



ANA CAROLINA BRAGA DE LIMA

**PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE MATURAÇÃO DE AZEITONAS
USANDO IMAGENS DE CÂMERA DE SMARTPHONE**

LAVRAS – MG

2019

ANA CAROLINA BRAGA DE LIMA

**PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE MATURAÇÃO DE AZEITONAS
USANDO IMAGENS DE CÂMERA DE SMARTPHONE**

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

Prof. Dr. Cleiton Antônio Nunes
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me guiado, iluminado e ter sido minha força ao longo de todo o caminho.

A minha mãe, por ser um exemplo de mulher, por apoiar todos meus sonhos e por ter se dedicado tanto para que eu pudesse alcançá-los.

A Karen, minha irmã e amiga, que sempre esteve ao meu lado, por acreditar no meu potencial, por sempre me dar força para vencer as dificuldades e por comemorar cada conquista comigo.

A toda a minha família e meus amigos, por compartilharem momentos e por de alguma forma terem me ajudado a tornar essa etapa melhor. A cada um que de perto ou de longe esteve junto comigo.

A todos meus amigos da turma de Engenharia de Alimentos 2014/1. Agradeço a Milena por ter sido tão companheira nessa etapa final, por compartilhar as dificuldades e vitórias diárias, por nossas viagens em busca do nosso sonho e por me lembrar do quanto somos capazes.

A Universidade Federal de Lavras, por todo suporte. Ao Núcleo de Estudos em Materiais para Indústria de Alimentos e ao Centro Acadêmico de Engenharia de Alimentos, pelo conhecimento, pelas amizades que me proporcionaram e por terem contribuído para o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos professores e técnicos, pelos ensinamentos e por serem exemplos de profissionais. Em especial ao professor Cleiton, por ter aceitado me orientar e auxiliar ao longo desse projeto.

A Thais, que acreditou na minha capacidade, me ajudou nessa etapa e por ter compartilhado seus aprendizados comigo.

A todo que de alguma forma contribuíram para a realização e conclusão desse projeto, muito obrigada!

RESUMO

O índice de maturação da azeitona é um fator determinante para a obtenção da azeitona de mesa e do azeite de oliva devido as diferentes composições químicas e sensoriais nos variados níveis de maturação. Uma forma de estimar o índice de maturação é através da cor do fruto, que varia de verde intenso a preto-violáceo. O método mais utilizado para definir o índice de maturação é através da inspeção visual, por ser um método simples, mas com pouca precisão. Este trabalho propõe a utilização do sistema de cores RGB associado a metodologias quimiométricas de calibração e classificação multivariada para prever o índice de maturação dos frutos através de análise de imagens digitais. A metodologia analisada propõe uma forma de prever o índice de maturação utilizando tecnologia de baixo custo, de fácil acesso, precisa e utilizando métodos não destrutivos. As imagens das azeitonas com e sem pele em 6 estágios de maturação determinados por inspeção visual foram obtidas utilizando celular e em seguida foram extraídos os parâmetros RGB médios de cada imagem. A predição do índice de maturação através da Análise Discriminante Linear teve um baixo desempenho, sendo que para o método baseado na cor da pele da azeitona o sucesso global foi de 64,44% e para aquele baseado na cor da polpa foi de 54,76%. Ao utilizar a Regressão Linear Múltipla para prever o índice de maturação conseguiu-se um desempenho melhor, com coeficiente de determinação de 0,92 e 0,77 para os métodos baseados na cor da pele e da polpa, respectivamente. Portanto, a utilização de análise de imagens digitais por métodos multivariados para prever o índice de maturação da azeitona é uma técnica promissora, de baixo custo, rápida, precisa e que não necessita de instrumentação laboratorial complexa.

Palavras-Chave: Oliveira. Fruto. Imagem Digital. Sistema RGB. Quimiometria.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	06
2 REFERENCIAL TEÓRICO	07
2.1 Produção de Azeitona	07
2.2 Maturação do Fruto	08
2.3 Variações na Composição Química e Sensorial em Função do Índice de Maturação	10
2.4 Predição do Índice de Maturação	11
2.5 Uso de Imagens Digitais para Predição de Propriedades de Produtos Agrícola	12
2.6 Sistemas de Medida de Cor e Análise Multivariada	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 Amostra	15
3.2 Obtenção e Processamento das Imagens Digitais	15
3.3 Construção e Validação dos Modelos Quimiométricos	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Predição do Índice de Maturação Usando Análise Discriminante Linear	17
4.2 Predição do Índice de Maturação Usando Regressão Linear Múltipla	19
5 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

O índice de maturação da azeitona é fundamental para a determinação da qualidade do azeite de oliva e de azeitonas de mesa devido às características bioquímicas presente nos diferentes níveis de maturação do fruto. Os sabores desejados nos produtos obtidos da oliveira, seja ele azeite ou azeitona de mesa, sofrem grande influência das características químicas e sensoriais presente na azeitona na hora da colheita; por isso a determinação correta do nível de maturação é importante.

A cor da azeitona é um parâmetro de identificação do índice de maturação, existindo diferentes fases de amadurecimento com base nessa característica e sendo um critério utilizado para determinar o ponto de colheita do fruto.

A determinação do nível de maturação baseada na inspeção visual é uma técnica barata, porém se torna difícil quando se tem um lote grande de azeitonas, sendo propensa a erros e dificultando o processamento do fruto. Além disso, é uma metodologia lenta e em alguns estágios da maturação as cores são difíceis de serem distinguidas, podendo confundir o responsável pela colheita. A diferença de opiniões dos avaliadores também se torna um fator negativo para essa técnica, pois cada avaliador pode classificar um mesmo fruto em diferentes índices.

O uso de tecnologia para predizer o índice de maturação de diferentes frutos tem sido estudado para tornar mais ágil e preciso o processo de colheita e identificação do estágio de maturação, o que permite definir o tempo certo para colher o produto com as características desejadas.

Estimar o índice de maturação de azeitonas por meio de métodos matemáticos facilita todo o processamento para produtores em grande escala de azeitona de mesa e de azeite de oliva, uma vez que é uma forma mais precisa e rápida de avaliação.

No entanto, as metodologias existentes são muitas vezes destrutivas, e necessitam de instrumentação cara e laboratórios com profissionais especializados para tornar possível as análises, o que faz com que muitos dos produtores não tenham acesso a tal estrutura.

O presente trabalho teve como objetivo estimar o índice de maturação de azeitonas através metodologia não destrutiva baseada em imagens digitais obtidas usando um smartphone. As imagens foram obtidas em diferentes estágios de maturação e descritas utilizando o sistema RGB, sendo calibradas contra os índices de maturação por meio de métodos quimiométricos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PRODUÇÃO DE AZEITONA

A oliveira (*Olea europaea* Linné) possui mais de trinta espécies diferentes e é uma planta conhecida pela sua grande longevidade, existindo árvores com 400 anos de idade em bom estado de produção (GARCÍA, 2005). Sua importância está na produção de seus frutos, a azeitona, que constituem a matéria-prima para extração de azeite e produção de azeitonas em conserva, produtos com características sensoriais muito apreciadas. Além disso, esses produtos estão associados com benefícios para a saúde, devido ao alto conteúdo de antioxidantes naturais e ácidos graxos monoinsaturados. (VOGNILD et al., 1998; HARWOOD & YAQOUB 2002; BENDINI et al., 2007; MORELLO et al., 2004; CARDOSO et al., 2010).

A qualidade do azeite depende de fatores agronômicos e tecnológicos. Em relação aos aspectos agronômicos, são vários os fatores que podem afetar a qualidade do azeite, devido às variações na composição físico-química e em fitoquímicos (AUED-PIMENTEL et al., 2002; CARDOSO et al., 2010). Esses fatores podem ser intrínsecos e extrínsecos, como condições climáticas, características do solo, variedade de azeitona, poda da oliveira, taxa de irrigação, ataque de pragas, doenças de frutas e tempo de colheita (GONÇALVES et al., 2014)

A produção de azeitona é liderada por países da União Europeia, onde se destaca a Espanha, Grécia e Itália. O mercado de azeite no Brasil tem crescido muito nos últimos anos. O consumo apresentou entre 2007 e 2017 um aumento de 42%, ou seja, como consequência a importação também teve um aumento significativo de 25 mil toneladas de azeite (INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL, 2018).

Algumas regiões do Brasil possuem condições climáticas adequadas para o cultivo de oliveiras, porém a olivicultura ainda é uma atividade recente, ou seja, a produção brasileira não é capaz de suprir a demanda do mercado. (ARGOS, 2008; OLIVEIRA et al., 2006).

Atualmente, os maiores plantios de oliveira no Brasil estão localizados nos estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, sendo que muitas destas áreas de plantio ainda estão entrando em produção. Entretanto, ainda pode-se considerar que o Brasil importa 100% do volume total consumido de azeite de oliva e azeitona de mesa no país (EMBRAPA, 2009; MESQUITA et al., 2006).

O desenvolvimento dos frutos na oliveira é iniciado pelo período de floração e dura de seis a oito meses até que a azeitona alcance o seu peso máximo (COBO et al. 1998; GARCÍA

2005). O período da maturação ocorre desde a mudança da cor externa do fruto com o aparecimento das primeiras manchas de cor violeta na epiderme da azeitona, até atingir a coloração preto-violácea em toda a epiderme (GONÇALVES et al., 2014).

A colheita da azeitona é a etapa que contribui com os maiores custos de todo o processo produtivo da oliveira e a seleção da época de colheita da azeitona pode comprometer a quantidade e a qualidade comercial de muitos azeites virgens (GARCÍA et al., 1996; DAG et al., 2011). Além disso, em cada estado de maturação, a constituição de azeite presente na azeitona varia, ou seja, o rendimento de azeite irá aumentar com uma maior maturação do fruto (RAMALHEIRO, 2009; GONÇALVES et al., 2014).

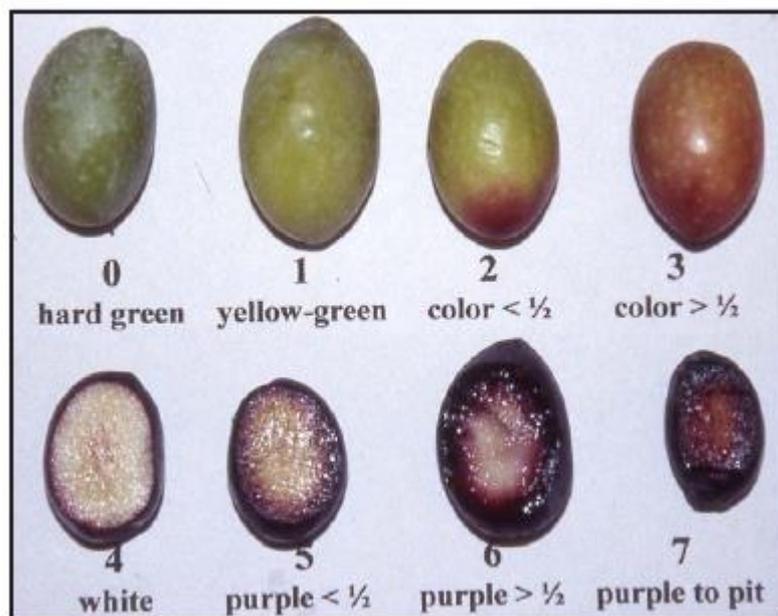
2.2. MATURAÇÃO DO FRUTO

O período de maturação é quando ocorrem as mudanças de coloração dos frutos da oliveira de verde até a epiderme estar totalmente negra. Na oliveira a maturação produz-se de um modo escalonado nas diferentes zonas da árvore. (COBO et al. 1998).

A avaliação do estado de maturação da azeitona é fundamental para a tomada de decisão quanto ao momento mais oportuno para realizar a colheita, podendo variar com os diferentes cultivos e safras (BELTRÁN et al., 2004; LAVÉE & WODNER, 2004). Para se obter azeites com sabor mais ácido, deve-se colher azeitonas mais verdes, já para ter um produto com sabor mais doce ou frutado, o fruto deve ser colhido mais maduro (CARPENTER; LYON; HASDELL, 2014).

Sendo assim, a alteração da coloração é importante na avaliação do período de maturação, uma vez que ela expressa diversas das modificações bioquímicas no fruto (BELTRÁN et al., 2004). Como tal, é comum a utilização de um índice de maturação baseado na cor dos frutos, sendo esse um método desenvolvido por Frías et al. (1991) baseado nas mudanças de cor em pele e polpa, classificadas em oito grupos ou categorias, de verde intenso (categoria 0) a preto com 100% de polpa roxa (categoria 7) (Figura 1).

Figura 1 - Níveis de maturação de azeitonas.



Fonte: Devarenne, (2006).

A coloração inicial verde intenso é devido à elevada concentração de clorofila, e conforme ocorra à redução de clorofila no fruto, a cor da azeitona torna-se amarelada. O fruto vai apresentar as tonalidades violetas até a cor preto-violácea devido à acumulação de antocianina no fruto (RAMALHEIRO, 2009).

A determinação do índice de maturação do fruto é um dos fatores mais importantes associados com a qualidade do azeite, pois durante o processo de maturação os frutos sofrem alterações de peso, cor, teor de óleo e composição química, os quais influenciam diretamente na firmeza dos frutos, facilidade de extração, características sensoriais, estabilidade oxidativa e valor nutricional do azeite (DAG et al, 2011).

Além da mudança de cor durante o processo de maturação, os frutos sofrem uma série de processos metabólicos que alteram e influenciam a quantidade em compostos bioativos, como os fenóis, tocoferóis, clorofilas e carotenoides, bem como ácidos graxos e esteróis (MATOS et al., 2007).

2.3. VARIAÇÕES NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E SENSORIAL EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE MATURAÇÃO

As diferentes composições químicas ao longo do processo de maturação e suas respectivas diferenças sensoriais são fatores determinantes para a qualidade do azeite, uma vez que o sabor do produto final é influenciado pela presença de substâncias voláteis (ANGEROSA, 2002).

A análise sensorial é realizada para avaliar características sensoriais do azeite, sendo relacionadas principalmente com o aroma e sabor. Esses atributos variam de acordo com a variedade de azeitona, e também com os diferentes graus de maturação (CUSTÓDIO, 2009).

A cor do azeite de oliva e seu respectivo sabor são relacionados com o estado de maturação do fruto utilizado na fabricação do produto. Segundo Custódio (2009), o azeite amarelo-dourado é doce e elaborado com azeitonas maduras de colheita tardia. Enquanto os tons amarelo-esverdeado e esverdeado são característicos de azeites frutados e um pouco amargos feitos com azeitonas não totalmente amadurecidas.

Os compostos fenólicos presentes no azeite são os ácidos fenólicos, álcoois fenólicos, flavonoides e secoiridóides, sendo que eles influenciam nas propriedades sensoriais nutricionais durante toda a vida útil do produto, incluindo o potencial antioxidante do azeite (CUNHA et al, 2006; SOUSA et al, 2014). Sua composição reduz com o aumento do grau de maturação da azeitona usada na fabricação, e conseqüentemente o amargor presente no azeite de oliva irá variar de acordo com a quantidade presente de compostos fenólicos (GARCÍA et al., 2001; ROTONDI et al., 2004).

A estabilidade oxidativa do azeite depende de vários fatores, entre eles está o estado de maturação do fruto. Além dos compostos fenólicos, os carotenoides, clorofilas e ácidos graxos também são responsáveis pelo potencial oxidativo do produto (MATOS et al, 2007). A redução desses compostos, o grau de maturação das azeitonas utilizadas na elaboração de azeites e a redução da estabilidade oxidativa foram associados pelos estudos de Gutiérrez et al., (1999) e de Caponio et al., (2001).

Os tocoferóis constituem o grupo antioxidante lipofílico e nesse grupo está inserido o α -tocoferol, que é o antioxidante mais importante para o azeite e representa 95% dos tocoferóis existentes no produto. Esses compostos se destacam por uma inibição da oxidação lipídica eficaz em óleos vegetais (CUSTÓDIO, 2009).

Os carotenoides têm propriedades antioxidantes no escuro e pró-oxidantes em contato com a luz. Quando em conjunto com os tocoferóis e compostos fenólicos, contribuem para a

estabilidade oxidativa do azeite e apresentam efeito antioxidante sinérgico (GIUFFRIDA et al, 2007).

A composição de ácidos graxos varia de acordo com vários fatores, sendo o grau de maturação um de grande importância para a quantificação desses ácidos (CUNHA et al, 2006). Os ácidos oleico, linoleico e palmítico são os mais abundantes no azeite e a resistência à oxidação do azeite deve-se a presença desses compostos (PEREIRA et al., 2002; BELTRÁN et al., 2004; MATOS et al, 2007).

Segundo Beltrán et al., (2004), o conteúdo de ácido palmítico decresce da mesma forma que o conjunto de ácidos graxos saturados durante o período de maturação. O ácido oleico que é o ácido graxo majoritário no azeite de oliva (55-83%) apresenta uma evolução variável, uma vez que pode permanecer constante ou mostrar um ligeiro incremento em seu conteúdo durante o processo de maturação da azeitona, enquanto o ácido linoleico tende a aumentar seu percentual relativo ao longo do processo de maturação do fruto.

O ácido oleico confere maior resistência à oxidação, enquanto o ácido linoleico pode reduzir a vida útil do azeite, devido a formação de compostos com ligações duplas conjugadas, a partir dos quais se formam produtos de oxidação voláteis com aroma indesejável característico de ranço (MATOS, 2003).

2.4. PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE MATURAÇÃO

O uso de tecnologias no processamento de azeitonas tem sido estudado uma vez que permite melhorar a qualidade do produto e manter a competitividade em relação às exigências do mercado. O grau de maturação influencia tanto na produção de azeitona de mesa, como na de azeite, por meio das diferentes composições e aparência do fruto que existem ao longo desse período (SOUSA et al., 2014; MORA et al., 2017).

A estimativa da cor nos frutos pode ser realizada por inspeção visual ou por instrumentos conhecidos como colorímetros. A inspeção visual é uma técnica simples e de baixo custo, mas é altamente subjetiva e propensa a erros, porque esse uso varia de pessoa para pessoa. Já os colorímetros são instrumentos especializados para medir cores, existindo colorímetros simples e baratos e mais sofisticados e caros para medir a cor dos objetos (MORA et al., 2017).

Segundo Guzmán et al., (2015), para ser aceito na indústria, o método para avaliar o índice de maturação deve ser fácil de usar, barato e confiável e por isso a inspeção visual não é um método eficiente.

Outros métodos têm sido usados para avaliar o estágio de maturidade das azeitonas, como a visão computacional. Muitas aplicações foram desenvolvidas nos últimos anos usando este método para classificar a azeitona de acordo com vários critérios (GUZMÁN et al., 2015).

Alguns autores relataram a influência de alguns parâmetros químicos como indicadores do processo de maturação. Mickelbart & James, (2003) propuseram usar a porcentagem de matéria seca no fruto da oliveira. A Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIRS) para avaliar a maturidade do fruto da oliveira foi usada por Gracia & Leon, (2011), que estudaram a evolução do teor de óleo e umidade em azeitonas intactas durante o processo de maturação. Através da NIRS, Cayuela et al., (2009) realizaram um estudo semelhante, que também incluía a previsão de acidez e teor de óleo com base no peso fresco e na matéria seca.

No entanto, nesses estudos, o uso de espectroscopia de infravermelho próximo exige o equipamento para realizar as análises, exigindo gastos com a compra e manutenção do equipamento, além da necessidade de um profissional para realizar as análises.

2.5. USO DE IMAGENS DIGITAIS PARA PREDIÇÃO DE PROPRIEDADES DE PRODUTOS AGRÍCOLA

Uma imagem é a representação visual de um objeto, podendo ela ser analógica ou digital. A imagem digital é composta por pixels, que é um vetor composto por três imagens monocromáticas, em que os componentes representam a intensidade de vermelho, verde e azul. Cada pixel de uma imagem tem sua característica própria, como cor, tonalidade e brilho (QUEIROZ & GOMES, 2001; CARVALHO, 2015).

A visão computacional visa extrair informações de imagens de forma automática, e tem sido utilizada para realizar análise de previsão do tempo, ultrassom, raios-X, mapeamento geográfico e também para classificação de produtos do setor agrícola (CARVALHO, 2015).

O uso de imagens digitais tem se tornado um aliado aos produtores agrícolas, uma vez que a disponibilidade e o baixo custo para se adquirir câmeras fotográficas, principalmente por meio de celulares, são vantajosos e favorecem o crescimento de uso de métodos que obtém dados a partir de imagens para predição de propriedades (GONÇALVES, 2015).

A qualidade da imagem obtida está diretamente relacionada com a quantidade de pixels por unidade de área, definindo assim a quantidade de detalhes que uma imagem tem, e conseqüentemente a sua resolução (CARVALHO, 2015).

Com isso, a escolha do equipamento utilizado para obter os dados de análise preditiva é fundamental para a resposta que se deseja obter (CARVALHO, 2015).

No trabalho de Herrero-Latorre et al., (2015) utilizou-se imagem digital dos vinhos por meio de câmera digital para analisar a cor dos vinhos através do sistema de cor RGB associado a técnicas quimiométricas para detectar e quantificar adulteração da qualidade do produto, obtendo bons resultados.

Riquelme et al., (2008) utilizaram imagens de azeitonas obtidas através de câmera digital para classificá-las de acordo com danos externos. A partir dessas imagens foram extraídos parâmetros de RGB, sendo que os valores foram convertidos para o sistema de cor HSV para também analisar esses parâmetros. Os dados obtidos foram avaliados através de análises estatísticas para verificar a viabilidade da metodologia.

Choong et al., (2006) obteve os dados de cores RGB através de imagens de uma câmera digital para determinar a maturação do dendezeiro, uma vez que o teor de óleo de palma está relacionado com os parâmetros de cor RGB, apresentando coeficiente de determinação acima de 0,64 para as três cores e um melhor resultado para a cor vermelha.

Fernandes et al., (2018) desenvolveu uma metodologia para quantificar e identificar adulteração de gordura em hambúrguer de frango utilizando imagens de câmera digital analisadas através sistemas de cores RGB, HSI e escala de cinza associadas com métodos quimiométricos.

2.6. SISTEMAS DE MEDIDA DE COR E ANÁLISE MULTIVARIADA

Segundo Gonçalves, (2015), sistema de cor acoplado a análise multivariada é uma técnica capaz de realizar análises não destrutivas nos frutos, além de ser um método rápido, eficaz, simples e barato, o que torna essa uma alternativa atrativa de métodos analíticos simples.

A sensação de cores percebidas pelo ser humano é relacionada ao comprimento de onda da radiação, sendo essa região do espectro conhecida como luz visível. O olho humano possui sensibilidade aos comprimentos de onda vermelho, verde e azul, no qual por meio de combinações dos mesmos se visualiza as outras cores visíveis ao olho humano, tornando essas cores primárias (LEÃO, 2005; CARVALHO, 2015).

Existem sistemas de cores que são utilizados como RGB, que utiliza como base as cores primárias; HSV, em que os atributos fundamentais são matiz, saturação e valor ou brilho; e HSL, que se diferencia do HSV pelo atributo de iluminação ao invés de brilho (CARVALHO, 2015; GONÇALVEZ, 2015).

O sistema de cores RGB é o mais conhecido e utiliza da correspondência de cores primárias, baseando-se no funcionamento de cores do olho humano. Nesse sistema, a intensidade de vermelho, verde e azul são definidas entre 0 e 255, onde zero significa ausência de intensidade e 255 indica intensidade máxima (GONZALEZ & WOODS, 2000; CARVALHO, 2015).

Sendo assim, a cor preta é resultante da ausência de intensidade das três cores primárias, e a cor branca é o resultado da intensidade máxima dessas mesmas três cores (GONZALEZ & WOODS, 2000; CARVALHO, 2015).

A quimiometria consiste na aplicação de modelos matemáticos a dados químicos, podendo ser utilizada para obter análises qualitativas ou quantitativas (BEEBE et al., 1998). A partir do modelo de cores, é possível analisar dados que podem ser explorados através de ferramentas quimiométricas, como por exemplo, para realizar predição de propriedades (GONÇALVES, 2015). Das ferramentas quimiométricas, duas são de extrema importância, sendo elas a calibração multivariada e o reconhecimento de padrões (GONÇALVES, 2015).

A técnica de reconhecimento de padrões ou classificação consiste em avaliar a similaridade e diferenças entre grupos de amostras analisadas, podendo ser classificados em supervisionados e não supervisionados. Para análises não supervisionadas não é necessário ter um conhecimento prévio das classes, ou seja, irá identificar uma tendência nos dados. Já em análises supervisionadas, faz-se necessário o conhecimento prévio das classes para poder construir modelo com base em um grupo de treinamento (BEEBE et al., 1998; NAES et al., 2002; GONZALÉZ, 2007). Dentre os métodos de análises de classificação supervisionadas encontra-se o método de análise discriminante linear (LDA), que consiste em determinar funções discriminantes (PONTES, 2009).

Outra técnica quimiométrica é a calibração multivariada, que consiste em construir um modelo matemático a partir dos dados obtidos, podendo então prever propriedades de interesse (BEEBE et al., 1998; NAES et al., 2002). Essa técnica consiste em três etapas, sendo elas calibração, validação e previsão (GONÇALVES, 2015). A etapa de validação pode ser por série de teste, em que utiliza os dados da calibração e validação, ou através da validação cruzada, em que utiliza apenas o conjunto da calibração (BEEBE et al., 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. AMOSTRAS

As amostras de azeitonas utilizadas pertencem a cultivar de Maria da Fé, uma variedade que foi adaptada para o clima brasileiro, e foram cultivadas na cidade de Alagoa no estado de Minas Gerais.

A colheita dos frutos foi realizada manualmente e a seleção de amostras foi de forma aleatória, e utilizando o método de inspeção visual determinou o índice de maturação de cada azeitona (Frías et al. 1991). As amostras foram divididas em índice de maturação de zero a cinco, obtendo assim seis classes, onde houve ao menos cinco repetições de amostras em cada classe, variando de coloração verde intenso a preto-violácea.

3.2 OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DIGITAIS

Para obtenção das imagens, desenvolveu-se uma caixa com dimensões 6 cm x 12 cm x 8 cm (largura x comprimento x altura) para que se pudesse ter um ambiente de luz controlada onde a iluminação das amostras fosse realizada apenas pelo flash do smartphone, garantindo uma melhor qualidade na obtenção das imagens. O fruto foi colocado dentro da caixa e as imagens obtidas utilizando um smartphone, modelo LGK130F com câmera de cinco megapixels, as configurações do smartphone foram mantidas constantes durante toda análise. Obteve-se 60 imagens com as mesmas azeitonas com pele e 57 com cortes do fruto para analisar a polpa.

O processamento das imagens digitais foi realizado utilizando o programa ImageJ, onde foi possível selecionar a área de interesse do fruto a ser analisado, além da obtenção dos valores das componentes do modelo RGB.

3.3 CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS QUIMIOMÉTRICOS

Duas abordagens foram usadas para prever o índice de maturação. Uma usou calibração multivariada por Regressão Linear Múltipla (MLR), na qual o índice de maturação foi determinado quantitativamente como variável contínua. A outra usou classificação multivariada por Análise Discriminante Linear (LDA), na qual o índice de maturação foi

determinado como uma classe como uma variável categórica. Também foram avaliados modelos considerando a cor da pele ou a cor da polpa das azeitonas.

Os valores das componentes de RGB foram calibrados contra os índices de maturação das azeitonas previamente determinados pelo método visual conforme Frías et al., (1991). Os dados foram divididos em dois grupos, o primeiro para a calibração (75% das amostras) e o segundo para o teste (25% das amostras), sendo a seleção do grupo teste realizada através do algoritmo Kennard-Stone (KENNARD & STONE, 1969). O grupo de calibração foi utilizado para modelagem e validação cruzada, enquanto o grupo teste foi utilizado para avaliar o desempenho dos modelos obtidos.

O desempenho da calibração (por MLR) foi avaliado com base no RMSEC (Raiz quadrada do erro médio de calibração) e R^2 (Coeficiente de correlação quadrático). O modelo foi validado através de validação externa, ou seja, usando um conjunto de teste (avaliando o erro quadrático médio de predição – RMSEP e o R^2 teste).

Além disso, um teste de randomização de y foi realizado para atestar a robustez do modelo (avaliando estatisticamente o $RMSEC_{rand}$ e R^2_{rand}). Esse teste consiste em várias execuções, onde a matriz original (descritores X) é mantida fixa, e somente o vetor Y é embaralhado. Os modelos obtidos sob tais condições podem ser de baixa qualidade e sem significado real (ROY et al., 2009).

O desempenho dos modelos de classificação (por LDA) foi avaliado com base no número e na porcentagem de amostras corretamente classificadas dentro de cada classe, sendo avaliado em níveis de calibração, validação cruzada, validação externa e randomização de y , como descrito anteriormente.

Todos os cálculos foram realizados utilizando o software Chemoface versão 1.61 (NUNES, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE MATURAÇÃO USANDO ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR

A predição do índice de maturação considerando-a uma variável categórica usando LDA com base na cor da polpa ou na cor da pele teve, em geral, um baixo desempenho (Tabela 1). Para o modelo baseado na cor da polpa, a porcentagem de acertos para cada classe variou de 0 (na classe 2) a 88,9% (na classe 0), tendo um sucesso global de 54,8%, tanto para o conjunto de calibração, como para validação cruzada. O teste de randomização de y apresentou um sucesso de classificação de 35,2%, um pouco inferior ao de calibração, indicando que pode haver alguma correlação entre os descritores RGB da polpa e o índice de maturação.

Para o grupo teste, o modelo foi capaz de predizer corretamente 46,2% das amostras, errando todas as predições das classes 1, 2 e 4.

Tabela 1 – Desempenho do modelo de classificação com base na cor da polpa das azeitonas

	Classe						
	Geral	0	1	2	3	4	5
Calibração							
n	42	9	7	7	10	4	5
Acertos - calibração	23,0	8,0	5,0	0,0	6,0	0,0	4,0
% Acertos - calibração	54,8	88,9	71,4	0,0	60,0	0,0	80,0
Acertos - validação cruzada	23,0	8,0	5,0	0,0	6,0	0,0	4,0
% Acertos - validação cruzada	54,8	88,9	71,4	0,0	60,0	0,0	80,0
Acertos - randomização de y	14,8	3,0	2,6	2,2	3,1	1,6	2,3
% Acertos - randomização de y	35,2	33,3	37,1	31,4	31,0	40,0	46,0
Validação externa							
n	13,0	5,0	2,0	2,0	3,0	1,0	0,0
Acertos - teste	6,0	4,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
% Acertos - teste	46,2	80,0	0,0	0,0	66,7	0,0	0,0

Fonte: Do autor (2019)

Para o modelo baseado na cor da pele, a porcentagem de acertos para cada classe variou de 0 (na classe 4) a 100% (nas classes 3 e 5), tendo um sucesso global de 71,1% para o conjunto de calibração e de 64,4% para validação cruzada. O teste de randomização de y apresentou um sucesso de classificação de 36,9%, bastante inferior ao de calibração,

indicando que pode haver uma razoável correlação válida entre os descritores RGB da pele e o índice de maturação.

Para o grupo teste, o modelo foi capaz de prever corretamente 57,1% das amostras, errando todas as predições das classes 1, 2 e 4 e acertando 100 das classes 0, 3 e 5.

Tabela 2 – Desempenho do modelo de classificação com base na cor da pele das azeitonas

	Classe						
	Geral	0	1	2	3	4	5
Calibração							
n	45,0	12,0	8,0	9,0	11,0	1,0	4,0
Acertos - calibração	32,0	11,0	4,0	2,0	11,0	0,0	4,0
% Acertos - calibração	71,1	91,7	50,0	22,2	100,0	0,0	100,0
Acertos - validação cruzada	29,0	11,0	4,0	0,0	10,0	0,0	4,0
% Acertos - validação cruzada	64,4	91,7	50,0	0,0	90,9	0,0	100,0
Acertos - randomização de y	16,6	3,9	3,1	2,7	4,7	0,6	1,6
% Acertos - randomização de y	36,9	32,5	38,8	30,0	42,7	60,0	40,0
Validação externa							
n	14,0	3,0	1,0	1,0	4,0	4,0	1,0
Acertos - teste	8,0	3,0	0,0	0,0	4,0	0,0	1,0
% Acertos - teste	57,1	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0

Fonte: Do autor (2019)

Comparando as análises das azeitonas com e sem pele, pode-se verificar que o modelo LDA teve um melhor desempenho ao avaliar as azeitonas com pele, mas ainda assim com uma baixa porcentagem global de acerto. Isso pode ser explicado pela maior variação de cor da pele do que da polpa durante o amadurecimento do fruto, sobretudo nos índices de maturação entre 3 e 5.

Mora et al. (2017) analisaram o índice de maturação por meio de um descritor com bases em redes neurais, onde obteve resultados para frutos com pele acima de 90% de acertos na classificação de 202 amostras.

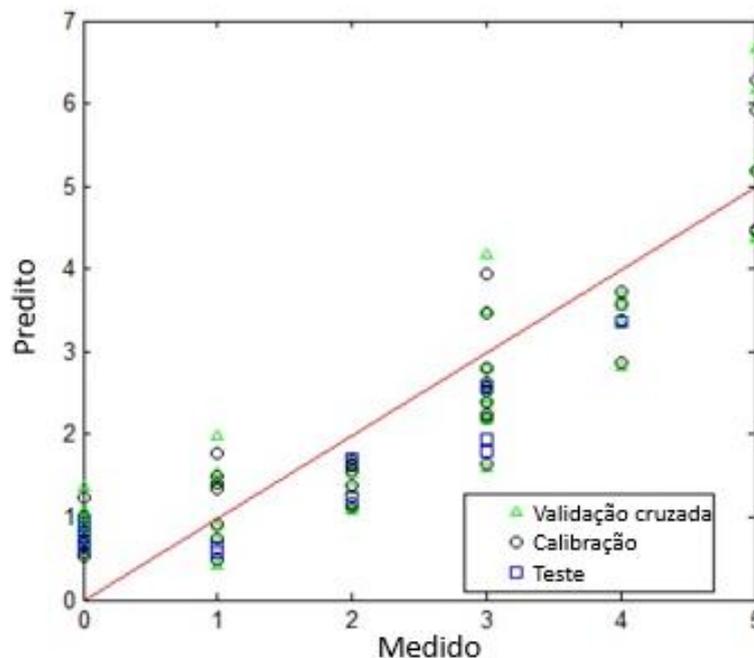
Já Guzmán et al. (2015) utilizou da técnica de Cluster para estimar o índice de maturação dos frutos com pele. Nesse estudo obtiveram-se bons resultados, onde pequenos erros foram encontrados devido a análise ser realizada com um conjunto de frutos em uma só imagem.

Riquelme et al. (2008) classificou azeitonas com base nos danos externos através de análise discriminante (DA), sendo que os resultados variaram de 75% a 97% de sucesso as etapas para calibração e validação, porém ao analisar a classificação de cada classe, a porcentagem de acertos variou de 38% a 100%. Esse método apresentou bons resultados, apesar de algumas classes terem apresentado uma porcentagem baixa de acertos.

4.2. PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE MATURAÇÃO USANDO REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

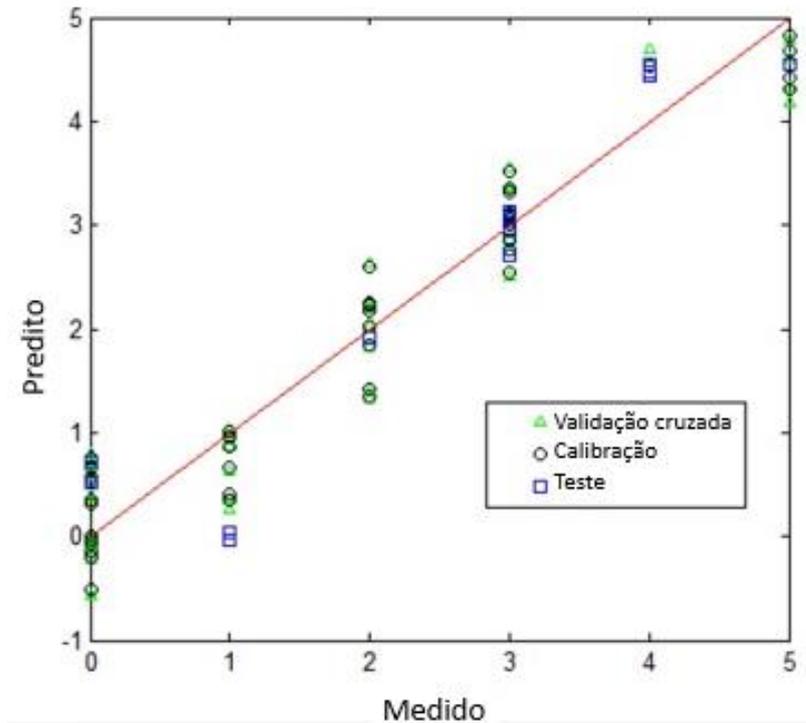
A Regressão Linear Múltipla foi usada para calibrar os valores das componentes de RGB contra os índices de maturação das azeitonas. Foram obtidos dois modelos e obteve-se resultados melhores para o método baseado na cor da polpa (Gráfico 1) bem como para aquele baseado na cor da pele (Gráfico 2) quando comparados com os resultados obtidos por Análise Discriminante Linear.

Gráfico 1 - Valores medidos versus preditos para validação cruzada, calibração e teste com base na cor da polpa das azeitonas.



Fonte: Do autor, (2019).

Gráfico 2 - Valores medidos versus preditos para validação cruzada, calibração e teste com base na cor da pele das azeitonas.



Fonte: Do autor, (2019).

Os parâmetros de desempenho dos modelos de regressão são apresentados na Tabela 3. O modelo baseado na cor da pele apresentou valores maiores de R^2 e menores de RMSE para calibração, validação cruzada, randomização de y e validação externa quando comparado com aquele baseado na cor da polpa. Em todas essas etapas, o modelo baseado na cor da pele teve R^2 maior ou igual a 0,9, indicando uma correlação entre os valores preditos pelo método proposto e o método convencional. O baixo R^2 e o elevado erro na etapa de randomização de y indica que o ajuste não foi ao acaso, com correlação válida entre os descritores RGB e o índice de maturação das azeitonas.

Tabela 3: Parâmetros dos modelos obtidos correlacionando o índice de maturação com as componentes de RGB

	Cor da polpa	Cor da pele
RMSE - calibração	0,70	0,39
R ² - calibração	0,82	0,94
RMSE - randomização de y	1,56	1,52
R ² - randomização de y	0,09	0,04
RMSE - validação cruzada	0,78	0,43
R ² - validação cruzada	0,77	0,92
RMSE - validação externa	0,74	0,53
R ² - validação externa	0,81	0,90

Fonte: Do autor (2019)

Modelos com R² > 0,8 para calibração e > 0,5 para validação e teste, além de baixo RMSE e valores de R² para randomização de y são aceitáveis (KIRALJ & FERREIRA, 2009). Outros autores recomendam valores de R² > 0,7 para calibração e > 0,6 para validação e teste (CHIRICO & GRAMATICA, 2011). Sendo assim, os dois modelos obtidos são válidos de acordo com a literatura, mas com um melhor desempenho para o modelo baseado na cor da pele das azeitonas.

As equações obtidas por MLR são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Modelos para predição do índice de maturação das azeitonas com base nos parâmetros de cor RGB da polpa e da pele.

Polpa	$IM = 3,34 + 0,07R - 0,10G + 0,03B$
Pele	$IM = 4,64 + 0,07R - 0,11G - 0,01B$

Fonte: Do autor (2019).

Gracia & Leon, (2011) utilizaram espectroscopia infravermelho para analisar o teor de umidade e teor de óleo e assim predizer o índice de maturação de azeitonas. Nesse estudo, eles utilizaram a metodologia de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) e obtiveram coeficientes de determinação de 0,89 e 0,88 para o ácido graxo e para a umidade, respectivamente, e erros quadrático médio de validação cruzada de 1,99 e 2,06. Esses resultados permitiram concluir uma boa efetividade desse método.

Saha & Jackson, (2017) analisaram também a umidade e teor de óleo de azeitonas para avaliar a qualidade do fruto, sendo que esses parâmetros variam ao longo do período de maturação, indicando o tempo correto da colheita. Nesse estudo foi utilizada a espectroscopia de refletância e modelos de calibração para avaliar a eficiência do método. Como os

resultados apresentaram boa linearidade, com R^2 acima de 0,74 tanto para validação cruzada como para calibração, concluiu-se que o método apresenta boa eficiência.

O método aqui proposto baseado na cor da pele e MLR teve desempenho equivalente ao desenvolvido por Guzmán et al (2015) e por Mora et al., 2017. Assim como os estudos de Gracia e Leon (2011) e Saha e Jackson (2017) obtiveram bons resultados para analisar o índice de maturação através de espectroscopia, a técnica de análise de dados RGB por MLR também se mostrou um método promissor para a predição do índice de maturação de azeitonas. Em relação aos trabalhos de Guzmán et al (2015) e Mora et al., 2017, a metodologia do presente trabalho tem como vantagem não precisar converter os dados do sistema de cor RGB para $L^*a^*b^*$, além de realizar as análises dos dados a partir de imagens obtidas de celular, o que torna o método mais barato, já que qualquer pessoa tem acesso a um celular com câmera.

Como vantagem, essa metodologia apresenta baixo custo, já que as imagens são analisadas através de programas computacionais gratuitos, não sendo necessárias análises físico-químicas. Além disso, é uma alternativa não subjetiva quando comparada com a inspeção visual que é comumente utilizada, além de ser um método que pode ser realizado *in situ* proporcionando aos pequenos produtores de azeitonas a oportunidade de realizar a análise de forma mais eficiente.

5. CONCLUSÃO

Com esse estudo foi possível comparar uma metodologia de calibração multivariada e uma de classificação multivariada, sendo elas, a regressão linear múltipla (MLR) e a análise discriminante linear (LDA), para realizar a estimativa do índice de maturação de azeitonas. Para os dois métodos, foram analisadas amostras de frutos pela cor da polpa ou da pele, sendo que em ambas as análises os melhores resultados obtidos foram ao considerar a cor da pele. Para a MLR, obteve-se um coeficiente de determinação de 0,92 e 0,77, para a análise das azeitonas com e sem pele respectivamente, e na LDA, uma porcentagem de acertos de 64,44% e 54,76%. Portanto, melhor abordagem para predizer o índice de maturação das azeitonas foi a regressão linear múltipla usando a cor da pele.

Melhorias na qualidade da câmera, um maior número de amostras e repetições, e maior precisão no corte para a análise da polpa são fatores que influenciam no resultado e poderiam tornar a análise mais eficaz. Outra falha que pode ter ocorrido foi o erro na classificação manual, uma vez que, ao separar por inspeção visual as azeitonas em diferentes índices de maturação, as cores em alguns índices são muito semelhantes, podendo confundir na diferenciação dos frutos.

REFERÊNCIAS

- ANGEROSA, F. Influence of volatile compounds on virgin olive oil quality evaluated by analytical approaches and sensor panels. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v. 104, p. 639-660, 2002.
- ARGOS, O. Associação Rio-Grandense de Olivicultores, Ijuí, 2008. Acesso em 08 jun. 2019. Online. Disponível em: http://www.argos.org.br/new_argos/?page_id=409.
- AUED-PIMENTEL, S. et al. Azeite de oliva: incidência de adulterações entre os anos de 1993 a 2000. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 61, p. 69-75, 2002.
- BEEBE, K. R.; PEEL, R. J.; SEASHOLTZ, M. B. **Chemometrics: a practical guide**, New York: John Wiley and Sons, Inc., 1998.
- BELTRÁN, G., DEL RÍO, C., SÁNCHEZ, S. & MARTÍNEZ L. Seasonal changes in olive fruit characteristics and oil accumulation during ripening process. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 1783-1790, 2004.
- BENDINI, A., CERRETANI, L., CARRASCO-PANCORBO, A., GÓMEZ-CARAVACA, A. M., SEGURA-CARRETERO, A., FRNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A., AND LERCKER, G. Phenolic molecules in virgin olive oils: a survey of their sensory properties, health effects, antioxidant activity and analytical methods. An overview of the last decade. **Molecules**, v. 12, p. 1679-1719, 2007.
- CAPONIO, F.; GOMES, T.; PASQUALONE, A. Phenolic compounds in virgin olive oils: influence of the degree of olive ripeness on organoleptic characteristics and shelf-life. **European Food Research and Technology**. v. 212(3), p. 329-333. (2001).
- CARDOSO, L. G. V. et al. Características físico-químicas e perfil de ácidos graxos de azeites obtidos de diferentes variedades de oliveiras introduzidas no Sul de Minas Gerais – Brasil. *Semina: Ciênc. Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 1, p. 127-136, 2010.
- CARPENTER, R. P.; LYON, D. H.; HASDELL, T. A. **Centro de informação do azeite**. Disponível em: <<http://www.infoazeite.net>>. Acesso em: 27 jun. 2019.
- CARVALHO, J. N. de. **Seleção e classificação inteligente de mangas por análise de imagens**. 272 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2015.
- CAYUELA, J. A.; GARCÍA, J. M.; CALIANI, N. NIR prediction of fruit moisture, free acidity and oil content in intact olives. **Grasas y aceites**, v. 60(2), p.194–202, 2009.
- CHIRICO, N., & GRAMATICA, P. Concordance correlation coefficient. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 51, 2320–2335, 2011.
- CHOONG, T.; ABBAS, S.; SHARIFF, A.; HALIM, R.; S, M.H.; YUNUS, R.; ALI, S.; AHMADUN, F.R. Digital image processing of palm oil fruits. **Internacional Journal of Food Engineering** v. 2, p. 1–4, 2006.

COBO, M., GUILLÉN, J., MACIAS, V. E RODRÍGUEZ, J. Diseño y manejo de plantaciones de olivar. 1998.

CUNHA, S.; AMARAL, J.; FERNANDES, J.; OLIVEIRA, M. B. Quantification of tocopherols and tocotrienols in Portuguese olive oils using HPLC with three different detection systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 54, p. 3351-3356, 2006.

CUSTÓDIO, T. A. S.; **Azeites extra-virgem comerciais: composição em compostos voláteis e relação com parâmetros químicos de qualidade**. Universidade do Porto. Portugal. 2009.

DAG, A.; KEREM, Z.; YOGEV, N.; ZIPORI, I.; LAVEE, S.; BEN-DAVID, E. Influence of time of harvest and maturity index on olive oil yield and quality. **Scientia Horticulturae**, v.127, n.3, p.358–366, 2011.

DEVARENNE, A. The Maturity Index: Quantifying Ripeness. Newsletter of Olive Oil Production and Evaluation. v. 2, n. 1. p. 4, 2006.

EMBRAPA. Brasil tem o primeiro azeite de oliva. 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18122413/brasil-tem-o-primeiro-azeite-de-oliva-extravirgem-->. Acesso em: 07 jun. 2019.

FERNANDES, D D. S.; ROMEO, F.; KREPPER, G.; DI NEZIO, M. S.; PISTONESI, M. F.; CENTURIÓN, M. E.; ARAÚJO, M. C. U.; DINIZ, P. H. G. D. Quantification and identification of adulteration in the fat content of chicken hamburgers using digital images and chemometric tools, **LWT - Food Science and Technology**, v. 100, p. 20–27, 2018.

FRÍAS, L.; GARCÍA-ORTIZ, A.; HERMOSO, M.; JIMÉNEZ, A.; LLAVERO DEL POZO, M. P.; MORALES, J.; RUANO, T.; UCEDA, M. Analistas de laboratorio de almazara. Junta de Andalucía, Sevilla, Spain, 1991.

GARCÍA, A. G. Cultivo moderno do olival, Publicações Europa-América, Lda, 2005.

GARCÍA, J. M.; SELLER, S. & PÉREZ-CAMINO, M. C. Influence of fruit ripening on olive oil quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44 (11), p. 3516-3520, 1996.

GARCÍA, J. M.; YOUSFI, K.; MATEOS, R.; OLMO, M.; CERT, A. Reduction of oil bitterness by heating of olive (*Olea europaea*) fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.49(9), p.4231-4235, 2001.

GIUFFRIDA, D.; SALVO, F.; SALVO, A.; LA PERA, L.; DUGO, G. Pigment composition in monovarietal virgin olive oils from various Sicilian olive varieties. **Food Chemistry**, v. 101, p. 833–837, 2007.

GONÇALVES, E. D. et al. Aspectos agronômicos que influenciam na elaboração de azeite de oliva de qualidade. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, MG, Brasil, p. 13-21, 2014.

GONÇALVES, M. I. S. **Aplicação de Imagens Digitais e Análise Multivariada para classificação e Determinação de Parâmetros de Qualidade em Plumões de Algodão**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

GONZALÉZ, A. G. Use and misuse of supervised pattern recognition methods for interpreting compositional data. **Journal of Chromatography A**, v. 1158, p. 215-225, 2007.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento de imagens digitais. Tradução Roberto Marcondes Cesar Júnior, Luciano da Fontoura Costa. 1 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2000.

GRACIA, A.; LEON, L. Non-destructive assessment of olive fruit ripening by portable near infrared spectroscopy. **Grasas y aceites**, v. 62(3), p.268–274, 2011.

GUTIÉRREZ, F.; APARÍCIO, R.; RODA, L.; ALBI, M. Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 47 (10), p. 4150-415, 1999.

GUZMÁN, E.; BAETEN, V.; PIERNA, J. A. F.; GARCÍA-MESA, J. A. Determination of the olive maturity index of intact fruits using image analysis. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p.1462–1470, 2015.

HARWOOD, J. L.; YAQOUB, P. Nutritional and health aspects of olive oil. **European Journal of Lipid Science Technology**, v. 104, p. 685-697, 2002.

HERRERO-LATORRE, C., BARCIELA-GARCÍA, J., GARCÍA-MARTÍN, S., PEÑACRECENTE, R.M., AND KUBRAK, W. Detection and quantification of adulterations in aged wine using RGB digital images combined with multivariate chemometric techniques. **Food Chemistry: X 3**, v. 3, 2015.

INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL. **World table olive figures**. 2018. Disponível em: <<http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/132-world-table-olive-figures>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL. **World table olive figures**. 2018. Disponível em: <<http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

KENNARD, R. W. & STONE, L. A. Computer-aided Design of Experiments. **Technometrics**, vol. 11, p. 137-148, 1969.

KIRALJ, R., & FERREIRA, M. M. C. Basic validation procedures for regression models in QSAR and QSPR studies: Theory and application. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, p. 770–787, 2009.

LAVEE, S.; WODNER, M. The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruits of irrigated olive trees (*Olea europaea*), cvs. Barnea and Manzanillo **Scientia Horticulturae**, v. 99, p. 267-277, 2004.

LEÃO, A. C. “Gerenciamento de cores para imagens digitais”. Dissertação de mestrado – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Disponível em: <http://www.npd.dcc.ufmg.br/>, 2005.

MATOS, L. C. S. A. F. **Avaliação química de azeites varietais das cultivares Cobrançosa, Madural e Verdeal Transmontana com diferentes índices de maturação** [dissertação]. Porto: Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, 2003.

MATOS, L. C., CUNHA, S. C., AMARAL, J. S., PEREIRA, J. A., ANDRADE, P. B., SEABRA, R. M., AND OLIVEIRA, M. B. Chemometric characterization of three varietal olive oils (Cvs. Cobrançosa, Madural and Verdeal Transmontana) extracted from olives with different maturation indices. **Food Chemistry** v. 102, p. 406–414, 2007.

MESQUITA, D. L.; OLIVEIRA, A. F.; MESQUITA, H. A. Aspectos econômicos da produção e comercialização do azeite de oliva e azeitona. Azeitona e azeite de oliva: tecnologias de produção. **Informativo Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 231, p. 7-12, 2006.

MICKELBART, M. V.; JAMES, D. Development of a dry matter maturity index for olive (*Olea europaea*). **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 31, p. 269–276, 2003.

MORA, M., ALIAGA, J.W., & FREDES, C. Olive Ripening Phase Estimation based on Neural Networks. 2017.

MORELLO, J. R. et al. Changes in commercial virgin olive oil (cv arbequina) during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. **Food Chemistry**, v. 85, p. 357-364, 2004.

NAES, T.; ISAKSSON, T.; FEARN, T.; DAVIES, T. A User-Friendly Guide to Multivariate Calibration and Classification. Chichester: NIR Publications, 2002.

NUNES, C. A. et al. Chemoface: a novel free user-friendly interface for chemometrics. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, n. 11, p. 2003-2010, 2012.

OLIVEIRA, A. F.; ANTUNES, L. E. C.; SCHUCH, M. W. Caracterização morfológica de cultivares de oliveira em coleção e considerações sobre seu cultivo no Brasil. **Informativo Agropecuário**, v. 27, p. 55-62, 2006.

PEREIRA, J. A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; CASAL, S.; ALVES, M. R. Discrimination of Varietal Olive Oils of the Portuguese Cultivars Cobrançosa, Madural and Verdeal Based on their Fatty Acids Composition. **Acta Horticulturae**, n. 582, p. 591-594, 2002.

PONTES, M. J. C. **Algoritmo das projeções sucessivas para seleção de variáveis espectrais em problemas de classificação**. João Pessoa, Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Tese de Doutorado, 2009.

QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, H. M. Introdução ao processamento digital de imagens. Revista RITA: instruções para preparações de documentos em Word, 2001.

RAMALHEIRO, J. **Contribuição para a caracterização bioquímica do estado de maturação de azeitonas de diferentes variedades**. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

RIQUELME, M.T.; BARREIRO, P.; RUIZ-ALTISENT, M.; VALERO, C.: Olive classification according to external damage using image analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 87, n. 3, p. 371-379, 2008.

ROTONDI, A., BENDINI, A., CERRETANI, L., MARI, M., LERCKER, G., AND TOSCHI, G. T. Effect of olive ripening degree on the oxidative stability and organoleptic properties of

cv. Nostrana di Brisighella extra virgin olive oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** v. 52, p. 3649–3654, 2004.

ROY, S.; MARTINEZ, D.; PLATERO, H.; LANE, T.; WERNER-WASHBURNE, M. Exploiting amino acid composition for predicting protein-protein interactions. **PLoS One**, v. 4(11), p. 7813, 2009.

SAHA, U.; JACKSON, D. Analysis of moisture, oil, and fatty acid composition of olives by near-infrared spectroscopy: development and validation calibration models. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 98, p. 1821-1831, 2017.

SOUSA, A; MALHEIRO, R.; CASAL, S.; BENTO, A.; PEREIRA, J. A. A maturação como fator determinante na atividade antioxidante e composição fenólica em frutos da Cv. Cobrançosa. 7th Iberian Congress of Agricultural Engineering and Horticultural Sciences. Madrid, p. 1866-1871, 2014.

VOGNILD, E. et al. Effects of dietary marine oils and olive oil on fatty acid composition, platelet membrane fluidity, platelet responses, and serum lipids in healthy humans. **Lipids**, v. 33, n. 4, p. 427-436, 1998.