



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**MARIA CELLY DOS SANTOS SILVA**

**AUTENTICAÇÃO DE BEBIDAS COMERCIAIS DE LARANJA UTILIZANDO  
IMAGENS DIGITAIS E RECONHECIMENTO DE PADRÕES**

**CAMPINA GRANDE  
2023**

MARIA CELLY DOS SANTOS SILVA

**AUTENTICAÇÃO DE BEBIDAS COMERCIAIS DE LARANJA UTILIZANDO  
IMAGENS DIGITAIS E RECONHECIMENTO DE PADRÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Licenciatura em Química da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Química.

**Área de concentração:** Química Analítica.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone da Silva Simões.

**Coorientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Welma Thaíse Silva Vilar.

**CAMPINA GRANDE  
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586a Silva, Maria Celly dos Santos.  
Autenticação de bebidas comerciais de laranja utilizando  
imagens digitais e reconhecimento de padrões [manuscrito] /  
Maria Celly dos Santos Silva. - 2023.  
25 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
Química) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de  
Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Profa. Dra. Simone da Silva Simões,  
Departamento de Química - CCT. "

1. Adulteração. 2. Imagens digitais. 3. Quimiometria. I.  
Título

21. ed. CDD 540

MARIA CELLY DOS SANTOS SILVA

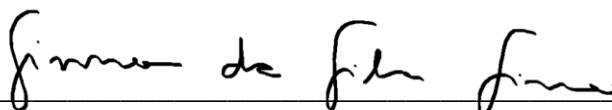
AUTENTICAÇÃO DE BEBIDAS COMERCIAIS DE LARANJA UTILIZANDO  
IMAGENS DIGITAIS E RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)  
apresentado à Coordenação do Curso de  
Graduação em Licenciatura em Química  
da Universidade Estadual da Paraíba,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Licenciada em Química.

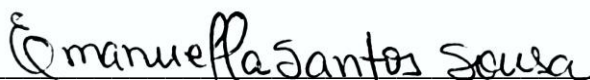
Área de concentração: Química Analítica.

Aprovada em: 30/11/2023.

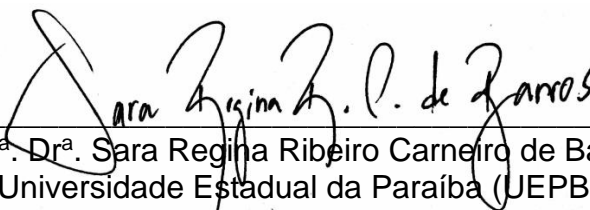
**BANCA EXAMINADORA**



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone da Silva Simões  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)  
Orientadora



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Emanuella Santos Sousa  
Universidade Regional do Cariri (URCA)  
Banca Examinadora



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sara Regina Ribeiro Carneiro de Barros  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)  
Banca Examinadora

À minha família e aos que fazem parte desta conquista, pelo apoio, confiança, abrigo e amizade, DEDICO.

"É possível que a nossa era seja reconhecida como altamente significativa devido ao domínio de novas formas de energia, como a elétrica e a química. No entanto, não me surpreenderia se, para os observadores do futuro, o acontecimento mais marcante de nosso tempo fosse o surgimento da consciência de que existe uma humanidade com uma missão a cumprir na face da Terra."

- Pierre Teilhard de Chardin

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Sucos comerciais de laranja</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.1</b>	<b><i>Propriedades dos sucos de laranja</i></b> .....	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Química analítica no controle de qualidade de sucos</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Imagem digital</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4</b>	<b>Quimiometria</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Amostras</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Aquisição das imagens</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Análises Quimiométricas</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Histogramas</b> .....	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>Escolha da faixa de trabalho</b> .....	<b>18</b>
<b>4.3</b>	<b>Modelos LDA</b> .....	<b>19</b>
<b>4.4</b>	<b>Modelos PLS-DA</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>21</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>22</b>
	<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>25</b>

## AUTENTICAÇÃO DE SUCOS DE LARANJA COMERCIAIS UTILIZANDO IMAGEM DIGITAL E RECONHECIMENTO DE PADRÕES

Maria Celly dos Santos Silva<sup>1</sup>

### RESUMO

Em decorrência do Brasil ocupar uma posição de destaque como um dos principais consumidores globais de suco de laranja, vale ressaltar a importância de desenvolver técnicas analíticas capazes de detectar de forma simples e rápida possíveis adulterações. Tendo em vista que um dos desafios associados à qualidade dos alimentos é a sua adulteração, que pode ocorrer por substituição de ingredientes de maior custo por outros de menor valor causando prejuízos econômicos e nutricionais ao consumidor. Este trabalho traz uma abordagem inovadora, utilizando imagens digitais obtidas por um aparelho celular para detecção de adulterações em sucos de laranja por suco de maçã e caju. Para isso, foram analisadas 141 amostras, incluindo sucos autênticos (puros) e adulterados. As imagens digitais de todas as amostras foram obtidas a partir de smartphone. Os modelos LDA/SPA e PLS/DA foram desenvolvidos em ambiente Matlab® e alcançaram 100% de taxa de classificação correta. O estudo realizado mostra relevância tanto para a comunidade científica quanto para os órgãos fiscalizadores responsáveis pela identificação de fraudes. Além disso, contribui para, dentro outras atribuições, o avanço de metodologias de detecção de adulterações, promovendo a segurança alimentar e as decisões conscientes dos consumidores. Como sugestões para futuras pesquisas, sugere-se a exploração de outros tipos de adulterantes, como xaropes e corantes.

**Palavras-chave:** adulteração; imagens digitais; quimiometria.

### ABSTRACT

Given Brazil's prominent position as one of the leading global consumers of orange juice, it is noteworthy to emphasize the importance of developing analytical techniques capable of detecting possible adulterations in a simple and rapid manner. Considering that one of the challenges associated with food quality is adulteration, which can occur through the substitution of higher-cost ingredients with lower-value ones, leading to economic and nutritional losses for the consumer. This study presents an innovative approach using digital images obtained from a smartphone for the detection of adulterations in orange juice with apple and cashew. A total of 141 samples, including authentic (pure) and adulterated juices, were analyzed. Digital images of all samples were captured using a smartphone. The LDA/SPA and PLS/DA models were developed in the Matlab® environment and achieved a 100% correct classification rate. The conducted study is relevant for both the scientific community and regulatory authorities responsible for fraud detection. Additionally, it contributes to advancing adulteration detection methodologies, promoting food safety, and enabling informed consumer decisions. As suggestions for future research, exploring other types of adulterants, such as syrups and dyes, is recommended.

**Keywords:** adulteration; digital images; chemometrics.

---

<sup>1</sup> Graduanda em Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual da Paraíba.  
Email: [mariacelly018@gmail.com](mailto:mariacelly018@gmail.com)



## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização da produção de sucos no Brasil teve início de maneira incipiente na década de 50, sendo significativamente impulsionada e alvo de investimentos na década subsequente. Tal impulso pode ser atribuído, em parte, ao estilo de vida urbano, caracterizado pela busca por conveniência e otimização do tempo, influenciado pela mídia na disseminação de informações sobre as vantagens percebidas desses produtos, como preservação de sabores consistentes e possibilidade de consumo em qualquer lugar de forma prática (Teixeira,2007).

Para Carmo (2014) a continuidade do crescimento do mercado de sucos industrializados nas décadas subseqüentes reflete a consolidação dessas bebidas como elementos fundamentais nos hábitos alimentares da população, reforçando a influência do estilo de vida moderno nesse cenário. No entanto, o aumento do consumo também levanta questões relativas aos impactos na saúde, fazendo-se necessárias escolhas conscientes por parte dos consumidores (Carmo,2014).

Um dos desafios associados à qualidade dos alimentos reside na prática da adulteração, que pode manifestar-se por meio da substituição de ingredientes de maior custo por outros de menor valor e pela incorporação de substâncias com o intuito de aprimorar a qualidade, pela eliminação não comunicada de componentes, e até mesmo pela contaminação (Queiroz, 2009).

A adulteração de sucos é considerada uma prática histórica visando ganhos econômicos, foi destacada por Manning & Soon (2014) como uma problemática que evoluiu ao longo dos séculos. Inicialmente, essa prática envolvia a simples diluição com água e açúcar, mas recentemente incorpora manipulações mais sofisticadas, como a adição de sucos de frutas mais acessíveis, concebidos para disfarçar a natureza ilícita do processo, conforme observado por Queiroz (2009).

No âmbito dos sucos, as adulterações mais recorrentes incluem a adição de água, açúcares, extratos secundários de frutas e corantes, dentre outros. Sacarose, xarope de milho rico em frutose e açúcar invertido figuram entre os açúcares frequentemente incorporados aos sucos (Manning & Soon, 2014).

Em consonância, Miaw (2018) argumenta que as bebidas elaboradas a partir de frutas são produtos altamente suscetíveis à adulteração, uma vez que a probabilidade de adulteração aumenta proporcionalmente ao grau de diluição do produto.

Soria *et al* (2008) discute que devido a composição química de bebidas à base de frutas e a grande variação natural das mesmas, pode ocorrer a adição de outras frutas, muitas vezes, de menor preço objetivando diminuir o custo de produção, ou com características sensoriais que não impactem o produto final.

No Brasil, a fiscalização dos sucos está a cargo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que é responsável pelo registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de bebidas, incluindo sucos. O MAPA atua para assegurar a conformidade com as regulamentações e padrões estabelecidos, visando garantir a qualidade e segurança dos produtos consumidos pela população (Brasil, 2019).

Kirtil *et al.* (2017) evidenciam a morosidade, custo elevado e impacto ambiental das técnicas tradicionais de detecção de adulteração em bebidas à base de frutas, ressaltando a pertinência de métodos analíticos não destrutivos, eficientes e ambientalmente responsáveis.

Diante disso, o objetivo desse estudo é avaliar a eficácia de análises por meio de imagem digital na detecção de adulterações em sucos. Conforme observado por

Daniel (2019), as técnicas fundamentadas em imagens digitais surgem como uma perspectiva promissora na análise de alimentos e diversos produtos, caracterizando-se especialmente pela não invasividade, rapidez e baixo custo.

Estudos anteriores conduzidos por Rios (2022) ressaltaram a aplicabilidade dessa abordagem no controle de qualidade de diversos produtos alimentícios, abrangendo desde batatas fritas e azeites até grãos de cereais, óleos vegetais, sementes de mamona e vegetais, entre outros. Essas investigações majoritariamente se fundamentam na utilização de informações provenientes de modelos de cores, associadas a técnicas de reconhecimento de padrões, para agrupar ou classificar amostras em categorias, com base em padrões de similaridade (Daniel, 2009).

Uma perspectiva promissora para superar as limitações dos métodos convencionais de análise de alimentos é a integração simultânea de técnicas com a quimiometria. Essa associação tem o potencial de oferecer abordagens que são ágeis, não invasivas, isentas de solventes e reagentes, com geração reduzida ou nula de resíduos (Gonçalves, 2015).

Diante do panorama delineado, a pesquisa investiga a autenticação de sucos, especificamente de laranja, mediante análises de imagem digital, emergindo como um estudo de relevância primordial para a comunidade científica e para os órgãos responsáveis pela detecção de adulterações, uma vez que o crescimento substancial na industrialização e consumo desses produtos, conjuntamente com as práticas correntes de adulteração expostas, destaca a imperatividade de métodos de controle de qualidade inovadores e eficientes.

A utilização de técnicas não invasivas, de rápida implementação e baixo custo, como as baseadas em imagem digital, representa um avanço significativo, alinhando-se à demanda por metodologias mais eficazes e ecologicamente responsáveis, conforme abordado por Kirtil *et al.* (2017).

No contexto delineado, a pesquisa proposta não apenas supre uma lacuna no domínio da autenticação de sucos de laranja, mas também contribui substancialmente para a segurança alimentar e salvaguarda dos consumidores. Além disso, responde aos desafios impostos pela complexidade das práticas de adulteração na indústria de bebidas, como também fomenta decisões mais informadas por parte dos consumidores, promovendo um paradigma de escolhas conscientes no cenário alimentício atual.

Apesar da ampla utilização de imagens digitais em diversas situações, ainda há uma demanda significativa por pesquisas que explorem aplicações no monitoramento de sucos, com foco especial na detecção de adulteração em sucos de laranja. Este estudo tem como objetivo primordial contribuir para o avanço de metodologias que empregam imagens digitais adquiridas por meio de *smartphones*.

Em síntese, esse estudo representa um passo significativo em direção ao aprimoramento das técnicas de detecção e quantificação de adulteração em sucos de laranja, utilizando abordagens inovadoras e práticas com potencial impacto no campo científico e educacional.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Sucos comerciais de laranja**

Considerada uma das frutas mais cultivadas globalmente, a laranja, originária da Ásia, foi introduzida no Brasil durante o período de colonização pelos portugueses. Conforme citado pela Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos

(CitrusBR, 2019), as condições ambientais propícias para a vegetação e produção contribuíram significativamente para sua disseminação no país. Na atualidade, diversas variedades de laranja, tais como Bahia, Pêra, Natal, Valência, Hamlin, Westin e Rub, são amplamente encontradas no território brasileiro. A variedade desses tipos de laranja reflete a notável adaptabilidade dessa fruta ao ambiente brasileiro (Silva, 2009).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), o Brasil detém a posição de maior produtor global de laranja e é também líder nas exportações de suco de laranja. As exportações ultrapassaram a marca de US\$1,4 bilhão em relação ao ano anterior. A safra de laranja atingiu 16.707.897 toneladas, com um rendimento médio de 29.174 kg por hectare em 2020.

Em decorrência, o Brasil ocupa a posição de destaque como principal produtor global de xarope de laranja, notabilizando-se pela produção de produtos de alta qualidade. Os produtores dedicam esforços contínuos para aprimorar e aperfeiçoar seus produtos, visando manter-se no topo da lista como referência em frutas e sucos de alta qualidade em escala mundial. (Rissato *et al.*, 2021).

No contexto brasileiro, são categorizadas como sucos industrializados as bebidas à base de frutas que, conforme sua concentração e composição, estão sujeitas a regulamentações específicas. Essas regulamentações e denominações são estabelecidas pelo Decreto da Presidência da República número 6.871, de 4 de junho de 2009, e pela lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994.

Os sucos à base de frutas no Brasil são categorizados de acordo com suas características organolépticas e processamento. Os sucos integrais, em conformidade com as normativas estabelecidas pelo MAPA (2019), representam a integridade da fruta, sendo obtidos exclusivamente da matéria-prima utilizada, sem adição de açúcares, corantes ou água.

Por outro lado, os sucos concentrados passam por um processo físico para remover a água, elevando em pelo menos 50% o teor de sólidos solúveis presentes no suco integral, conforme regulamentação do Decreto de 2009. Quanto aos néctares, definidos pela legislação brasileira de 2002, são bebidas não fermentadas obtidas pela diluição em água potável da parte comestível do vegetal e açúcares, podendo conter ácidos, com quantidades mínimas de sucos variáveis de acordo com o tipo de fruta (Miaw, 2018).

O grande cultivo da fruta no Brasil, resulta na ampla disponibilidade de sucos e néctares de diferentes marcas no mercado. As legislações brasileiras (Brasil, 2000, 2003, 2013) estabelecem definições para produtos como sucos e néctares por meio do "Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade".

Segundo esse regulamento, suco de laranja é a bebida não fermentada e não diluída, obtida da parte comestível da laranja (*Citrus sinensis*), através de processo tecnológico adequado, enquanto Néctar é definido como bebida não fermentada, obtida da diluição em água potável da parte comestível do vegetal ou de seu extrato, adicionado de açúcares, destinada ao consumo direto".

Para o suco de laranja, é permitida a adição de açúcar em até 10%. Enquanto para a designação de "suco integral" é reservada para o suco sem adição de açúcar, mantendo sua concentração natural (Brasil, 2013).

Esta seção abordou a relevância da produção de laranjas no Brasil, destacando sua introdução durante o período colonial, a adaptação bem-sucedida ao ambiente brasileiro e a posição do país como principal produtor global e líder nas exportações de suco de laranja. Além disso, foram apresentadas as categorias de sucos à base de frutas no Brasil, regidas por normativas específicas. A próxima seção é a adulteração

nos sucos, examinando os desafios associados à preservação da integridade e qualidade diante de práticas ilícitas.

### **2.1.1 Propriedades dos sucos de laranja**

Conforme enfatizado por Sugai et al. (2002), o suco de laranja é reconhecido como um alimento saudável, pois contém nutrientes em quantidades suficientes. No contexto específico do suco de laranja, os teores de gordura, colesterol e sódio estão em conformidade com as recomendações diárias estabelecidas pela Anvisa (2001), que são: 80 g, 300 mg e 2.400 mg, respectivamente. Os mesmos autores, Sugai et al. (2002), identificaram que a laranja é rica em nutrientes como vitamina B, potássio e fibras, tornando-a uma excelente fonte alimentar de vitamina C. Essa combinação de nutrientes essenciais, de acordo com os padrões estabelecidos, reforça o perfil saudável do suco de laranja.

Além disso, na laranja, estão presentes carotenoides, que pertencem à categoria de corantes naturais, representando uma escolha vantajosa para promover o consumo saudável de alimentos pela população. Este grupo é composto por aproximadamente 700 membros, apresentando pigmentos naturais com tonalidades que variam entre amarelo, laranja e vermelho (Mesquita; Teixeira; Servulo, 2017).

Conforme Morais (2006), nas frutas, como as laranjas, destacam-se dois tipos de carotenoides, sendo o  $\beta$ -caroteno (por exemplo, presente em manga, goiaba e laranja) e a  $\beta$ -criptoxantina (encontrada em mamão papaia, pitanga, cajá). Além disso, na laranja, é possível evidenciar a presença de outro carotenoide, o licopeno. O  $\beta$ -caroteno é reconhecido como o precursor mais potente da vitamina A, enquanto o licopeno é um carotenoide com propriedades antioxidantes, desempenhando um papel crucial na proteção contra doenças neurodegenerativas ao combater os radicais livres gerados pelo estresse oxidativo (Santos et al., 2019).

Neste sentido, o  $\beta$ -caroteno emerge como o principal carotenoide presente nos alimentos (Sun et al., 2018; Rocha e Reed, 2014). Os carotenoides oferecem benefícios à saúde humana, incluindo melhorias no sistema imunológico, proteção da pele e preservação da saúde ocular (Fontana et al., 2000). Além disso, a laranja é reconhecida como uma fonte significativa de ácido ascórbico, conhecida popularmente como vitamina C, que fortalece a mucosa e favorece as atividades das células do sistema imunológico, sendo associada à mitigação dos sintomas gripais (Miaw, 2018). A presença de cálcio na composição da laranja contribui para a integridade estrutural dos ossos, promovendo uma adequada formação muscular e sanguínea.

O betacaroteno, um fitonutriente responsável pela coloração característica da fruta, exerce efeitos preventivos contra o câncer e eventos cardiovasculares. O consumo diário de suco de laranja é também indicado para favorecer o aumento do colesterol de alta densidade (HDL) e a redução do colesterol de baixa densidade (LDL), enquanto os antioxidantes presentes na fruta otimizam o funcionamento vascular, contribuindo para a prevenção de doenças cardíacas (Neves, et al., 2010).

A vitamina C desempenha um papel crucial na defesa imunológica, oferecendo suporte a diversas funções celulares nos sistemas imunológicos inato e adaptativo, além de participar em múltiplas ações fisiológicas e antioxidantes. Sua influência estende-se à promoção da saúde da pele e mucosas, contribuindo para o processo de cicatrização de feridas, desempenhando um papel essencial na proteção do organismo contra infecções e impactando na absorção de ferro (Jesus et al., 2021). Em suma, os indivíduos têm uma necessidade vital de vitamina C, também conhecida

como ascorbato, como componente essencial de sua dieta. A deficiência decorrente de uma ingestão inadequada está correlacionada a uma variedade de sintomas, evidenciando as múltiplas funções atribuídas a essa vitamina (Grosso et al., 2013).

## 2.2 Química analítica no controle de qualidade dos sucos

A incorporação de imagens digitais na pesquisa em química aplicada a alimentos, notadamente em sucos, representa uma inovação de destaque nos métodos analíticos. A crescente demanda por técnicas não invasivas e eficientes no controle de qualidade impulsionou o desenvolvimento de abordagens baseadas em imagem (Hoppe, 2021).

A capacidade das imagens digitais em capturar informações visuais complexas tem sido particularmente marcante na investigação de sucos, revelando padrões de cores e texturas que refletem diretamente a composição e autenticidade do produto (Daniel, 2009). Esta abordagem não apenas oferece vantagens práticas, como baixo custo e rapidez, mas também contribui para a evolução da pesquisa na interface entre química analítica e tecnologias de imagem digital.

Recentes estudos exemplificam essa tendência inovadora. Rios et al. (2022) demonstraram a viabilidade econômica e didática da utilização de imagens digitais para quantificar a porcentagem de azeite de oliva em misturas adulteradas com óleo de soja. A estratégia de combinar amostras comerciais em uma única amostra foi crucial, resultando em modelos robustos e representativos. Em pesquisa conduzida por Burkhardt e Lenzi (2018), a aplicação da análise de imagem na avaliação quantitativa da mistura de óleo de oliva e canola mostrou-se promissora, com modelos matemáticos lineares desenvolvidos a partir de informações combinadas de espectros de absorvância e imagens digitais.

Cordeiro (2020) explorou a utilização de imagens digitais aliadas à calibração multivariada por PLS para a determinação de propriedades em amostras de farinha de trigo. Essa abordagem ofereceu uma alternativa vantajosa aos métodos convencionais, com resultados lineares validados e sem a geração de resíduos. Embora essas inovações permitam avanços substanciais em análises quantitativas, é essencial destacar que, em algumas aplicações, a informação coletada baseia-se em alterações físicas, não substituindo métodos analíticos mais detalhados, como espectroscopia (Rios, 2022).

Esses estudos convergem para um panorama promissor na integração de imagens digitais, UV-visível e técnicas de cromatografia gasosa, oferecendo análises mais realistas e abrangentes em diversas áreas da química aplicada a alimentos.

## 2.3 Imagem digital

Na área da química, a alteração na coloração desempenha um papel crucial como indicador, tanto para evidenciar a ocorrência de reações químicas quanto para determinar as concentrações de analitos. No contexto da determinação de concentrações, emprega-se a técnica da colorimetria, que consiste na medição da cor.

Essa abordagem utiliza a absorção molecular de espécies coloridas quando expostas à radiação eletromagnética monocromática. É relevante destacar que o fenômeno associado à absorção inclui também a influência da reflexão, pois ambas as ocorrências são interligadas de maneira significativa. Portanto, a radiação refletida

fornece informações relevantes sobre a concentração do analito colorido presente na amostra em análise (Daniel,2009).

Conforme delineado por Daniel (2009), uma imagem é a representação visual de um objeto tridimensional sobre uma superfície plana, caracterizando-a como uma representação bidimensional. Uma imagem digital é uma representação de uma cena por meio de um conjunto de elementos discretos e de tamanhos finitos, chamados de pixels, colocados em um arranjo bidimensional. A cada pixel é associado um valor, no caso de imagens de tons de cinza, ou um conjunto de três valores (R – red, G – green, B - blue) para se representar uma cor.

Em outras palavras, segundo Rios (2022), uma imagem digital é formada pela junção de diversos pixels, também conhecidos como elementos de imagem em inglês (*picture elements*). A quantidade de pixels está diretamente relacionada à resolução da imagem. Conforme abordado por Rios (2022), os métodos analíticos empregados para quantificar espécies químicas em amostras coloridas, como colorimetria, fotometria ou espectrofotometria, apresentam custos consideráveis em comparação com abordagens baseadas em imagens digitais (Gonzalez e Woods,2014).

Nesse contexto, dispositivos comerciais simples, como câmeras digitais, webcams, scanners e smartphones, desempenham um papel crucial como detectores genéricos, permitindo a obtenção eficiente de informações relevantes de maneira rápida. A maioria desses dispositivos utiliza o sistema de cores RGB, composto pelas cores vermelho (R, Red), verde (G, Green) e azul (B, Blue). Além do custo mais acessível, o uso de imagens digitais provenientes de celulares destaca-se pela versatilidade, simplicidade, rapidez e pela viabilidade de medidas *in situ* (Rios, 2022).

## 2.4 Quimiometria

Conforme abordado na seção 2.3, os resultados obtidos por meio de imagens digitais são representados em forma de histogramas de cores, apresentando uma complexidade que dificulta a interpretação, demandando a aplicação da quimiometria para uma análise mais aprofundada.

A definição de Quimiometria, segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, do inglês International Union of Pure and Applied Chemistry), é a ciência que relaciona medidas obtidas em sistema ou processo químico via aplicação de métodos estatísticos e matemáticos. Seu propósito é o planejamento ou seleção otimizada de experimentos, bem como a extração máxima de informações químicas a partir da análise de dados multivariados (Germano et al, 2023).

Uma perspectiva promissora para contornar as limitações dos métodos convencionais de análise de alimentos é a integração simultânea de técnicas instrumentais de análise com a quimiometria. Essa associação tem o potencial de oferecer abordagens que são ágeis, não invasivas, isentas de solventes e reagentes, com geração reduzida ou nula de resíduos (Gonçalves, 2015).

Além disso, tais métodos requerem um mínimo de preparação prévia da amostra, proporcionando suficiente precisão e sensibilidade com menor intervenção humana. Além da função de quantificação, a quimiometria apresenta utilidade na detecção de adulterações, na determinação de denominação de origem e na classificação de diversas matrizes. (Ferreira, 2015).

Na quimiometria, empregam-se tanto técnicas supervisionadas quanto não supervisionadas para a análise de dados químicos complexos. As abordagens supervisionadas envolvem a utilização de informações prévias, como dados de treinamento, para orientar o modelo na interpretação dos resultados. Já as técnicas

não supervisionadas exploram padrões e estruturas nos dados sem depender de informações externas, permitindo uma análise mais exploratória e reveladora. Essa combinação de abordagens proporciona uma ampla gama de ferramentas na quimiometria, adaptando-se às diferentes naturezas e objetivos dos conjuntos de dados químicos em estudo (Ferreira, 2015). Neste trabalho, foram utilizadas a Análise de Componentes Principais (PCA) para análise não supervisionada, e a análise discriminante linear (LDA) com seleções de variáveis e a Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais - PLS-DA para análise supervisionada.

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma técnica Quimiométrica utilizada para explorar e reduzir a dimensionalidade de conjuntos de dados multivariados. Seu principal objetivo é identificar os padrões de variação mais significativos nos dados, representando-os por meio de componentes principais ortogonais. Ao realizar essa redução de dimensionalidade, a PCA simplifica a interpretação dos dados, destacando as principais fontes de variação e permitindo uma visualização mais clara das relações entre as variáveis. Essa abordagem é valiosa na análise de dados químicos complexos, facilitando a identificação de tendências e padrões essenciais para a compreensão e interpretação de fenômenos químicos. (Beebe, K.R. et al., 1998; Pareira, T.F., 2003). Para tanto, uma abordagem mais direcionada à discriminação de classes é requerida, portanto as técnicas supervisionadas apresentam resultados satisfatórios para esta análise.

A análise discriminante LDA-SPA é empregada para identificar as características distintas entre os membros de um grupo e outro, permitindo prever a qual grupo um novo indivíduo pertence com base em suas características conhecidas. O objetivo principal dessa análise é estimar uma combinação linear de duas ou mais variáveis independentes que, de maneira otimizada, consiga separar ou distinguir dois ou mais grupos de observações ou casos já definidos (Hair, Jr. J.F., 2005; Mingoti, A.S., 2013).

A Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais - PLS-DA consiste em identificar variáveis latentes no espaço multivariado da matriz, que representa as variáveis independentes. Nesse contexto, essas variáveis estão associadas a medidas espectroscópicas na região do ultravioleta e visível, ou a imagens digitais, e correlacioná-las com as variáveis dependentes da matriz, que representam os índices das classes. Isso é realizado por meio da aplicação do método de Mínimos Quadrados Parciais (PLS). Consequentemente, estabelece-se um limiar de confiança para cada classe, com base nos valores previstos pelo modelo PLS-DA. Em seguida, calcula-se a probabilidade de um determinado valor pertencer à classe previamente definida (Ribeiro, 2009).

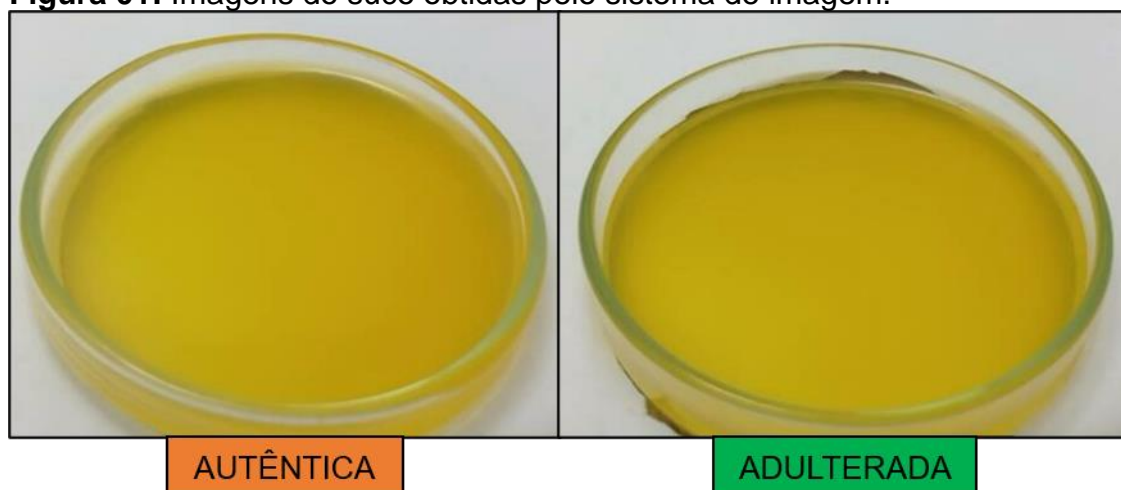
### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Amostras**

Vinte amostras de suco néctar de laranja foram adquiridas em supermercados do Estado da Paraíba com lotes e fabricantes diferentes para assegurar a variabilidade deste estudo. Neste sentido, ainda com intuito de ampliar o banco de dados, misturas binárias foram realizadas, resultando em sua totalidade 141 amostras sendo 71 autênticas e 70 adulteradas.

Para as adulterações foram utilizados suco néctar de maçã e caju na proporção de 1- 30% (v/v), sete níveis de adulteração foram realizados nesse intervalo variando de 5% cada (Figura 01).

**Figura 01:** Imagens do suco obtidas pelo sistema de imagem.



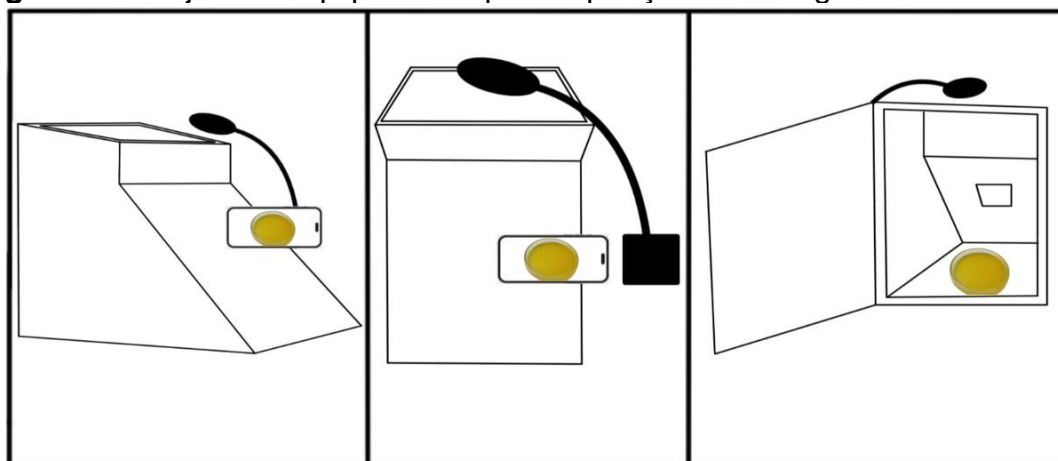
Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

### 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, para isso, também, foi realizado o revestimento do interior da caixa com papel ofício branco para promover a captura de todas as cores presentes na imagem.

Dentro desse espaço, foi inserido placas de Petri contendo as amostras para a captura das fotografias. Adicionalmente, uma lâmpada de LED foi colocada fora do suporte com o propósito de facilitar e uniformizar a iluminação. Por fim, a captura das fotos e o processamento dos dados relacionados a todo o procedimento quimiométrico foram realizados por meio de um smartphone e um notebook (figura 02).

**Figura 02:** Projeto do equipamento para aquisição das imagens

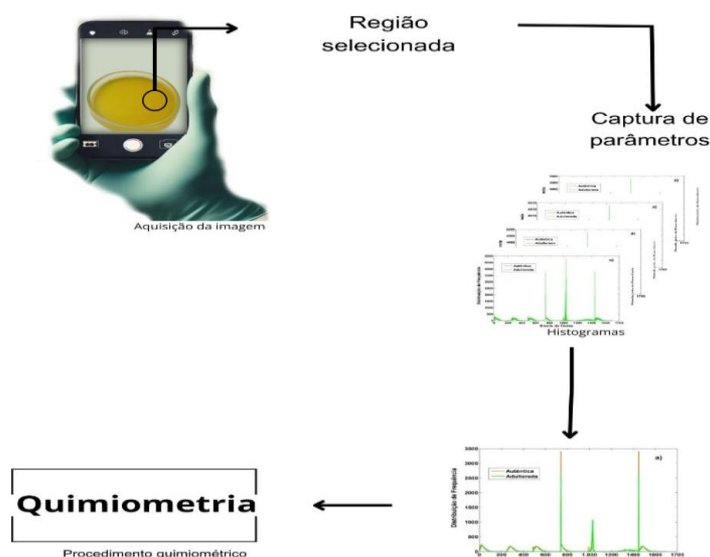


Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Assim, cada amostra foi registrada em cinco imagens, sendo que cada uma delas foi subdividida em histogramas associados a regiões específicas da imagem. Posteriormente, realizou-se a média desses histogramas, resultando, ao final, em um histograma representativo para cada amostra. Esse histograma constituiu uma resposta instrumental única para a respectiva amostra, conforme ilustrado na Figura 03.



**Figura 03:** Passo a passo para análise da amostra através dos métodos citados.



Fonte: Adaptado de Milanez, 2013.

### 3.3 Análises Quimiométricas

Nos procedimentos de análise foram empregados para categorizar sucos de forma individual, distinguindo entre autênticos e adulterados. Os conjuntos de dados foram fragmentados proximidade em subconjuntos de treinamento (60%) e teste (40%) por meio do método clássico de Kennard-Stone (KS) (Kennard e Stone, 1969). A tabela 01 exibe a quantidade de amostras em cada classe.

**Tabela 01:** Número de amostras de treinamento e teste em cada classe de sucos.

CLASSES	SUBCONJUNTOS	TREINAMENTO		TESTE	
		TREINAMENTO	TESTE	TREINAMENTO	TESTE
SUCO	AUTÊNTICA	40	31		
	ADULTERADA	40	30		

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Foram realizados estudos iniciais para avaliar a capacidade de discriminar os 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 que 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**).

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

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

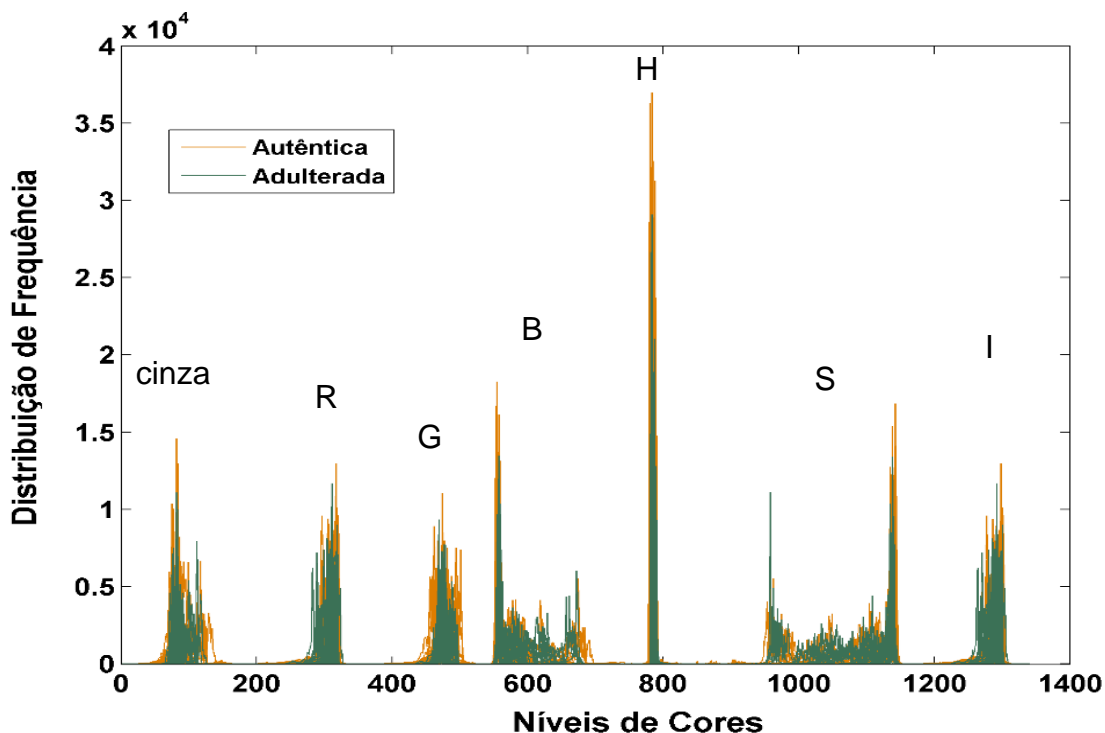
O SPA foi empregado de acordo com Pontes et al. (2005), e as amostras de treinamento foram utilizadas como critério para escolha do melhor subconjunto. O menor valor de erros de classificação foi avaliado para PLS-DA de acordo com Ballabio *et al* (2013). Os algoritmos foram realizados nos programas matlab® 7.10 e The Unscrambler® X.1 (CAMO S/A).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Histogramas

A Figura 04 exibe os gráficos de barras correspondentes às 141 amostras de suco, distinguindo entre as adulteradas (representadas em verde) e as não adulteradas (destacadas em laranja). Estes gráficos ilustram os diferentes níveis de Modelo de cores (RGB) - verde, vermelho e azul Modelo de cores HSV - de Hue (H), Saturation (S) e Value (V). matiz (Comprimento de onda da cor dominante tonalidade), saturação (pureza da cor -quantidade de luz branca) e valor (brilho - luminância). Cada componente de cor possui uma escala de 256 níveis, variando de 0 a 255, resultando em um total de 1792 níveis de cores. Para aprimorar a análise, os valores 0 foram eliminados entre os níveis de cores, e os histogramas resultantes estão apresentados na figura subsequente (Figura 04).

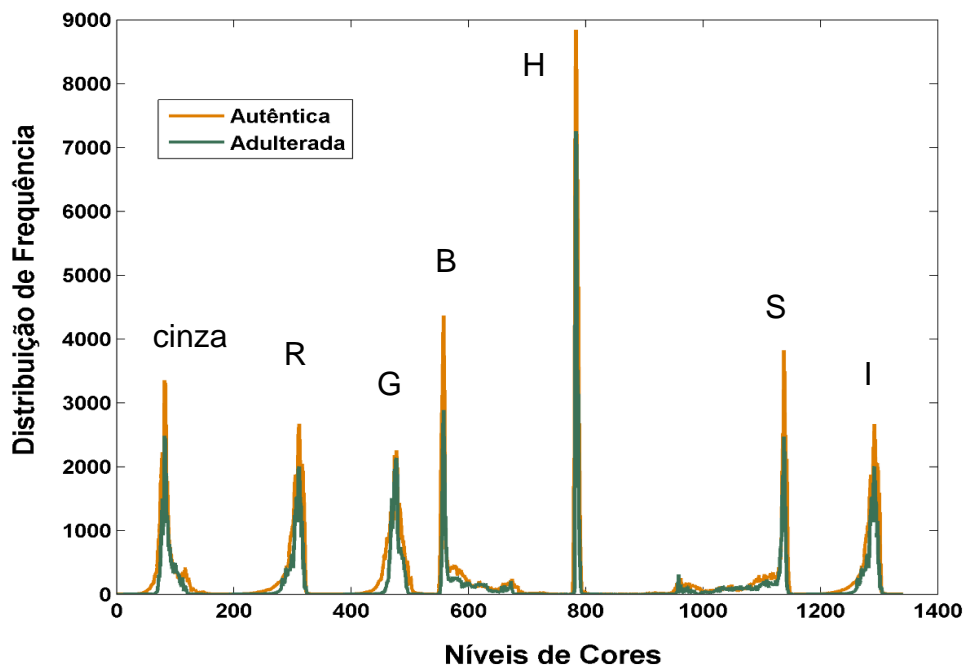
**Figura 04:** Distribuição de frequência



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Para melhor visualização, foram plotados histogramas médios para as amostras de suco adulteradas e não adulteradas, apresentados na Figura 05.

**Figura 05:** Distribuição de frequência em histogramas médios.



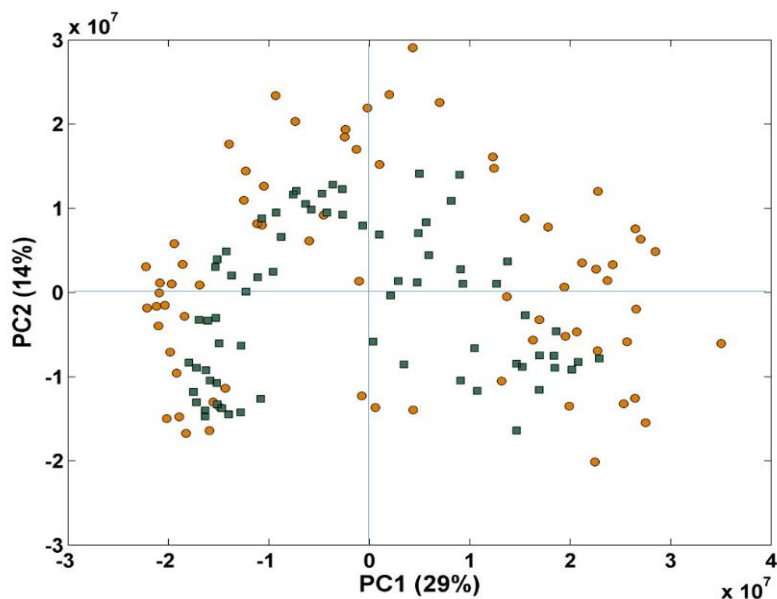
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Como pode ser observado, na Figura 05 para amostras de sucos os canais B (blue) e H (Hue) apresenta uma atenuação em sua frequência, isto se deve ao fato de os sucos possuírem uma cor amarelada, proveniente dos carotenóides mais precisamente o betacaroteno que é um pigmento que confere esta cor as frutas. Os carotenóides absorvem na região de 400-500 nm, onde a cor azul (canal B) do sistema RGB também é absorvida, ainda a cor amarela alaranjada é a cor complementar do azul (Moretto e Fett, 1998).

Para o comportamento no canal H, pode estar relacionado também a composição química dos sucos, uma vez que o canal Hue consiste na cor perceptível para os humanos, portanto reforça ainda mais a presença dos carotenóides. Além disso, os sucos néctar industrializados podem conter teores de corantes, o mais utilizado é o corante tartrazina que também absorve na região dos carotenóides (Santos, 2021).

Devido a similaridades nos histogramas, identificar se as amostras de suco estão adulteradas apenas por inspeção visual torna-se um desafio. Para isto, foi aplicado uma PCA com o intuito de verificar se formaria alguma tendência de agrupamento. Na Figura 06, o gráfico dos escores de PCA (PC1XPC2) para todos os histogramas são apresentados.

**Figura 06:** Escores de PCA.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Na figura 06 são observados uma grande sobreposição entre as amostras autênticas e adulteradas. Tais resultados sugerem o emprego de técnicas de reconhecimento de padrões supervisionada com o intuito de melhor discriminar 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 individuais e combinações. A tabela 02 apresenta a taxa de classificação correta obtida pelos modelos de classificação aplicados aos conjuntos de dados de treinamento e teste.

**Tabela 02:** Taxa de classificação correta de suco néctar.

<b>SUCO NÉCTAR</b>				
<b>TAXA DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA (%)</b>				
Componentes de cores	LDA/SPA		PLS/DA	
	Treinamento	Teste	Treinamento	Teste
<b>CINZA+RGB+HSV</b>	98,7%	98,4%	100% (4)	100%
<b>CINZA</b>	90	90	100% (5)	100%
<b>RGB</b>	87,5%	78,92%	100%(5)	100%
<b>HSV</b>	98,7%	100%	100% (5)	100%
<b>CINZA+RGB</b>	90%	80,5%	100% (5)	100%
<b>RGB+HSV</b>	97,5%	87%	100% (4)	100%

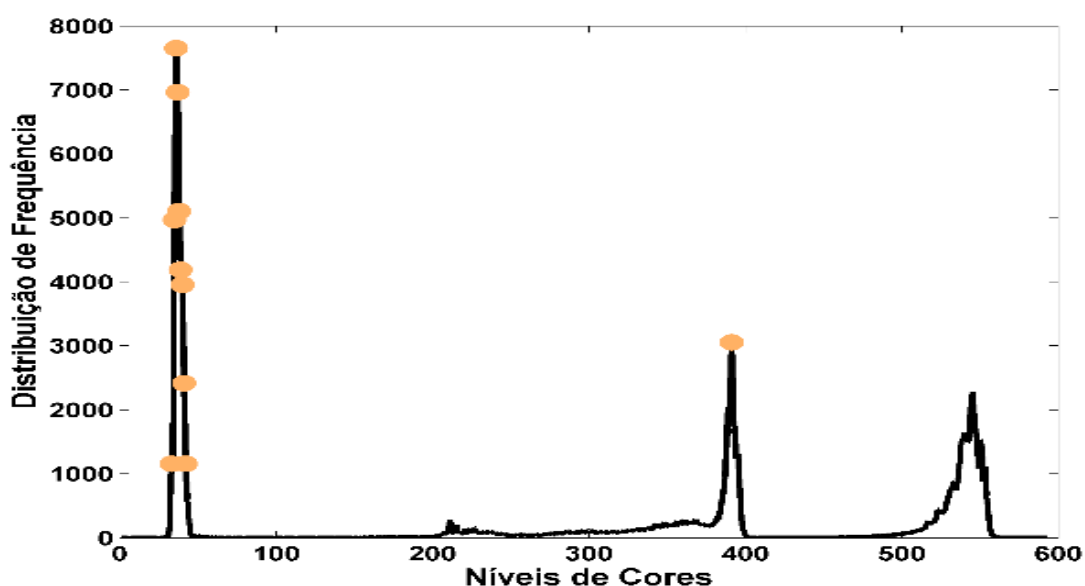
Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

De acordo com a tabela 02, os melhores resultados obtidos para o conjunto de treinamento e teste para os modelos simultaneamente foi a combinação HSV. Estes canais corroboram com o apresentado nos histogramas (figura 07). Nas próximas seções serão apresentados os modelos de classificação detalhados apenas para estes canais.

### 4.3 Modelos LDA

A figura 07 apresenta as variáveis selecionadas e utilizadas na construção dos modelos de LDA/SPA para sucos autênticos e adulterados.

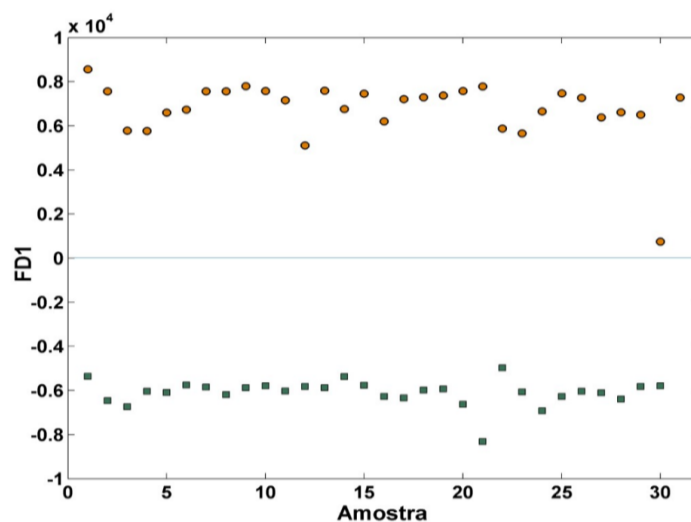
**Figura 07:** Variáveis selecionadas e utilizadas na construção dos modelos de LDA/SPA.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Como observado na figura 07, as variáveis selecionadas corroboram com o que foi discutido na seção 4.1 (seção dos histogramas médios), o APS selecionou variáveis no canal H e uma no S justamente o canal que tem relação com a cor produzida pelos carotenoides, portanto o APS selecionou variáveis pertinentes ao estudo de caso. Ademais, ambos os modelos obtiveram resultados satisfatórios com TCC de 100% para amostras de teste. Para melhor visualização a figura 08 apresenta os scores obtidos por LDA/SPA para amostras de teste sucos.

**Figura 08:** Scores obtidos por LDA/SPA para amostras de teste sucos.



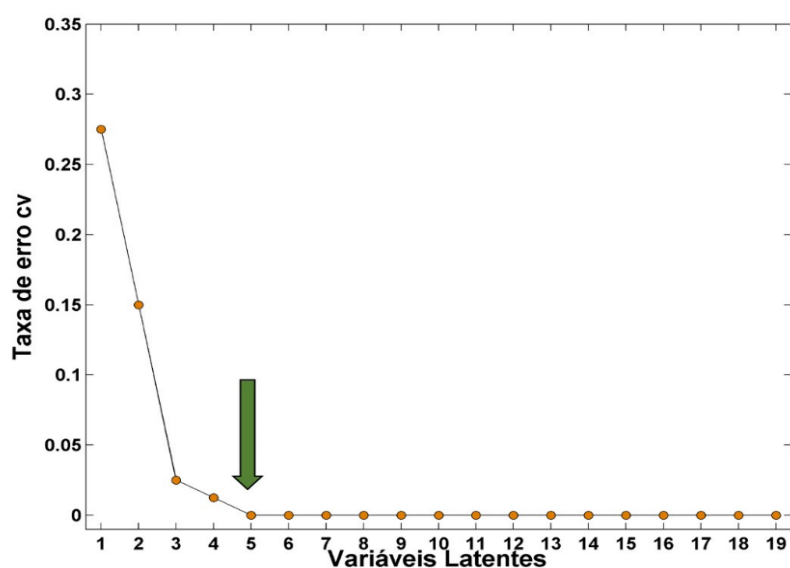
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

É possível observar na figura 08 que não foi obtido nenhum erro para o LDA/SPA, apesar de uma amostra ter sido localizada bem próxima ao limiar. Quando comparados ao gráfico de PCA, as amostras apresentaram uma distância menor entre a sua classe e maior entre as classes, reafirmando que o uso de técnicas de reconhecimento de padrões faz-se necessário.

#### 4.4 Modelos PLS-DA

A figura 09 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 de variáveis latentes.

**Figura 09:** Taxa de erro para validação cruzada versus o número de variáveis latentes para o modelo PLS-DA.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A curva exibe a menor taxa de erro com 5 pc's com um valor próximo de 0.

Na Tabela 03 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 03:** Resultados da classificação para o subconjunto de teste obtidos com modelos LDA/SPA e PLS-DA, para o grupo de suco autênticas e adulteradas. A taxa de classificação correta obtida por cada modelo é indicada em parênteses. N é o número de amostras preditas empregadas neste estudo.

Sucos néctar Laranja		LDA-SPA (100%)		PLS-DA (100%)	
		Classe Predita		Classe Predita	
Classe Verdadeira	N	Autêntica	Adulterada	Autêntica	Adulterada
Autêntica	31	31	-	31	-
Adulterada	30	-	30	-	30

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023.

Como apresentado na tabela 03, para as amostras de teste tanto o LDA-SPA e o PLS-DA apresentaram resultados satisfatórios, alcançando 100% da taxa de classificação correta, demonstrando assim que são eficientes para identificar adulterantes em sucos néctar de laranja utilizando imagens digitais.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, por meio dos histogramas resultantes e histogramas médios, revelaram-se cruciais para distinguir amostras autênticas de amostras adulteradas no escopo deste estudo. Contudo, ao aplicar a Análise de Componentes Principais (PCA), foi observada uma considerável sobreposição entre as duas classes de amostras. Este fenômeno destaca a necessidade de aprimoramento das técnicas de análise para garantir uma discriminação mais robusta.

A utilização dos modelos de classificação baseados em LDA/SPA e PLS/DA revelou-se eficaz, conferindo uma capacidade discriminatória abrangente a todas as componentes de cores. Notavelmente, a combinação dos canais de cores no espaço de cores HSV (Hue, Saturation, Value) destacou-se como a configuração mais promissora para a análise de autenticidade de amostras.

Ambos os modelos demonstraram resultados satisfatórios, alcançando uma taxa de classificação correta de 100%, validando assim a robustez do método proposto. Isso reforça a aplicabilidade do método na detecção de adulterantes nas amostras analisadas.

Considerando os resultados alcançados neste estudo, sugerem-se investigações adicionais para expandir a abordagem analítica. Dentre as sugestões, destaca-se a exploração de outros tipos de adulterantes comumente encontrados em produtos, como xaropes e corantes. A inclusão desses elementos na análise pode enriquecer a compreensão da capacidade discriminatória do método proposto em cenários mais complexos.

Essas sugestões visam a expansão e aprimoramento da metodologia proposta, buscando consolidar uma abordagem versátil e eficiente para a detecção de adulterações em sucos, com potencial impacto positivo em áreas como controle de qualidade e segurança alimentar, além de contribuir para química analítica verde.

## REFERÊNCIAS

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – **Resolução – RDC nº 40 (Rotulagem)**, de 21 de março de 2001.

BALLABIO, Davide; CONSONNI, Viviana. **Classification tools in chemistry**. Part 1: linear models. PLS-DA. *Analytical methods*, v. 5, n. 16, p. 3790-3798, 2013.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa No 01, de 07 de janeiro de 2000**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2000.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa No 12, de 04 de setembro de 2003**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2003.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa No 42, de 11 de setembro de 2013**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2013.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 jun. 2009. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 1994**. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [Internet]. Decreto nº 3.510, de 16 de junho de 2000. Altera dispositivos do Regulamento aprovado pelo **Decreto nº 2.314, de 4 de setembro de 1997**, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas.

BEEBE, K. R.; PELL, R. J.; SEASHOLTZ, M. B. *Chemometrics—a practical guide*: Jon Wiley & Sons. **Inc. New York**, 1998.

BURKHARDT, GUILHERME M.; LENZI, MARCELO K. Uso da imagem digital para quantificação de misturas de azeite de oliva e óleo de canola. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 35, 2018.

CARMO, Mônica Cristina Lopes do; DANTAS, Maria Inês de Souza; RIBEIRO, Sônia Machado Rocha. Caracterização do mercado consumidor de sucos prontos para o consumo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 305-309, 2014



CITRUSBR . Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítrico. Laranja e suco. Disponível em : <<http://www.citrusbr.com/laranjaesuco/?ins=20> >. Acesso em 02 abr. 2019.

CORDEIRO, Leticia Darlla et al. **Calibração multivariada e imagens digitais no controle de qualidade de farinha de trigo**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DANIEL, Gregory B. Digital imaging. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 39, n. 4, p. 667-676, 2009.

FERREIRA, Marcia Miguel Castro. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Editora da UNICAMP, 2015.

FONTANA, J.; MENDES, V.S, PERSIKE, S.D. et al.. Carotenóides. *Biocombustíveis: Ciência e Desenvolvimento*, 40-45, 2000.

VERAS, Germano et al. Perfil cientométrico da Quimiometria no Brasil. **Química Nova**, v. 45, p. 1315-1321, 2023.

GONÇALVES, Maria Ivanda Silva et al. **Aplicações de imagens digitais e análise multivariada para classificação e determinação de parâmetros de qualidade em plumas de algodão**. 2015.

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

GROSSO, G.; BEI, R.; MISTRETTA, A.; MARVENTANO, S.; CALABRESE, G.; MASUELLI, L.; GIGANTE, M. G.; MODESTI, A.; GALVANO, F.; GAZZOLO, D. **Effects of Vitamin C on health: a review of evidence**. *Frontiers In Bioscience*, v. 18, n. 3, p. 10-17. 2013.

HAIR, JR. J.F. *Análise Multivariada de dados*, tradução da 5a ed, São Paulo, Editora Bookam, 593, 2005.

HOPPE, Thaynara Dannehl et al. **O uso de imagens digitais na química: um experimento didático para a determinação de proteínas em amostras de alimentos**. 2021.

IBGE, **Produção de laranja**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producaoagropecuaria/laranja/br>>. Acesso em 17 de novembro de 2023.

KIRTIL, Emrah et al. Recent advances in time domain NMR & MRI sensors and their food applications. **Current Opinion in Food Science**, v. 17, p. 9-15, 2017.

JESUS, M. N.; ROCHA, A. C. F. F.; CAMPOS, S. B.; SANTANA, T. F. V.; PLÁCIDO, G. R. Vitamina C e a relação com a imunidade e como agente preventivo da Covid-19 (Sars-Cov2). *Research, Society and Development*, Minas Gerais, v.10, n.5, p.1-8. abr. 2021.

KENNARD, Ronald W.; STONE, Larry A. Computer aided design of experiments. **Technometrics**, v. 11, n. 1, p. 137-148, 1969.

MANNING, Louise; SOON, Jan Mei. Developing systems to control food adulteration. **Food Policy**, v. 49, p. 23-32, 2014.

MIAW, Carolina Sheng Whei et al. Detection of adulterants in grape nectars by attenuated total reflectance Fourier-transform mid-infrared spectroscopy and multivariate classification strategies. **Food chemistry**, v. 266, p. 254-261, 2018.

MESQUITA, S. da S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. **Carotenoides: propriedades, aplicações e mercado**. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 2, p. 672-688, 2017.

MINGOTI, A.S.; **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada**. Uma abordagem aplicada, v.2, 2a ed, p. 200- Editora UFMG, LTDA. (2013).

MILANEZ, Karla Danielle Tavares de Melo et al. **Classificação de óleos vegetais comestíveis usando imagens digitais e técnicas de reconhecimento de padrões**. 2013.

MORAIS, Flávia Luisa de. Carotenoides: características biológicas e químicas. 2006.

MORETTO, Eliane; FETT, Roseane. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998.

NEVES, M. F. et al. O retrato da Citricultura no Brasil. Citrusbr, 2010.

PARREIRA, T. F. **Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada Campinas**; São Paulo: UNICAMP. (2003). p.120: il (Dissertação de Mestrado em Química).

PONTES, Márcio José Coelho 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, Elvio Cardoso et al. Determinação da razão isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  em bebidas comerciais a base de laranja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1085-1094, 2009.

RIOS, Carlos Alberto et al. **EXPERIMENTO DIDÁTICO DE QUIMIOMETRIA EMPREGANDO IMAGENS DIGITAIS OBTIDAS POR CELULAR PARA DETERMINAR ADULTERAÇÃO DE AZEITE DE OLIVA COM ÓLEO DE SOJA: UM TUTORIAL, PARTE VI**. Química Nova, v. 45, p. 1167-1176, 2022.

RISSATO, A.B; COQUEIRO, M; SANTANA, Na; ALVARES, V.; **Exportações de suco de laranja concentrado brasileiro**. Área temática: Temas Transversais. IV Simpósio Sul-Mato-Grosso de Administração. Administração Inovadora e Sustentável: Análise e Perspectivas. 2021.

RIBEIRO, J. S. Previsão de diferentes atributos sensoriais ligados à qualidade do café arábica brasileiro utilizando-se métodos analíticos distintos e ferramentas quimiométricas. Campinas, S P: UNICAMP. (2009). p.264: il (Tese de Doutorado em Química Analítica).

ROCHA, D. S.; REED, E. **Pigmentos naturais em alimentos e sua importância para a saúde**. Estudos, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 76-85, 2014.

SANTOS, Kayanne Maria S. et al. **Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio. Química Nova na Escola,[S. I.]**, v. 43, n. 4, p. 411-417, 2021.

SANTOS, Fabrine Dias et al. Quantificação de B-caroteno e licopeno em variedades de laranjas. 2019.

SILVA, Allan Deyws Francisco da et al. **Potencial para uso industrial e consumo in natura de variedades cítricas e genômica comparativa de espécies da família Rutaceae**. 2019.

SORIA, A. et al. Chromatographic Technique: Gas Chromatography (GC). In: SUN, D.W. **Modern Techniques for Food Authentication**, Hardbound: Academic Press, 2008, p. 321-359.

SUGAI, Áurea Y. et al. Análise físico-química e microbiológica do suco de laranja minimamente processado armazenado em lata de alumínio. **Food Science and Technology**, v. 22, p. 233-238, 2002.

SUN, T. et al. Carotenoid Metabolism in Plants: The Role of Plastids. **Molecular Plant**, v. 11, n. 1, p. 58–74, 2018.

TEIXEIRA, Raquel Mara. Uma abordagem do cenário geral de sucos industrializados no contexto da alimentação saudável. 2007.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, meu guia e abrigo em todas as situações.

À minha família que me acompanhou em todas as minhas dores, certezas e incertezas durante este percurso e que me deram a base necessária para a minha formação acadêmica, pessoal e profissional. Em especial à minha mãe Maria Aparecida Barbosa dos Santos Silva, por ter prezado sempre pela minha educação.

Aos professores e, sobretudo, às Simone da Silva Simões e Welma Thaíse Silva Vilar, que moldaram minha intelectualidade durante esta etapa.

À Karina e Laís pela imensa contribuição na parte experimental do trabalho.

Aos meus colegas de curso Annely Gianni, Francycellen Oliveira, Maciel Silvestre, Marina Gonçalves e Rodeliano Barbosa, pela parceria e aprendizado, durante este processo.

À Universidade Estadual da Paraíba, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para este feito.