



THIAGO CÉSAR RIBEIRO FERREIRA

**ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO
PARA CLASSIFICAÇÃO DE FRUTOS DE MORANGO
QUANTO AO SISTEMA DE CULTIVO E TEMPO DE
ARMAZENAMENTO**

**LAVRAS - MG
2019**

THIAGO CÉSAR RIBEIRO FERREIRA

**ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA CLASSIFICAÇÃO
DE FRUTOS DE MORANGO QUANTO AO SISTEMA DE CULTIVO E TEMPO DE
ARMAZENAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

**LAVRAS - MG
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ferreira, Thiago César Ribeiro.

Espectroscopia no infravermelho próximo para classificação de
frutos de morango quanto ao sistema de cultivo e tempo de
armazenamento / Thiago César Ribeiro Ferreira. - 2019.

78 p. : il.

Orientador(a): Luciane Vilela Resende.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. NIR. 2. Morango. 3. Quimiometria. I. Resende, Luciane
Vilela. II. Título.

THIAGO CÉSAR RIBEIRO FERREIRA

**ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA CLASSIFICAÇÃO
DE FRUTOS DE MORANGO QUANTO AO SISTEMA DE CULTIVO E TEMPO DE
ARMAZENAMENTO**

**NEAR INFRARED SPECTROSCOPY FOR STRAWBERRY FRUIT
CLASSIFICATION REGARDING THE CULTIVATION SYSTEM AND THE
STORAGE PERIOD**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de julho de 2019.

Dra. Heloisa Oliveira dos Santos UFLA

Dra. Rita de Cássia Mirela Resende Nassur UNEB

Profa. Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

**LAVRAS-MG
2019**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que Ele permite acontecer em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, por possibilitar a realização do curso de mestrado.

À professora e orientadora Luciane Vilela Resende, pela oportunidade de realização deste trabalho, orientação, confiança, dedicação, ensinamentos e amizade.

À professora Elisangela e ao professor Wilson Magela, pela orientação e confiança.

À Ana Beatriz Araújo, Fernanda Ramalho, e Ramon Avelar, pelo auxílio nas análises realizadas.

Aos técnicos (Stefany, Josimar e Luisinho) e amigos do setor de Olericultura que participaram do projeto, pela colaboração e receptividade demonstradas em todos os momentos.

Aos amigos, pelos conselhos, carinho, e por proporcionarem momentos de alegria.

Aos meus pais, irmãos e familiares, por todo o amor, confiança, ensinamento e paciência.

À minha namorada Gabriela, pelo companheirismo, amor e paciência.

À Marli, secretária do Programa de Pós em Fitotecnia, pelo auxílio nessa caminhada.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Avaliações para determinar a qualidade dos frutos de morango colhidos e comercializados, são necessárias, e a técnica da espectroscopia no infravermelho próximo vem se destacando pelo resultado rápido, preciso e não destrutivo. Assim, objetivou-se com este trabalho, verificar o potencial de utilização da técnica de espectroscopia NIR (equipamento Tensor 27 Bruker®, com geração dos espectros pelo detector Fourier-Transform Near-Infrared acoplado) para identificação de frutos provenientes de sistemas de cultivo convencional e semi-hidropônico, bem como determinar parâmetros de qualidade dos frutos e o respectivo tempo de armazenamento dos mesmos. Foram utilizados frutos da cultivar San Andreas, colhidos em duas áreas de cultivo (convencional e semi-hidropônico), localizadas no município de Bom Repouso, MG. O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo um fatorial 2×5 , com três repetições, onde se tem dois sistemas de cultivo (convencional e semi-hidropônico), associados a cinco períodos de armazenamento (D0: dia da colheita, D2: segundo dia, D4: quarto dia, D6: sexto dia e D8: oitavo dia), totalizando 30 parcelas experimentais, com 10 frutos cada. Os frutos foram colhidos e armazenados em BOD, à temperatura constante de 5° C. Os espectros foram obtidos pela análise NIR, utilizando-se os frutos inteiros. Os dados obtidos foram tratados e analisados por meio da análise de componentes principais (PCA), regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R) e análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA), com o auxílio do programa estatístico Chemoface®. Utilizando-se a técnica NIR associada a análises quimiométricas, não foi possível diferenciar frutos de morango provenientes de sistemas de produção convencional e semi-hidropônico. A PCA apresentou similaridade espectral e não foi possível separar os tratamentos. Pela PLS-R os modelos obtidos pelo NIR foram ineficientes. Foi possível classificar os frutos com relação ao tempo de armazenamento em cada sistema, utilizando PLS-DA.

Palavras-chave: Espectros. *Fragaria x ananassa* Duch. NIR. Quimiometria.

ABSTRACT

Near infrared spectroscopy (NIR) is a fast, accurate and non-destructive technique that can be used to determine the quality of harvested and marketed strawberry fruits. Therefore, this study aimed to verify the potential of NIR spectroscopy (Tensor 27 Bruker® equipment, with Fourier-transform near-infrared detector) to identify fruits from conventional cultivation and semi-hydroponic systems, as well as to determine fruit quality parameters and storage period. Fruits of the cultivar San Andreas were harvested in two cultivation areas (conventional and semi-hydroponic) located in Bom Repouso, state of Minas Gerais. The randomized complete design (CRD) was adopted, using a 2 x 5 factorial, with three replications. Two cultivation systems (conventional and semi-hydroponic) associated with five storage periods (D0: harvest day, D2: second day, D4: fourth day, D6: sixth day and D8: eighth day) were studied, totaling 30 experimental plots with 10 fruits each. Fruits were harvested and stored in BOD at a constant temperature of 5 °C. Spectra were obtained by NIR analysis using whole fruits. The data were processed and analyzed by principal component analysis (PCA), partial least squares regression (PLS-R) and partial least discriminant analysis (PLS-DA), using Chemoface® statistical software. By using NIR associated with chemometric analysis, it was not possible to differentiate strawberry fruits from conventional and semi-hydroponic production systems. PCA showed spectral similarity and it was not possible to separate the treatments. By PLS-R the models obtained by NIR were inefficient. Nevertheless, it was possible to classify the fruits in relation to the storage period in each cultivation system using PLS-DA.

Keywords: Spectra. *Fragaria x ananassa* Duch. Near infrared spectroscopy. Chemometrics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Espectro eletromagnético.....	25
Figura 2 -	Grupos funcionais atribuídos aos seus respectivos comprimentos de onda.	26
Figura 3 -	Análise de dados multivariados usados na espectroscopia NIR.	32
Figura 4 -	Espectros médios dos frutos provenientes do sistema convencional (Conv.) durante o período de armazenamento.....	44
Figura 5 -	Espectros médios dos frutos provenientes do sistema semi-hidropônico (Hidrop.) durante o período de armazenamento.....	45
Figura 6 -	Espectros médios dos frutos provenientes dos sistemas convencional e semi-hidropônico.....	46
Figura 7 -	Espectros médios dos frutos de ambos os sistemas durante o período de armazenamento.....	47
Figura 8 -	Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais dos espectros no NIR medidos nos frutos de morango provenientes dos sistemas de cultivo convencional e semi-hidropônico.	48
Figura 9 -	Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais dos espectros no NIR medidos nos frutos de morango provenientes do sistema de cultivo convencional durante o período de armazenamento.	49
Figura 10 -	Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais dos espectros no NIR medidos nos frutos de morango provenientes do sistema de cultivo semi-hidropônico durante o período de armazenamento.	50
Figura 11 -	Gráfico de regressão dos valores observados para perda de massa (PM) dos frutos e estimado no NIR.....	52
Figura 12 -	Gráfico de regressão dos valores de pH dos frutos determinado em laboratório e estimado no NIR.....	53
Figura 13 -	Gráfico de regressão dos valores de pectina total dos frutos determinado em laboratório (mg de ácido galacturônico 100 g ⁻¹ de polpa) e estimada no NIR....	55
Figura 14 -	Gráfico de regressão dos valores do ângulo Hue dos frutos determinado em laboratório e estimado no NIR.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores de QM (quadrado médio) e nível de significância obtido na análise de variância para os parâmetros analisados.	43
Tabela 2 -	Calibrações e validações cruzadas para estimar alguns parâmetros avaliados nos frutos de morango por PLS-R.	51
Tabela 3 -	Classificação das amostras de morango com relação ao sistema de cultivo e tempo de armazenamento, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.	53
Tabela 4 -	Classificação das amostras de morango com relação ao sistema de cultivo, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.	60
Tabela 5 -	Classificação das amostras de morango pertencentes ao sistema de cultivo convencional com relação ao tempo de armazenamento, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.	61
Tabela 6 -	Classificação das amostras de morango pertencentes ao sistema de cultivo semi-hidropônico com relação ao tempo de armazenamento, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Origem do morango.....	13
2.2	Descrição botânica	13
2.3	Características genéticas	14
2.4	Importância econômica	15
2.5	Sistemas de cultivo	17
2.5.1	Convencional.....	17
2.5.2	Hidropônico.....	18
2.6	Pós-colheita de frutos do morangueiro	20
2.6.1	Qualidade dos frutos.....	20
2.6.2	Perecibilidade dos frutos	21
2.7	Cultivares.....	23
2.8	Espectroscopia no infravermelho próximo	24
2.8.1	Vantagens e limitações da técnica	28
2.9	Quimiometria	32
2.10	Análise de componentes principais (PCA)	33
2.11	Análise de regressão por mínimos quadrados parciais	34
2.12	Validação cruzada	35
2.13	Validação externa	35
2.14	Parâmetros de calibração.....	36
2.15	Pré-tratamento espectral.....	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	Obtenção dos frutos.....	38
3.2	Tratamentos	38
3.3	Delineamento experimental	39
3.4	Transporte e Armazenamento.....	39
3.5	Perda de Massa (PM)	39
3.6	Obtenção dos espectros no Infravermelho Próximo (NIR) dos frutos de morango	40

3.7	Análise estatística do NIR (Análise estatística multivariada).....	40
3.8	Potencial hidrogeniônico (pH)	40
3.9	Acidez titulável total (ATT)	40
3.10	Sólidos solúveis totais (SST).....	41
3.11	Cor.....	41
3.12	Firmeza (FIR).....	41
3.13	Vitamina C (ácido ascórbico)	42
3.14	Açúcares totais	42
3.15	Pectina solúvel (Pec S) e pectina total (Pec T).....	42
3.16	Antocianinas monoméricas	42
3.17	Análise estatística das análises físico-químicas	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	Análises físico-químicas.....	43
4.2	Espectros dos frutos de morango no infravermelho próximo (NIR)	44
4.3	Análise de componentes principais (PCA)	47
4.4	Regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R)	50
4.5	Análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA).....	57
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

O morangueiro é uma planta nativa de regiões de clima temperado das Américas e da Europa. A espécie cultivada comercialmente é um híbrido proveniente de um cruzamento acidental ocorrido no início do século XVIII, entre a espécie *Fragaria chiloensis* L. Duchesne originária do sul do Chile e da Argentina e a espécie *Fragaria virginiana* Duchesne, originária do leste da América do Norte (DARROW, 1966).

O cultivo comercial do morango caracteriza-se pela dependência tecnológica e pela elevada demanda de mão de obra. Em Minas Gerais, o número de empregos gerados com cultivo aproxima-se de 15 mil empregos diretos e 24 mil indiretos (SILVEIRA; GUIMARÃES 2014), o que é de extrema relevância social e econômica, principalmente para agricultura familiar (TEIXEIRA, 2011). A produção anual a nível mundial é de aproximadamente 9,1 milhões de toneladas (FAO, 2018).

A técnica da espectroscopia NIR, utilizada em variados processos analíticos, cuja determinação deve ser imediata, vem se destacando pelo resultado rápido, preciso e não destrutivo. Os bons resultados dependem de uma adequada calibração, onde a propriedade de interesse é determinada por um método de referência, possibilitando determinar o conteúdo de parâmetros ou compostos bioquímicos de forma rápida, com bom grau de precisão e custo operacional relativamente baixo. Por se tratar de uma metodologia via calibração multivariada, a confiabilidade dos resultados obtidos no NIR, relaciona-se com os resultados obtidos na calibração e com possíveis erros analíticos que esta possa apresentar.

A técnica NIR oferece rápida obtenção dos resultados analíticos, apresenta caráter não invasivo e não destrutivo. Desta forma, não é necessário um preparo prévio da amostra, gerando economia de reagentes e tempo, minimizando erros do analista (já que reduz o número de medidas padrão) e da análise, além de diversos equipamentos sofisticados que demandam analistas qualificados (JIE et al., 2014; MA et al., 2017; POREP; KAMMERER; CARLE, 2015).

Em função do mínimo preparo da amostra e, conseqüente mínima transformação da mesma, as amostras podem ser utilizadas após realizadas as medidas no NIR, ou seguir para outros processos analíticos adicionais. Segundo Costa et al. (2009), técnicas não destrutivas propiciam o aumento do número de repetições, utilizando a mesma amostra durante o período

de amadurecimento dos frutos, fornecendo assim, informações mais precisas e reais. Outro fato é que os resultados da técnica NIR dependem pouco da habilidade do operador.

Nesse contexto, é necessário desenvolver uma metodologia rápida, confiável e eficiente, que permita identificar o tempo de armazenamento dos frutos e o sistema de cultivo, relacionando-se com a qualidade dos frutos para o consumidor e funcionando como um indicador da qualidade pós-colheita e procedência dos frutos. Assim, a proposta desta pesquisa foi verificar o potencial de utilização da técnica de espectroscopia no infravermelho próximo para identificação de frutos provenientes de dois sistemas de cultivos (convencional e semi-hidropônico), bem como determinar parâmetros de qualidade dos frutos e o respectivo tempo de armazenamento dos mesmos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem do morango

O morangueiro é uma planta nativa de regiões de clima temperado das Américas e da Europa. A espécie cultivada comercialmente é um híbrido proveniente de um cruzamento acidental ocorrido no início do século XVIII, entre a espécie *Fragaria chiloensis* L. Duchesne originária do sul do Chile e da Argentina e a espécie *Fragaria virginiana* Duchesne, originária do leste da América do Norte. As duas espécies produziram um híbrido que apresentou tamanho, odor e cor relevantes, provocando o desenvolvimento da indústria de morango na França, sendo o primeiro híbrido nomeado *Fragaria ananassa* Duchesne (DARROW, 1966). O híbrido gerado é progenitor das plantas cultivadas comercialmente, sendo a espécie mais importante economicamente (NJUGUNA, 2010).

2.2 Descrição botânica

O morango comercial é pertencente à família Rosaceae, ao gênero *Fragaria* e à espécie *Fragaria x ananassa* Duch. Durante muitos anos espécies do gênero *Fragaria* foram cultivadas em ornamentação de jardins europeus. É considerada uma planta estolonífera e herbácea perene, entretanto, é cultivada comercialmente como anual. Apresenta sistema radicular do tipo fasciculado e fibroso, originando-se na coroa e dividindo-se em primária e secundária (PALHA et al., 2005).

No morangueiro, a parte de interesse comercial é constituída por um receptáculo carnoso, que compõe o pseudofruto e apresenta coloração vermelha, e os frutos verdadeiros são os aquênios, contendo as sementes presas ao receptáculo, sendo estas pequenas e pretas (PROCOPIUK, 2015).

As folhas são alternas, compostas, inseridas no caule por pecíolos considerados longos, constituídas por folíolos dentados, podendo estes estarem presentes em números de três, quatro ou mais, apresentam coloração verde escuro na face superior e acinzentada e pilosa na inferior (GUIMARÃES; ANDRADE; PASCUAL, 2013).

As flores apresentam-se agrupadas em inflorescência do tipo cimeira, variando o número em uma mesma cultivar, o pedúnculo floral é ereto, curvando-se após a polinização na

formação do fruto. As pétalas estão dispostas ao redor do receptáculo apresentando de oito a dez sépalas, sendo estas, livres e lobuladas de coloração branca ou avermelhada (SILVA; DIAS; MARO, 2007).

No morangueiro, ocorre a polinização anemófila e entomófila, podendo esta etapa tornar-se crítica na produção comercial, devido a frutos deformados e não comerciáveis decorrentes de problemas na polinização. A percentagem de frutos comerciáveis eleva-se com a presença de abelhas (ANTUNES et al., 2007).

O morangueiro é propagado por sementes, principalmente em programas de melhoramento genético da cultura (ANTUNES et al., 2007). Comercialmente, o morangueiro é propagado vegetativamente, a partir de estolões que a planta matriz emite, estes são estruturas prolongadas do tecido meristemático, formados na axila das folhas trifoliadas. A produção de estolões é favorecida em períodos de longo fotoperíodo, elevadas temperaturas e o número de estolões produzidos por planta é variável de acordo com a cultivar (COCCO, 2010). O fotoperíodo e a temperatura são fatores responsáveis pelo controle da mudança do estágio vegetativo para o reprodutivo (PALHA et al., 2005).

A escolha das cultivares é um processo fundamental para obtenção de bons resultados na produção de morangos, onde as características inerentes à cultivar, associadas as condições edafoclimáticas e a fatores como manejo, definem a qualidade e a produtividade do morango (ANTUNES et al., 2007).

O hábito de frutificação inerente a cada cultivar, classifica o morango em três classes: plantas neutras, plantas de dias curtos e plantas de dias longos. As plantas neutras apresentam indução floral independente do fotoperíodo, sendo controlada principalmente pela temperatura, ocorrendo em temperaturas inferiores a 28 °C. Nas plantas de dia curto, fotoperíodos inferiores a 14 horas e temperaturas menores que 16 °C propiciam a indução floral. Nas plantas de dia longo, a indução floral ocorre quando o fotoperíodo for superior a 14 horas (FAGHERAZZI, 2013; VERDIAL et al., 2009).

2.3 Características genéticas

Presume-se que os primeiros estudos acerca do melhoramento do morangueiro, iniciaram-se quando índios que habitavam o Chile, ainda na América pré-colombiana, selecionaram algumas plantas que apresentavam frutos com tamanho superior (CASTRO,

2004). Por volta de 1850, os Estados Unidos iniciaram os trabalhos de melhoramento genético do fruto, com um pequeno grupo de cultivares advindas da América do Norte, América do Sul e Europa com as respectivas espécies *F. virginiana*, *F. chiloensis*, *F. ananassa*. Com os germoplasmas desses programas, ocorreu o desenvolvimento de novas cultivares para os próximos 100 anos (HANCOCK et al., 2010).

Os programas de melhoramento do morangueiro concentram-se na América do Norte e na Europa, mas também estão presentes na Ásia, Austrália e América do Sul, totalizando mais de 40 programas oficiais ativos, com consideráveis variações genéticas para as características de interesse no germoplasma disponível. As principais cultivares comerciais de morangueiro são importadas dos Estados Unidos e outros países, em função do reduzido investimento ocorrido nas últimas décadas em programas de melhoramento do morangueiro, indicando que o desenvolvimento da cultura no Brasil é extremamente dependente de cultivares importadas, tornando o produtor subordinado à tecnologia internacional (OLIVEIRA et al., 2006).

2.4 Importância econômica

O cultivo comercial do morango caracteriza-se pela dependência tecnológica e pela elevada demanda de mão de obra, principalmente nos períodos em que se realiza as colheitas, podendo gerar até quatro empregos diretos por hectare, e diversos outros indiretos, gerados em toda a cadeia produtiva do morango, formada por empresas especializadas em vendas de insumos, produtores de mudas, unidades fabris, dentre outros (DUARTE FILHO; ANTUNES; PÁDUA, 2007).

Em Minas Gerais, o número de empregos gerado com o cultivo aproxima-se de 15 mil empregos diretos e 24 mil indiretos (SILVEIRA; GUIMARÃES 2014). Sendo assim, a cadeia produtiva do morango, em constante crescimento no setor da horticultura, é de extrema relevância social e econômica para a agricultura familiar (TEIXEIRA, 2011).

Na agroindústria, a cultura do morango é de grande relevância, fornecendo matéria-prima para a fabricação de diversos produtos, como doces, licores e bebidas lácteas (DUARTE FILHO; ANTUNES; PÁDUA, 2007). No Brasil, aproximadamente 70% da produção tem como destino a comercialização *in natura*, enquanto 30% são destinados ao processamento industrial (ANTUNES et al., 2007). É um fruto muito apreciado pela população em função do seu sabor, aroma e coloração, possuindo elevados teores de vitaminas, principalmente a vitamina C e

compostos fenólicos. É considerado um alimento com elevado teor de sacarose e baixo teor de carboidratos (RODAS, 2011).

É um fruto muito apreciado, utilizado em sobremesas, entretanto, é caracterizado como delicado e muito perecível, o que restringe a comercialização, a disponibilidade, e o transporte a locais distantes de onde ocorre a produção. Fato este decorrente da elevada deterioração dos frutos, resultado de doenças pós-colheita e da senescência, que ocasionam grandes perdas econômicas e nutritivas dos frutos (REIS et al., 2008).

O morango é destaque no grupo dos pequenos frutos, sendo considerado entre o mirtilo, amora e framboesa, como a principal e também mais importante espécie deste grupo cultivada no Brasil (SILVA, 2011). A produção anual mundial é de aproximadamente 9,1 milhões de toneladas (FAO, 2018).

Cultivado comercialmente em vários países, o morango tem destaque na China, que é o maior produtor mundial, com uma produção de 3.793.864 toneladas, seguido pelos Estados Unidos e México, com 1.420.570 e 468.248 toneladas, respectivamente. Segundo dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2018), a área plantada no Brasil, em 2016, alcançou 398 hectares, com produção de 3.343 toneladas. Em sua quase totalidade, a produção brasileira de morango é destinada ao mercado interno, entretanto, em pequena quantidade tem ocorrido exportações para Argentina e Chile (DIAS; SIMÕES, 2007).

De acordo com Antunes (2018) estima-se que, em 2017, foi alcançado mais de 155.000 toneladas em uma área aproximadamente de 4.300 hectares. Ainda que os dados não estejam inclusos nos resultados divulgados pela FAO (2018), especialistas revelam que o país surge entre os 20 maiores produtores mundiais, com produtividade média nacional de 36 toneladas por hectare.

A cultura do morango no Brasil é considerada expressiva, estando difundida em regiões que apresentam clima subtropical e temperado, com produção para atender a demanda industrial e o mercado do consumo *in natura*, destacando como produtores os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Espírito Santo (PEREIRA et al., 2013). O estado de Minas Gerais destaca-se como maior produtor nacional, estando presente no sul de Minas Gerais a região de Estiva e Pouso Alegre, que são consideradas principais centro de cultivo de morango no Brasil (DIAS et al., 2015). As condições climáticas de Minas Gerais, principalmente do sul do estado, são favoráveis ao desenvolvimento da cultura.

No final da década de 50, ocorreu o início do cultivo do morangueiro em Minas Gerais, por produtores de hortaliças de Estiva, que realizaram o plantio de mudas trazidas de São Paulo. O cultivo comercial do morangueiro em Minas Gerais, restringiu-se até o ano de 2005 às regiões sul do estado, em função do clima favorável, entretanto, após este ano o cultivo se estendeu para outras regiões no norte do estado, como o município de Datas. Com a utilização de novas cultivares, o município de Datas, que possui clima ameno e altitude de até 1300 metros, foi favorecido para o desenvolvimento do morangueiro, tornando-se um centro produtivo da região. Em caráter experimental, outras cidades como Nova Porteirinha e Jaíba, presentes no semiárido norte-mineiro, apresentaram aptidão para o desenvolvimento da cultura (DIAS; SIMÕES, 2007).

O cultivo do morangueiro gera elevados rendimentos quando comparado a outras culturas anuais, como soja e milho, o que de modo geral, estimula diversos produtores a iniciarem a atividade (ZAMBOLIM; COSTA, 2006). A importância do cultivo do morango torna-se histórica, integrando a história dos principais municípios produtores, incentivando eventos e festas que remetem à cultura.

2.5 Sistemas de cultivo

2.5.1 Convencional

O cultivo do morangueiro em sistema convencional, utiliza cultivares adaptadas à região, e que apresentam elevada produtividade. São aplicados na cultura, fertilizantes minerais, defensivos químicos, dentre outras tecnologias que atendam ao nível tecnológico de cultivo do produtor. As práticas convencionais possibilitam culturas de elevado rendimento, entretanto, questionamentos são feitos com relação as consequências biológicas e ambientais negativas e à sustentabilidade em longo prazo, associados aos manejos adotados pelos produtores (HAKALA et al., 2003).

Medeiros e Santos (2003) relatam que, usualmente, são utilizadas práticas culturais como a cobertura do solo, com objetivo principal de evitar o contato do fruto com o solo, de modo que a colheita do fruto seja livre de impurezas. Com a adoção da cobertura do solo, ocorre o controle de plantas daninhas, isentando as capinas manuais que ocasionam danos nas raízes superficiais dos morangos, sendo estas essenciais na atividade de absorção de água e de

nutrientes. Reduz a amplitude térmica do solo e mantém a umidade. Em cultivos comerciais utiliza-se a cobertura com plástico preto, com espessura de 30 micras, podendo em escalas menores, utilizar outros materiais como palha de arroz, serragem, dentre outros.

Após realizado transplântio das mudas e cobertura com *mulchig* é colocado o túnel baixo, com plástico transparente aditivado, visando a proteção do morangueiro e seus frutos. A estrutura adotada para sustentação do plástico, são arcos de arame galvanizado, sendo a altura mínima do túnel na parte central de 0,6 metros e os arcos ficam distantes de 1,2 a 1,5 metros. A função primordial desta estrutura é proteger as plantas de intempéries, evitando o molhamento foliar, reduzindo significativamente a incidência de fitopatógenos. Pela manhã, após a evaporação do orvalho o túnel é aberto e ao final da tarde, procede-se o fechamento, de modo a evitar o molhamento foliar pelo sereno. Destaca-se que o túnel deve ser aberto somente em dias ensolarados (MEDEIROS; SANTOS, 2003).

Algumas vantagens podem ser consideradas a respeito deste sistema, a exemplo da facilidade de implantação da cultura, bem como o custo de formação da lavoura e produção, que é considerado inferior a outros sistemas de cultivo. Entretanto, como desvantagens, relata-se a intensa exposição dos frutos às condições ambientais adversas de molhamento foliar, geadas e moléstias, já que facilmente as plantas apresentam infestações por patógenos (RESENDE; MASCARENHAS; PAIVA, 1999). A rotação de áreas também é uma necessidade, considerada como um ponto negativo para o sistema, já que a utilização sucessiva da mesma, acarreta em problemas frequentes de disseminação de doenças e pragas, o que causa reduções consideráveis na produtividade das lavouras (SANHUEZA, 2005).

2.5.2 Hidropônico

A produção comercial de morangos em cultivo hidropônico, tem ganhado cada vez mais popularidade (DIEL et al., 2017; MURTHY; KARIMI; LAXMAN, 2017). São diversos tipos de sistemas hidropônicos utilizados no cultivo do morangueiro, podendo estes ser suspensos ou colocados sobre suportes, fechado ou aberto com relação a solução nutritiva, e podem utilizar diversos substratos para o crescimento das plantas, tais como turfa, areia, cascalho, espuma de poliuretano, poliestireno expandido, perlite, lã de rocha, vermiculita, casca de pinheiro, fibra de coco etc. (RECAMALES; MEDINA; HERNANZ, 2007).

O desenvolvimento do cultivo em hidroponia visa otimizar o rendimento da cultura, a qualidade dos frutos e reduzir os problemas fitossanitários das plantas (RECAMALES; MEDINA; HERNANZ, 2007). A facilidade de manejo nutricional das plantas é considerada uma grande vantagem de produção, permitindo maior controle sobre a zona radicular comparado com o cultivo no solo, o que facilita o fornecimento dos nutrientes com base nas necessidades nutricionais da cultura.

A solução nutritiva equilibrada é um fator determinante para o crescimento e desenvolvimento vegetativo do morangueiro, refletindo-se numa produção de frutos com elevada qualidade e valor nutricional. Observar a composição nutricional da solução, bem como as interações existentes entre os nutrientes, é fundamental. O controle da fertirrigação é determinante no bom funcionamento do sistema, considerando sempre a fenologia da planta, as características físicas do sistema de cultivo (substrato) e as dimensões do recipiente (MINGUEZ, 1999).

É de fundamental importância que, para se obter um adequado crescimento da cultura, bem como incrementos na produção de frutos, a concentração e o equilíbrio entre os sais da solução devem atender a demanda de cada estágio do ciclo da cultura (ANDRIOLO, 1999). De acordo com Fayad et al. (2001), a absorção de nutrientes pelas plantas é maximizada pela melhor distribuição dos mesmos nas zonas próximas às raízes, por processos como difusão e fluxo de massa.

Os cultivos em hidroponia estão em expansão quando comparados a outros sistemas, ganhando importância, uma vez que neste sistema os problemas sanitários e ergonômicos são menores, ocasionando um incremento na produtividade, quando comparado ao cultivo convencional (MORAES; FURLANI, 1999; PARANJE et al., 2003; LIETEN, 2004). Marquelli; Carrijo; Zolnier (2005) consideram que a rentabilidade nos cultivos hidropônicos é maior, comparado a outros sistemas agrícolas.

Os morangueiros cultivados em hidroponia, em sua maior parte utilizam algum tipo de substrato. A escolha de um substrato adequado propicia um bom controle do teor de oxigênio e maior inércia térmica do sistema radicular, quando comparado aos sistemas hidropônicos do tipo NFT (fluxo laminar de nutrientes) (LIETEN, 2004). Podem ser utilizados sacos com dimensões apropriadas, vasos plásticos ou calhas contendo o substrato, que têm a função de suporte físico para as plantas, as quais receberão a solução nutritiva.

Segundo os autores Medeiros, Strassburger e Antunes (2008), o crescimento deste sistema ocorre pelo fato de que os solos apresentam elevados níveis de contaminação por patógenos radiculares, tornando o cultivo em substrato, uma alternativa viável. A adoção do cultivo em substrato propicia um considerável aumento no ciclo da cultura, estendendo o período de colheita até os meses mais quentes do ano, melhorando as condições de trabalho dos produtores, principalmente em relação a ergonomia (GALINA; ILHA; PAGNONCELLI, 2013).

A cultura do morango em substrato traz importantes benefícios em relação as condições de trabalho, no qual o manejo do morangueiro é realizado em pé, ao contrário das condições ergonômicas que desfavoreciam a saúde dos produtores no cultivo em solo (MUSA et al., 2015). Neste sistema de cultivo, assim como no convencional, utiliza-se fertilizantes minerais, defensivos químicos, dentre outras tecnologias que estejam disponíveis e sejam registradas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para a utilização na cultura, conforme recomendações técnicas.

2.6 Pós-colheita de frutos do morangueiro

2.6.1 Qualidade dos frutos

O comércio de frutas e hortaliças tem exigido, cada vez mais, produtos com qualidade, visto que é crescente a preocupação pelo consumidor em relação a qualidade do produto que consome. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), tecnologias na pré e pós-colheita, são necessárias para obter e preservar a qualidade do produto agrícola. Sendo que a mesma não pode ser definida como um único atributo, mas como um conjunto de características de cada produto hortícola.

Devido as exigências do mercado consumidor de frutos de morango, a forma e o tamanho do fruto são parâmetros externos tradicionais de qualidade, com forte apelo comercial, sobretudo, para frutos comercializados *in natura* (CONTI; MINAMI; TAVARES, 2002). Segundo Bordignon Jr. et al. (2008) e Manganaris et al. (2014), o consumo do morango não se associa unicamente à forma e ao tamanho, e sim, a outros atributos peculiares que agradam o consumidor, como a cor atraente, textura macia, aroma e o sabor único.

A cor vermelha é um atributo visual característico e extremamente significativo em frutos de morango (WEBER et al., 2018), sendo considerado o primeiro atributo observado pelo consumidor, o qual preestabelece a qualidade visual dos frutos na colheita. A coloração vermelha correlaciona a presença de antocianinas e é utilizada como indicativo de maturação do fruto para o consumidor (CARPENEDO et al., 2016). Na indústria alimentícia, os pigmentos presentes no morango são importantes, podendo substituir corantes artificiais, atendendo um público cada vez mais consciente para consumir alimentos isentos de produtos químicos sintéticos, dando preferência ao natural e aos saudáveis (MACHADO et al., 2013).

Nos frutos em geral, a textura é determinada pela maciez ou pela firmeza da polpa, relacionando com o sabor e o aroma, já que a liberação de compostos presentes nos frutos está relacionada com a estrutura do tecido (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O mercado consumidor prefere frutos doces, sobretudo, os que serão consumidos *in natura*, portanto, o sabor do morango é outro aspecto de qualidade importante na determinação de maturação e na definição de compra do fruto (GODOI et al., 2008). O sabor é determinado principalmente pelas proporções de sólidos solúveis e acidez (KRÜGER et al., 2012). A cultivar, as práticas culturais, as condições climáticas e o sistema de produção, alteram e influenciam nos atributos de qualidade (MDITSHWA et al., 2017). Capocasa et al. (2008), considera que, para os parâmetros de qualidade, os morangos são mais influenciados pela cultivar do que pelas práticas de cultivo.

Os frutos de morango são altamente perecíveis na fase pós-colheita e segundo Caner, Aday e Demir (2008), as perdas podem alcançar 40% no decorrer do armazenamento. O elevado teor de umidade e o teor de açúcares e ácidos podem provocar a perda da integridade estrutural, tornando o meio ideal para proliferação de organismos patogênicos, limitando assim, a vida de prateleira (SIQUEIRA et al., 2009). Desta forma, o tempo de vida útil do morango se reduz, e sua comercialização ocorre num breve período de tempo.

2.6.2 Perecibilidade dos frutos

O morango é um fruto de elevada perecibilidade, que apesar das excelentes características organolépticas, apresenta alta taxa respiratória e limitada vida pós-colheita (LIMA, 1999). As perdas de qualidade pós-colheita do morango relacionam-se com danos ocorridos durante a colheita e transporte, temperatura inadequada e embalagens impróprias

(FLORES-CANTILLANO, 1999). Por se tratar de um fruto extremamente perecível, sua conservação pós-colheita torna-se, em alguns casos, um problema, pelo fato de, em certas condições, atingir perdas totais em apenas 48 horas após colhido.

As hortaliças e frutos são considerados tecidos vivos, estando sujeitos a processos químicos e fisiológicos importantes em pós-colheita, como a transpiração e a respiração. Estão constantemente submetidos a alterações após a colheita, sendo em sua maioria, irreversíveis. Determinadas alterações são desejáveis, melhorando o aspecto, sabor e aroma do produto final, porém, a maioria das alterações são indesejáveis, contribuindo para redução na qualidade (LIZANA, 1975).

A qualidade do morango que será comercializado deve ser preconizada desde a produção e mantida em pós-colheita. Portanto, o acondicionamento dos frutos deve ser adequado, para que o tempo de comercialização seja o mais extenso possível. A disponibilidade de produtos agrícolas para o consumo sofre diminuição, geralmente em detrimento de danos de origem patológica ou fisiológica (OLIVEIRA et al., 2006).

O principal processo fisiológico dos frutos em pós-colheita é a respiração, que utiliza as próprias reservas de substrato acumulado durante o crescimento e maturação, para permanecerem vivos. A atividade metabólica do tecido pode ser indicada pela taxa respiratória, associada ao comportamento ou ao tipo respiratório, definindo a durabilidade dos frutos na fase pós-colheita. O morango é classificado como fruto não climatérico, apresentando redução gradual da respiração, e baixa produção de etileno endógeno, portanto, no momento da colheita, deve estar no estágio ótimo de maturação, pois após colhido, o seu amadurecimento não se completa (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A taxa respiratória do fruto é elevada, aproximadamente $15 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a 0°C , aumentando entre 4 a 5 vezes quando a temperatura eleva até 10°C e 10 vezes se a temperatura atingir 20°C (FLORES-CANTILLANO, 1999). Os morangos que sofrem danos mecânicos têm sua taxa respiratória elevada em função do aumento da concentração de etileno. O morango não é responsivo a aplicação exógena de etileno quando se pretende estimular o processo de maturação, sendo sua produção endógena inferior a $0,1 \text{ ml} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Devido ao tamanho do fruto de morango, o mesmo apresenta grande superfície exposta à transpiração em relação ao seu peso, o que acaba prejudicando sua qualidade, provocando perda de peso, enrugamento, amolecimento do fruto e ressecamento. Para fins comerciais é aceitável que o morango tenha uma desidratação de até 6% de sua massa fresca (FLORES-

CANTILLANO, 1999). Em frutos acondicionados em temperaturas entre 21 e 26 °C, os danos observados em função das podridões podem atingir 98% no período de cinco dias de armazenamento.

Os principais fungos patogênicos causadores de podridão em pós-colheita no morango são: *Botrytis cinera*, *Rhizopus stolonifer* e espécies de *Colletotrichum*. Para o controle eficiente das podridões causadas por estes patógenos, aplicações com fungicidas são necessárias durante todo o ciclo da cultura (ZAMBOLIM; COSTA, 2006).

A disponibilidade e a comercialização dos frutos de morango são limitadas, em função da sua acelerada deterioração, causada pelas doenças pós-colheita e pela senescência, que provocam consideráveis perdas econômicas e nutritivas. Diversas tecnologias estão sendo pesquisadas e desenvolvidas para reduzir e prevenir as perdas pós-colheita, de modo a manter a qualidade inicial do fruto e estender sua vida útil.

A taxa metabólica dos frutos pode ser reduzida com a utilização correta da refrigeração. Entretanto, isoladamente, a refrigeração não é eficiente para manter a qualidade dos frutos, sendo necessário o uso de outras técnicas, como imersão em produtos fitossanitários à base de cloro e cálcio, acondicionamento em atmosfera modificada e o uso de ceras ou biofilmes (CARDOSO et al., 2012). O correto armazenamento é um ponto determinante para o sucesso da comercialização de frutos tropicais.

2.7 Cultivares

A escolha das cultivares é uma etapa determinante para o sucesso do cultivo do morangueiro. Esta etapa é considerada um processo fundamental para obtenção de bons resultados na produção de morangos, onde as características inerentes à cultivar, associadas as condições edafoclimáticas e a fatores como manejo, definem a qualidade e a produtividade do morango (ANTUNES et al., 2007).

O hábito de frutificação inerente a cada cultivar, classifica o morango em três classes: plantas neutras, plantas de dias curtos e plantas de dias longos. As plantas neutras apresentam indução floral independente do fotoperíodo, sendo controlada principalmente pela temperatura, ocorrendo em temperaturas inferiores a 28 °C. Nas plantas de dia curto, fotoperíodos inferiores a 14 horas e temperaturas menores que 16 °C propiciam a indução floral. Nas plantas de dia longo, a indução floral ocorre quando o fotoperíodo for superior a 14 horas (FAGHERAZZI,

2013, VERDIAL et al., 2009). As cultivares plantadas comercialmente no Brasil, são em sua maioria, classificadas como de dias curtos (CAMARGO, 2008).

A produção de morango durante o período de entressafra é possível devido a utilização de cultivares de dia neutro, que garante maior produção em períodos mais quentes do ano, em função da menor sensibilidade ao fotoperíodo e a temperatura. Considerada pelos produtores como uma das principais vantagens ao plantarem cultivares de dia neutro (STRASSBURGER et al., 2010).

Franco, Lima e Simone (2017), observaram em estudo realizado, que a cultivar San Andreas (cultivar de dia neutro) apresentou frutos com maior diâmetro, comprimento e massa, nos meses em que ocorreram o aumento do fotoperíodo e da temperatura. Verificou-se também, que a produção foi menor no mês de julho, onde ocorreu diminuição da temperatura. A menor produção neste período pode ser explicada devido a redução da temperatura e fotoperíodo, induzindo a planta a reduzir seu metabolismo, ocasionando período de dormência, gerando a redução da produção.

As principais cultivares comerciais de morangueiro são importadas dos Estados Unidos e outros países, em função do reduzido investimento ocorrido nas últimas décadas em programas de melhoramento do morangueiro, indicando que o desenvolvimento da cultura no Brasil é ainda dependente de cultivares importadas, tornando o produtor subordinado à tecnologia internacional (OLIVEIRA et al., 2006).

O processo de importação das mudas é realizado por empresas especializadas e viveiristas argentinos e chilenos, entretanto, ainda são poucas as informações sobre a adaptabilidade e o desempenho em locais e sistemas de cultivo distintos dos de origem das cultivares (COCCO et al., 2011; OLIVEIRA; BONOW, 2012). O aumento da produtividade do morangueiro pode se limitar pela escassez de materiais adaptados às condições locais de cultivo (CERUTTI; SANTOS, 2018).

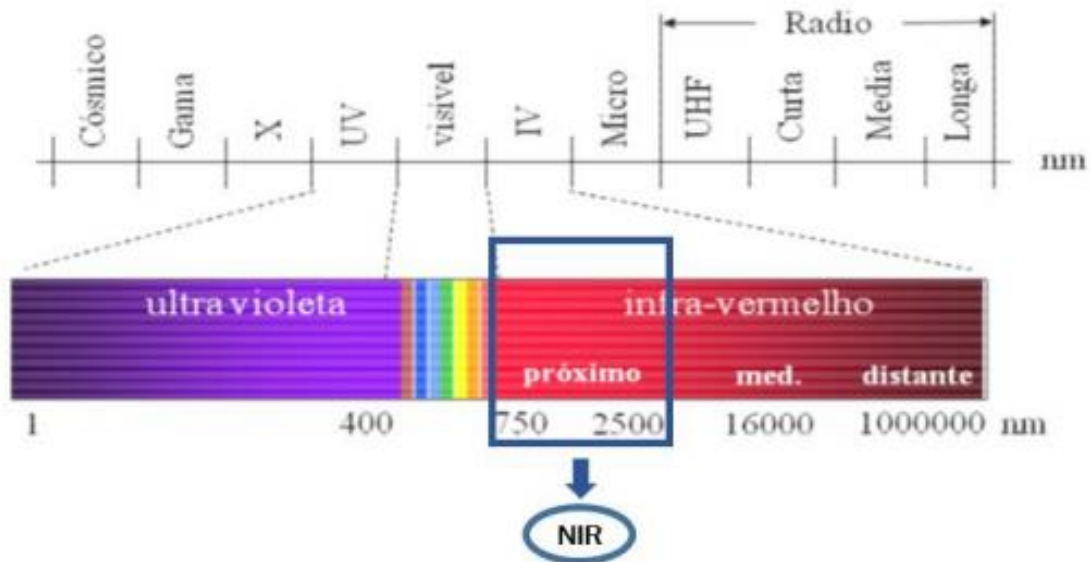
2.8 Espectroscopia no infravermelho próximo

A espectroscopia é um processo de medição fundamentado na emissão e absorção de energia eletromagnética em alguma região do espectro eletromagnético (GUIMARÃES, 2016), considerada uma técnica baseada nas vibrações moleculares (HUANG et al., 2008). De acordo com Pasquini (2003), a combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se

propagam por meio do espaço transportando energia, geram a energia/radiação eletromagnética.

O espectro eletromagnético conhecido como a região da radiação infravermelha, é dividido em três diferentes regiões, compreendidas entre os comprimentos de onda de 750 a 1×10^6 nanômetros. O infravermelho distante, apresenta comprimentos de onda que se estendem de 1×10^4 a 1×10^6 nm; o infravermelho médio se estende de 2500 a 10000 nm e; o infravermelho próximo, corresponde aos comprimentos de onda que se estendem de 750 a 2500 nm (FIGURA 1).

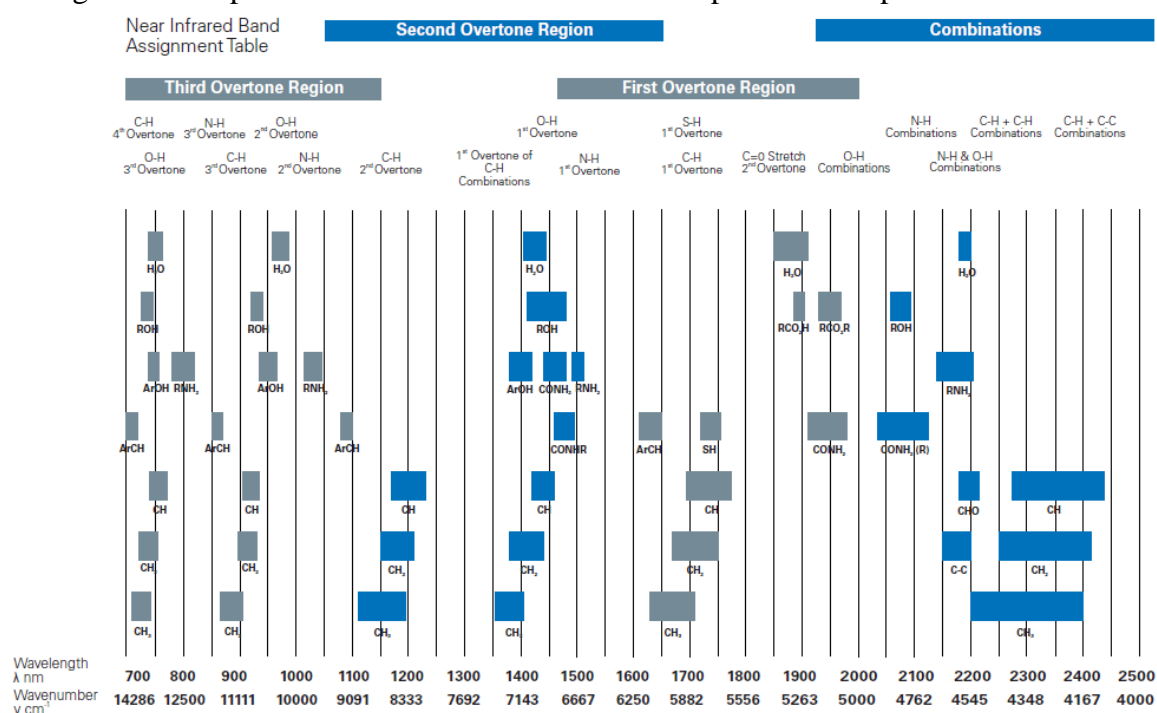
Figura 1 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Santos (2017).

Os espectros são resultados da vibração e decorrentes da absorvância, principalmente em ligações Carbono-Hidrogênio (C-H), Oxigênio-Hidrogênio (O-H), Enxofre-Hidrogênio (S-H) e Nitrogênio-Hidrogênio (N-H), presentes em compostos naturais (GUIMARÃES, 2016), como demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Grupos funcionais atribuídos aos seus respectivos comprimentos de onda.



Fonte: Guimarães (2016).

As ligações químicas compõem um conjunto de vibração, cuja frequência varia de acordo com a natureza da ligação atômica. Assim, a absorção de energia proveniente de um emissor de infravermelho é controlada pela frequência de vibração e pela natureza química da ligação (PASQUINI, 2003; BURNS; CIURCZAK, 2008).

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR, do inglês *Near Infrared*), é uma técnica cujo nome origina-se em função da região do espectro eletromagnético estar imediatamente superior à região visível, a ‘mais próxima’ ao visível (350-750 nm) (LIMA; BAKKER, 2011). Análises utilizando a técnica iniciaram-se a partir de 1960 (REICH, 2005), a qual é impulsionada, principalmente, para determinações quantitativas de produtos alimentícios e agrícolas, e também nos mais diversos setores industriais, a exemplo das indústrias de química, tintas, farmacêuticas, petróleo, têxtil, carvão, cosméticos e polímeros (ROGGO et al., 2007).

A composição, bem como o material (fruto, madeira, plástico, medicamento, mel etc.) apresenta uma resposta característica de absorbância, refletância ou transmitância, a depender do sistema de operação do equipamento utilizado, e, por isso, o termo assinatura espectral é frequentemente usado (GIORDANENGO, 2005; WIBERG, 2004).

A técnica do NIR é constantemente utilizada para análise quantitativa funcional e sensorial para produtos finais, intermediários de processos e ingredientes alimentícios. Entretanto, os bons resultados são dependentes de uma adequada calibração, que possibilita determinar o conteúdo de praticamente qualquer nutriente de forma rápida, com bom grau de precisão e custo operacional relativamente baixo.

A técnica tem o objetivo principal de definir grupos funcionais de uma amostra, pois cada grupo funcional absorve em uma frequência característica desta região (SILVERSTEIN; WEBSTER, 1998).

O amplo número de centros de vibrações, e a variedade de vibrações possíveis, presente nas moléculas constituídas por muitos átomos, tornam os espectros na região do infravermelho difíceis, senão impossíveis, de se interpretar (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002).

De acordo com Workman e Weywer (2007), a faixa espectral que se estende de 9.000 a 12.500 cm^{-1} apresenta bastante ruído. Esta gama de comprimentos de onda corresponde à região da terceira harmônica. Nesta faixa, a absorção é de reduzida intensidade, o que resulta em má qualidade das informações obtidas. A faixa entre 5.000 e 9.000 cm^{-1} representa a região da primeira e da segunda harmônica. É uma região informativa, apresentando pouco ruído. Entre 4.000 e 5.000 cm^{-1} encontra-se a região das bandas de combinações. Esta região é composta por muita sobreposição dos picos de absorbância, que são resultantes da interação entre diferentes ligações químicas. Considerada informativa, apresenta pouco ruído, entretanto, não é tão evidente para ser analisada quimicamente.

As características ópticas da amostra determinam o modo de medição a ser utilizado, podendo ser realizada a técnica da espectroscopia NIR, por reflectância difusa, transmitância, transflectância ou absorção. De acordo com Magalhães (2014), usualmente materiais transparentes são medidos pelo modo de transmitância, onde o princípio baseia-se na absorção da radiação pela amostra, e o decréscimo da intensidade do sinal captado pelo sensor/detector em uma determinada frequência sugere quais grupos podem estar absorvendo energia para vibrações. Por meio da variação da energia emitida e a energia recebida pelo detector, verifica-se as frequências que a amostra mais absorveu (LEITÃO, 2012). Em se tratando de amostras sólidas (inteiras ou pó), Silva (2011), recomenda o modo de reflectância difusa. A radiação incide na amostra, espalha sobre a superfície, e penetra alguns milímetros na amostra, onde uma parte é absorvida, e a radiação não absorvida é refletida pela amostra.

As medidas de transfectância funcionam como uma associação dos métodos de reflectância e transmitância, utilizado quando as amostras são líquidas, viscosas ou em suspensão. Primeiramente, os espectros são obtidos por reflectância, onde a radiação incidente atravessa a amostra e, em seguida, é refletida, atravessando novamente a amostra e, sendo então, captada pelo detector, gerando um espectro de resposta (MAGALHÃES, 2014; SILVA, 2011). A técnica espectroscópica gera como resultado, um gráfico chamado espectro, sendo que sua impressão gráfica pode ser chamada de assinatura espectral, espectrograma ou simplesmente espectro.

A técnica da espectroscopia NIR é utilizada em variados processos analíticos cuja determinação deve ser imediata, como no controle de qualidade em alimentos e rações (EL MASRY; SUN, 2010; VERMEULEN et al., 2010), segurança alimentar (PU; FENG; SUN, 2015; PEI et al., 2011) e na determinação da concentração de nutrientes e valores nutricionais em materiais secos e frescos pós-colheita (YANG; LEE; GADER, 2014; SALGUERO-CHAPARRO et al., 2012).

2.8.1 Vantagens e limitações da técnica

Muitas são as vantagens descritas sobre a técnica NIR. Esta oferece rápida obtenção dos resultados analíticos, apresenta caráter não invasivo e não destrutivo e, por esse motivo, muitas vezes não é necessário um preparo prévio da amostra, gerando economia de reagentes e tempo, minimizando erros do analista (já que reduz o número de medidas padrão), além de diversos equipamentos sofisticados que demandam analistas qualificados (JIE et al., 2014; MA et al., 2017; POREP; KAMMERER; CARLE, 2015).

Em função do mínimo preparo da amostra e, conseqüentemente, mínima transformação da mesma, as amostras podem ser utilizadas após realizadas as medidas no NIR, ou seguir para outros processos analíticos adicionais. Segundo Antti (1999), este fato é interessante por diversas razões: em casos nos quais a quantidade de amostras é limitada ou quando a amostra tem que ser utilizada em um tratamento adicional, por exemplo, em um processo corrente. Segundo Costa et al. (2009), técnicas não destrutivas propiciam o aumento do número de repetições, utilizando a mesma amostra durante o período de amadurecimento dos frutos, fornecendo assim, informações mais precisas e reais.

Os resultados da técnica NIR dependem pouco da habilidade do operador, outra consideração é que as medidas no equipamento NIR são rápidas, o que facilita a aquisição dos dados descritivos, e também é uma condição prévia para criar sistemas de controle em tempo real (ANTTI, 1999).

Algumas questões devem ser consideradas no momento de utilização da técnica NIR, considerando sempre variações de temperatura, umidade, tamanho, heterogeneidade e impurezas, que podem constituir problemas durante o processo de obtenção dos espectros. Alguns dos fatores que causam alterações podem ser corrigidos antes da obtenção dos espectros, enquanto outros fatores têm que ser considerados. Tais ‘problemas’ podem ser atenuados quando aplicados adequadamente os pré-tratamentos nos dados espectrais.

A seleção adequada de amostras de calibração, de acordo com delineamento experimental, pode melhorar o modelo, considerando que todas as variações serão incluídas, até mesmo as perturbações. Procedendo a uma seleção competente de amostras, podem ser utilizados análise multivariada de dados e métodos de filtragem espectrais, de modo que seja possível a criação de modelos robustos que permitam monitorar e controlar processos industriais. Em âmbito geral, pode-se dizer que a precisão de uma medida espectroscópica é limitada pelas incertezas ou ruídos associados ao instrumento utilizado (OLIVEIRA et al., 2004).

Por ser uma metodologia aplicada de forma indireta (via calibração multivariada), é exigido comparações com método de referência, tendo sua confiabilidade relacionada com a calibração e com possíveis erros analíticos que esta possa apresentar (JAMRÓGIEWICZ, 2012; LUYPAERT; MASSART; VANDER HEYDEN, 2007).

De acordo com Sorak et al. (2012), uma considerável atenção tem sido dada na redução do tamanho e portabilidade dos equipamentos de espectroscopia, visto que a utilização de instrumentos portáteis oferece a possibilidade de se realizar medições diretamente em campo de importantes parâmetros de qualidade. O desenvolvimento destes equipamentos pode trazer maior segurança para o operador e melhorar a precisão do método por preservar a amostra de excessivo manuseio e transporte, além de reduzir custos (GARRIGUES; LA GUARDIA, 2013).

Apesar dos espectrômetros portáteis no NIR apresentarem diversas vantagens no seu desenvolvimento, alguns fatores críticos devem ser considerados, como: custo inicial do equipamento, facilidade de uso, durabilidade, tamanho, peso, consumo de energia, robustez,

segurança, precisão de medição e alta confiabilidade de desempenho (DOS SANTOS et al., 2013). As pesquisas publicadas são, em sua maioria, experimentos conduzidos em condições laboratoriais, envolvendo assim, seleção de amostras e transporte para os laboratórios (SANCHEZ et al., 2012; PÉREZ-MARÍN et al., 2011; SUN et al., 2009).

É crescente a utilização dos equipamentos portáteis, onde medições são realizadas diretamente em frutos, sem que os mesmos sejam destacados da planta e sob diversas condições de tempo. Dentre os parâmetros de qualidade avaliados nos diferentes estádios de amadurecimento dos frutos, algumas das análises realizadas têm sido: pH em morangos (SÁNCHEZ et al., 2012), teor de sólidos solúveis em maçãs (WANG et al., 2012; GUIDETTI et al., 2009; BESSHO et al., 2007; TEMMA; HANAMATSU; SHINOKI, 2002), e acidez titulável em tangerinas (CHRISTEN et al., 2012; ANTONUCCI et al., 2011). Para parâmetros físicos foram considerados a medição da firmeza em maçãs (BEGUI et al., 2013), peras (CAYUELA, 2011) e laranjas (WANG et al., 2010).

Muitas são as áreas que utilizam a espectroscopia no infravermelho próximo, na área de qualidade de frutos, encontra-se na literatura, resultados em avaliações realizadas em frutos de morango (AMODIO, et al., 2017; CHEN, et al., 2018; LIU, et al., 2019; GUO, et al., 2013; SANCHES, et al., 2012).

Amodio et al. (2017) avaliaram a qualidade de morangos (cultivar Festival) através da determinação de sólidos solúveis, pH, acidez titulável, ácido ascórbico e compostos fenólicos, usando PLS, e da classificação de três tipos de classes, usando o PLS-DA. Os modelos de determinação obtidos foram de $R^2 = 0,85$ e $RMSEP = 0,58$ para o teor de sólidos solúveis, $R^2 = 0,86$ e $RMSEP = 0,09$, para o pH, e $R^2 = 0,58$ e $RMSEP = 0,15$ para a acidez titulável. Os modelos de classificação apresentaram sensibilidade e especificidade acima de 0,97.

Chen et al. (2018) determinaram o teor de sólidos solúveis em morangos, usando iPLS (mínimos quadrados parciais por intervalos) e MWPLS (do inglês *moving window partial least squares*). Nesse trabalho, foram obtidos modelos com correlação de teste de 0,91 e erro de teste de 0,35, usando-se iPLS com o tratamento da segunda derivada. Também foram obtidos modelos MWPLS com correlações e erro de teste de 0,93 e 0,35, respectivamente.

Em trabalho conduzido por Liu et al. (2019), com o objetivo de apresentar uma nova estratégia para detectar a deterioração de frutos de morango atacados por fungos, foram utilizados espectros gerados pela técnica NIR. Resultados mostraram que o teor de açúcar total apresentou valores de $R^2 = 0,807$ e $RPD = 2,603$. A classificação dos estádios de deterioração

dos frutos, foi de 95,4% para calibração e de 94,4% para predição, baseando-se no teor de açúcar total. Concluindo que a tecnologia é promissora para detectar e monitorar possíveis deteriorações provocadas por fungos e o teor de açúcar total, durante o período de armazenamento dos frutos de morango.

De acordo com Guo et al. (2013) a técnica NIR é um método viável, rápido e não destrutivo para estimar o conteúdo de sólidos solúveis em morango. Os resultados do modelo considerado mais adequado foram: RMSEC = 0,2259, $R^2 = 0,9590$ no conjunto de calibração; e RMSEP = 0,2892, $R^2 = 0,9390$ no conjunto de predição, demonstrando que a técnica NIR é uma ferramenta útil para a avaliação não destrutiva de SS (sólidos solúveis) em frutos de morango.

Sanchez et al. (2012) estudaram a qualidade interna e externa de frutos de morango, durante o período de colheita e de armazenamento, com um equipamento NIR portátil. A análise de mínimos quadrados parciais modificados confirmou a viabilidade da técnica NIR para prever parâmetros externos de qualidade relacionados à cor (L^* , a^* e C^*), bem como firmeza, teor de sólidos solúveis e acidez titulável. Para outros parâmetros testados (b^* , h^* e pH), os resultados sugeriram que a previsão não era viável. No entanto, a aplicação de um algoritmo melhorou consideravelmente a capacidade dos modelos, de prever todos os parâmetros internos de qualidade estudados.

A citação dos trabalhos acima possibilita a percepção de que a aplicação da técnica NIR está sendo realizada para importantes parâmetros de avaliação da qualidade dos frutos de morango. Observa-se também, a diversidade de parâmetros de qualidade em frutos que já vêm sendo estudados através do NIR, a exemplo: acidez titulável, pH, ácido ascórbico, teor de sólidos solúveis, firmeza, cor, compostos fenólicos e açúcares. Além de avaliar esses constituintes, a técnica pode ser adotada para prever a deterioração, a exemplo dos frutos acometidos por fungos.

A espectroscopia NIR é uma técnica não destrutiva interessante para a investigação científica e vem ganhando espaço entre as técnicas mais utilizadas, principalmente quando associadas a quimiometria (POREP; KAMMERER; CARLE, 2015).

2.9 Quimiometria

Segundo Ferreira (2015), a quimiometria surge como uma maneira de se extrair informações físico-químicas importantes num sistema com uma alta gama de espectros correlacionados. Ma et al. (2017) relatam que o espectro contém informação relacionada aos grupos funcionais, e estas absorções apresentam-se com alto grau de sobreposição, sendo necessário aplicar métodos quimiométricos para interpretação dos resultados.

A quimiometria é uma área da química analítica que faz uso de métodos estatísticos e matemáticos para planejar, otimizar ou selecionar procedimentos de medidas e experimentos, bem como extrair o máximo da informação química relevante, com a análise de dados químicos (JACONI, 2011; ROGGO et al., 2007). Desta forma, possibilita que a avaliação da influência das variáveis existentes na informação que se deseja extrair dos dados, seja feita de forma global, possibilitando observar as correlações entre elas (BRERETON, 2000). Segundo Wang et al. (2015), os métodos de quimiometria são aplicados para extrair informações dos atributos de qualidade, e para descartar interferências de fatores irrelevantes para a amostra estudada. A aplicação da análise estatística multivariada faz-se necessária em função da alta correlação entre os dados espectrais, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Análise de dados multivariados usados na espectroscopia NIR.



Legenda: MLR: Multiple Linear Regression; PCR: Principle Component Regression; PLSR: Partial Least Square Regression; PCA: Principal Component Analysis; PLS-DA: Partial Least Squares–Discriminant Analysis; kNN: k- Nearest Neighbor; LDA: Linear Discriminant Analysis; ANN: Artificial Neural Network; SVM: Support Vector Machine.

Fonte: Adaptado de Elmasry e Sun (2010).

Segundo Beebe, Pell e Seasholtz (1998), os métodos quimiométricos mais utilizados são os de regressão, sendo que para a análise quantitativa, os mais conhecidos são a regressão linear múltipla (MLR - *Multiple Linear Regression*), regressão por componentes principais (PCR - *Principal Components Regression*) e regressão por quadrados mínimos parciais (PLS - *Partial Least Squares*). Para as análises qualitativas destacam-se a regressão por mínimos quadrados parciais com análise discriminante (PLS-DA- *Partial Least Squares -Discriminant Analysis*) e a análise de componentes principais (PCA- *Principal Component Analysis*). A PCA é certamente, a técnica quimiométrica multivariada mais adotada, sendo considerada para muitos, a técnica que mudou significativamente a análise de dados do ponto de vista químico (BRERETON, 2000).

Segundo Martens e Naes (1989), a regressão multivariada pode ser conceituada como uma série de operações que estabelecem uma relação (modelo estatístico) entre dois grupos de dados (X e y), em que X é o bloco dos dados experimentais contendo as variáveis instrumentais (espectros) e y formado pela(s) variável(s) dependente(s), que representam as respostas analíticas, tais como concentrações e porcentagem sólidos solúveis, por exemplo. O principal objetivo das análises multivariadas é, em sua maioria, desenvolver modelos para prever uma propriedade de interesse (WORKMAN; WEYWER, 2007).

2.10 Análise de componentes principais (PCA)

Segundo Ferreira (2002), a análise de componentes principais (PCA) é um dos métodos mais comuns a serem empregados na análise de informações.

A análise de componentes principais quando aplicada em um conjunto de variáveis de espectros no infravermelho, substitui as mesmas por um novo conjunto denominado de componentes principais, os quais fornecem juntos, até 100% da variância, e a maior porcentagem é explicada pela primeira componente. Os dados se reduzem com a concentração das informações em poucas variáveis, entretanto, não há perda significativa das informações químicas. Na PCA, um conjunto de variáveis correlacionadas é transformado em um conjunto menor chamado de componentes principais (PCs). Os PCs são usados para interpretar e descobrir as dependências que existem entre as variáveis e para examinar as relações que podem existir entre indivíduos (TIMM, 2002). Desta forma, as informações mais predominantes ou

significativas se tornam mais óbvias, pelo fato de as amostras serem projetadas em um novo sistema de eixos (PCs), cuja dimensão é menor.

Brown (1995), já afirmava que a análise de componentes principais (PCA), tem a capacidade de condensar os dados e, portanto, é considerada um dos métodos mais comuns empregados na análise de informações. Agrawal (2008), também relata a vasta utilização da PCA, nas mais diversas aplicações.

Segundo Brereton (2000), as novas coordenadas das amostras, no novo sistema de eixos das componentes principais, são denominadas de *scores*. Cada componente principal é construído pela combinação linear das variáveis originais. Os coeficientes da combinação linear (o peso, ou quanto cada variável antiga contribui) são denominados de *loadings*. Dessa forma, os *loadings* são capazes de mostrar quais variáveis originais têm maior importância na combinação linear de cada componente principal.

2.11 Análise de regressão por mínimos quadrados parciais

A regressão por mínimos quadrados parciais com análise discriminante (PLS-DA), baseia-se na abordagem PLS, onde dois blocos de variáveis são correlacionados, onde o eixo X corresponde ao conjunto de dados obtidos (variáveis independentes), e o eixo Y é gerado automaticamente, a partir da variável classe já existente (variáveis dependentes). Os componentes são construídos tentando encontrar um acordo apropriado entre duas finalidades: descrever o conjunto das variáveis e prever a resposta (MARTINA et al., 2007; MASOUM et al., 2006). Desta forma, o objetivo é encontrar um modelo que separa os dados, considerando as classes previamente conhecidas (WESTERHUIS et al., 2010). As classes conhecidas são separadas baseando-se no conjunto de treinamento, sendo as amostras classificadas de acordo com suas características (CIOSEK et al., 2005; KIRALJ; FERREIRA, 2009; WHELEHAN et al., 2006).

A validação do modelo construído ocorre antes da sua aplicação, para que sua capacidade preditiva seja testada. A validação consiste em testar o modelo, prevendo valores de *y* de novas amostras. Isto é feito para estabelecer se elas realmente irão refletir o comportamento da resposta de interesse. Esta etapa é realizada de duas maneiras: validação cruzada e validação externa (LORBER; KOWALSKI, 1988). Desta forma, a calibração é, geralmente, uma operação que estabelece a relação entre uma grandeza de saída com uma

grandeza de entrada para um sistema de medida sob condições controladas (WORKMAN; WEYWER, 2007).

2.12 Validação cruzada

Na etapa de validação cruzada, geralmente utiliza-se $\frac{3}{4}$ da amostra, uma (*leave one out*), ou algumas amostras do conjunto de calibração (blocos de amostras) são separadas, um modelo é construído com as amostras restantes e a previsão é feita para a(s) amostra(s) separada(s) inicialmente. Repete-se o processo até que todas as amostras tenham sido previstas uma vez, e a raiz quadrada da soma dos quadrados dos erros de validação cruzada (RMSECV – *root mean square error of cross validation*) tenha sido computada para o modelo PLS com diferentes números de variáveis latentes (NAES et al., 2002). É por meio do RMSECV e do coeficiente de correlação da validação cruzada (rvc), medido entre os valores estimados e experimentais do método de referência, que o melhor modelo PLS pode ser determinado.

A validação cruzada deve ser utilizada apenas nos casos em que o número de amostras é limitado. O método é comumente utilizado por ser uma alternativa às análises de laboratório, que possuem custos elevados. Entretanto, realizar a validação de modelos a partir de um lote independente, é o recomendado (GIORDANENGO, 2005)

2.13 Validação externa

A validação externa, é realizada geralmente com $\frac{1}{4}$ das amostras, sendo esta, capaz de indicar a capacidade de predição do modelo para amostras que não participaram da construção do modelo de calibração, indicando assim, a confiabilidade deste tipo de metodologia para outras amostras. O modelo torna-se mais específico se o número de variáveis for maior, desta forma, não será possível utilizar esse modelo para amostras diferentes, o modelo se torna específico apenas para aquele lote estudado (ARAUJO, 2007; BARTHUS, 1999).

2.14 Parâmetros de calibração

Sabe-se que as leituras obtidas pela técnica NIR são influenciadas devido a um grande número de fatores: condições de aquisição dos espectros, diferenças na essência e natureza do material (fruto inteiro, cortado, triturado etc.), método de amostragem, resolução espectral, comprimento de onda, número médio de leituras (varreduras) adotado para aquisição dos espectros etc. É importante considerar todos esses parâmetros para efetuar uma calibração segura (GIORDANENGO, 2005).

Para cada espécie de fruto e variedade é necessário um novo modelo de calibração. Estes modelos devem ser baseados em grandes conjuntos de dados, incluindo frutos de diferentes pomares, épocas de colheita, sistemas de produção, dentre outros (PEIRS et al. 2002; ZERBINI, 2006).

Os parâmetros RMSEC (erro padrão da calibração) e RMSEV (erro padrão da validação) são considerados indicadores de exatidão, sendo utilizados para avaliar o ajuste do modelo construído. Os valores gerados por estes parâmetros devem ser o mais próximo possível entre si, sugerindo que os valores estimados pelos modelos multivariados apresentaram uma boa concordância com os métodos de referência, apontando que o número de variáveis latentes escolhidos foi adequado para o modelo, não havendo subajuste ou sobreajuste (VALDERRAMA; BRAGA; POPPI, 2007).

A análise dos valores dos coeficientes de determinação (R^2), também auxilia os parâmetros estatísticos na escolha dos modelos de calibração. Valores de R^2 próximos de 1, significa que melhor é o ajuste ou a capacidade de previsão do modelo de regressão (MORGANO, 2005). Fato é que, quanto menor os valores dos erros das etapas de calibração e validação, e maior o valor de R^2 , melhores são os resultados obtidos pelos modelos.

O desvio residual da predição (RPD - *residual predictive deviation*) pode ser utilizado como um parâmetro específico para avaliar qualitativamente o modelo de validação. O valor de RPD é obtido pela razão entre o desvio padrão dos valores de referência da variável de resposta e o erro médio previsto da validação, caracterizando assim, a qualidade dos resultados da validação. Frequentemente é utilizado como um indicador de qualidade da calibração, relacionando o desempenho da calibração com o intervalo de medidas. Os valores de RPD mais elevados, significam que o modelo de calibração é melhor (WARD; ANNE; HENRIK, 2011; WILLIAMS, 2014).

2.15 Pré-tratamento espectral

Distorções e erros no modelo podem ser gerados, devido parte da informação espectral não possuir correlação direta com a propriedade investigada. Segundo Martens e Naes (1989), diversos métodos de pré-tratamento têm sido utilizados para reduzir as distorções e erros nos modelos. A exemplo, a normalização, correção da linha de base, cálculo da derivada, correção multiplicativa de sinal, escalonamento e filtragem digital para remoção de ruído.

O espalhamento da luz das partículas, interações moleculares de hidrogênio, mudanças no índice refrativo em altas concentrações são causas das possíveis variações dos dados espectrais (METROHMNIRSYSTEMS, 2013; BJORSVIK; MARTENS, 2007). Entre os vários pré-tratamentos desenvolvidos, encontra-se a derivação e a normalização (SNV – *standard normal variate transformation*).

Os filtros espectrais são considerados técnicas matemáticas úteis para reduzir efeitos, tais como espalhamento de luz e diferenças de espessura da amostra, tipicamente frequente em espectroscopia de reflexão difusa. O princípio do pré-tratamento consiste em melhorar a qualidade do sinal, ou seja, remover informações irrelevantes para calibração. Tais técnicas, são consideradas importantes para a previsão de desempenho e para a interpretação dos resultados (NAES et al., 2002).

Segundo Rinnan, Berg e Engelsen (2009), a SNV é uma técnica capaz de minimizar os efeitos da dispersão da luz nos espectros obtidos. Considerado um método de normalização espectral, que estabelece uma escala comum para todos os espectros, centrando cada um no seu valor médio, e ampliando-o pelo seu desvio padrão (MORGANO, 2005). A utilização da SNV corrige a variação aditiva e multiplicativa entre os espectros.

A derivação é uma técnica que melhora a separação de sinais não totalmente sobrepostos, realçando-os, e faz a compensação do aumento da linha de base. Utiliza-se para este cálculo o algoritmo de Savitzky-Golay, que executa simultaneamente um alisamento espectral (SAVITZKY; GOLAY, 1964). A primeira e a segunda derivada são responsáveis por remover o deslocamento da linha de base nos dados, a segunda derivada também é útil para separar os picos sobrepostos (BURGER; GELADI, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção dos frutos

Foram utilizados frutos de morango da cultivar San Andreas, colhidos em duas áreas de cultivo comercial, localizadas no município de Bom Repouso, Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são: latitude: 22° 28' 20" Sul e longitude: 46° 8' 47" Oeste. Foi determinado como critério, que todos os frutos colhidos não apresentassem danos físicos e patológicos visuais, e que a maturação dos mesmos fosse de aproximadamente 75%.

Para compor os tratamentos, os frutos foram colhidos no mesmo dia e horários próximos, em duas áreas de produção distintas, sendo uma de cultivo em sistema convencional, onde as plantas foram cultivadas em solo com cobertura de *mulching* preto e sob a cobertura de filme plástico, sustentada por pequenos arcos, o que define o sistema de cultivo como convencional em túneis baixos. A outra área onde os frutos foram colhidos era um sistema de cultivo denominado ‘semi-hidropônico’, neste sistema, as plantas são cultivadas em calhas plásticas com substrato e estas permanecem suspensas do solo a uma distância de 1,3 metros e ficam dispostas em estufas do tipo telado. Em ambos os sistemas, as plantas apresentavam nove meses de transplântio.

A cultivar San Andreas foi desenvolvida pelo programa de melhoramento da Universidade da Califórnia, em 2009, proveniente do cruzamento entre a cultivar Albion e a seleção CAL 97.86-1 (SHAW; LARSON, 2008). Introduzida no mercado nacional, apresenta bom desempenho nas regiões produtoras de Minas Gerais e Espírito Santo (BARUZZI et al., 2009).

3.2 Tratamentos

Para composição dos tratamentos foram colhidos 150 frutos de cada sistema de cultivo, estes rapidamente foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido (isopor), com capacidade aproximada para dez frutos e envoltos por filme de policloreto de vinila de 15 micras. Em seguida, foi realizada a casualização das bandejas com os frutos de cada sistema de cultivo e realizou-se a identificação com os respectivos tratamentos e repetições de cada sistema de cultivo.

3.3 Delineamento experimental

Considerando que os frutos foram colhidos em *bulk* no campo, e logo após selecionados de forma criteriosa quanto a qualidade física, que as condições dentro do sistema de cultivo são homogêneas para as plantas que foram colhidas, e que a condução do experimento em laboratório foi igual para todos os tratamentos, define-se que o delineamento adotado é o inteiramente casualizado (DIC). Sendo, portanto, um fatorial 2 x 5, com três repetições, onde se tem dois sistemas de cultivo (convencional e semi-hidropônico) associado a cinco períodos de armazenamento (D0: dia da colheita, D2: segundo dia, D4: quarto dia, D6: sexto dia e D8: oitavo dia), totalizando 30 parcelas experimentais.

3.4 Transporte e Armazenamento

Logo após serem colhidos e acondicionados nas bandejas, conforme previamente foi estabelecido, os frutos foram transportados à sombra e temperatura ambiente até o Laboratório Central de Análise de Sementes da Universidade Federal de Lavras – UFLA - Lavras, Minas Gerais, onde foram armazenados em BOD a temperatura constante de 5 °C.

3.5 Perda de Massa (PM)

Visando obter a perda de massa dos frutos, cada tratamento foi pesado no dia que os frutos chegaram ao laboratório, sendo este considerado o dia zero (D0) de armazenamento, posteriormente, realizou-se a pesagem dos tratamentos no segundo, quarto, sexto e oitavo dia de armazenamento. O tratamento correspondente ao respectivo dia de armazenamento, foi pesado e foram realizadas as avaliações preestabelecidas, os demais tratamentos retornavam para BOD, onde continuavam as avaliações de tempo de armazenamento.

A PM foi calculada considerando a diferença entre o peso inicial dos frutos armazenados e aquele obtido a cada intervalo de tempo (0, 2, 4 e 6 dias), através da seguinte fórmula: Perda de massa = $[(\text{massa inicial} - \text{massa final}) / \text{massa inicial}] \times 100$. A média dos resultados foi expressa em porcentagem de perda de massa.

3.6 Obtenção dos espectros no Infravermelho Próximo (NIR) dos frutos de morango

Os espectros dos frutos de morango foram obtidos em sala climatizada, posicionando-se os frutos individualmente sobre a saída da fonte de infravermelho do equipamento Tensor 27 Bruker®, com geração dos espectros pelo detector FT-IR (*Fourier-Transform Near-Infrared*) acoplado, com auxílio do software *OPUS_Spectroscopy Version 6*, do mesmo fabricante do equipamento, instalado em um computador responsável por armazenar os dados dos espectros coletados.

Os espectros foram obtidos apenas em uma posição do fruto, sendo que o espectrômetro em cada medida de absorção coletou 48 varreduras, no intervalo de 10000 a 4000 cm^{-1} por repetição, com resolução de 8 cm^{-1} .

3.7 Análise estatística do NIR (Análise estatística multivariada)

Os dados da espectroscopia no infravermelho próximo foram avaliados por meio de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R), regressão por mínimos quadrados parciais com análise discriminante (PLS-DA) e análise de componentes principais (PCA), com o auxílio do software estatístico Chemoface® (NUNES et al., 2012).

3.8 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado utilizando-se um pHmetro Schott Handylab, segundo técnica do Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.9 Acidez titulável total (ATT)

A ATT foi determinada por titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N, usando como indicador a fenolftaleína, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008) e expressos em porcentagem de ácido cítrico.

3.10 Sólidos solúveis totais (SST)

Os SST foram determinados utilizando-se refratômetro digital, conforme método do Instituto Adolfo Lutz (2005), os resultados foram expressos em %. E a Relação de SST/ATT, conhecida como 'Ratio' foi calculada entre sólidos solúveis totais e a acidez titulável total (SST/ATT).

3.11 Cor

A coloração externa foi determinada utilizando-se o colorímetro Konica Minolta CR-400 calibrado de acordo com o sistema CIE com medição de L^* , a^* e b^* (iluminante D65). A coordenada L^* representa a claridade, com valores entre 0 (totalmente preto) e 100 (totalmente branco). A coordenada a^* pode assumir valores entre -80 a +100, no qual os extremos correspondem, respectivamente, ao verde e ao vermelho. A coordenada b^* pode variar de -50 a +70, com intensidade do azul ao amarelo. As leituras dos parâmetros L^* , a^* e b^* permitiram calcular o ângulo Hue ($^{\circ}h$) que corresponde à tonalidade ou matiz e identifica a cor num ângulo de 360° e o Chroma (C^*) ou saturação ou intensidade da cor, conforme McGuire (1992). Utilizou-se valores expresso pelo ângulo de cor matriz, ângulo Hue (h°).

3.12 Firmeza (FIR)

A firmeza dos frutos foi determinada com o auxílio de um texturômetro *Stable Micro System* modelo TATX2i, utilizando a sonda tipo agulha P/6N (6 mm de diâmetro), que media a força de penetração desta nos frutos, numa velocidade de 5 mm/s e a uma distância de penetração de 40 mm, valores estes previamente fixados. Foi usada uma plataforma HDP/90 como base. A firmeza do morango foi expressa em Newton (N).

3.13 Vitamina C (ácido ascórbico)

A vitamina C foi determinada pelo método colorimétrico, utilizando-se 2,4 de dinitrofenilhidrazina, segundo Strohecker e Henning (1967). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico 100g^{-1} de polpa.

3.14 Açúcares totais

Os açúcares foram determinados pelo método de Antrona, segundo (DISCHE, 1962), sendo os resultados expressos em g de glicose 100g^{-1} de polpa.

3.15 Pectina solúvel (Pec S) e pectina total (Pec T)

A pectina solúvel (Pec S) e pectina total (Pec T) foram determinadas segundo a técnica descrita por McCready e McComb (1952). A determinação colorimétrica foi feita por meio da reação com carbazol, segundo a técnica de Bitter e Muir (1962). Os resultados foram expressos em mg de ácido galacturônico 100g^{-1} de polpa.

3.16 Antocianinas monoméricas

As antocianinas foram quantificadas espectrofotometricamente, segundo Lees e Francis (1972) adaptado por Barcia et al. (2012). Os resultados foram expressos em mg de cianidina-3-glicosídeo 100g^{-1} de amostra.

3.17 Análise estatística das análises físico-químicas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e verificando-se a interação entre os fatores, estes foram desdobrados dentro de cada tratamento quando significativos e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o *software* R (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises físico-químicas

Na Tabela 1 encontram-se informações referentes ao quadrado médio (QM) dos diferentes parâmetros avaliados.

Tabela 1 - Valores de QM (quadrado médio) e nível de significância obtido na análise de variância para os parâmetros analisados.

Fonte de variação	Sistema de Cultivo	Tempo	Sistema de Cultivo x Tempo	Resíduo	CV%
L	45,14**	10,02**	13,72**	1,35	3,50
C	3,07ns	43,71**	22,60**	2,76	3,40
°h	153,68**	6,54ns	22,99**	2,85	6,82
FIR	7,04**	0,22ns	0,28ns	0,32	11,74
SST	86,70**	16,88**	3,78ns	1,90	13,21
ATT	0,12**	0,021*	0,02ns	0,0063	5,85
Ratio	86,65**	12,82**	5,42*	1,68	16,54
pH	0,19**	0,27**	0,02**	0,0035	1,90
Açúcares	23,64**	4,266ns	3,03ns	1,62	33,49
Antocianinas	1537,11**	187,86*	254,20**	48,90	16,69
Pec T	0,00048ns	0,00017ns	0,00090ns	0,00081	0,66
Pec S	18397,20**	1676,10*	985,30ns	466,70	12,04
Vit. C	45,92**	11,22**	10,22**	250,00	13,58
PM	0,00045ns	1,03**	0,00098ns	0,0075	14,60

FIR: firmeza; SST: sólidos solúveis totais; L: luminosidade; C: chroma; ATT: acidez total titulável; °h: ângulo Hue; Pec T: pectina total; Pec S: pectina solúvel; PM: perda de massa.

Fonte: Do autor (2019).

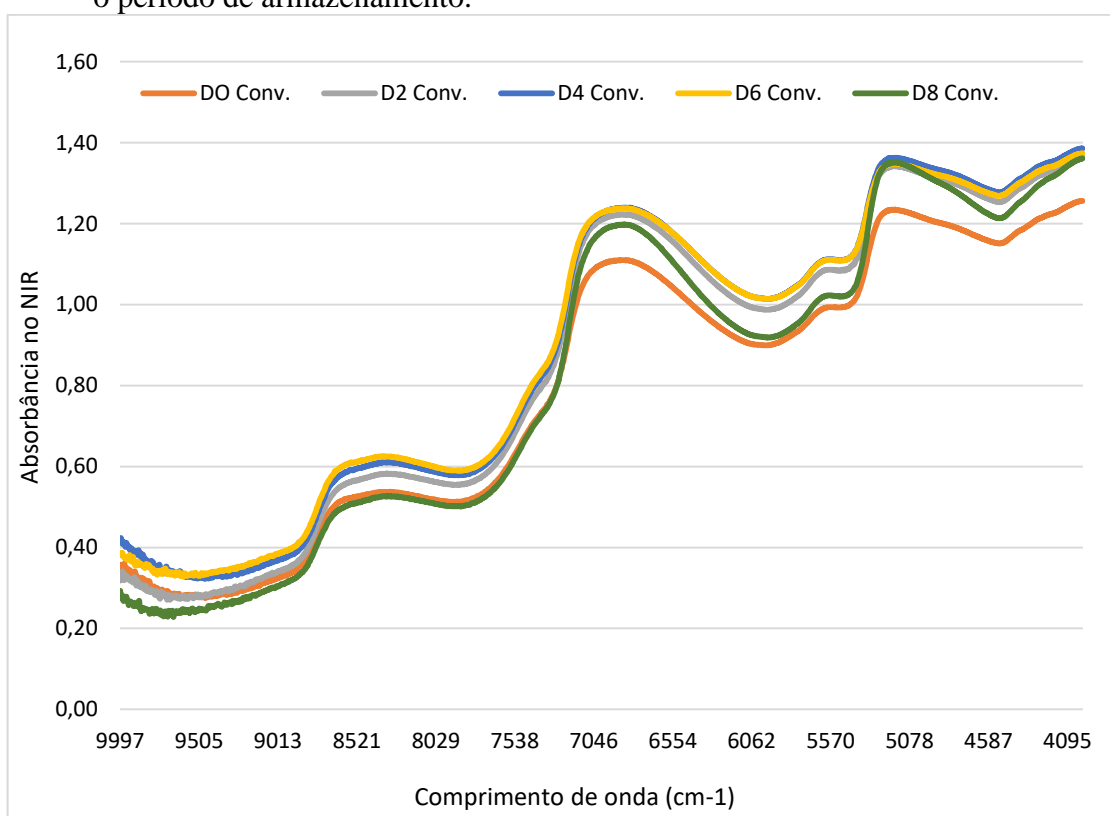
Observando-se os dados apresentados na Tabela 1, constata-se que houve efeito significativo do sistema de cultivo para os parâmetros: firmeza, sólidos solúveis totais, pH, L*, açúcares, acidez titulável total, ângulo Hue, antocianinas, pectina solúvel, vitamina C e ratio. Para o tempo de armazenamento observa-se efeito significativo para os parâmetros: sólidos solúveis totais, pH, L*, C, acidez titulável total, antocianinas, pectina solúvel, vitamina C, ratio e perda de massa.

Houve efeito significativo da interação entre o sistema de cultivo e o tempo de armazenamento para os seguintes parâmetros: pH, L*, C, ângulo Hue, antocianinas, vitamina C e ratio.

4.2 Espectros dos frutos de morango no infravermelho próximo (NIR)

Observa-se nas Figuras 4 e 5, os espectros médios obtidos por refletância difusa, a partir das leituras espectrais realizadas na face externa dos frutos de morango, cultivar San Andreas provenientes de dois sistemas de cultivo - convencional e semi-hidropônico.

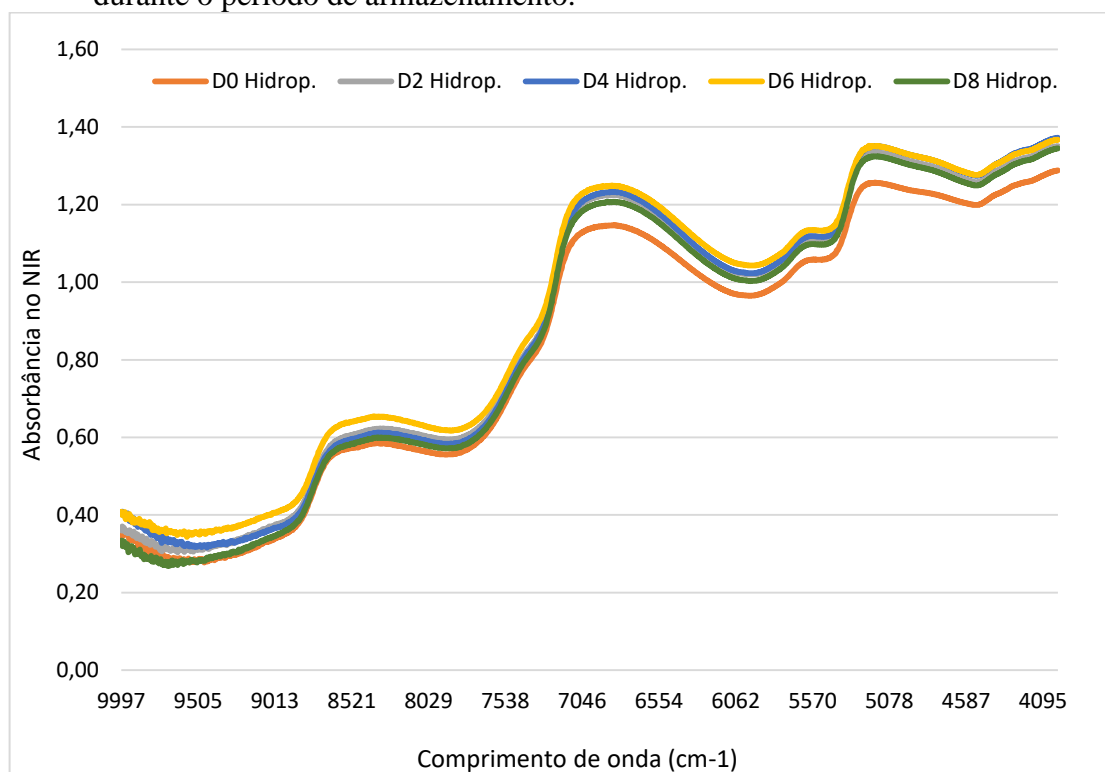
Figura 4 - Espectros médios dos frutos provenientes do sistema convencional (Conv.) durante o período de armazenamento.



D0: dia zero; D2: segundo dia; D4: quarto dia; D6: sexto dia; D8: oitavo dia.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 5 - Espectros médios dos frutos provenientes do sistema semi-hidropônico (Hidrop.) durante o período de armazenamento.



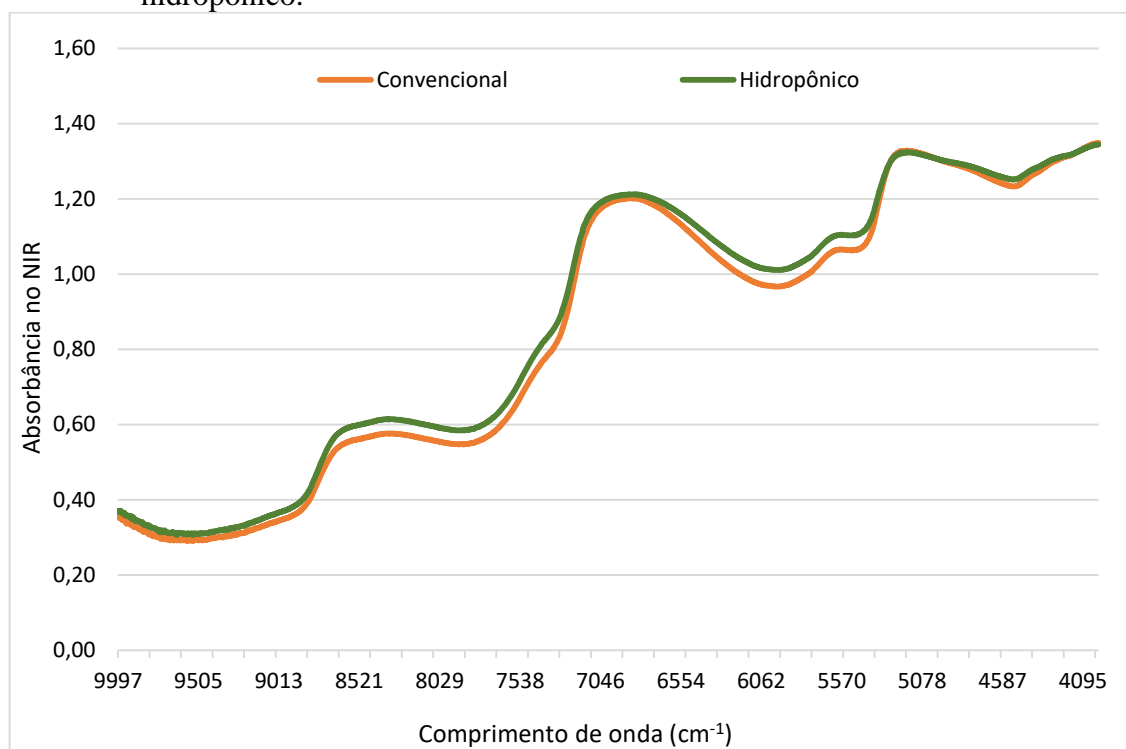
D0: dia zero; D2: segundo dia; D4: quarto dia; D6: sexto dia; D8: oitavo dia.

Fonte: Do autor (2019).

Analisando estes espectros, percebe-se que existe maior amplitude espectral média entre os dias de armazenamento dos frutos provenientes do sistema convencional quando comparado às informações espectrais dos frutos provenientes do sistema semi-hidropônico (FIGURAS 4 e 5). Já na Figura 5, a sobreposição dos espectros médios referente aos dias de armazenamento é consideravelmente maior, evidenciando que os espectros obtidos no sistema semi-hidropônico se assemelham durante o período de armazenamento dos frutos, comparado ao sistema convencional, o que demonstra uma menor variação nos aspectos relacionados a pós-colheita ao longo do período de armazenamento em frutos oriundos do sistema semi-hidropônico.

Nas curvas espectrais apresentadas pelos dois sistemas (FIGURAS 4 e 5), observa-se que a maior absorbância ocorre no quarto tempo de armazenamento (D6). Também é importante considerar a similaridade dos espectros em ambas as figuras, onde os picos e declinações das curvas espectrais são semelhantes, o que é corroborado pela Figura 6, que é uma nova apresentação dos espectros que foram obtidos.

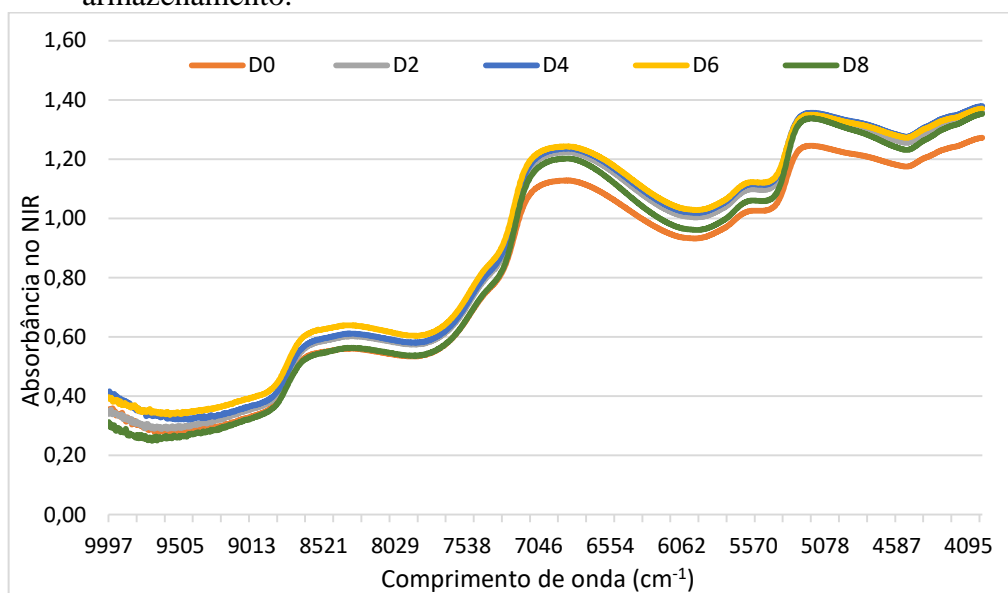
Figura 6 - Espectros médios dos frutos provenientes dos sistemas convencional e semi-hidropônico.



Na Figura 6, percebe-se que existe uma diferença média entre os espectros dos dois sistemas de cultivo, entretanto, como já exposto, os picos e declinações das curvas espectrais são coincidentes, a exemplo nos picos aproximados de 7046 cm^{-1} e 5078 cm^{-1} . Esses picos de absorção condizem com os resultados obtidos por Amodio et al. (2017), que encontrou maior absorção nos comprimentos de onda de 5330 cm^{-1} e 7189 cm^{-1} . O pico de absorção referente ao comprimento de onda de 5078 cm^{-1} pertence a região da primeira harmônica e representa à assimilação de água pelas vibrações características de grupos O-H. Já o pico de absorção referente ao comprimento de onda de 7046 cm^{-1} pertence a região da segunda harmônica e representa vibrações características dos grupos O-H e C-H, representando ambos picos a assimilação de água. De acordo com McGlone e Kawano (1998), prevalecem os frutos que são constituídos principalmente por água e carboidratos, como é o caso do morango.

Outro fato que diz respeito a amplitude média dos espectros, é que a diferença espectral é menor quando comparado os sistemas de cultivo, sendo consideravelmente maior quando comparado aos períodos de armazenamento apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Espectros médios dos frutos de ambos os sistemas durante o período de armazenamento.



D0: dia zero; D2: segundo dia; D4: quarto dia; D6: sexto dia; D8: oitavo dia.

Fonte: Do autor (2019).

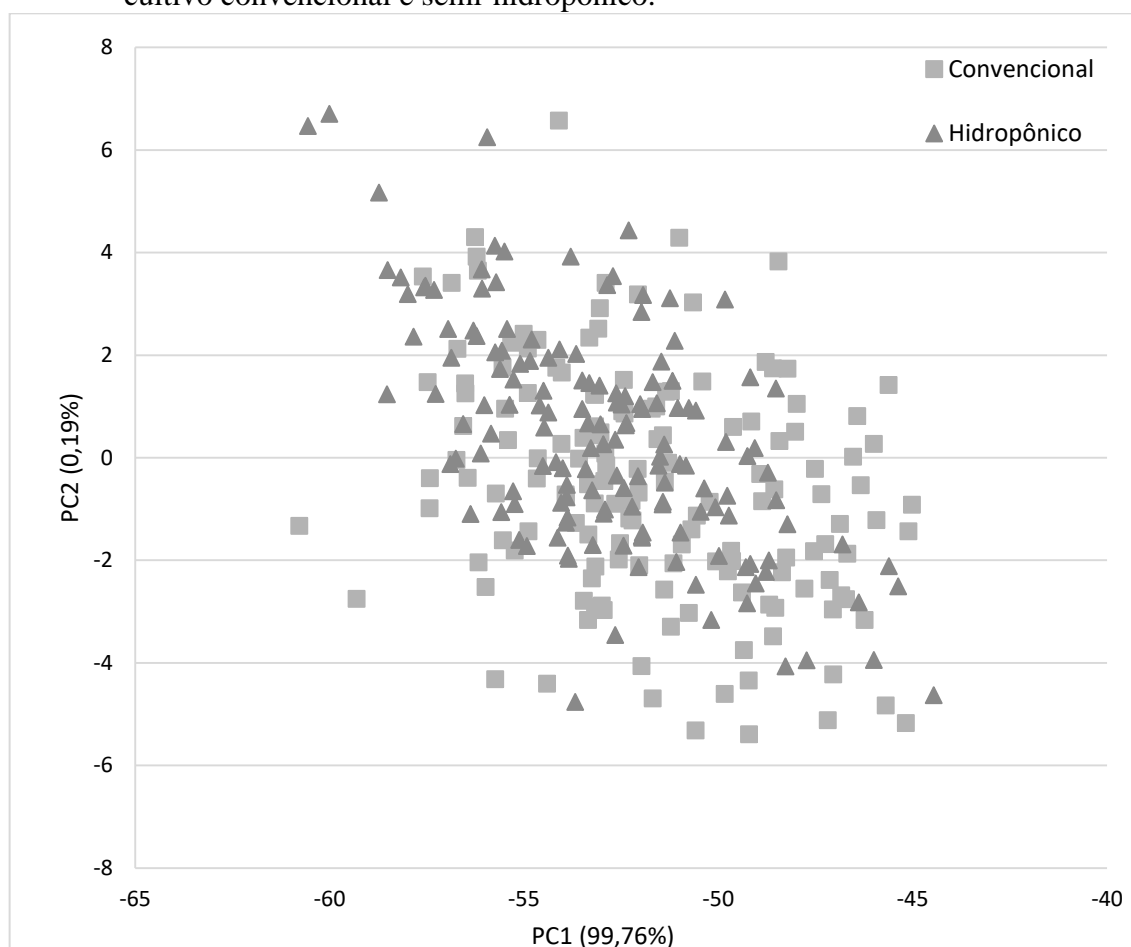
É importante considerar que a amplitude entre os espectros, quando maior, torna o percentual de acerto das análises classificatórias mais elevado. Desta forma, pode-se inferir que as análises classificatórias para separar os tempos de armazenamento apresentam percentual de acertos mais elevado que as análises que classificarão os sistemas de cultivo.

4.3 Análise de componentes principais (PCA)

As análises de componentes principais foram realizadas com os espectros originais, para que a avaliação prévia do comportamento espectral, e as possíveis separações das amostras de acordo com o sistema de cultivo e o tempo de armazenamento, fossem obtidas.

Na Figura 8 é apresentado o resultado da análise de componentes principais dos espectros do NIR, medidos nos frutos de morango, produzidos no sistema de cultivo convencional e semi-hidropônico. É possível observar que a PCA não possibilita a separação dos frutos com relação ao sistema de cultivo, o que se percebe é a similaridade espectral entre os sistemas. Nesta análise, a primeira componente principal explica 99,76% da variabilidade dos dados analisados enquanto a segunda componente principal explica 0,19%, totalizando 99,95% da explicação da variação total.

Figura 8 - Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais dos espectros no NIR medidos nos frutos de morango provenientes dos sistemas de cultivo convencional e semi-hidropônico.

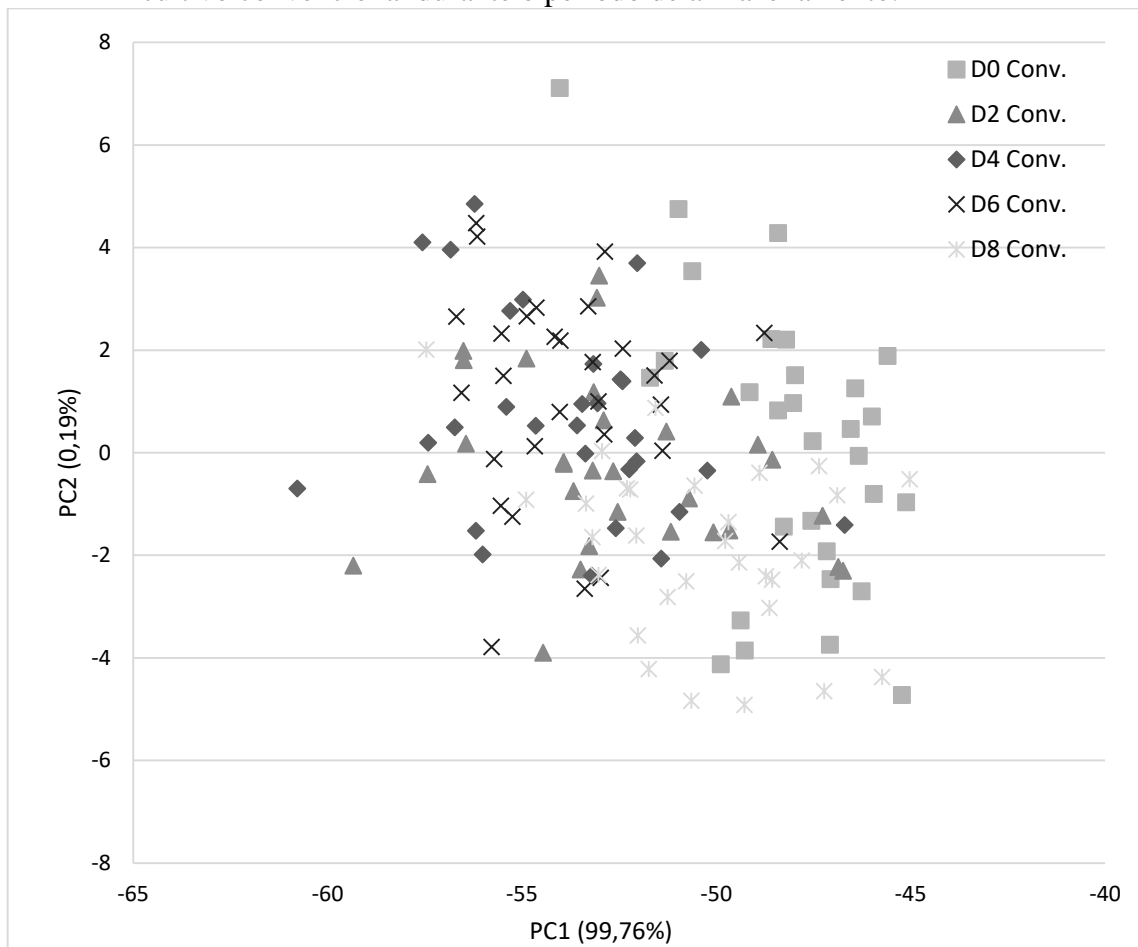


Fonte: Do autor (2019).

Neste caso, a similaridade espectral dos sistemas de cultivo e consequente sobreposição de amostras, impedem a distinção de amostras provenientes de sistemas de cultivo diferentes (convencional e semi-hidropônico).

Situação semelhante é observada nas Figuras 9 e 10, que dizem respeito aos escores das análises de componentes principais dos tempos de armazenamento dentro de cada sistema de cultivo. Nestas figuras também ocorre grande sobreposição de amostras, o que representa a similaridade dos espectros analisados e consequentemente a dificuldade em separar as amostras analisadas.

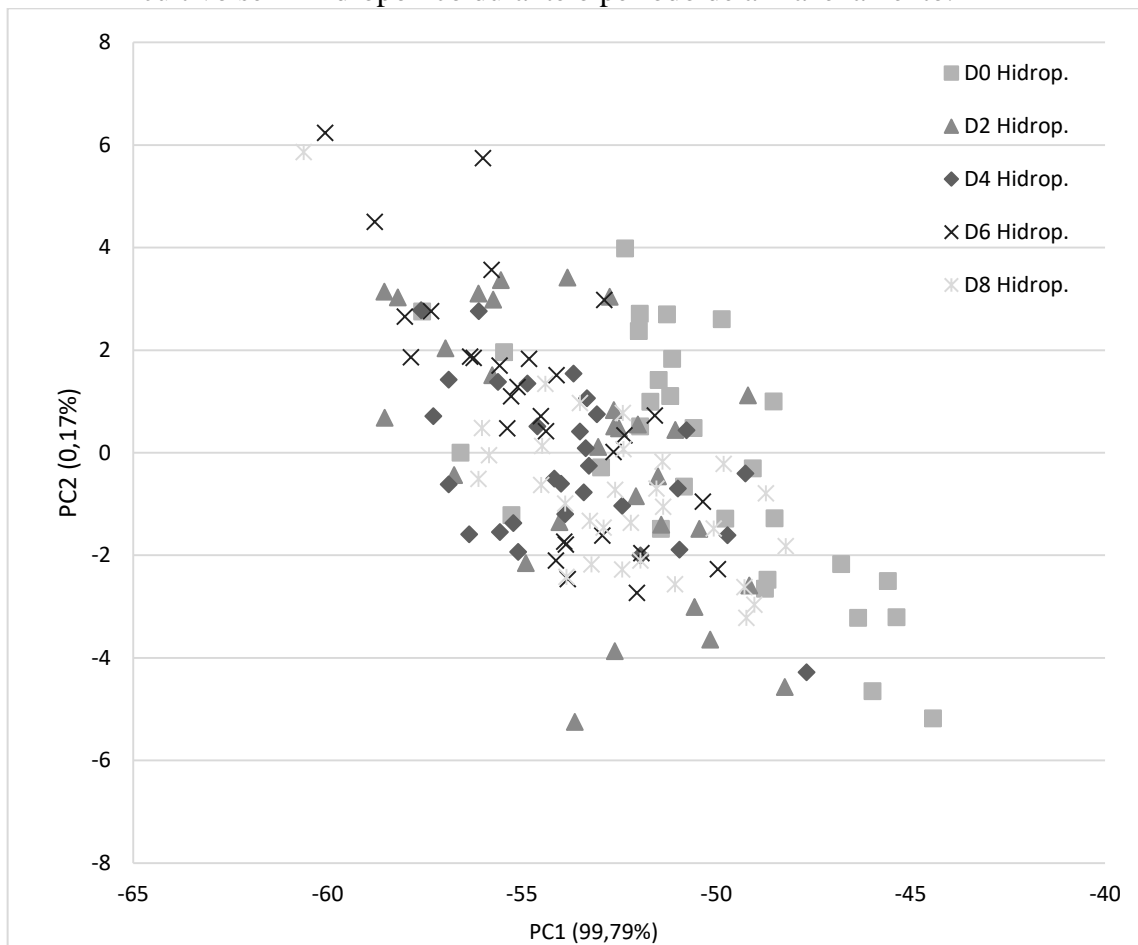
Figura 9 - Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais dos espectros no NIR medidos nos frutos de morango provenientes do sistema de cultivo convencional durante o período de armazenamento.



Fonte: Do autor (2019).

Nesta análise, a primeira componente principal explica 99,76% da variabilidade dos dados analisados, enquanto a segunda componente principal explica 0,19%, totalizando 99,95% da explicação da variação total.

Figura 10 - Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais dos espectros no NIR medidos nos frutos de morango provenientes do sistema de cultivo semi-hidropônico durante o período de armazenamento.



Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 10, a primeira componente principal explica 99,79% da variabilidade dos dados analisados, enquanto a segunda componente principal explica 0,17%, totalizando 99,96% da explicação da variação total dos dados. Observa-se similaridade espectral que impede a distinção das amostras com relação aos períodos de armazenamento de cada sistema de cultivo (FIGURAS 9 e 10).

4.4 Regressão por mínimos quadrados parciais (PLS-R)

Calibrações e validações cruzadas foram realizadas utilizando-se a análise de regressão dos mínimos quadrados parciais para a obtenção dos modelos para estimar alguns parâmetros avaliados nos frutos de morango (TABELA 2), a partir dos espectros originais ou tratados matematicamente pelo método SNV e Normalização.

Tabela 2- Calibrações e validações cruzadas para estimar alguns parâmetros avaliados nos frutos de morango por PLS-R.

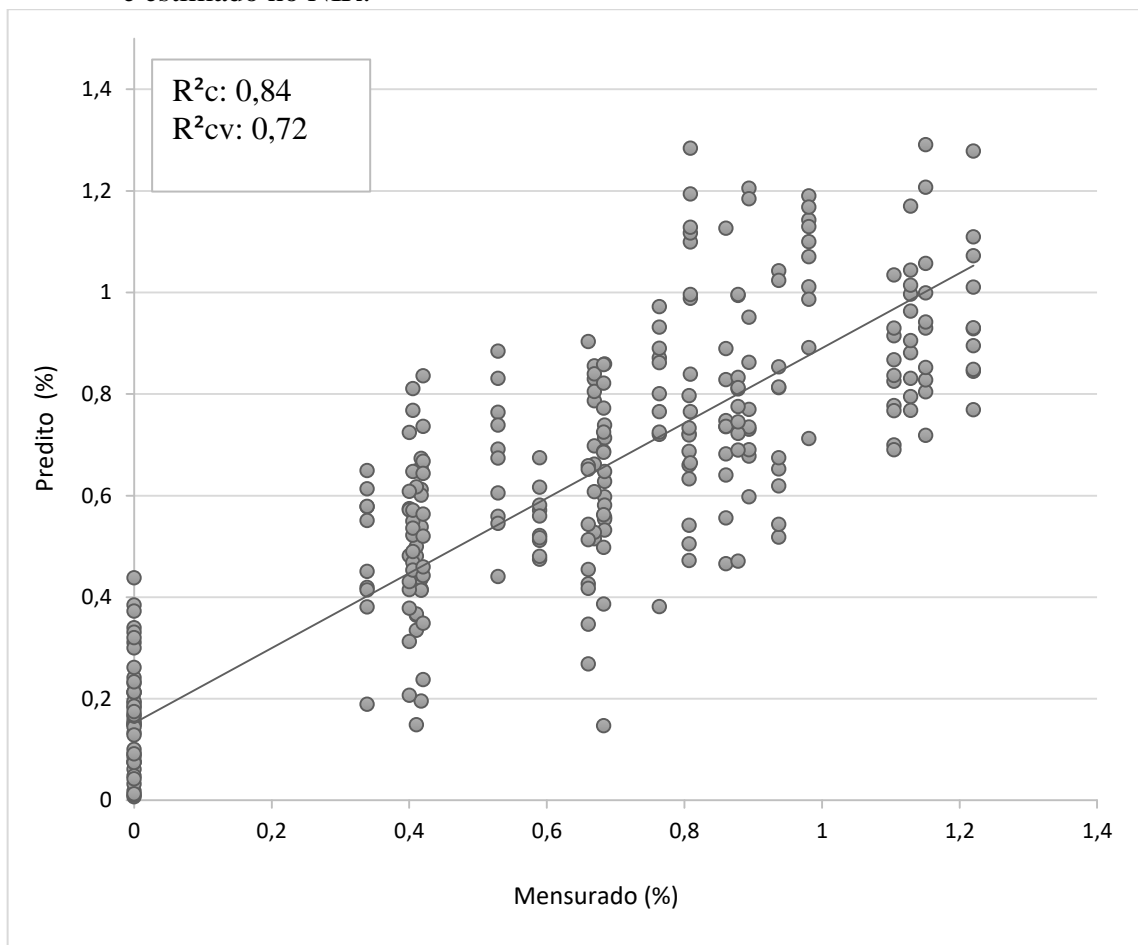
Modelo	Tratamento Matemático	LV	R²c	RMSEc	R²cv	RMSEcv	RPD
L	SNV	6	0,36	1,89	0,14	2,24	1,05
C	Normalização	7	0,54	2,24	0,38	2,61	1,26
°h	Espectros originais	5	0,14	3,07	0,07	3,21	1,03
FIR	SNV	7	0,47	0,52	0,12	0,70	1,02
SST	SNV	6	0,48	1,89	0,31	2,21	1,19
ATT	SNV	6	0,44	0,09	0,20	0,10	1,10
Ratio	Espectros originais	8	0,49	1,82	0,25	2,24	1,13
pH	Espectros originais	8	0,66	0,13	0,55	0,15	1,49
Açúcares	Normalização	7	0,44	1,26	0,18	1,57	1,08
Antocianinas	Espectros originais	5	0,29	10,10	0,20	10,74	1,11
Pec T	Espectros originais	6	0,13	0,02	0,06	0,03	1,02
Pec S	Espectros originais	7	0,44	26,76	0,19	32,87	1,09
Vit. C	Espectros originais	6	0,34	54,74	0,26	58,36	1,16
PM	Espectros originais	9	0,84	0,15	0,72	0,20	1,89

ATT: acidez total titulável; SST: sólidos solúveis totais; L: luminosidade; C: chroma; °h: ângulo Hue; FIR: firmeza; Pec T: pectina total; Pec S: pectina solúvel; PM: perda de massa; SNV: transformação variável padrão; LV: variável latente; R²c: coeficiente de determinação da calibração; RMSEc: erro padrão da calibração; R²cv: coeficiente de determinação da validação cruzada; RMSEcv: erro padrão da validação; RPD: relação de desempenho do desvio padrão.

Fonte: Do autor (2019).

Observa-se na Tabela 2, que o melhor modelo obtido foi para PM (perda de massa), que utilizou os espectros originais com nove variáveis latentes, e apresentou valores de $R^2c = 0,84$, $R^2cv = 0,72$ e $RPD = 1,89$. Apesar deste ser considerado o melhor modelo obtido, percebe-se que existe grande variação das amostras preditas pelo modelo, quando comparado aos valores previamente determinados, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Gráfico de regressão dos valores observados para perda de massa (PM) dos frutos e estimado no NIR.

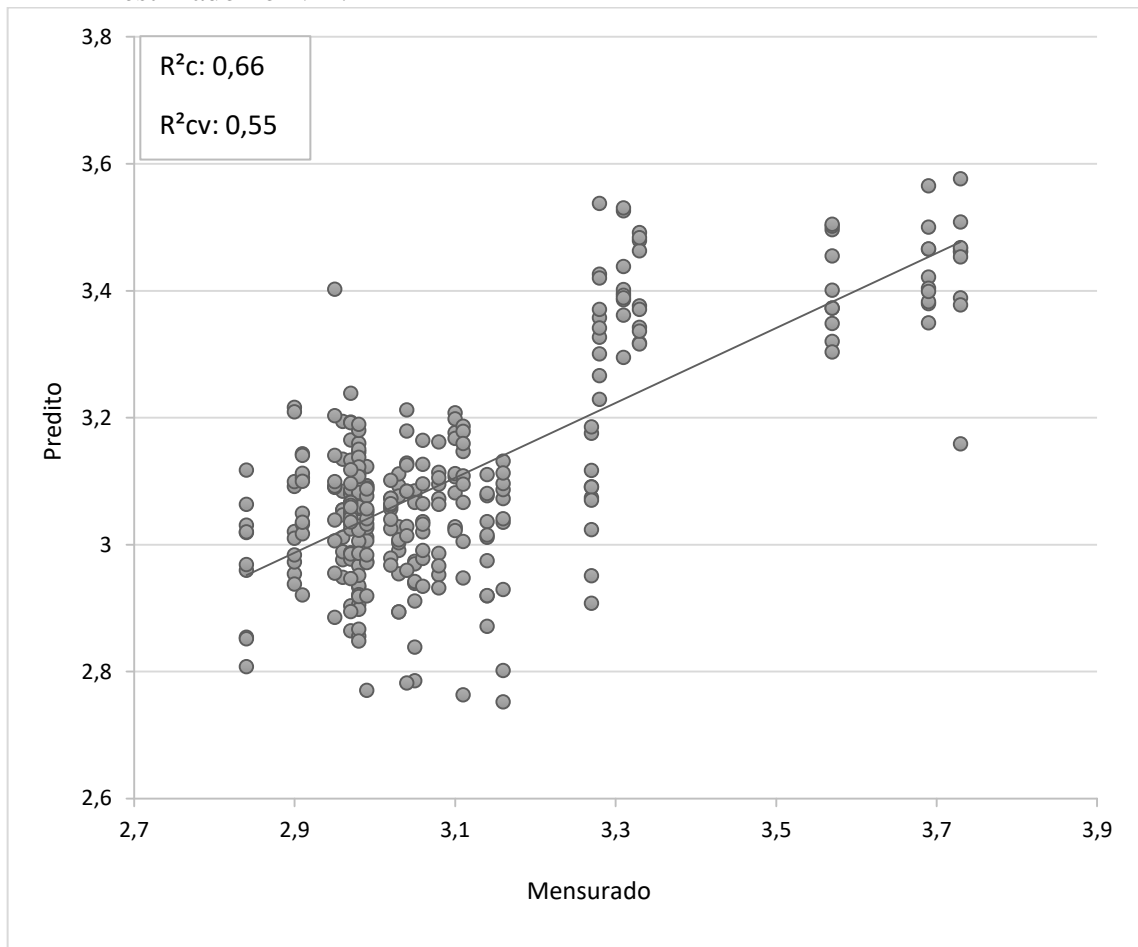


R^2c : coeficiente de determinação da calibração; R^2cv : coeficiente de determinação da validação cruzada.

Fonte: Do Autor (2019).

Em sequência, o modelo para pH foi considerado o segundo melhor, onde foi utilizado os espectros originais com oito variáveis latentes e valores de $R^2c = 0,66$, $R^2cv = 0,55$ e $RPD = 1,49$. A Figura 12, exemplifica que apesar de ser considerado o segundo melhor modelo, os valores preditos distanciam-se consideravelmente dos valores mensurados.

Figura 12 - Gráfico de regressão dos valores de pH dos frutos determinado em laboratório e estimado no NIR.



R^2c : coeficiente de determinação da calibração; R^2cv : coeficiente de determinação da validação cruzada.

Fonte: Do Autor (2019).

Amodio et al. (2017), conduzindo trabalhos para determinar alguns parâmetros internos de qualidade de frutos de morango (cultivar Festival), oriundos de diferentes sistemas de produção, obtiveram bons modelos de previsão do conteúdo de sólidos solúveis totais ($R^2 = 0,85$; $RMSEV = 0,58$) e pH ($R^2 = 0,86$; $RMSEV = 0,09$) com valores de R^2 similares aos valores encontrados nos ensaios conduzidos por Tufik (2017) para prever o teor de K e Mg na parede celular dos morangos.

Os valores de RPD de 4,36 para o teor de sólidos solúveis e 2,22 para pH, foram encontrados por Amodio et al. (2017), contradizendo os valores obtidos nos modelos apresentados no presente estudo para $SST = 1,19$ e $pH = 1,49$. Outros parâmetros avaliados por Amodio et al. (2017), apresentaram RPD dos modelos inferiores a 1,5, valor este que se aproxima aos valores de RPD obtidos neste trabalho (TABELA 2).

Os autores Sánchez et al. (2011), trabalhando com parâmetros internos de qualidade e cor de frutos de morango, encontraram valores baixos de R^2 e RPD para os modelos de predição de alguns parâmetros. A firmeza (N) apresentou R^2c de 0,53; R^2cv de 0,43 e RPD de 1,35, a luminosidade (L) apresentou R^2c de 0,68; R^2cv de 0,60 e RPD de 1,57, o chroma (C) apresentou R^2c de 0,65; R^2cv de 0,59 e RPD de 1,56, o ângulo Hue ($^{\circ}h$) apresentou R^2c de 0,23; R^2cv de 0,17 e RPD de 1,10, o teor de sólidos solúveis apresentou R^2c de 0,83; R^2cv de 0,79 e RPD de 2,15, a acidez titulável apresentou R^2c de 0,56; R^2cv de 0,54 e RPD de 1,43 e o pH apresentou R^2c de 0,56; R^2cv de 0,54 e RPD de 1,43, condizendo com os resultados obtidos no presente trabalho (TABELA 2).

Segundo Williams (2004) e Morgano (2005), valores de R^2 entre 0,50 e 0,65 indicam que mais de 50% da variância em Y é contabilizado pela variável X, de forma que a discriminação entre as concentrações alta e baixa podem ser feitas. Um valor para R^2 entre 0,66 e 0,81 indica aproximadas previsões quantitativas, enquanto que um valor de R^2 entre 0,82 e 0,90 revela boa previsão. Já os modelos de calibração com um valor acima de 0,91 para R^2 são considerados excelentes.

O valor de RPD corresponde à proporção do desvio padrão da variável de resposta pelo RMSEcv, representando assim, o erro médio dos valores de validação. Conseqüentemente, o RPD relaciona o desempenho da calibração com o intervalo de medidas e é frequentemente usado como um indicador de qualidade da calibração (WARD; ANNE; HENRIK, 2011; WILLIAMS, 2014). Alguns autores consideram um valor de RPD iguais ou superiores a 2 como um excelente indicador de precisão do modelo de calibração (CHANG et al., 2001; DUNN et al., 2002).

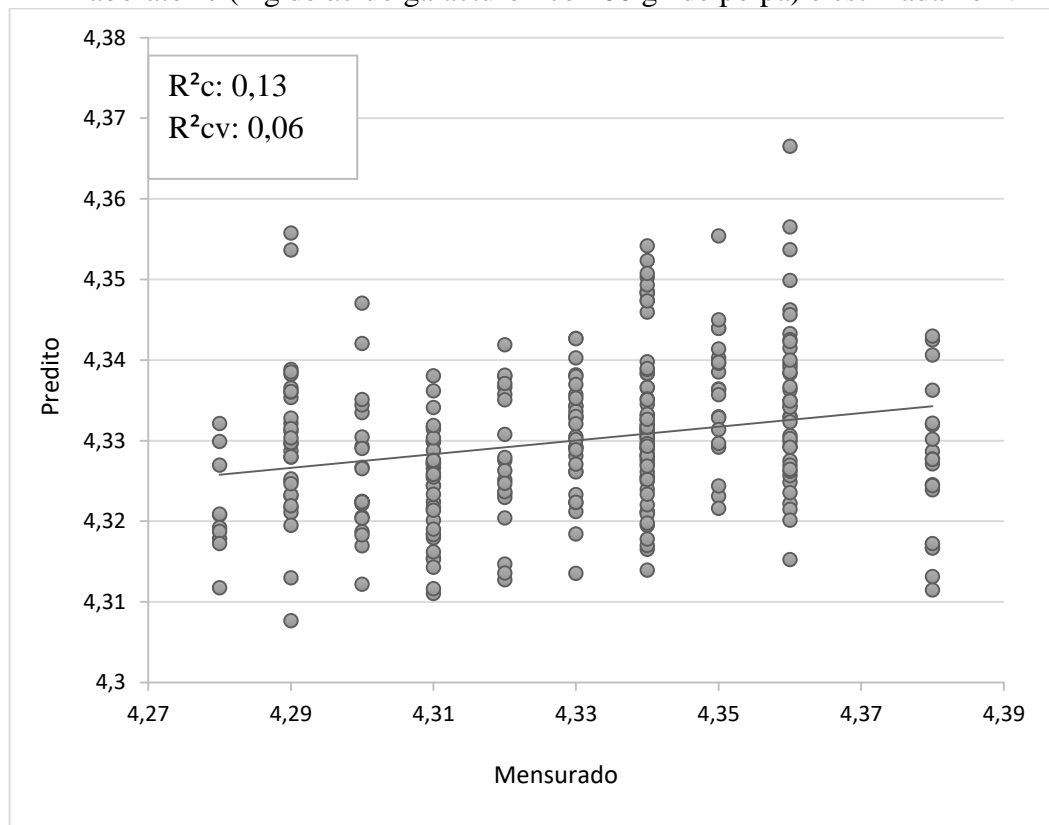
Nicolai et al. (2007), considera que o RPD de 1,5 – 2 indica que o modelo possui a capacidade de discriminar repostas extremas (resposta muito baixa ou muito alta) de cada variável, enquanto valores de RPD de 2 – 2,5 indica que as previsões quantitativas são grosseiras, no entanto, são possíveis, e valores de 2,5 – 3 ou acima são indicativos de boas e excelentes precisões preditivas do modelo. De acordo com Huang et al. (2009) e Ward, Anne e Henrik (2011), a interpretação da qualidade dos modelos de calibrações com base nos valores de RPD é feita de modo diferente de acordo com o tipo de material em estudo. Utilizando os níveis de RPD propostos por Nicolai et al. (2007), apenas um modelo (referente a perda de massa) obtido pela PLS-R possui capacidade de discriminar repostas extremas, os demais

modelos obtidos no presente estudo, apresentaram valores de RPD inferiores a 1,5, que é considerado o limite inferior de classificação para o autor.

Também é notório que alguns modelos estabelecidos para predição dos valores, ficaram ineficientes e pouco robustos, a exemplo dos modelos para Pec T e °h. O modelo de Pec T utilizou os espectros originais, com seis variáveis latentes e apresentou valores de $R^2c = 0,13$, $R^2cv = 0,06$ e $RPD = 1,02$, para °h também foi utilizado os espectros originais, com cinco variáveis latentes, obtendo-se valores de $R^2c = 0,14$, $R^2cv = 0,07$ e $RPD = 1,03$ (TABELA 2).

Na Figura 13, que apresenta os valores preditos pelo modelo para pectina total, é possível observar que a dispersão dos valores em relação a linha de tendência é bastante evidente, corroborando para as informações descritas acima. Situação semelhante é observada na Figura 14, que apresenta os valores preditos pelo modelo do °h, que também se distancia bastante da linha de tendência.

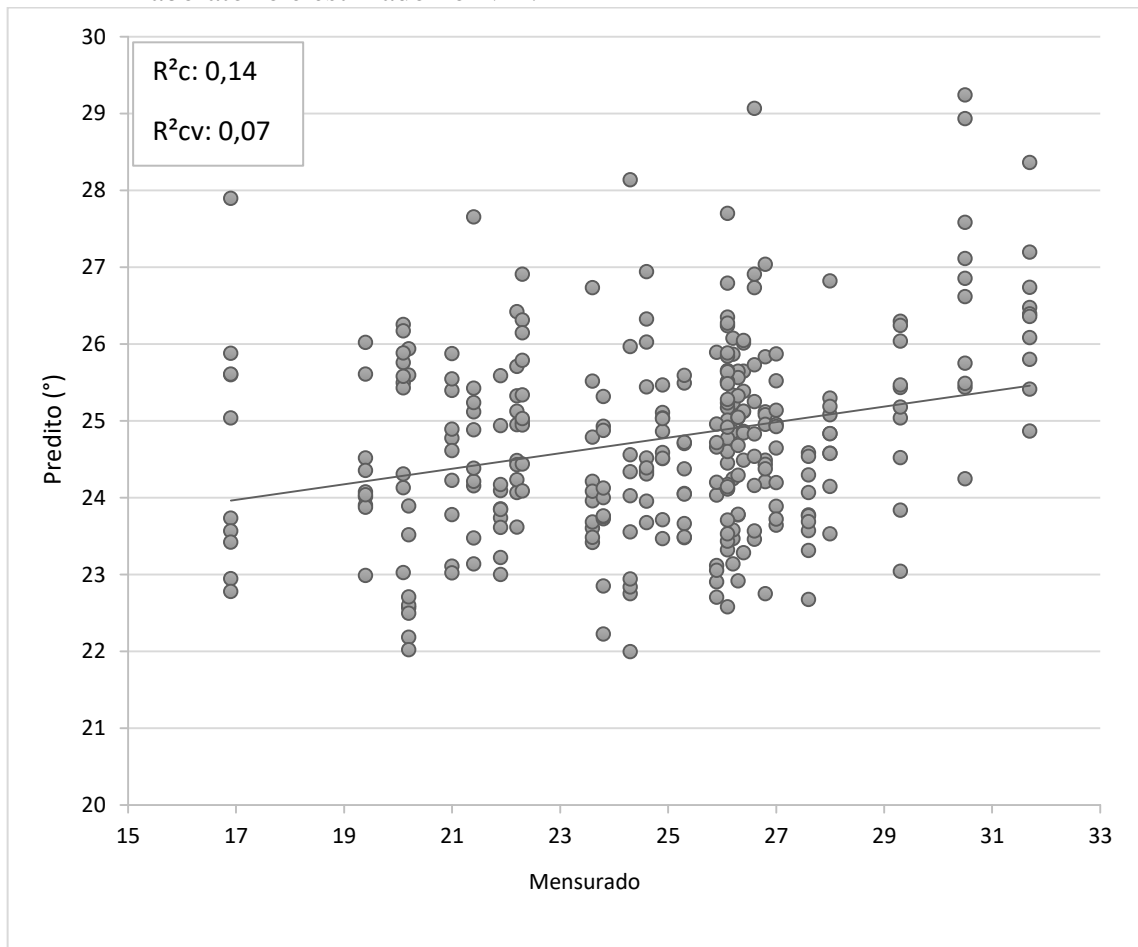
Figura 13 - Gráfico de regressão dos valores de pectina total dos frutos determinado em laboratório (mg de ácido galacturônico 100 g⁻¹ de polpa) e estimada no NIR.



R^2c : coeficiente de determinação da calibração; R^2cv : coeficiente de determinação da validação cruzada.

Fonte: Do autor (2019).

Figura 14 - Gráfico de regressão dos valores do ângulo Hue dos frutos determinado em laboratório e estimado no NIR.



R²c: coeficiente de determinação da calibração; R²cv: coeficiente de determinação da validação cruzada.

Fonte: Do autor (2019).

Observa-se na Figura 14, que os dados se apresentaram bastante dispersos em relação a reta de regressão, com ajuste pouco adequado ao modelo, podendo ser interpretado também pelo valor do R²c e R²cv que foi muito baixo (0,14 e 0,07, respectivamente).

Os outros modelos apresentados na Tabela 2, foram intermediários (no que se refere a capacidade preditiva) aos modelos de pectina total e perda de massa. Apesar de alguns modelos terem seus espectros originais tratados matematicamente, a predição dos modelos, ainda assim, não foi satisfatória.

Considerando a Tabela 2, o que se observa para os modelos são coeficientes de determinação baixos, bem como os valores de RPD, também baixos, informando que os modelos estimados para os parâmetros em questão, são pouco robustos e de baixa capacidade preditiva.

Em trabalho desenvolvido por Tufik (2017), para prever os teores de Ca, K e Mg na parede celular de morangos, utilizando a espectroscopia FT-NIR associada ao método multivariado PLS-R, obteve-se resultados que conferem elevada qualidade de previsão, onde, para o cálcio, os valores obtidos foram: $R^2c = 0,90$; $R^2cv = 0,79$ e $RPD = 2,16$; para o potássio, os valores obtidos foram: $R^2c = 0,97$; $R^2cv = 0,86$ e $RPD = 2,71$ e, para o magnésio, os valores obtidos foram: $R^2c = 0,94$; $R^2cv = 0,86$ e $RPD = 2,66$. Sendo assim, o autor recomenda a técnica para determinação do teor destes elementos na parede celular dos morangos.

4.5 Análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA)

Para a classificação das amostras foi adotado a análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA). Inicialmente, todas as amostras foram utilizadas na classificação, objetivando-se a separação com relação aos sistemas de cultivo e tempos de armazenamento, compondo desta forma, 10 possíveis classificações, que dizem respeito aos dois sistemas de cultivo e os cinco tempos de armazenamento dentro de cada sistema de cultivo.

Na Tabela 3 estão dispostas as classificações pela PLS-DA, incluindo o número de classificações corretas e incorretas, e o percentual de classificação correta por meio de validações cruzadas.

Tabela 3 - Classificação das amostras de morango com relação ao sistema de cultivo e tempo de armazenamento, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.

TRAT	Tratamento predito pelo NIR										N Total	Total de acertos	% Correta
	CD0	CD2	CD4	CD6	CD8	HD0	HD2	HD4	HD6	HD8			
CD0	24					5				1	30	24	80
CD2		21		3			4	1	1		30	21	70
CD4			14	2	3			7	1	3	30	14	47
CD6		3	1	10	3	2		1	10		30	10	33
CD8					28					2	30	28	93
HD0	6					23				1	30	23	77
HD2	1	14		1		1	7	2	3	1	30	7	23
HD4	1	2	16		1		1	6	2	1	30	6	20
HD6		1	1	5	4		3		11	5	30	11	37
HD8					6	1	1	1	3	18	30	18	60
Total	32	41	32	21	45	32	16	18	31	32	300	162	54

CD0: convencional no dia 0; CD2: convencional no segundo dia; CD4: convencional no quarto dia; CD6: convencional no sexto dia; CD8: convencional no oitavo dia; HD0: hidropônico no dia 0; HD2: hidropônico no segundo dia; HD4: hidropônico no quarto dia; HD6: hidropônico no sexto dia; HD8: hidropônico no oitavo dia.

Fonte: Do autor (2019).

Após testes realizados utilizando-se tratamentos matemáticos nos espectros originais, obteve-se melhores resultados para as predições, quando adotado 11 variáveis latentes e os espectros originais, sem tratamento matemático. Foram utilizadas 30 amostras para predição de cada tratamento, totalizando-se 300 amostras.

A Tabela 3 apresenta informações detalhadas sobre a predição das amostras, informando que o percentual médio de classificações corretas foi de 54%, onde de um total de 300 amostras, apenas 162 foram classificadas corretamente. No primeiro tratamento (CD0), foram preditas corretamente 24 amostras, as outras seis amostras foram classificadas incorretamente, sendo que cinco foram classificadas como HD0 e uma como HD8. Para este tratamento o percentual de predições corretas foi de 80%, o que pode ser considerado satisfatório.

No segundo tratamento (CD2), o percentual de classificações corretas foi de 70%, sendo nove amostras classificadas incorretamente, destas, três foram classificadas como CD6, quatro classificadas como HD2, uma classificada como HD4 e uma classificada como HD6. Para o tratamento CD4, 47% das predições foram realizadas corretamente, sendo que das amostras classificadas incorretamente, sete foram classificadas como sendo pertencentes ao tratamento HD4.

No tratamento CD6, foi observado o menor percentual de classificações corretas entre os tratamentos do sistema convencional, sendo este de 33%. Neste tratamento as predições incorretas como HD6 também representaram 33%, ou seja, percebe-se a tendência em classificar corretamente no tempo de armazenamento, mas não em relação ao sistema de cultivo.

Para o tratamento CD8, observa-se o maior percentual de predições corretas, sendo 93% de amostras classificadas corretamente, as duas amostras classificadas incorretamente, foram classificadas como pertencentes ao tratamento HD8. O tratamento HD0, apresentou percentual de classificações corretas de 77%, sendo sete amostras classificadas incorretamente, destas, seis foram classificadas como CD0 e uma classificada como HD8. No tratamento HD2, apenas 23% das amostras foram preditas corretamente, as demais amostras foram classificadas incorretamente, ressaltando-se para o fato de que 46% das predições incorretas foram realizadas classificando as amostras como pertencente ao tratamento CD2.

O menor percentual de amostras classificadas corretamente foi observado no tratamento HD4, onde apenas 20% das amostras foram preditas corretamente. Das 24 amostras classificadas de forma incorreta, 16 foram classificadas como sendo pertencentes ao tratamento

CD4. Para o tratamento HD6, 37% das amostras foram preditas de forma correta, as 19 amostras classificadas incorretamente, foram classificadas como sendo cinco pertencentes ao tratamento CD6, cinco classificadas como HD8, quatro classificadas como CD8, três classificadas como HD2, uma classificada como CD2 e uma como CD4. O tratamento HD8 obteve o percentual de predições corretas de 60%, sendo que das 12 amostras classificadas incorretamente, seis foram classificadas como sendo pertencentes ao tratamento CD8.

Algumas considerações podem ser feitas com relação às classificações apresentadas na Tabela 3. Em se tratando do percentual de predições corretas, se for realizada uma divisão entre sistemas de cultivo, observa-se que os melhores resultados de classificação são encontrados para os tempos de armazenamento D0 e D8 (representados por CD0, CD8, HD0 e HD8). Outro fato que pode ser observado é em relação as amostras preditas incorretamente, que em sua maioria, são classificadas de forma errônea no que se refere ao sistema de cultivo, mas corretamente no tempo de armazenamento.

A Tabela 4 trata-se das classificações pela PLS-DA, incluindo o número de classificações corretas e incorretas, e o percentual de classificação correta por meio de validações cruzadas. Inicialmente, todas as amostras foram utilizadas na classificação, objetivando-se a separação com relação aos sistemas de cultivo.

Tabela 4 - Classificação das amostras de morango com relação ao sistema de cultivo, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.

Sistema	Sistema de Cultivo predito pelo NIR		N Total	Total de acertos	% Correta
	Convencional	Hidropônico			
Convencional	104	46	150	104	69
Hidropônico	46	104	150	104	69
Total	151	152	300	208	69,33

Fonte: Do autor (2019).

Após testes realizados utilizando-se tratamentos matemáticos nos espectros originais, obteve-se melhores resultados para as predições, quando adotado 12 variáveis latentes e os espectros originais, sem tratamento matemático. Foram utilizadas 150 amostras para predição de cada tratamento, totalizando-se 300 amostras.

O percentual médio de classificações corretas foi de 69,33%, onde de um total de 300 amostras, 208 foram classificadas corretamente. Para as 150 amostras referentes ao sistema de cultivo convencional, 104 foram classificadas corretamente, o que representou 69,33% e as

outras 46 amostras foram classificadas como pertencendo ao sistema semi-hidropônico. Fato semelhante foi observado para as 150 amostras referentes ao sistema de cultivo semi-hidropônico, que também apresentou 69,33% das amostras preditas de forma correta e as outras 46 amostras foram classificadas incorretamente como sendo pertencentes ao sistema de cultivo convencional (TABELA 4).

Amodio et al. (2017), utilizaram a análise PLS-DA para classificar frutos de morango provenientes de três sistemas de cultivo diferentes e obtiveram resultados satisfatórios na predição, com percentual de classificação correta na validação cruzada de 96%.

As classificações pela PLS-DA, incluindo o número de classificações corretas e incorretas, e o percentual de classificação correta por meio de validações cruzadas são apresentados na Tabela 5. Neste caso, foram utilizadas na classificação, amostras pertencentes ao sistema de cultivo convencional, objetivando-se a separação com relação ao tempo de armazenamento.

Tabela 5 - Classificação das amostras de morango pertencentes ao sistema de cultivo convencional com relação ao tempo de armazenamento, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.

	Tempo de armazenamento predito pelo NIR					N Total	Total de acertos	% Correta
	D0	D2	D4	D6	D8			
D0	29				1	30	29	97
D2	2	22	1	4	1	30	22	73
D4			26	3	1	30	26	87
D6	1	2	1	23	3	30	23	77
D8			1	2	27	30	27	90
Total	32	24	29	32	33	150	127	85

D0: dia zero; D2: segundo dia; D4: quarto dia; D6: sexto dia; D8: oitavo dia.

Fonte: Do autor (2019).

Após testes realizados utilizando-se tratamentos matemáticos nos espectros originais, obteve-se melhores resultados para as predições, quando adotado 10 variáveis latentes e o tratamento SNV nos espectros originais. Foram utilizadas 30 amostras para predição de cada tratamento, totalizando-se 150 amostras.

O percentual médio de predições corretas foi de 85%, onde de um total de 150 amostras, 127 foram classificadas corretamente. No tratamento D0, correspondente ao dia em que os frutos foram colhidos, foram preditas corretamente 29 amostras, o que representou 97% de acertos, sendo que a única amostra classificada incorretamente, foi predita como sendo

pertencente ao tratamento D8. Entre os cinco tratamentos, este foi o que obteve melhor predição das amostras.

Para o tratamento D2, 22 amostras foram classificadas corretamente, representando 73% de acertos. As oito amostras classificadas incorretamente, foram preditas como sendo duas pertencentes ao tratamento D0, uma pertencente ao tratamento D4, quatro pertencentes ao tratamento D6 e uma pertencente ao tratamento D8. Ressaltando-se que este foi o tratamento cuja predição obteve menor percentual de acertos.

No tratamento D4 foram classificadas corretamente 87% das amostras, o que representou 26 amostras preditas corretamente. As quatro amostras classificadas incorretamente foram preditas como sendo três pertencentes ao tratamento D6 e uma pertencente ao tratamento D8. Para o tratamento D6, foram classificadas corretamente 77% das amostras, as outras sete amostras preditas incorretamente, foram classificadas como sendo uma pertencente ao tratamento D0, duas pertencentes ao tratamento D2, uma pertencente ao tratamento D4 e três pertencentes ao tratamento D8.

O tratamento D8 obteve a segunda melhor predição das amostras, classificando corretamente 90% das amostras, ou seja, das 30 amostras 27 foram preditas corretamente. As outras três classificadas de forma incorreta, foram preditas como pertencendo duas ao tratamento D6 e uma ao tratamento D4.

Na Tabela 5 as classificações incorretas foram em sua maior parte como sendo pertencentes ao tratamento D6. Outro fato a se considerar é que os tempos de armazenamento mais extremos, representados pelos tratamentos D0 e D8, foram os que obtiveram melhores classificações das amostras. Por esta classificação é possível separar os frutos provenientes do sistema de cultivo convencional, com relação ao tempo de armazenamento, principalmente se forem frutos colhidos no dia das análises ou com maior tempo de armazenamento.

Considerando a exigência do mercado consumidor com relação a qualidade dos frutos que são comercializados, pode-se dizer, que, possuir modelos que classifiquem os frutos corretamente no que se refere ao tempo de pós-colheita, torna o controle de qualidade dos frutos durante a fase de comercialização mais eficiente.

A Tabela 6 apresenta as classificações pela PLS-DA, incluindo o número de classificações corretas e incorretas, e o percentual de classificação correta por meio de validações cruzadas. Neste caso foram utilizadas na classificação, amostras pertencentes ao

sistema de cultivo semi-hidropônico, objetivando-se a separação com relação ao tempo de armazenamento.

Tabela 6 - Classificação das amostras de morango pertencentes ao sistema de cultivo semi-hidropônico com relação ao tempo de armazenamento, por meio de análises PLS-DA e validação cruzada.

	Tempo de armazenamento predito pelo NIR					N Total	Total de acertos	% Correta
	NIR							
	D0	D2	D4	D6	D8			
D0	30					30	30	100
D2		20	2	7	1	30	20	67
D4		3	25	2		30	25	83
D6	1	2	4	19	4	30	19	63
D8		1	1	2	26	30	26	87
Total	31	26	32	30	31	150	120	80

D0: dia zero; D2: segundo dia; D4: quarto dia; D6: sexto dia; D8: oitavo dia.

Fonte: Do autor (2019).

Foram utilizadas 30 amostras para predição de cada tratamento, totalizando-se 150 amostras. Os melhores resultados para as predições foram obtidos quando adotadas 13 variáveis latentes e o tratamento SNV nos espectros originais.

O percentual médio de predições corretas foi de 80%, onde de um total de 150 amostras, 120 foram classificadas corretamente. No tratamento D0, correspondente ao dia em que os frutos foram colhidos, todas as amostras foram preditas corretamente, representando 100% de acertos. Entre os cinco tratamentos, este foi o que obteve melhor predição das amostras.

No tratamento D2 foram classificadas corretamente 67% das amostras, o que representou 20 amostras preditas corretamente. As 10 amostras classificadas incorretamente foram preditas como sendo duas pertencentes ao tratamento D4, sete pertencente ao tratamento D6 e uma pertencente ao tratamento D8. Para o tratamento D4, foram classificadas corretamente 83% das amostras, as outras cinco amostras preditas incorretamente, foram classificadas como sendo três pertencente ao tratamento D2 e duas pertencentes ao tratamento D6.

Para o tratamento D6, 19 amostras foram classificadas corretamente, representando 63% de acertos. As 11 amostras classificadas incorretamente, foram preditas como sendo uma pertencente ao tratamento D0, duas pertencentes ao tratamento D2, quatro pertencentes ao tratamento D4 e quatro pertencentes ao tratamento D8. Ressaltando-se que este foi o tratamento cuja predição obteve menor percentual de acertos.

O tratamento D8 obteve a segunda melhor predição das amostras, classificando corretamente 87% das amostras, ou seja, das 30 amostras 26 foram preditas corretamente. As outras quatro classificadas de forma incorreta foram preditas como pertencendo duas ao tratamento D6, uma ao tratamento D4 e uma ao tratamento D2.

Considerações semelhantes às realizadas na Tabela 4, podem ser feitas sobre a Tabela 5, o que permite inferir que apesar dos sistemas de cultivo apresentados serem diferentes, o comportamento em relação ao tempo de armazenamento é em alguns pontos semelhantes. Os tempos de armazenamento mais extremos, representados pelos tratamentos D0 e D8, foram os que obtiveram melhores classificações das amostras. Outro fato que pode ser destacado, é que as classificações incorretas foram em sua maior parte como sendo pertencentes ao tratamento D6.

Pela classificação apresentada na Tabela 5, é possível separar os frutos provenientes do sistema de cultivo semi-hidropônico, com relação ao tempo de armazenamento, principalmente se forem frutos colhidos no dia de realização das análises ou frutos que estejam a mais tempo sendo armazenados, a exemplo dos frutos pertencentes ao tratamento D8.

5 CONCLUSÕES

As análises físico-químicas apresentam diferença significativa para a maioria dos parâmetros avaliados, entretanto, a técnica de espectroscopia no infravermelho próximo, associado a análises quimiométricas, não possibilitou a diferenciação dos frutos de morango provenientes de sistemas de produção convencional e semi-hidropônico.

Obteve-se resultados eficientes quando utilizado a PLS-DA, para classificar os frutos dos sistemas convencional e hidropônico (85% e 80% de predições corretas, respectivamente) separadamente, com relação ao tempo de armazenamento.

A análise de PCA apresentou grande similaridade espectral das amostras, de modo que a separação quanto ao sistema de cultivo e os tempos de armazenamentos de cada sistema não foi possível.

Pela PLS-R, os modelos criados para predição dos parâmetros avaliados nos frutos, não foram eficientes, inviabilizando a recomendação destes modelos para estimar os parâmetros avaliados.

Para classificar os frutos quanto ao sistema de cultivo e quando todos os tratamentos foram associados, a PLS-DA foi ineficiente.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, K.R.K. Perturbation scheme for online learning of features: Incremental principal component analysis. **Pattern Recognition**, v. 41, p. 1452-1460, 2008.
- AMODIO, M.L. et al. Potential of NIR spectroscopy for predicting internal quality and discriminating among strawberry fruits from different production systems. **Postharvest Biology and Technology**, v. 125, p. 112-121, 2017.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, 1999. 142 p.
- ANTONUCCI, F. et al. Non-Destructive Estimation of Mandarin Maturity Status Through Portable VIS-NIR Spectrophotometer. **Food Bioprocess Technology**, v. 4, n. 5, p. 809-813, 2011.
- ANTTI, H. **Multivariate characterization of wood related materials**. 1999. 86 p. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) - Umea University, Sweden, 1999.
- ANTUNES, L.E.C. Brasil é o maior produtor de morango da América do Sul. **Campo & Negócio-Hortifruti**. Uberlândia-MG, n. 7, p. 92-94, jan. 2018.
- ANTUNES, L.E.C. et al. Yield and quality of strawberry cultivars. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 222–226, 2010.
- ANTUNES, L.E.C. et al. Produção de morangos. **Jornal da Fruta**, v. 191, p. 22-24, 2007.
- ARAUJO, T.P. **Emprego de espectroscopia no infravermelho e métodos quimiométricos para a análise direta de tetraciclinas em leite bovino**. 2007. 99 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP, 2007.
- BARCIA, M.T. et al. Bioactive Compounds, Antioxidant Activity and Percent Composition of Jambolão Fruits (*Syzygium cumini*). **The Natural Products Journal**, Shariah, v. 2, n. 2, p. 129-138, 2012.
- BARTHUS, R.C. **Aplicação de métodos quimiométricos para análises de controle de qualidade de óleos vegetais utilizando espectroscopia no infravermelho e raman**. 1999. 112 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP, 1999.
- BARUZZI, G. et al. Innovazione varietale per gli ambienti meridionali italiani. **Frutticoltura**, Bologna, v. 6, p. 2-8, 2009.
- BEEBE, K.R.; PELL, R.J.; SEASHOLTZ, M.B. **Chemometrics: a practical guide**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 348 p.

BEGHI, R. et al. Apples Nutraceutical Properties Evaluation Through a Visible and Near-Infrared Portable System. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, n. 9, p. 2547-2554, 2013.

BESSHO, H. et al. A Portable Non- Destructive Quality Meter for Understanding Fruit Soluble Solids in Apple Canopies. VIII International Symposium on Canopy, Rootstocks and Environmental Physiology in Orchard Systems. **Acta Horticultural**, v. 732, p. 593-597, 2007.

BITTER, T.; MUIR, H.M. A modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 34, n. 4, p. 330-334, feb. 1962.

BJORSVIK, H-R.; MARTENS, H. **Calibration of NIR Instruments by PLS Regression**. New York, USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2007. p.189-205.

BORDIGNON JÚNIOR, C.L. **Análise química de cultivares de morango em diferentes sistemas de cultivo e épocas de colheita**. 2008. 132 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UPF, Passo Fundo, 2008.

BORGES, C.D. et al. Conservação de morangos com revestimentos à base de goma xantana e óleo essencial de sálvia. **Biosci. J.**, v. 29, n. 5, p. 1071-1083, 2013.

BRERETON, R.G. Introduction to multivariate calibration in analytical chemistry. **Analyst**, v.125, p. 2125-2154, 2000.

BROWN, S.D. Chemical systems under indirect observation: Latent properties and chemometrics. **Appl. Spectrosc.**, Baltimore, v. 49, n. 12, p. 14A-31A, 1995.

BURGER, J.; GELADI, P. Spectral pre-treatments of hyperspectral near infrared images: analysis of diffuse reflectance scattering. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 15, n. 1, p. 29-37, 2007.

BURNS, D.A.; CIURCZAK, E.W. **Handbook of Near-Infrared Analysis**. 3. ed. Boca Raton: CRC, 2008. 808 p.

CAMARGO, L.K.P. **Produtividade e qualidade de cultivares de morangueiro em sistemas orgânico e convencional na região de Guarapuava-PR**. 2008. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-oeste, UNICENTRO - Paraná, 2008.

CANER, C.; ADAY, M.S.; DEMIR, M. Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 227, p. 1575-1583, 2008.

CAPOCASA, F. et al. Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: the role of genotype. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4, p. 872-878, 2008.

- CARDOSO, L.M. et al. Qualidade pós-colheita de morangos cv. 'diamante' tratados com cloreto de cálcio associado a hipoclorito de sódio. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 23 p. 588, 2012.
- CARPENEDO, S. et al. Caracterização sensorial de morangos cultivados na região de Pelotas. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 565-570, 2016.
- CASTRO, R.L.D. Melhoramento genético do morangueiro: avanços no BRASIL. SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO, 1., **Anais... ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS**. 22., **Anais...** 2004.
- CAYUELA, J.A. Prediction of Intact Nectarine Quality Using a Vis/NIR Portable Spectrometer'. Int. **Journal of Postharvest Technology Innovative**, v. 2, n. 2, p. 131-144, 2011.
- CERUTTI, P.H.; SANTOS, M. dos. Desafios Do Cultivo De Morangueiro No Brasil. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, v. 20, n. 2, p. 236-252, 2018.
- CHANG, C. et al. Near-infrared reflectance spectroscopy–principal components regression analyses of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65 n. 2, p. 480-490, 2001.
- CHEN, H. et al. Grid search parametric optimization for FT-NIR quantitative analysis of solid soluble content in strawberry samples. **Vibrational Spectroscopy**, v. 94, p. 7-15, 2018.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.D. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: FAEPE, 2005. 785 p.
- CHRISTEN, D. et al. Prediction of the Pre- and Postharvest Apricot Quality with Different VIS/NIRS Devices. **Acta Horticulture**, v. 966, p. 149-153, 2012.
- CIOSEK, P. et al. Direct and two-stage data analysis procedures based on PCA, PLS- DA and ANN for ISE-based electronic tongue: effect of supervised feature extraction. **Talanta**, London, v. 67, p. 590-596, apr. 2005.
- COCCO, C. **Qualidade fisiológica das mudas na produção de frutas do morangueiro**. 2010. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria – RS. 2010.
- COCCO, C. et al. **Produção de cultivares de morangueiro de dias-curtos na região de Pelotas-RS**. (Nota Técnica). 2011.
- CONTI, J.H.; MINAMI, K.; TAVARES, F.C.A. Produção e qualidade de frutos de diferentes cultivares de morangueiro em ensaios conduzidos em Atibaia e Piracicaba. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 10-17, 2002.
- COSTA, G. et al. Use of Vis/NIR spectroscopy to assess fruit ripening stage and improve management in post-harvest chain. **Journal Fresh Produce**, v. 3, p. 35-41, 2009.

DARROW, G.M. **The strawberry**. History, breeding and physiology. Publisher: Holt, Rinehart and Winston; 1st edition, 1966. 447 p.

DIAS, C.N. et al. Produtividade e qualidade do morangueiro sob dois ambientes e doses de biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.19, 2015.

DIAS, M.S.C; SIMÕES, J.C. Pesquisa leva morango ao Semiárido. **Informe Agropecuária**, Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. v. 30, p. 96-107 (Edição Especial).

DIEL, M.I. et al. Phyllochron and phenology of strawberry cultivars from different origins cultivated in organic substracts. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 226-232, 2017.

DISCHE, Z. General color reactions. In. WHISTLER, R.L.; WOLFRAM, M.L. **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, 1962. p. 477-512.

DOS SANTOS, C.A.T. et al. A Review on the applications of portable near-infrared spectrometers in the agro-food industry. **Applied Spectroscopy**, p. 1215-1233, 2013.

DUARTE FILHO, J.; ANTUNES L.; PÁDUA, J. Morango: conquistando novas fronteiras. **Informe Agropecuário**, v. 26, p. 20-23, 2007.

DUNN, B.W. et al. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy for soil analysis: a case study from the Riverine Plain of south-eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 42, n. 5, p. 607-614, 2002.

EL MASRY, G; SUN, D.W. Principles of hyperspectral imaging technology. In **Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control**. San Diego: Academic Press, 2010. p. 3-43.

FAGHERAZZI, A.F. **Avaliação de cultivares de morangueiro no planalto sul catarinense**. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade do estado de Santa Catarina - UDESC Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2013.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agricultural Production/strawberries**. 2018. Disponível em:

<<http://fenix.fao.org/faostat/beta/en/#data/QC>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

FAYAD, J.A. et al. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, v. 19, p. 365-370, 2001.

FERREIRA, M.M.C. Multivariate QSAR. **J. Braz. Chem. Soc.**, São Paulo, v. 13, n. 6, p. 742-753, 2002.

FERREIRA, M.M.C. **Quimiometria – Conceitos, Métodos e Aplicações**. Campinas: UNICAMP, 2015.

FLORES-CANTILLANO, F.R. Fisiologia pós-colheita e armazenamento de morangos. In: DUARTE FILHO, E. et al. (Ed.) **Morango: tecnologia de produção e processamento**. Caldas: EPAMIG, 1999. p. 187-204.

FRANCO, D.O.; LIMA, M.; SIMONE, C. Características físicas e químicas de morango ‘San Andreas’ submetido a diferentes posicionamentos de slab, densidades de plantio e meses de avaliação. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, México, v. 18, n. 2, 2017.

GALINA, J.; ILHA, L.; PAGNONCELLI, J. Cultivo orgânico do morangueiro em substrato. **Cadernos de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, nov. 2013.

GARRIGUES, S.; DE LA GUARDIA, M. Non- Invasive Analysis of Solid Samples. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 43, p. 161-173, 2013.

GIORDANENGO, T. **Commentaire Bibliographique sur les Procédures d’évaluation de la composition chimique du bois par spectrométrie proche infrarouge**. 2005. 106 p. Master em Sciences du Bois - ENGREF, Montpellier, 2005.

GODOI, R.S. et al. Produção e qualidade do morangueiro em sistemas fechados de cultivo sem solo com emprego de substratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1039-1044, 2008.

GUIDETTI, R. et al. Prediction of Blueberry (*Vaccinium Corymbosum*) Ripeness by a Portable Vis-NIR Device. **Acta Horticulture**, v. 810, p. 877-886, 2009.

GUIMARÃES, A.G.; ANDRADE V.C.; M. PASCUAL. Estimativa da quantidade de DNA em morangueiro. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 19, p. 19-23, 2013.

GUIMARÃES, G.C. **Espectroscopia no infravermelho próximo para classificação de sementes de café quanto à qualidade, origem e cultivar**. 2016. 75 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

GUO, Z. et al. Nondestructive evaluation of soluble solid content in strawberry by near infrared spectroscopy. Paper presented at the 3rd International Conference on Photonics and Image in Agriculture Engineering, **PIAGENG**, Sanya, 2013.

HAKALA, M. et al. Effects of varieties and cultivation conditions on the composition of strawberries. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 16, p. 67-80, 2003.

HANCOCK, J. F. et al. Reconstruction of the strawberry, *Fragaria* × *ananassa*, using genotypes of *F. virginiana* and *F. chiloensis*. **Hort Science**, v. 45, p. 1006-1013, 2010.

HUANG, C. et al. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy to predict minerals in straw. **Fuel**, v. 88, n.1, p. 163-168, 2009.

HUANG, H. et al. Near infrared spectroscopy for on/in-line monitoring of quality in foods and beverages: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 87, n. 1, p. 303-313, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

JACONI, A. **O uso da espectroscopia no infravermelho próximo na quantificação de carbono em solos sob o cultivo de cana-de-açúcar**. 2011. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2011.

JAMRÓGIEWICZ, M. Application of the near-infrared spectroscopy in the pharmaceutical technology. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 66, p. 1-10, 2012.

JIE, D. et al. Using visible and near infrared diffuse transmittance technique to predict soluble solids content of watermelon in an on-line detection system. **Postharvest Biology and Technology**, v. 90, p. 1–6, 2014.

KIRALJ, R.; FERREIRA, M. M. C. Basic validation produces for regression models in QSAR and QSAR studies: theory and application. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 770-787, 2009.

KRÜGER, E. et al. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. **Journal of Berry Research**, v. 2, p. 73-95, 2012.

LEE, D.H.; FRANCIS, F.J. Standardization of Pigment Analyses in Cranberries. **HortScience**, Stanford, v. 7, n. 1, p. 83-84, 1972.

LEITÃO, T.M.D. **Aplicações da espectroscopia de infravermelho próximo em Ciências Farmacêuticas**. 2012. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade de Fernando Pessoa, Faculdade de Ciências da Saúde, Porto, 2012.

LIETEN, F. et al. Recent situation of strawberry substrate culture in Europe. **Acta Horticulturae**, v. 649, p. 193-196, 2004.

LIMA, A.; BAKKER, J. Near-infrared spectroscopy for monitoring peripheral tissue perfusion in critically ill patients. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 23, n. 3, p. 341–351, 2011.

LIMA, L.C. de O. Qualidade, colheita e manuseio pós-colheita de frutos de morangueiro. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 198, p. 80-83, 1999.

LIU, Q. et al. Near-Infrared Hyperspectral Imaging Rapidly Detects the Decay of Postharvest Strawberry Based on Water-Soluble Sugar Analysis. **Food Analytical Methods**, v. 12, p. 936–946, 2019.

LIZANA, A.L. Factores fisiológicos relacionados con el deterioro de frutas y hortalizas después de cosechados. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO, CALIDAD, COSECHA Y POST-COSECHA DE FRUTAS Y HORTALIZAS, 1, **Anais...** 1975. Santiago: Universidad de Chile, p. 6-18, 1975.

LORBER, A.; KOWALSKI, B.R. Estimation of prediction error for multivariate calibration. **J. Chemom**, v. 2, p. 93–109, 1988.

LUYPAERT, J.; MASSART, D.L.; VANDER HEYDEN, Y. Near-infrared spectroscopy applications in pharmaceutical analysis. **Talanta**, v. 72, n. 3, p. 865-883, 2007.

MA, H. et al. Rapid authentication of starch adulterations in ultrafine granular powder of Shanyao by near-infrared spectroscopy coupled with chemometric methods. **Food Chemistry**, v. 215, p. 108-115, 2017.

MACHADO, P.P. et al. Relação entre porção, medida caseira e presença de gordura trans em rótulos de produtos alimentícios. **O Mundo da Saúde**, v. 37, p. 299-311, 2013.

MAGALHÃES, D. F. **Aplicações da espectroscopia de infravermelho próximo na monitorização de processos farmacêuticos**. 2014. 127 p. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica) - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Química e Bioquímica, Lisboa, 2014.

MANGANARIS, G.A. et al. Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. **J Sci Food Agric**, v. 94, p. 825–833, 2014.

MARQUELLI, W.A.; CARRIJO, O.A.; ZOLNIER, S. Variabilidade espacial do sistema radicular do tomateiro e implicações no manejo da irrigação em cultivo sem solo com substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p.57-60, 2005.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. New York: John Wiley & Sons, 1989. 419 p.

MARTINA, V. et al. Development of an electronic tongue based on PEDOT modified voltammetric sensor. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Heidelberg, v. 387, p. 2101-2110, jan. 2007.

MASOUM, S. et al. Discrimination of wines based on 2D NMR spectra using learning vector quantization neural networks and partial least squares discriminant analysis. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 558, n. 1, p. 144-149, mar. 2006.

MCCREADY, P.M.; McCOMB, E.A. Extration and determination of total pectic material. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 24, n. 12, p. 1586-1588, 1952.

MCGLONE, V.A.; KAWANO, S. Firmness, dry matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 13, n. 2, p. 131-141, 1998.

MCGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27 n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MDITSHWA, A. et al. Postharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruit: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 218, p. 95-104, 2017.

MEDEIROS, A.R.M. de; SANTOS, A.M. dos. Práticas culturais. In: SANTOS, A. M. dos; MEDEIROS, A. R. M de (Orgs.). **Morango, Produção**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, p. 53-56. (Frutas do Brasil; 40).

MEDEIROS, C.A B.; STRASSBURGER, A.S.; ANTUNES, L.E C. Avaliação de substratos constituídos de casca de arroz no cultivo sem solo do morangueiro. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 4827-4831, 2008.

METROHM NIRSYSTEMS. **NIR Spectroscopy: A guide to near – infrared spectroscopy analysis of industrial manufacturing processes**. Switzerland, 2013.

MINGUEZ, P.L. **Los factores ambientales em el manejo de los cultivos sin suelo**. In: Curso Superior de Especialização – Cultivo Sin Suelo II. 2ª edición, p. 149-170, 1999.

MORAES, C.A.G.; FURLANI, P.R. Cultivo de hortaliças de fruta em hidroponia. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200-201, p. 105-113, 1999.

MORGANO, M. A. **Aplicação de métodos quimiométricos em análise de alimentos**. 2005. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP, 2005.

MURTHY, B.N.S.; KARIMI. F.; LAXMAN, R.H. Physiological performance reflecting in yield and quality of strawberry under vertical soilless culture system. **Acta Horticulturae**, v. 1156, p. 301-308, 2017.

MUSA, C. I. et al. Cultivo Orgânico em Substrato: uma experiência inovadora no cultivo do morangueiro no município de Bom Princípio/RS. **InterfaceHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 38-46, 2015a.

NAES, T. et al. **Multivariate calibration and classification**. Nir Publications, Chinchester, 2002, p.3 44.

NICOLAI, B.M. et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46 n. 2, p. 99-118, 2007.

NJUGUNA, W. 2010. **Development and use of molecular tools in Fragaria**. Ph.D. Thesis, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 2010.

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

OLIVEIRA, A.C B. de; BONOW, S. Novos desafios para o melhoramento genético da cultura do morangueiro no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 33, n. 268, p. 21–26, 2012.

OLIVEIRA, F.C.C. et al. A escolha da faixa espectral no uso combinado de métodos espectroscópicos e Quimiométricos. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 218-225, 2004.

OLIVEIRA, S.M.A. de. et al. **Patologia pós-colheita: frutas, olerícolas e ornamentais tropicais**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

PALHA, M. et al. **Manual do Morangueiro**. Oeiras, INIAP/EAN. Projecto PO AGRO DE&d No. 193.127, 2005.

PARANJPE, A. et al. Winter strawberry production in greenhouses using soilless substrates: an alternative to methyl bromide soil fumigation. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Science**, Florida, v. 116, p. 98-105, 2003.

PARREIRA, T. F. **Utilização de métodos quimiométricos em dados de natureza multivariada**. 2003. 91 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PEI, X. et al. The China melamine milk scandal and its implications for food safety regulation. **Food Pol**, v. 36, p. 412-420, 2011.

PEIRS, A. et al. Comparison of fourier transform and dispersive near-infrared reflectance spectroscopy for apple quality measurements. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 81, n. 3, p. 305-311. 2002.

PEREIRA, W.R. et al. Produtividade de cultivares de morangueiro, submetidas a diferentes épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 500-503, 2013.

PEREZ-MARIN, D. et al. Postharvest Shelf-Life Discrimination of Nectarines Produced Under Different Irrigation Strategies Using NIR-Spectroscopy. **LWT Food Science Technology**, v. 44, n.6, p. 1405-1414, 2011.

POREP, J.U.; KAMMERER, D.R.; CARLE, R. On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production. **Trends in Food Science & Technology**, v. 46, n. 2, p. 211–230, 2015.

PROCOPIUK, M. **Desempenho de dois cultivares de morangueiro sob túneis alto e baixo em sistema orgânico**. 2015, 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PU, Y.Y; FENG, Y.Z; SUN, D.Z. Recent progress of hyperspectral imaging on quality and safety inspection of fruits and vegetables: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, p. 176-185, 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 1 jun. 2019.

- RECAMALES, A.F.; MEDINA, J.L.; HERNANZ, D. Physicochemical characteristics and mineral content of strawberries grown in soil and soilless system. **Journal of Food Quality**, v. 30, n. 5, p. 837-853, 2007.
- REICH, G. Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications. **Adva. Drug Deliv.**, v. 57, p. 1109-1143, 2005.
- REIS, K.C.D. et al. Efeito de diferentes sanificantes sobre a qualidade de morango cv. Oso Grande. **Ciênc. Agrotec**, v. 32, n. 1, 2008.
- RESENDE, L.M.A.; MASCARENHAS, M.H.T.; PAIVA, B.M. Panorama da produção e comercialização do morango. **Informe Agropecuário**, v. 20, p. 5-19, 1999.
- RINNAN, A.; BERG, F.V.D.; ENGELSEN, S.B. Review of the most common preprocessing techniques for near-infrared spectra. **Trac Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 10, p. 1201-1222, 2009a.
- RODAS, C.L. **Nitrogênio e potássio via fertirrigação na produção do morangueiro**. 2011. 104 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, 2011.
- ROGGO, S. et al. Screening and distinction of coffee brews based on headspace solid phase microextraction/gas chromatography/principal component analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, n. 1, p. 43-51, 2007.
- SALGUERO-CHAPARRO, L. et al. Online analysis of intact olive fruits by VIS-NIR spectroscopy: Optimisation of the acquisition parameters. **Journal of Food Engineering**, v. 112, n. 3, p. 152-157, 2012.
- SÁNCHEZ, M.T. et al. Non-destructive characterization and quality control of intact strawberries based on NIR spectral data. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 1, p. 102-108, 2012.
- SÁNCHEZ, M.T. et al. Testing of a local approach for the prediction of quality parameters in intact nectarines using a portable NIRS instrument. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, n. 2, p. 130-135, 2011.
- SANHUEZA, R.M.V. **Sistema de produção de morango para mesa na região da serra gaúcha e encosta superior do nordeste**. Embrapa Uva e Vinho. Sistema de Produção, 6 versão eletrônica, 2005.
- SANTOS, L.M. dos. **Monitoramento da dessorção de água na madeira por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2017. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras – Lavras, 2017.
- SARANWONG, S.; SORNSRIVICHAI, J.; KAWANO, S. Performance of a Portable Near Infrared Instrument for Brix Value Determination of Intact Mango Fruit. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 11, n. 3, p.175-181, 2003.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, p. 1964.

SHAW D.; LARSON, K. Strawberry Plant Named 'San Andreas'. In. **United States Plant Patent**. 2008c.

SILVA, A.F.; DIAS, M.S.C.; MARO, L.A.C. Botânica e fisiologia do morangueiro. **Informe agropecuário**. v. 28, p. 7-13. 2007.

SILVA, M.A. DE M. **Desenvolvimento e Validação de Método Quimiométrico para Determinação de Amoxicilina em Formulação Farmacêutica**. 2011. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) - Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, Anápolis, 2011.

SILVEIRA, R.S.G.; GUIMARÃES, C.B. Aspectos sociais e econômicos da cultura do morangueiro. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 279, p. 7-10, 2014.

SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER, F.X. **Spectrometric Identification of Organic Compounds**. 6. ed. New York: Wiley, 1998.

SIQUEIRA, H. H. de. et al. Armazenamento de morango sob atmosfera modificada e refrigeração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1712 -1715, 2009.

SKOOG, D.A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T.A. **Princípios de análise instrumental**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2002.

SORAK, D. et al. New Developments and Applications of Handheld Raman, Mid-Infrared, and Near-Infrared Spectrometers'. **Applied Spectroscopy**, v. 47, n. 2, p. 83-115, 2012.

STRASSBURGER, A. S. **Crescimento, partição de massa seca e produtividade do morangueiro em sistema de cultivo orgânico**. 2010. 124 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010.

STROHECKER, R.; HENNING, H.M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428 p.

SUN, X.; ZHANG, X.H.; PAN, Y.; LIU, Y. Nondestructive Measurement Soluble Solids Content of Apple by Portable and Online Near Infrared Spectroscopy. In: JAGER, D.S.; WU, H.S.; JIAN, D.; LIU, W.; DONG, Q.S. (Editors). **Proceedings of the SPIE 7514, Photonics and Optoelectronics Meetings (POEM) 2009: Fiber Optics Communication and Sensors**, 7514OP, 2009.

TEIXEIRA, C.P. **Produção de mudas e frutos de morangueiro em diferentes sistemas de cultivo**. 2011. 74 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, 2011.

- TEMMA, T.; HANAMATSU, K.; SHINOKI, F. Development of a Portable Near Infrared Sugar-Measuring Instrument. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 10, n. 1, p. 77-83, 2002.
- TIMM, N.H. **Applied multivariate analysis**. New York: Springer, 2002. 693 p.
- TUFIK, C.B.A. **A nutrição do morangueiro (*Fragaria x ananassa* DUTCH):** Efeito na fisiologia e qualidade dos frutos. 2017. 221 p. Tese (Doutorado) -Universidade de Évora, Portugal, 2017.
- VALDERRAMA, P.; BRAGA, J.W.B.; POPPI, R.J. Variable selection, outlier detection, and figures of merit in a partial least-squares regression multivariate calibration model. A case study for the determination of quality parameters in the alcohol industry by near-infrared spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 21, p.8331-8338, 2007.
- VERDIAL, M.F. et al. Fisiologia de mudas de morangueiro produzidas em sistema convencional e em vasos suspensos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p 524-531, 2009.
- VERMEULEN, P. et al. NIR hyperspectral imaging and chemometrics as a lab tool for the quality control of agricultural products. In: CHEMOMETRICS AND ANALYTICAL CHEMISTRY, 2010, Antwerp, Bélgica. **Anais...** Antwerp: CAC, p. 18-21, 2010.
- WANG, H. et al. Fruit Quality Evaluation Using Spectroscopy Technology: A Review. **Sensors**, v. 15, p. 11889-11927, 2015.
- WANG, J.; CHEN, Z.; Li, Z.; HAN, D. Evaluation of European Pear (*Pyrus Communis* L.) Firmness Based on Portable Vis/NIR Transmittance Technique. **Transactions of the Chinese Society Agriculture**, v. 41, n.11, p. 129-133, 2010.
- WANG, J.H. et al. Temperature Compensation for Portable Vis/NIR Spectrometer Measurement of Apple Fruit Soluble Solids Contents. **Spectroscopy and Spectral Analysis**, v. 32, n. 5, p. 1431-1434, 2012.
- WARD, A.; ANNE, L. N.; HENRIK, M. Rapid assessment of mineral concentration in meadow grasses by near infrared reflectance spectroscopy. **Sensors**, v. 11, n. 5, p; 4830-4839, 2011.
- WEBER, N. et al. Scientia Horticulturae First fruit in season: seaweed extract and silicon advance organic strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) fruit formation and yield. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 242, p. 103–109, 2018.
- WESTERHUIS, J.A. et al. Multivariate paired data analysis: multilevel PLSDA versus OPLSDA. **Metabolomics**, London, v. 6, n. 1, p. 119-128, mar. 2010.

WHELEHAN, O.P. et al. Detection of ovarian cancer using chemometric analysis of proteomic profiles. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, Berlin, v. 84, n. 1, p. 82-87, feb. 2006.

WIBERG, K. **Multivariate spectroscopic methods for the analysis of solutions**. 2004. 73 p. These (Ph.D. in Analytical Chemistry) - Stockholm University, Stockholm, Sweden, 2004.

WILLIAMS, P. **Near-infrared technology: Getting the best out of light**. 2. ed. Canadá: Value Added Wheat, 2004.

WILLIAMS, P. Tutorial: The RPD statistic: a tutorial note. **NIR news**, v. 25, n. 1, p. 22-26, 2014.

WORKMAN, J.; WEYWER, L. **Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy**. Boca Raton: CRC, 2007. 332 p.

YANG, C; LEE, W.S; GADER, P. Hyperspectral band selection for detecting different blueberry fruit maturity stages. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 109, p. 23-31, 2014.

ZAMBOLIM, L.; H, COSTA. Manejo integrado de doenças do morangueiro. **Boletim do morango: cultivo convencional, segurança alimentar, cultivo orgânico**. Belo Horizonte: FAEMG, 2006. p. 55-80.

ZERBINI, P.E. Emerging technologies for nondestructive quality evaluation of fruit. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Filadélfia, v. 14, n. 2, p. 13-23, 2006.