e os histogramas resultantes são apresentados abaixo (Figura 7).

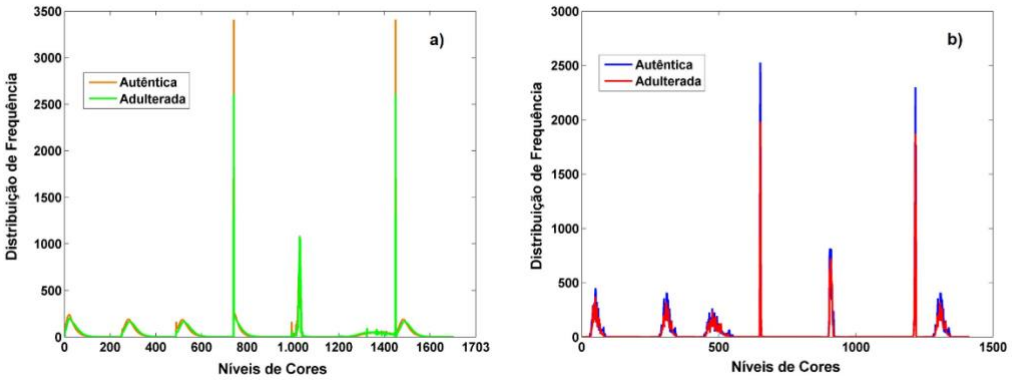
FIGURA 7 - Respectivas amostras decompostas em histogramas, para os segmentos de cores tons de cinza, R (Red), G (Green), B (Blue), H (Hue), S Saturation, e I (intensity).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Neste contexto, para melhor visualização, foram plotados histogramas médios para as amostras de chá verde e chá preto, apresentados na Figura a seguir.

FIGURA 8 - Histogramas médio referente as amostras adulteradas e não adulteradas do chá verde e preto respectivamente.

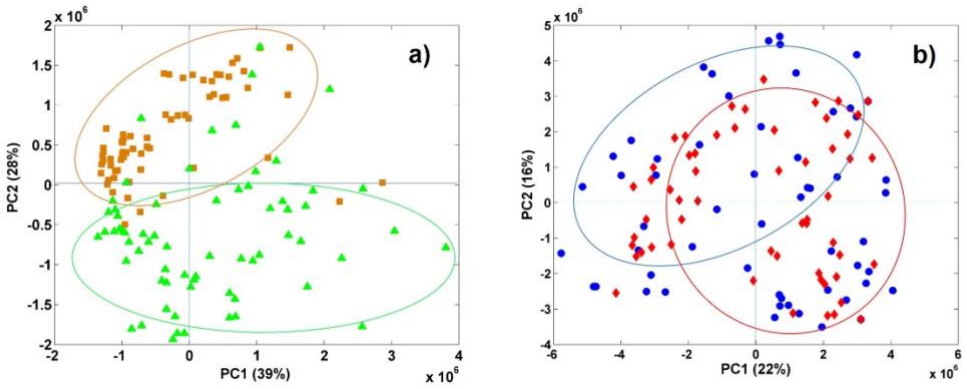


Fonte: Autoria própria, 2023.

Como pode ser observado, na Figura 8 para amostras de chá verde e chá preto os canais B (blue) e S (saturação) apresenta uma atenuação em sua frequência, isto se deve ao fato de os chás possuírem bastante clorofila que é uma pigmentação que confere a cor verde as plantas, capazes de absorver na região do uv-vis. A clorofila absorve na região do visível de 450-475nm e de 650-675nm (Zahir *et al.,* 2024) para que a cor verde seja percebida pelo olho humano, é importante que todos os comprimentos de onda que incide sobre a amostra, apenas o comprimento na cor azul seja absorvido, e os demais sofrem reflexão. Ainda, o canal S reflete a pureza da cor, portanto quanto maior é a saturação mais pura é a imagem.

Ainda, pode-se observar que tanto para o chá preto quanto para o chá verde, os histogramas apresentaram uma grande sobreposição para amostras autênticas e adulteradas, demonstrando assim que são semelhantes. Devido a similaridades nos histogramas, identificar se as amostras de chás estão adulteradas apenas por inspeção visual torna-se um desafio. Para isto, foi aplicado uma análise de componentes principais (PCA), com o intuito de verificar se cada grupo de chá formaria alguma tendência de agrupamento.

FIGURA 9 - Gráfico dos escores de pca (PC1XPC2) para todos os histogramas são apresentados. Desta forma, o primeiro gráfico é representado pelo chá verde, onde, as laranjas descrevem a classe das autênticas e verde adulterada, e ao lado o gráfico do chá preto, no qual, roxo (autênticas) e vermelho (adulteradas).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Para as amostras de chá verde (Fig 9.a) são observados formação de agrupamentos mais definidos quando comparado com o chá preto (Fig 9.b) que obteve um maior número se sobreposições das amostras autênticas e adulteradas.

Os resultados observados na PCA sugerem uma investigação baseada no emprego de técnicas de reconhecimento de padrões supervisionada com o intuito de melhor discriminas as classes de amostras autênticas e adulteradas, bem como construir modelos capazes de realizar previsões em amostras futuras.

4.2 ESCOLHA DA FAIXA DE TRABALHO

A partir dos dados de PCA, um estudo foi realizado para avaliar a capacidade discriminatória de todas as componentes de cores utilizadas. Para isso foi construído modelos de classificação baseados em LDA/SPA e PLS-DA usando componentes de cores individua e combinações. Com isso, a tabela a seguir apresenta a taxa de classificação correta obtida pelos modelos aplicados aos conjuntos de dados de treinamento e teste.

TABELA 2 - Obtenção da taxa de classificação através de LDA/SPA e PLS/DA das amostras avaliadas, destacando os resultados mais expressivos

CHÁ VERDE				
TAXA DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA (%)				
Componentes de cores	**LDA/SPA**		**PLS/DA**	
	Treinamento	**Teste**	**Treinamento**	**Teste**
CINZA+RGB +HSV	91%	90%	94%	96%
CINZA	84%	90%	86%	94%
RGB	92%	92%	96%	96%
HSV	91%	90%	90%	88%
CINZA+RGB	86%	92%	100%	94%
RGB+HSV	91%	90%	95%	88%
CHÁ PRETO				
TAXA DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA (%)				
Componentes de cores	**LDA/SPA**		**PLS/DA**	
	Treinamento	**Teste**	**Treinamento**	**Teste**
CINZA+RGB +HSV	87%	82%	100%	98%
CINZA	63%	61%	100%	100%
RGB	100%	100%	98%	100%
HSV	85%	88%	100%	98%
CINZA+RGB	100%	98%	100%	98%
RGB+HSV	85%	84%	100%	98%

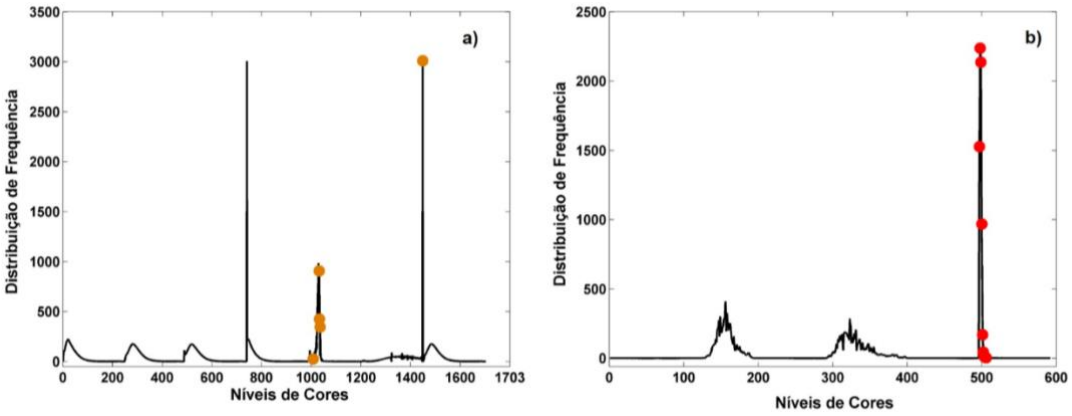
Fonte: Autoria própria, 2023.

De acordo com a tabela 2, os melhores resultados obtidos para o conjunto de treinamento e teste foram para todos os canais (cinza +RGB+HSV) e RGB, para chá verde e chá preto, respectivamente. Estes canais corroboram com o apresentado nos histogramas. Nas próximas seções serão apresentados os modelos de classificação detalhados apenas para estes canais.

Modelos LDA

A figura 10 apresenta as variáveis selecionadas e utilizadas na construção dos modelos de LDA/SPA para chá verde (a) e chá preto (b) na faixa de trabalho escolhida.

FIGURA 10 - Agrupamentos de dados através do linear selecionado.

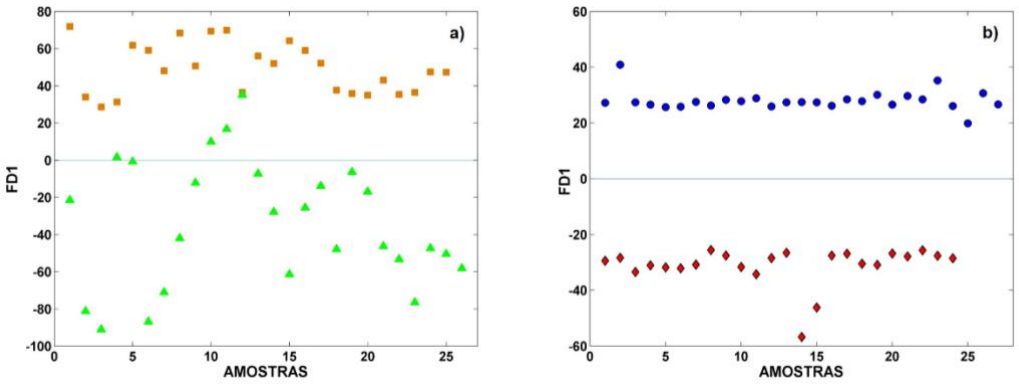


Fonte: Autoria própria, 2023.

Como observado na figura 9, as variáveis selecionadas corroboram com o que foi discutido na seção 4.1, o APS selecionou variáveis nos canais H e S para o chá verde, já para o chá preto foi selecionado variáveis no canal B, justamente o canal que tem relação com a clorofila, além disso conforme foi mencionado na metodologia (Figura 10) a cor do chá preto, um pouco avermelhada é a cor complementar do azul, portanto, o APS selecionou variáveis pertinentes ao estudo de caso. Ademais, para o chá preto o LDA/SPA obteve um acerto de 100% tanto para as amostras de treinamento quanto de teste, o que reforça ainda mais as escolhas das variáveis.

Imerso nessa análise, para melhor visualização a figura 11 apresenta os scores obtidos por LDA/SPA para amostras de teste chá verde e chá preto, respectivamente.

FIGURA 11 - Projeções das amostras coletadas por meio de LDA/SPA, onde as divisões das suas classes estão representadas por cores, no qual, para as autênticas do chá verde (laranja), adulteradas (verde) e para o chá preto autênticas (roxo) e adulteradas (vermelho).



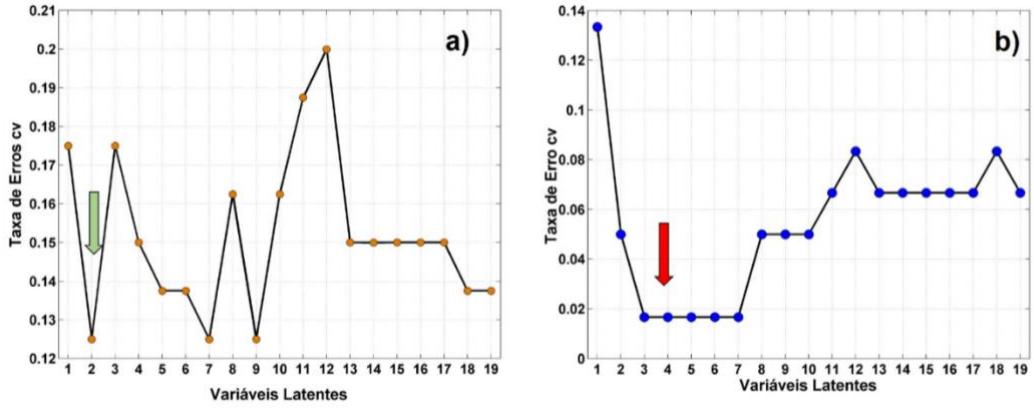
Fonte: Autoria própria, 2023.

É possível observar que na figura 11.A, para chá verde, foram obtidos quatro erros, onde um dos erros ficou bem próximo do limiar. No entanto, na figura 11.B para chá preto nenhum erro pode ser observado. Correlacionando com os dados que foram obtidos por PCA para chá preto, demonstrou a necessidade do uso de técnicas de reconhecimento de padrões, pois na PCA observa-se uma grande sobreposição de amostras e para LDA/SPA não aparece nenhum erro entre as amostras.

Modelos PLS-DA

A figura 12 apresenta o gráfico da taxa de erro para validação cruzada versus o número de variáveis latentes para o modelo PLS-DA. Tal curva exibe um mínimo no número ótimo dessas variáveis.

FIGURA 12 - Variáveis selecionadas através dos modelos pré-definidos.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Logo, a curva exibe a menor taxa de erro para o chá verde com 2 pc's e para chá preto com 3 pc's. A taxa de erro foi de 0,125% e 0,018% respectivamente.

Neste âmbito, na Tabela 2 são apresentados os resultados de maneira resumida para LDA/SPA e PLS-DA para o conjunto de teste das duas classes estudadas. Nesta tabela está expresso tanto o número de amostras corretas (classe previstas igual a classe correta) e classificações incorretas (classe prevista diferente da classe correta).

TABELA 3 - Resultados da classificação para o subconjunto de teste obtidos com modelos LDA/SPA e PLS-DA, para o grupo de chá verde e chá preto. A taxa de classificação correta obtida por cada modelo é indicada em parênteses. N é o número de amostras preditas empregadas neste estudo. O número de variáveis ou fator empregados em cada modelo é indicado entre parênteses.

Chá Verde		LDA-SPA (90%) (5)		PLS-DA (96%) (2)	
		Classe Predita		Classe Predita	
Classe Verdadeira	N	Autêntica	Adulterada	Autêntica	Adulterada
Autêntica	25	25	-	25	-
Adulterada	26	05	21	02	24
Chá Preto		LDA-SPA (100%) (7)		PLS-DA (100%) (3)	
		Classe Predita		Classe Predita	

Classe Verdadeira	N	Autêntica	Adulterada	Autêntica	Adulterada
Autêntica	27	27	-	27	-
Adulterada	24	-	24	-	24

Fonte: Autoria própria, 2023.

Como apresentado na tabela 3 o melhor resultado do modelo PLS-DA foi observado nas amostras de chá verde, já para as amostras de chá preto os dois modelos classificaram 100% das amostras de conjunto de teste, ou seja, todas as amostras foram classificadas corretamente em suas classes.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi sugerida uma metodologia com base em imagem digital associada a quimiometria, que se mostrou eficaz para a análise de chás preto e chá verde classificadas em adulterados e não adulterados. Nesse contexto, o sistema portátil foi elaborado para obtenção das imagens que preservou a qualidade da amostra como também resultou informações pertinentes das cores da mesma.

O estudo de PCA empregada ao histograma exibiu uma propensão de separação das amostras de chás adulteradas e autênticas. Entretanto, a aplicação dos métodos supervisionados propôs resultados mais satisfatórios, no que, para amostras de chá preto os modelos LDA/SPA e PLS-DA classificaram 100% corretamente as mesmas.

Por outro lado, para o chá verde o melhor resultado obtido foi por meio do PLS-DA que classificou 96% das amostras de forma assertiva. Em termos gerais, pode-se afirmar que, esta metodologia é simples, rápida, e de fácil execução, além de não exigir preparo da amostra e não ser destrutiva, atingindo assim os objetivos propostos por esse estudo, além de serem ecologicamente corretas abrangendo os princípios da química verde. Essas características a tornam válida, para sua utilização em órgão de fiscalização, produtores e consumidores devido a sua agilidade, confiabilidade e redução de custos como também para indústria de análise do controle de qualidade desses insumos.

REFERÊNCIAS

ALSAQRI, N.S. *et al.* Rapid detection of pork gelatin in ice cream samples by using non-destructive FT-NIR spectroscopy and Partial least squares-discriminant analysis. **Food Chemistry Advances.** 2023. doi.org/10.1016/j.focha.2023.100215

ANTUNES, C.M.M.O. *et al.* Low-cost device for the acquisition of digital images: Application in wine analysis. **Microchemical Journal**, v. 191, 2023.

AZEVEDO, R.S. *et al*. Análise multivariada da composição de bioativos em chá da espécie Camellia sinensis. **Química de Alimentos**. v. 273, p. 39-44, 2019.

BALLABIO, D.; CONSONNI, V. Classification tools in chemistry. Part 1: linear models PLS-DA. **Analitycal Methods**. v.5, p.3790, 2013.

BANSAL, A. *et al.* Quimiometria: Um novo cenário na padronização de fitoterápicos, **Jornal de Análise Farmacêutica**, v. 4, e. 4, p. 223-233, 2014.

BEEBE, K. R. *et al*. **Chemometrics:** a pratical guide. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1998.

BOTELHO, B. G. *et al.* Desenvolvimento e validação analítica de um método simples de calibração multivariada usando imagens de scanner digital para determinação de amarelo crepúsculo em refrigerantes. **Química Alimentar**. v. 159, p. 175-180, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA. RDC nº 259 de 20/09/2002. Dispõe sobre o regulamento técnico para rotulagem de alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2002.

Brasil. Farmacopéia brasileira, Atheneu 1, 1988.

BRERETON, R. G. Pattern recognition in chemometrics, Chemometrics and Intelligent **Laboratory Systems**, v 149, p. 90-96, 2015.

CASTRO, A. A. M.; PRADO, P. P. L. Algoritmos para reconhecimento de padrões. **Revista Ciências Exatas**, v. 5, p. 129, 2002.

CHAUDHARI, S. *et al*. Review on phytochemical and pharmacological activity of camellia. **Word Journal of Pharmaceutical Research**, v. 9, n. 11, p. 332-348, 2020.

DINIZ, P. H. G. Sistemas analíticos baseados em histogramas de cores assistidos por quimiometria. **Jornal quimiometria,** v. 2, n. 12, 2020.

FARAG, M. A. *et al.* Metabolomics in tea products; a compile of applications for enhancing agricultural traits and quality control analysis of Camellia sinensis. **Food Chem**. v. 15, n. 404, 2023.

FERNANDES, J. S. *et al.* Autenticação de chá e determinação de constituintes químicos usando assinaturas de impressão digital baseadas em imagem digital e quimiometria, **Química de Alimentos**, v. 421, 2023.

FIRMINO, L. A. **Avaliação da qualidade de diferentes marcas de chá verde (Camellia sinensis) comercializadas em Salvador-Bahia**. 2013. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos)- Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

FRANÇA, V. F. **Aplicação de imagens digitais e técnicas quimiométricas para detecção de adulteração em mel**. 2022. 39f. Monografia (Graduação em Química) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento digital de imagens. **São Paulo: Pearson Prentice Hall**, v. 3, 2014.

HSI-YA, H. *et al.* Determinação de oito corantes em bebidas lácteas por eletroforese capilar, **Jornal de Cromatografia A**, v. 959, e. 1–2, p. 317-325, 2002.

KARORI, S.M. *et al*. Antioxidant capacity of different types of tea products. **African Journal of Biotechnology**, v.6, p.2287-2296, 2007.

KENNARD, R. W.; STONE, L. A. Computer Aided Design of Experiments. **Technometrics**. v.11, n.1, p.137-148, 1969.

LI, L., *et al.* Potential of smartphone-coupled micro NIR spectroscopy for quality control of green tea. **Elsevier**, v. 247, 2021.

LUZ, M. N.; *et al.* Chá verde (Camellia sinensis): TRATAMENTO ALTERNATIVO DA OBESIDADE. **Unicatólica**, v. 3, n. 1, p. 1-5, 2016.

MACHADO, H. L. *et al*. Research and extension activities in herbal medicine developed by Rede FitoCerrado: rational use of medicinal plants by the elderly in Uberlândia-MG. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 16, n. 3, p. 527-533, 2014.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MILANEZ, K. D. T. M. **Óleos essenciais:** da extração a utilização. 2013. 87f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraiba, João Pessoa, 2013.

MOHAMED, A. F. et al. Metabolito em produtos de chá imã complicação de aplicativos para melhorar características agrícolas e análise de controle de qualidade de Camellia sinensis. **Química Alimentar**, v. 404, 2023

MOHAMED, M. *et al.* Autenticação e discriminação de amostras de chá verde usando técnicas de UV-vis, FTIR e HPLC juntamente com análise quimiométrica. **Jornal de Análise Farmacêutica e Biomédica**, v. 164, p. 653-658, 2019.

PASSARETTI FILHO, J. **Análise de imagens para fins analíticos:** aplicações ambientais e tecnológicas. 2015. 161p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Quimica, 2015.

PASSOS, J. L. *et al.* Uso da anatomia foliar no controle de qualidade do chá verde Camellia sinensis L. Kuntze (Theaceae). **Revista Fitos**, v. 16, n. 1, p. 18–28, 2022. Disponível em: http://www.revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/1124. Acesso em: 27 maio 2023.

PELUSO, I.; SERAFINI, M. Antioxidants from black and green tea: from dietary modulation of oxidative stress to pharmacological mechanisms. **Br J Pharmacol**. v. 174, n. 11, p. 11951208, 2017.

PONTES, M.J.C. *et al.* The successive projections algorithm for spectral variable selection in classification problems**. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**. v.78, n.1-2, p.11-18, 2005.

QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, H. M. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. **Revista RITA**, v. 8 n.1, p. 1, 2001.

SANTOS, M. F. C. *et al.* Perfil químico 1H HR-MAS NMR e análise quimiométrica como ferramenta para controle de qualidade de diferentes cultivares de chá verde (Camellia sinensis). **Química de Alimentos**, v. 408, 2023.

SANTOS, P. M. *et al.* Digital image analysis: Na alternative tool for monitoring milk authenticity. **Analytical Methods**, v. 5, p. 3669–3674, 2013.

SANTOS, R. X. *et al*. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de chás na cidade de Vitória da Conquista-Bahia. **Revista Fitos**, v. 12, n. 1, p. 8-17, 2018.

SARMA, A. *et al.* Das,Green tea: Current trends and prospects in nutraceutical and pharmaceutical aspects. **Journal of Herbal Medicine.** v.41, p.100694, 2023.

SILVA, A. C. *et al.* Detection of adulteration in hydrated ethyl alcohol fuel using infrared spectroscopy and supervised pattern recognition methods. **Talanta**, v. 93, n. 129, 2012.

SOLOMOM, C.; BRECKON, T. **Fundamentals of Digital Image Processing:** A Practical Approach with Examples in Matlab. 1st Edition. United States of America: John Wiley & Sons Ltd, 2011.

SOUSA, F. C. *et al.* Plantas medicinais e seus constituintes bioativos: Uma revisão da bioatividade e potenciais benefícios nos distúrbios da ansiedade em modelos animais. **Revista Brasileira de Farmacognosia,** v. 18, n. 4, p. 642-654, 2008.

SPINK, J.; Moyer, D. C. Definindo a ameaça à saúde pública da fraude alimentar. **Jornal of food Science**, v. 86 n. 9, 2011

THIRUVENGADAM, V. *et al.* Implementação de análise de ciclo de vida no processo de chá verde. **Helião**. v.9, n.5, p.e15450, 2023.

WEI, L. *et al*. Rapid Detection of Carmine in Black Tea with Spectrophotometry coupled Predictive Modelling. **Food Chemistry**, v. 329, 2020.

WU, X. *et al.* Caracterização de interações de ligação de (-)-epigalocatequina-3-galato de chá verde e lipase . **J Agric Food Chem**. v. 61, p. 8829–8835, 2013.

XU, C. *et al.* Avaliação de bioatividade in vitro e análise metabolômica não direcionada de chá verde processado a partir de diferentes maturidades de brotos de chá. **Elsevier**, v. 152, 2021.

YAMANISHI, T.; KOBAYASHI, A. Progress of tea aroma chemistry. **Flavor Chemistry**, p. 135–145, 1999.

ZHANG, K. *et al.* Análise e aplicação de pré-alerta em sistemas de rastreabilidade para cadeias produtivas de produção de alimentos. **Sistemas Especialistas com Aplicações**, v. 38, e. 3, p. 2500-2507, 2011.

ZHAO, Y. *et al.* Characterizing relationships among chemicals, sensory attributes and in vitro bioactivities of black tea made from an anthocyanins-enriched tea cultivar. **LWT**, v. 132, 2020.

ZHU, Z. *et al.* Potencial da espectroscopia micro NIR acoplada a smartphone para controle de qualidade de chá verde. **Spectrochimica Acta**, v. 247,2022.