

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC CENTRO
DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
CURSO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL
CURSO DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE EM
MAÇÃS ‘GALA’ COM ESPECTROMÔTRO DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO
(NIR)

JÁDINA CRISTINA VAZ MORAES BELLOTTO

LAGES, SC
2022.

JÁDINA CRISTINA VAZ MORAES BELLOTTO

**AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE EM
MAÇÃS ‘GALA’ COM ESPECTROMÉTRO DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO
(NIR)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano André Steffens.

Coorientador: Prof. PhD. Sérgio Tonetto de Freitas.

**LAGES, SC
2022.**

AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo, pela paciência e por sempre me apoiar e incentivar a perseguir meus sonhos. Obrigada! Você é meu porto seguro.

A minha mãe que sempre esteve na primeira fila torcendo por mim. Obrigada por tudo.

Ao meu pai, mesmo não estando presente fisicamente, mas do céu sei que está cuidando, torcendo e vendo minhas conquistas. Amo você.

As minhas companheiras de quarto Mayra e Fátima, pelo apoio, loucuras, suporte, horas de estudos e pelas caronas.

Aos meus colegas e amigos de laboratórios, pela ajuda durante o mestrado e pelas horas de lazer.

Aos meus orientadores, Cassandro V. T. do Amarante e Cristiano A. Steffens, por terem me aceitado como orientada, por todos os conhecimentos transmitidos, pela paciência e suporte durante o mestrado.

Ao meu coorientador Sérgio Tonetto de Freitas, por transmitir seus conhecimentos, pelas horas gastas com videoconferências, por me acalmar durante o desenvolvimento do projeto, mesmo com seu tempo corrido sempre tinha um momento para sanar minhas dúvidas.

Ao CAV-UDESC pela oportunidade e todo suporte fornecido.

RESUMO

Um dos principais fatores decisivos na escolha ou recompra da maçã pelos consumidores é a qualidade do fruto. Em pós-colheita, a qualidade da maçã engloba diversas características, incluindo firmeza de polpa (FP), sólidos solúveis (SS), cor, acidez tituláveis (AT) e dentre outros. Estes atributos são determinados através do método tradicional, que são técnicas destrutivas, demoradas e trabalhosa. Devido a exigência e seletividade dos consumidores, novos métodos de análise vêm sendo desenvolvidos para avaliar e monitorar a qualidade nos frutos, nas diferentes etapas de produção. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a efetividade do espectrômetro NIR portátil para a determinação rápida e não destrutiva dos atributos de qualidade e predição do desenvolvimento de distúrbios fisiológicos em pós-colheita de maçãs do grupo 'Gala'. Neste estudo, os frutos foram colhidos em pomares localizados em Vacaria (RS), Fraiburgo (SC), Painel (SC) e São Joaquim (SC). Na colheita comercial, os frutos foram analisados utilizando o NIR portátil e, posteriormente, submetidos as análises físico-químicas de massa seca (MS), sólidos solúveis (SS), firmeza de polpa (FP) e textura. Os frutos foram também identificados e armazenados, durante três meses ($1,5^{\circ}\text{C}\pm0,5^{\circ}\text{C}$; e umidade relativa do ar de $92\%\pm2\%$). Após este período foi realizado novamente análise dos frutos com o auxílio do espectrômetro NIR portátil e, em seguida, os frutos foram submetidos a análises destrutivas para determinação de MS, SS, firmeza de polpa e textura e incidência e severidade de distúrbios fisiológicos. De acordo com os resultados, o equipamento apresentou modelos satisfatórios, com erro quadrático médio de validação cruzada relativo $\leq 10\%$ (RMSECVr), para a determinação dos teores de SS e MS em maçãs das cultivares 'Maxi Gala', 'Royal Gala', 'Imperial Gala' e 'Galaxy'. Os modelos desenvolvidos especificamente para o local da colheita e cultivar resultaram em maior precisão e eficiência na determinação de MS, SS e firmeza de polpa. Para a incidência e severidade de *bitter pit* não foram obtidos bons modelos preditivos para detectar precocemente este distúrbio fisiológico, apresentando valores de RMSECVr maiores de 10%. Devido à baixa incidência de escaldadura e escurecimento da polpa não foi viável o desenvolvimento de modelos preditivo para estes distúrbios fisiológicos. Conclui-se que o desenvolvimento de modelos específicos para cultivar e o local de produção permite a determinação de MS, SS e firmeza de polpa com precisão. O espectrômetro NIR é uma ferramenta promissora para análises dos parâmetros de qualidade em maçãs das cultivares 'Imperial Gala', 'Royal Gala', 'Galaxy' e 'Maxi Gala', proporcionando rapidez, redução de custo e auxiliando no controle da qualidade.

Palavras-chave: *Malus domestica*; Espectroscopia de infravermelho; Calibração multivariada; Validação.

ABSTRACT

One of the main decisive factors in the choice or repurchase of apples by consumers is the quality of the fruit. In postharvest, apple quality encompasses several characteristics, including pulp firmness (FP), soluble solids (SS), dry matter (DM), titratable acidity (TA) and others. These quality parameters are determined through the traditional method, which are destructive, time-consuming and labor-intensive techniques. Due to the demand and selectivity of consumers, new methods of analysis have been developed to evaluate and monitor the quality of the fruits, in the different stages of production. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effectiveness of the portable NIR spectrometer for the rapid and non-destructive determination of quality parameters and the development of postharvest physiological disturbances in fruits of 'Gala' group apple cultivars. In this study, the fruits were harvested from orchards located in Vacaria (RS), Fraiburgo (SC), Panel (SC) and São Joaquim (SC). In the commercial harvest, the fruits were analyzed using the portable NIR and, later, submitted to the physicochemical analyzes of dry mass (DM), soluble solids (SS), flesh firmness (FP) and texture. The fruits were also identified and evaluated with a portable NIR spectrometer and after being stored for three months at 1.5 °C (± 0.5 °C) and relative humidity of 92% ($\pm 2\%$). After this period, the fruits were analyzed again with the aid of a portable NIR spectrometer, and then the fruits were subjected to destructive analyzes to determine DM, SS, flesh firmness and texture, and the incidence and severity of physiological disturbances. According to the results, the equipment presented satisfactory models, with mean square error of relative cross-validation $\leq 10\%$ (RMSECV_r), for the determination of SS and DM contents in apples of cultivars 'Maxi Gala', 'Royal Gala', 'Imperial Gala' and 'Galaxy'. The models developed specifically for the harvest and cultivar location resulted in greater precision and efficiency in the determination of DM, SS and pulp firmness. For the incidence and severity of bitter pit, good predictive models for early detection of this physiological disorder were not obtained, with RMSECV_r values greater than 10%. Due to the low incidence of scalding and browning of the pulp, it was not feasible to develop predictive models for these physiological disorders. It is concluded that the development of predictive models considering the cultivar and the production location increased the accuracy of the prediction models for the determination of DM, SS and pulp firmness. The NIR spectrometer is a promising tool for the analysis of quality parameters in apples of the 'Imperial Gala', 'Royal Gala', 'Galaxy' and 'Maxi Gala' cultivars, providing speed, cost reduction and aiding in quality control.

Key words: *Malus domestica*; Infrared spectroscopy; Multivariate calibration; Validation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Frutos de macieira 'Gala'	17
Figura 2: Interdisciplinaridade da quimiometria	25
Figura 3: Identificação- numeração e marcação dos frutos.....	29
Figura 4: Espectrômetro Félix F-750 Produce Quality Meter Instruments.....	30
Figura 5: Refratômetro portátil digital, marca Atago, modelo PR-201.....	32
Figura 6: Penetrômetro automatizado Guss utilizado para medição da firmeza de polpa	32
Figura 7: Texturômetro TA. XT/ Plus.....	33
Figura 8: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) em maçãs das cultivares do grupo Gala. A linha continua preta representa a bissetriz.....	42
Figura 9: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) na cultivar Galaxy. A linha continua preta representa a bissetriz.	46
Figura 10: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) na cultivar Maxi Gala. A linha continua preta representa a bissetriz.	48
Figura 11: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) na cultivar Royal Gala. A linha continua preta representa a bissetriz.....	50
Figura 12: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Imperial Gala. A linha preta continua preta representa a bissetriz..	52
Figura 13: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos)	

da cultivar Maxi Gala-Vacaria/RS. A linha continua preta representa a bissetriz.	55
Figura 14: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Imperial Gala- Fraiburgo/SC. A linha continua preta representa a bissetriz.	57
Figura 15: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Royal Gala- São Joaquim/SC. A linha continua preta representa a bissetriz.	59
Figura 16: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Galaxy- Vacaria/ RS. A linha continua preta representa a bissetriz.	61
Figura 17: Valores obtidos pelos métodos de referência versus valores previstos para modelos de previsão de incidência e severidade de <i>Bitter pit</i> em maçãs das cultivares do grupo Gala, utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos).	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição da maçã, dados em %.....	20
Tabela 2: Intervalo de valores e médias, número de observações, desvio padrão e coeficiente de variação dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs das cultivares do grupo Gala.....	37
Tabela 3: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs das cultivares do grupo Gala.	41
Tabela 4: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Galaxy.	45
Tabela 5: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Maxi Gala.	47
Tabela 6: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Royal Gala.....	49
Tabela 7: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Imperial Gala.	51
Tabela 8: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio	

de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Maxi Gala. Vacaria/RS.	54
Tabela 9: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Imperial Gala. Fraiburgo/ SC.	
.....	56
Tabela 10: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Royal Gala. São Joaquim/SC.	
.....	58
Tabela 11: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Galaxy. Vacaria/RS.	60
Tabela 12: Análise de regressão parcial de mínimo quadrado (PLS) em diferentes comprimentos de onda espectral para prever o desenvolvimento de <i>Bitter pit</i> em maçãs das cultivares do grupo Gala.	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 A CULTURA DA MAÇÃ	15
2.2 CULTIVARES DO GRUPO GALA	16
2.2.1 ROYAL GALA	17
2.2.2 IMPERIAL GALA	18
2.2.3 MAXI GALA	18
2.2.4 GALAXY	18
2.3 ATRIBUTOS DE QUALIDADE	18
2.3.1 MATÉRIA SECA	19
2.3.2 FIRMEZA DA POLPA	21
2.3.3 SÓLIDOS SOLÚVEIS	21
2.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO	22
2.4.1.1 QUIMIOMETRIA	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 VISÃO GERAL	28
3.2 EXPERIMENTO 1 - AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTEIS PARA A DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE MAÇÃ 'GALA' NA COLHEITA	29
3.2.1 EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO ESPECTRAL	30
3.2.2 ANÁLISE DE REFERÊNCIA	31
3.2.2.1 MATÉRIA SECA (MS)	31
3.2.2.2 TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (SS)	31
3.2.2.3 FIRMEZA DE POLPA	32
3.2.2.4 TEXTURA	33
3.2.3 EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO DOS DADOS	34
3.3 EXPERIMENTO 2 – AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTEL COMO FERRAMENTA PREDITIVA NA DETERMINAÇÃO DE DISTÚRBIO FISIOLOGICO EM PÓS-COLHEITA	34
3.3.1 EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO ESPECTRAL	35
3.3.2 ANÁLISES DE REFERÊNCIAS	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37

4.1 EXPERIMENTO 1: AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTEIS PARA A DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE MAÇÃ 'GALA' NA COLHEITA	37
4.1.1 ANÁLISE DE REFERÊNCIA	37
4.1.2 ANÁLISE MULTIVARIADA	38
4.1.3 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE CALIBRAÇÃO	38
4.2 EXPERIMENTO 2: AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTEL COMO FERRAMENTA PREDITIVA NA DETERMINAÇÃO DE DISTÚRBIO FISIOLOGICO EM PÓS-COLHEITA	62
5. CONCLUSÃO	66
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de frutíferas influenciam diretamente e indiretamente a economia do país, através das exportações e mercado interno, além de ter um caráter econômico-social, gerando milhares de emprego, por estar presente em diversos estados brasileiros. Apesar do Brasil ser o terceiro maior produtor mundial de frutas com uma produção de aproximadamente 39,9 milhões de toneladas no ano de 2017, participando com 4,6% do total mundial, sua produção é destinada principalmente ao mercado interno, com participação menor no comércio global (DERAL, 2020). Dentro deste cenário, a fruticultura brasileira tem um grande potencial futuro de desenvolvimento, por apresentar condições climáticas favoráveis e seu solo diverso, quando comparado com outros países (SILVA, 2019, MACEDO, 2014).

A produção de frutas no país é regionalizada (FRONZA e HAMANN, 2014), como no caso da região Sul e Sudeste, que são responsáveis pela produção de frutíferas de clima temperado (uva, maçã, pêssego e ameixa, dentre outros), apresentando condições ambientais propícias para o cultivo destas frutíferas (FACHINELLO et al., 2011).

A macieira está entre as 10 fruteiras mais produzida no Brasil, com uma produção de aproximadamente 1.2 milhões de toneladas na safra de 2018 (FAOSTAT, 2020). Há uma maior concentração de sua produção na região Sul do país, se destacando os estados do Paraná, principalmente o município de Palmas, Santa Catarina, com os municípios de São Joaquim e Fraiburgo, e Rio Grande do Sul, na região de Vacaria (PETRI et al., 2018). O estado de Santa Catarina sozinho é responsável por 51% da produção nacional de maçãs (GOVERNO DE SANTA CATARINA, 2019).

Segundo Argenta et al. (2015), nos últimos anos, a produção de maçã no país está sendo destinada principalmente para o consumo interno na forma *in natura* com 67,6%, sendo outros 7% destinados para exportação e os 25,4% restantes destinados às indústrias de processamento para a produção de suco e outros derivados.

A maçã é uma fruta que está se tornando popular aos consumidores, se destacando por apresentar certas características de qualidade (doçura, acidez, textura, aroma, cor, compostos minerais, antioxidantes e entre outros) exigidos

pelo mercado consumidor (DENNY e BUTTRISS, 2005). Estes atributos de qualidade podem ser influenciados por diversos fatores tanto na pré-colheita como pós-colheita. Estes fatores irão influenciar a qualidade máxima da fruta, em sua conservação e nas suas características físico-químico (cor, firmeza de polpa, sólidos solúveis, acidez titulável, polifenóis), consequentemente, afetando a sua aceitação pelos consumidores e a comercialização. Cada fator atua diferentemente no fruto, sendo difícil determinar especificamente a contribuição e interação de cada, pois, cada um irá interagir de uma certa maneira e influenciada por outros fatores (MATTIUZ, 2007).

Cada vez mais, o mercado consumidor está exigindo produtos de maior qualidade (sensorial, nutricional e ausência de resíduos), causando uma certa pressão aos produtores, pesquisadores e as empresas, contribuindo para o desenvolvimento de novos métodos que auxiliam na avaliação e na monitoração dos padrões de qualidade durante todo o processo produtivo, até chegar à mesa do consumidor (SILVA, 2019; HENDGES et al., 2011). Atualmente, para o monitoramento e controle dos atributos de qualidade dos frutos os métodos de análise destrutivos são os mais empregados. Estes métodos baseiam-se no processamento da amostra de frutos, que requer preparação, tempo, mão-de-obra, reagentes químicos e diferentes equipamentos (SILVA et al., 2002.; EMBRAPA, 2011).

Diante desta perspectiva, o espectrômetro NIR portátil, é uma alternativa que vem para auxiliar o produtor na análise dos atributos de qualidade da maçã, possibilitando a quantificação de alguns padrões de qualidade, tais como matéria seca (MS), sólidos solúveis (SS), firmeza de polpa (FP) e acidez titulável (AT), dentre outras características (SILVA, 2019). É um equipamento de fácil utilização e que possibilita uma análise rápida e não destrutiva dispensando a utilização de reagentes químicos, além de analisar diferente atributos simultaneamente em poucos segundos (SANTANA et al., 2020). Porém, é pouco conhecido no mercado brasileiro, resultando numa falta de informações acerca do emprego desta ferramenta no sistema de produção de maçãs. Apesar, de ser considerada uma ferramenta nova, apresenta um grande potencial de uso para avaliar e monitorar os parâmetros de qualidade dos frutos. No entanto, é necessárias mais pesquisas sobre o efeito do ambiente e cultivares no desempenho preditivo do equipamento, a fim, de otimizar análises de parâmetros de qualidade que

não são precisos, antes que esta tecnologia seja introduzida na cadeia produtiva de maçã. Diante disto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a efetividade do espectrômetro NIR portátil para a determinação rápida e não destrutiva dos parâmetros de qualidade de maçãs 'Gala' e para predição do desenvolvimento de distúrbios fisiológicos em pós-colheita.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DA MAÇÃ

A macieira (*Malus domestica* Bork) faz parte da família *Rosaceae*, abrangendo mais de 2.000 espécies e cerca de 100 gêneros, que estão distribuídos globalmente (IAC, 2014). O centro de origem possivelmente localiza-se entre o Cáucaso e o Leste da China, na região de cadeia de montanhas da Ásia. É uma frutífera que se adapta a diferentes condições climáticas, no entanto, destaca-se em regiões de clima temperado, devido a exigência por frio, a fim de produzir de forma satisfatória (NUNES, 2011).

Entre as frutíferas, a macieira apresenta o maior número de cultivares, são descritas mais de 7.000, no entanto, apenas 40 variedades têm importância econômica (BLEICHER, 2006). As cultivares mais produzidas mundialmente são Red Delicious, Golden Delicious, Granny Smith, Fuji, Gala e Braeburn (NUNES, 2011).

A cultura da macieira foi introduzida no Brasil, através do processo de colonização. No entanto, o cultivo comercial iniciou na década de 70, no município de Valinhos-SP, em uma área inferior a 100 ha. Contudo, devido a problemas fitossanitários, falta de investimento e incentivo, não houve sucesso na região (PETRI et al., 2011). Com os incentivos, apoio do governo e a iniciativa de alguns pioneiros, houve um grande impulso de implantação de pomares de macieiras a partir da década de 80, em Santa Catarina, favorecendo o desenvolvimento da pomicultura no país (PUTTI et al., 2003). Diante deste cenário, o Brasil deixou de ser importador e passou a ser exportador de maçã, se tornando autossuficiente deste fruto (EMBRAPA, 2004).

O sucesso do cultivo de macieira no Brasil ocorre principalmente pelo país apresentar características climática favoráveis, como a baixa temperatura por período prolongado, disponibilidade de terras, desenvolvimento de novas variedades resistentes a doenças e adaptadas às regiões, maior preocupação com a produtividade e conservação dos frutos até chegar à mesa do consumidor, desenvolvimento de novas técnicas de manejo, embalagens e melhorias na cadeia de frio (BITTENCOURT et al., 2011).

Atualmente, as principais cultivares de maçã implantadas nos pomares brasileiros são mutações de Gala e Fuji, contribuindo por mais de 90% da

produção nacional. Somente as cultivares do grupo Gala correspondem aproximadamente a 56% da produção brasileira de maçãs (KRETZSCHMAR & RUFATO 2020). As demais cultivares produzidas no país são Eva, Princesa, Condessa, Granny Smith e Daiane, representando entorno de 5% da produção no país (KVISTSCHAL et al., 2015). Dentro desta perspectiva, a macieira tem um grande potencial de desenvolvimento, contribuindo para o crescimento do setor da fruticultura brasileira (SILVA, 2019).

2.2 CULTIVARES DO GRUPO GALA

A maçã 'Gala' foi desenvolvida em 1934 na Nova Zelândia, através do cruzamento entre 'Kidd's Orange Red' x 'Red' x 'Golden Delicious'. Em 1962, passou a ser chamada de 'Gala' e posteriormente, em 1965, iniciou a sua liberação global para o cultivo em escala comercial. Ao longo dos anos, foram identificadas as mutações somáticas, tornando uma cultivar de grande procura mundialmente (ANESE et al., 2011).

Os frutos têm como característica apresentar o formato arredondado e, na região basal, mais alongado, com coloração vermelho-claro, com estrias pronunciadas sobre fundo amarelo, epiderme brilhante e com pouco *russetting*. Apresentam polpa de cor amarela-creme, firme, crocante, suculenta com aroma pronunciado. Os frutos têm um peso médio entre 150-200 g (KVISTSCHAL et al., 2015; MAGRO, 2017).

Um dos principais problemas que se tem com esta cultivar é a desuniformidade de maturação dos frutos, havendo uma diferença nas características de qualidade entre frutos de mesma planta, como coloração, sólidos solúveis, firmeza de polpa e entre outras. Estas diferenças tornam-se um fator limitante no momento da colheita (MOSQUERA et al., 2018). As mutações somáticas de maçãs 'Gala' vêm sendo buscadas, a fim, de obter cultivares que produzam mais uniformemente (TESSMER, 2009).

Com o passar dos anos, foram surgindo diferentes mutações somáticas da cultivar, que apresentam certas características distintas tais como, intensidade e distribuição da cor da epiderme, apresentando epiderme com coloração vermelha mais uniforme, ou epiderme vermelha com estrias, que são particularidades bastante apreciados pelos consumidores (FIORAVANÇO et al.,

2010; SILVEIRA, 2011). É muito comum em pomares de 'Gala' ocorrer mutações espontâneas, resultando em variedades com a coloração da epiderme diferenciada. (FREIRE et al., 1994).

O cultivo destas cultivares oriundas de mutações naturais é considerado bastante satisfatório e vantajoso, por apresentar atributos de qualidade diferenciado (coloração da epiderme mais vermelha, menor acidez e sabor adocicado) e qualidade organoléptica. Estes são alguns fatores que estão dentro dos requisitos exigidos pelos consumidores brasileiros, o que facilita a sua comercialização. (SILVEIRA, 2011).

Figura 1: Frutos de macieira 'Gala'.



Fonte: ZANELLA, 2016.

2.2.1 ROYAL GALA

A maçã 'Royal Gala' surgiu em 1971, em Matamata, na Nova Zelândia, através da mutação espontânea da cultivar Gala. Em 1972, iniciou a comercialização desta cultivar (EPAGRI, 2002).

O fruto apresenta como característica a epiderme vermelha rajada, lisa e brilhante, com a polpa firme, crocante, suculenta. O fruto apresenta uma forma mais alongada, com pedúnculo médio a comprido, seu peso varia entre 150-170 gramas, além disto, apresenta uma maior resistência ao manuseio em pós-colheita (BRACKMANN et al., 2008).

2.2.2 IMPERIAL GALA

O surgimento da cultivar 'Imperial Gala' também ocorreu na Nova Zelândia através de uma mutação espontânea da 'Gala' e seu lançamento, como cultivar, foi realizado em 1978. Os frutos apresentam como característica a epiderme rajada, com coloração vermelho-escarlate, mais intensa e brilhante e com formato um pouco mais alongado do que a 'Royal Gala', sendo bastante cultivada na região sul do Brasil (SILVEIRA, 2011).

2.2.3 MAXI GALA

A cultivar Maxi Gala tem origem brasileira e foi descoberta em 1998, no município de Vacaria, no Estado do Rio Grande do Sul, sendo oriundo da mutação espontânea da 'Imperial Gala'. Os frutos apresentam como característica a epiderme com uma coloração vermelha mais intensa, com formato redondo-cônico sendo a polpa crocante e suculenta (FIORAVANÇO, 2010; SILVEIRA, 2011).

2.2.4 GALAXY

O surgimento da maçã 'Galaxy' ocorreu através da mutação espontânea da 'Royal Gala', na Nova Zelândia. O fruto tem como característica apresentar uma coloração vermelha intensa e brilhante, com estrias pouco pronunciadas, com uma maior uniformidade de cor, sendo atributo atrativo ao consumidor (CAMILO e DENARDI, 2006).

2.3 ATRIBUTOS DE QUALIDADE

Nos últimos anos, a população começou a mudar seus hábitos alimentares, tendo uma maior preocupação pelo seu bem-estar, intensificando o consumo de frutas, principalmente na forma *in natura*. Os consumidores estão mais exigentes, buscando produtos diferenciados e de melhor qualidade (GAIA, 2018). Segundo Trevisan et al. (2006), a qualidade pode ser definida como o conjunto de características que irão influenciar a aceitabilidade de produto pelo consumidor. Vários fatores influenciam a qualidade da fruta, podendo ser

textura, acidez, docura, aroma, vida útil, valor nutricional, cor e tamanho (LÉCHAUDEL e JOAS, 2007).

Os atributos de qualidade dos frutos estão relacionados com as características tanto física como química, variando de acordo com a espécie e cultivar, podendo também ser influenciado pelo ambiente em função do clima, solo e tratos culturais. Dentro de cada cultivar, quando os frutos estão em processo de desenvolvimento, estes atributos se modificam (XING-JUN et al., 2004).

Entre os atributos de qualidade de maçãs, as características físicas (massa, comprimento, cor da epiderme e diâmetro) e organolépticas (acidez titulável, matéria seca, sólidos solúveis e relação SS/AT) têm grande importância para a aceitabilidade do fruto pelo consumidor e pelas agroindústrias.

Aparência é o principal atributo que o consumidor considera ao comprar um produto, sendo a cor a característica que, em primeiro lugar, desperta o interesse do consumidor (OLIVEIRA et al., 2015). Diante deste contexto, os produtores estão se adaptando para atender a nova demanda do mercado, buscando satisfazer os consumidores, assim, atendendo as exigências do mercado, com finalidade de influenciar o comportamento do consumidor durante a compra ou recompra do produto (GAIA, 2018).

A preferência de alimento pelo consumidor é um fator importante, tanto para o produtor como ao melhorista, pois, em um mercado competitivo e que está em constante evolução, a qualidade e a aparência dos frutos constituem-se em fator decisivo no momento da escolha do consumidor (TREVISAN et al., 2006).

2.3.1 MATÉRIA SECA

A maçã *in nautra* (Tabela 1) é constituída por aproximadamente 85% de água, sendo o principal elemento, baseado em quantidade (SARAIVA et al., 2010). Porém, o constituinte com maior valor alimentício são os carboidratos, sendo que aproximadamente 75% dos carboidratos são açúcares (CÓRDOVA, 2006).

Tabela 1: Composição da maçã, dados em %.

Constituintes	%
Umidade	84,1
Carboidratos	14,9
Açúcares	11,1
Fibras	1
Ácidos (málico)	0,47
Proteínas	0,3
Cinzas	0,29
Lipídios	0,4
Energia (Kcal/100g)	-

Fonte: PROTZEK, 1997; citado por CÓRDOVA, 2006.

A quantidade de carboidrato presentes no fruto está relacionada com o sistema fonte-dreno e da disponibilidade de reserva. O carboidrato disponível ao fruto depende do fornecimento dado pela planta, que está interligado com à área foliar e à atividade fotossintética. Os fatores em pré-colheita como a maturidade da planta, manejo, condições ambientais, época do ano e sistema de irrigação irão influenciar no acúmulo de carboidratos e na qualidade final do fruto (SILVA, 2019).

Os carboidratos proporcionam textura e a palatabilidade desejável do alimento, fornecendo a maior parte das calorias na alimentação humana e constituem mais de 90% da matéria seca (MS) dos vegetais (MELO e VASCONCELOS, 2011).

Segundo Santos (2018), o teor de MS de um fruto é o conjunto dos valores de amido e açúcares, principalmente, mas também de outros componentes celulares, como as paredes e fibras celulares. Quando o fruto começa a amadurecer o amido é transformado em açúcares, e a MS é um indicador de açúcares em frutos maduros.

A determinação do teor de MS está relacionada com a qualidade de frutos e ou hortaliças. Neste contexto, a busca por novos métodos que quantifiquem o conteúdo de MS vem crescendo (SILVA, 2019).

2.3.2 FIRMEZA DA POLPA

Um importante atributo de qualidade do fruto é a firmeza de polpa, que está relacionada com o grau de dureza, força ou resistência que necessita para que o fruto atinja uma dada deformação. Já a textura está relacionada com a dureza, maciez, fibrosidade, suculência, granulosidade, resistência e elasticidade, que são características que representam a sensação produzida pelos sentidos (visão, audição, paladar, tato, olfato), sendo mais difícil determinar (SANTOS, 2018).

Os dois principais processos que causam alterações na firmeza de polpa são a perda elevada de água dos tecidos, causando a redução da pressão do turgor, situação bastante comum quando as maçãs são armazenadas em ambiente em que a umidade relativa do ar esteja muito baixa, e o outro ponto é a modificação na parede celular, devido as atividades enzimáticas (MOREIRA, 2005).

A firmeza de polpa é obtida através de substâncias pécticas, que compõem a parede celular. Com a maturação, tais substâncias vão sendo degradadas, ocorrendo o amolecimento dos tecidos dos frutos. A firmeza de polpa é mensurada visando estabelecer indiretamente, algumas mudanças em nível celular, como modificação na parede celular, tamanho das células e alterações bioquímicas na estrutura celular, além das transformações da protopectina em pectina solúvel (GIRARDI et al., 2002).

O conteúdo péctico faz parte da classe dos polissacáridos constituinte da parede celular, que sofre a mais marcante alteração durante o amadurecimento de certos frutos, como o aumento da solubilização e despolimerização associadas ao amolecimento dos frutos, sendo este atributo bastante importante durante a comercialização, já que afeta a qualidade (YAMAMOTO et al., 2011).

2.3.3 SÓLIDOS SOLÚVEIS

Os sólidos solúveis (SS) são constituídos por compostos orgânicos presentes no citoplasma das células vegetais presentes nos frutos. Seu conteúdo é composto principalmente por açúcares solúveis, em torno de 99% (principalmente glicose, frutose, sacarose), e o restante por ácidos orgânicos e outros componentes em menores concentrações (SANTOS, 2018).

Os teores de SS nos frutos aumentam com a maturação do fruto. Isto ocorre devido a hidrólise do amido, que é transformado em açúcares simples, como glicose e frutose, ou pela perda de água dos frutos, aumentando sua concentração (GIRARDI et al., 2002). A perda de SS depende da taxa respiratória, pois eles são utilizados durante este processo. Desta forma, durante o armazenamento, ocorre redução do SS nos frutos. Contudo, no armazenamento em câmara fria ocorre a redução do processo metabólico devido a redução da temperatura e alteração e controle da atmosfera, reduzindo a respiração e, consequentemente, a perda de sólidos solúveis (MOREIRA, 2005).

O valor de açúcares nas maçãs é um importante indicador de qualidade. No entanto, se for considerado de forma isolada, não é um atributo decisivo para a escolha do ponto de colheita, pois este fator pode apresentar grandes variações, sendo influenciado durante a maturação por diversos fatores, como a exposição da fruta na planta, irrigação, porta-enxerto, fertilização e condições climáticas (GIRARDI et al., 2002).

Para maçãs 'Gala' este atributo deve apresentar valores maiores do que 11 °Brix para ser realizado a colheita (GIRARDI e BENDER, 2003).

O método mais comum de estimar os SS é através de seu índice de refração ou °Brix. A presença de SS na água causa uma alteração do índice de refração, possibilitando determinar a quantidade de soluto pelo índice de refração da solução aquosa. A medida do índice de refração pode ser realizada através do auxílio de instrumentos como refratômetros de Abbé ou refratômetro de imersão (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), e através da espectroscopia NIR.

2.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

A qualidade das maçãs em pós-colheita é influenciada por diversos fatores, tais como cultivar, condições climáticas, estádio de maturação durante a colheita, condições de armazenagem, dentre outros (BETINELLI, 2017). Os problemas gerados na maçã durante o processo produtivo acarretam prejuízos ao produtor, afetando a qualidade e integridade dos frutos (CURRY, 2008), que são fatores importantes durante a comercialização, pois os consumidores estão

exigindo um padrão mais elevado dos produtos comercializados (CARVALHO, 1996).

Para o controle dos atributos de qualidade dos frutos, a fim de obter os padrões exigidos pelos consumidores, é necessária a realização de análises físico-químicos (firmeza de polpa, índice de degradação de amido, acidez titulável, sólidos solúveis) (BETINELLI, 2017). Atualmente, o método convencional é o mais utilizado, requer o processamento do fruto, ocorrendo a destruição do mesmo, ou seja, exige tempo, preparação da amostra, reagente químicos, entre outros. Novos métodos não destrutivos vêm surgindo como alternativa para analisar e monitorar os padrões de qualidade, dentre eles a ressonância magnética nuclear e a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) (EMBRAPA, 2011).

A espectroscopia NIR foi descoberta aproximadamente em 1800, pelo astrônomo alemão Frederick William Herschel (BURNS e CIURCZAK, 2001), através de um prisma de vidro conectado a um termômetro com bulbo preto, que permite aferir a temperatura em cada uma das cores. Foi observado que diferentes cores apresentavam uma distinta variação de temperatura, apresentando efeitos térmicos em diferentes regiões espectrais (SANTOS, 2018). A temperatura tende a aumentar conforme se aproximava do vermelho, e após o vermelho os valores da temperatura são ainda maiores, ou seja, há raios luminosos que não podem ser observados a olho nu, mas tem capacidade de produzir calor. Esta radiação ficou conhecido como infravermelho (OLIVEIRA E SILVA, 2014). Outros estudos foram desenvolvidos baseando-se nesta descoberta, utilizando pesquisa com diferentes faixas espectrais (infravermelho próximo, médio, distante e ultravioleta) (SANTOS, 2018).

A espectroscopia de infravermelho apresenta na sua faixa de espectro três regiões distintas: o infravermelho próximo, que varia entre 700 a 2500 nm, o infravermelho médio, de 2500 a 25000 nm, conhecido como MID; e o infravermelho distante, de 25×10^3 a 100×10^3 nm, reconhecido como FAR (*far infrared*) (OSBORNE, 1993).

Quando a amostra é exposta à radiação do infravermelho próximo, a luz irá tingir seu tecido e as características espectrais mudam devido a combinação dos efeitos de reflexão, dispersão e absorção (LIMA e BAKKER, 2011; NICOLAI

et al., 2007), e a influência de cada elemento depende da constituição química e física da amostra (NICOLAI et al., 2007).

Então, esta tecnologia está relacionada com a transferência de energia entre a luz-matéria, caracteriza-se por sobretons e combinações das bandas de absorção fundamentais na região do infravermelho próximo (CALEGARI, 2018; NICOLAI et al., 2007). Quando ocorre variações no momento do dipolo devido a vibração, está variação que as moléculas sofrem correlacionada com a frequência natural que é coerente com a radiação infravermelha (REICH, 2005), possibilita a absorção desta radiação (FELIX et al., 2016).

É uma técnica bastante utilizada para a análise quantitativa principalmente dos grupos orgânicos que possuem grande número de ligações, como os tipos C-H (pertence ao grupo metíleno), O-H (grupo das hidroxilas) e N-H (grupo das amidas primárias e secundárias, sais, complexos orgânicos entre outros). Através da absorção de energia pelas moléculas orgânicas, o NIR consegue estimar o número e o tipo de ligações moleculares do produto (MUÑIZ et al., 2012).

A espectroscopia NIR foi utilizada pela primeira vez na agricultura em 1964 por Noris, a fim, de avaliar a umidade dos grãos. A partir deste momento, tem sido utilizado em diferentes setores, tais como, no setor agrícola e nas indústrias alimentícias, têxtil, de combustíveis, cosméticos, tintas e entre outros (OSBORNE, 1993, SILVA et al., 2014).

No setor agrícola, esta ferramenta é bastante empregada para ajudar no controle de qualidade dos produtos, que é fundamental para a sua comercialização, e o NIR apresenta uma praticidade em determinar diversos atributos de qualidade de forma não-destrutiva em apenas alguns segundos (SILVA, 2018). Diante desta praticidade, é uma ferramenta que veio para substituir o modelo convencional de análise, pois não necessita de reagentes, realiza a análise simultânea de vários parâmetros em pouco tempo (15-60 segundo), não destrói as amostras, requer menor mão-de-obra e apresenta menor custo variável (SANTOS et al., 2012). Entretanto, a espectroscopia apresenta algumas desvantagens, na região do infravermelho próximo a distribuição de bandas precisas são mais difíceis, pois, uma única banda pode ser atribuída a várias possíveis vibrações. Além disto, as propriedades físicas da amostra e o ambiente de teste também pode influenciar o espectro, dificultando

os registros dos dados, além disto, esta ferramenta requer calibração (BOTELHO, 2017).

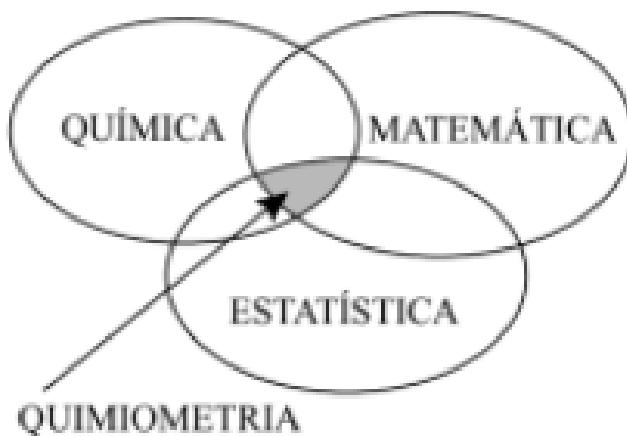
Uma maneira de avaliar os espectros do NIR é através da técnica quimiométrica, que permite obter resultados precisos e confiáveis (RAMBO, 2013), possibilitando a calibração e validação do instrumento. Segundo INMETRO (2021), a calibração pode ser definida como um conjunto de operações (sob condições específicas), que relaciona os valores de um instrumento de medição ou sistemas de medição ou valores de uma medida materializadas ou de referências, e os valores referentes das grandezas estabelecidas por padrões.

É necessário a calibração de instrumento, pois, qualquer erro na medição, por menor que seja, pode vir a influenciar drasticamente as informações dos dados, afetando o processo de produção e consequentemente a qualidade do produto. Desta forma, é importante a calibração e a validação do instrumento, a fim, de ter uma melhor eficiência (TESTO, 2011).

2.4.1.1 QUIMIOMETRIA

A quimiometria está intimamente relacionado com o espectrômetro de infravermelho próximo, pois, possibilita a calibração para a análise dos dados espectrais, a partir, de diferentes formas. Utiliza métodos matemáticos e estatísticos para extrair a maior quantidade de informações químicas relevantes (Figura 2), através das análises de dados, unindo a química, matemática e estatística. Desde o seu surgimento em 1971 até os dias atuais, foram gerados diferentes métodos que possibilita a interpretação de dados que antes era impossível (GRANGEIRO, 2011).

Figura 2: Interdisciplinaridade da quimiometria



Fonte: FERREIRA, 2015.

Este método quimiométrico vem sendo empregado em diferentes áreas da ciência, surgindo como uma necessidade, a fim, de analisar grande número de dados gerados pelo desenvolvimento de novos instrumentos de pesquisa. Com os avanços tecnológicos, o crescimento da área química (orgânica, analítica ou medicinal), chegou a um certo ponto que a conexão entre os equipamentos e os computadores acabam fornecendo uma grande quantidade de informações, constantemente variada e complexa (FERREIRA et al., 1999).

Devido ao seu avanço, novas forma de análise de dados vem sendo empregado, de acordo, com sua especificação, tanto para planejamento dos dados como para sua classificação. Diante disso, a quimiometria foi dividida em diferentes áreas de pesquisa, porém, as três principais áreas são planejamento e otimização de medidas e experimentos, reconhecimento de padrões e, a calibração multivariada (NETO, 2006).

A calibração, uma das principais áreas da quimiometria, consegue combinar métodos estatísticos com os valores químicos, ou seja, estima a concentração de um ou mais espécies, cuja os dados dos parâmetros químicos do sistema de interesse são conhecidos (OLIVEIRA, 2006). É realizada utilizando amostras de composição conhecidas e determinadas através de funções matemáticas, estabelecendo uma relação entre as medidas instrumentais com os valores do atributo de interesse, estabelecendo uma conexão entre duas variáveis, onde x representa a matriz espectral (correspondendo o comprimento de onda e o número de espectro) e o y

corresponde aos valores de referência, os parâmetros que se deseja analisar, tal como, SS, AT, firmeza de polpa e entre outros (NICOLAI et al., 2007).

A calibração multivariada possibilita a análise simultânea de múltiplas propriedades de uma dada amostra, adquirindo uma gama de informações sobre o sistema analítico (dado instrumental) (NUNES, 2008). Tornando uma ferramenta de grande importância para análises de dados, pois, permiti a interpretação dos dados mesmo com interferência, desde que os mesmos estejam presentes nas amostras avaliadas que serão utilizadas para a construção dos modelos de calibração (NETA, 2019). É necessário utilizar métodos para realização de análise exploratória, a fim, de obter informações e ainda identificar tendências dos dados, levando em consideração as medidas multivariadas contidas nas amostras analisadas. Os métodos mais utilizados no modelo de calibração multivariadas envolve quadrado mínimo parcial (PLS), e estão relacionados com outros modelos como a regressão clássica pelo mínimo quadrado (CLS), a regressão pelo inverso dos mínimos quadrados (ILS), regressões em componentes principais (PCR) e regressão linear múltipla (MLR) (SOUZA e POPPI, 2012).

Entre os métodos utilizados para o ajuste linear entre as variáveis analisadas para a construção do modelo de calibração multivariada, o método de regressão por mínimo quadrado parcial (PLS) é o mais empregado, pois, não necessita a realização de análise exploratória e nem prever as amostras interferentes, desde que esteja presente nas amostras analisadas durante a construção do modelo de calibração (SILVA, 2019).

Na PLS há construção de um modelo, de modo, que seja obtida a covariância máxima entre a matriz espectral x e o vetor de resposta y, gerando o menor número possível de variáveis latentes (VL), que são organizadas de acordo com sua relevância. A PLS apresenta um bom resultado quando existe uma grande quantidade de correlações de informações comuns, sendo um método que pode ser utilizado para prever ao mesmo tempo vários parâmetros de qualidade de interesse (NICOLAI et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado durante a safra 2020/2021, com cultivares de macieiras do grupo 'Gala', sendo desenvolvido no Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Universidade do Estado de Santa Catarina.

3.1 VISÃO GERAL

Foram colhidos frutos das cultivares Galaxy, Imperial Gala, Maxi Gala e Royal Gala em pomares comerciais localizados em quatro regiões produtoras, Vacaria (RS), Fraiburgo (SC), Painel (SC) e São Joaquim (SC), situados em 971, 1.048, 1144 e 1353 m de altitude respectivamente.

Após a colheita, os frutos foram transportados até o laboratório localizado no município de Lages, SC. Os frutos foram divididos em 22 lotes (22 pomares distintos), cada lote composto por 300 frutos.

No município de Fraiburgo foram colhidos frutos da cultivar Imperial Gala, de cinco pomares distintos, os quais foram denominados lotes 1 a 5. Em Vacaria foram colhidos frutos das cultivares Maxi Gala (lotes 6 e 7), Galaxy (lotes 8 a 12) e Royal Gala (lote 13), em oito pomares distintos. Em Painel foram colhidos frutos da cultivar Imperial Gala em dois pomares distintos (lotes 14 e 15). No município de São Joaquim foram colhidas maçãs das cultivares Imperial Gala (lotes 16 a 18), Galaxy (lotes 19 e 20) e Royal Gala (lotes 21 e 22).

O trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa, os frutos foram analisados na colheita, a fim, de avaliar se o NIR pode ser utilizado como ferramenta para análise não destrutiva dos atributos de qualidade (massa seca, sólidos solúveis, firmeza de polpa e textura). Para a segunda etapa do experimento os frutos foram armazenados e posteriormente avaliados visualmente distúrbios fisiológicos (escaldadura, escurecimento de polpa e *bitter pit*) com o objetivo de determinar se o NIR pode ser utilizado como uma ferramenta preditiva para a detecção precoce de distúrbio fisiológico em pós-colheita.

3.2 EXPERIMENTO 1 - AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTIL PARA A DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE MAÇÃ 'GALA' NA COLHEITA.

Os frutos foram numerados e marcados com um círculo na junção entre a cor amarela e vermelha da epiderme do fruto, onde foi realizada todas as análises das variáveis respostas (leitura com o NIR, MS, firmeza de polpa, SS e textura), de maneira que as mesmas ocorressem na mesma região do fruto (Figura 3).

Figura 3: Identificação- numeração e marcação dos frutos.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2021.

Na primeira etapa foi utilizado cento e cinquenta frutos de cada lote (totalizando 3.300 frutos). Inicialmente foi realizada a leitura dos espectros através do espectrômetro NIR portátil, e posteriormente, as análises destrutivas de MS, SS, firmeza de polpa e textura. Os dados obtidos foram utilizados para a construção de modelos de calibração multivariados.

O desenvolvimento dos modelos calibração para a determinação MS, SS, firmeza de polpa e textura foi realizado em três fases: na 1^a fase: utilizou todos

os dados que foram obtidos da leitura dos espectros e das análises destrutivas (dados de referência), sem haver a separação dos dados conforme as cultivares e a localização (onde os frutos foram colhidos), a fim, de desenvolver modelos de calibração de utilização prática abrangente. Na 2^a fase: foram utilizados todos os dados (dos espectros e os de referências), porém, eles foram separados e organizados de acordo com a cultivar, independentemente do local da colheita. Na 3^a fase: também foram utilizados todos os dados, contudo, foram separados e organizados conforme a cultivar e a localização do pomar, a fim, de construir modelos de calibração mais específico.

3.2.1 EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO ESPECTRAL

Para a aquisição espectral foi utilizado o espetrômetro NIR portátil, modelo F750, da marca Felix Produce Quality Meter Instruments, produzido no Estados Unidos, que registra dados na faixa espectral de 400 a 1100 nm com resolução de 3 nm (Figura 4).

Figura 4: Espetrômetro Félix F-750 Produce Quality Meter Instruments.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2021.

Na leitura dos espectros, o equipamento foi colocado na vertical em uma bancada com a lente posicionada para cima e o fruto com casca entrou em contato direto com a lente do NIR.

Os espectros foram registrados numa temperatura média de 22°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) e em uma condição de luminosidade de laboratório.

3.2.2 ANÁLISE DE REFERÊNCIA

Para análise de referência (análise físico-químico dos atributos de qualidade) foi utilizada amostra da mesma região onde foram obtidos os espectros, sendo que os frutos foram analisados individualmente.

3.2.2.1 MATÉRIA SECA (MS)

A MS foi determinada pela diferença entre a amostra úmida e seca. As amostras foram colocadas em estufa a 65 °C sob vácuo até o peso ser constante (AOAC, 2016). Foi utilizada uma amostra de cada fruto apresentando as dimensões de 2 x 2 x 2,5 cm (comprimento, largura e profundidade), retirada da região equatorial de cada fruto (sem a presença da epiderme). As amostras foram pesadas individualmente com o auxílio de uma balança analítica. Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem de MS. Para calcular MS foi utilizado a equação:

$$\text{MS (\%)} = (\text{MSf}/\text{MF}) \times 100$$

Onde:

MS- Matéria seca em porcentagem

MSf- Peso final da amostra

MF- Peso inicial da amostra.

3.2.2.2 TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (SS)

Para a determinação dos SS foi utilizado um refratômetro portátil digital modelo PR-201 α (Atago, Tóquio, Japão) com compensação automática de temperatura (Figura 5).

Figura 5: Refratômetro portátil digital, marca Atago, modelo PR-201.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2021.

As leituras foram realizadas utilizando aproximadamente 1 ml de suco de maçã, extraído com centrifuga, o qual foi colocado sobre o sensor de refratômetro, que tinha sido previamente calibrado com água destilada. Os resultados foram expressos em °Brix.

3.2.2.3 FIRMEZA DE POLPA

A firmeza de polpa foi quantificada utilizando um analisador de textura digital Guss, composto por uma ponteira de 11 mm de diâmetro (Figura 6). A penetração ocorreu próximo da área que foi realizado a leitura dos espectros. Previamente se retirou uma pequena porção da epiderme. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

Figura 6: Penetrômetro automatizado Guss utilizado para medição da firmeza de polpa



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2021.

3.2.2.4 TEXTURA

As análises de textura dos frutos foram efetuadas com auxílio do texturômetro TA.XT /Plus, utilizando o software *Texture Expotent*. Foi utilizado um *probe* com ponteira cilíndrica de aço inoxidável, com diâmetro de 2 mm (modelo P/2), com penetração de 30 mm e velocidade de 1,0 mm s⁻¹. Foi realizado uma medição por fruto (Figura 7). Os resultados obtidos foram expressos em Newton (N) (Figura 7).

Figura 7: Texturômetro TA. XT/ Plus.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR,2021.

3.2.3 EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO DOS DADOS

O processamento dos dados obtidos foi realizado através do software The Unscrambler X (versão 10.4, 64-bits, CAMO, Oslo, Noruega), que possibilitou realizar os cálculos referente ao pré-processamento dos espectros brutos, a fim de selecionar as variáveis para construção e otimização dos modelos de calibração multivariadas.

Dois diferentes métodos de pré-processamento quimiométricos (derivadas de 1^a e 2^a ordem pela filtragem de Savitzky-Golay e Variação Normal Padrão - SNV) foram aplicados aos espectros brutos, com objetivo de retirar os espectros anômalos e corrigir os dados espectrais, facilitando a extração de informação espectral. Assim, os dados não processados e os dois pré-processamentos foram avaliados.

Em seguida, realizou-se o desenvolvimento dos modelos de calibração, utilizando a técnica PLS, com finalidade de relacionar os valores dos atributos de qualidades (massa seca, firmeza de polpa, sólidos solúveis e textura) obtidos das análises de referências com os dados espectrais registrados com o NIR.

Para avaliar o desempenho da calibração foi utilizada alguns modelos estatísticos como valor da raiz quadrada do erro médio quadrático de validação cruzada (RMSECV), erro quadrático médio da calibração (RMSEC), erro quadrático médio da validação cruzada relativo (RMSECVr) e coeficiente de determinação (R^2). Durante o processo de validação, utilizou-se as informações das amostras de calibração e todos os modelos foram submetidos ao procedimento de validação.

3.3 EXPERIMENTO 2 – AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTEL COMO FERRAMENTA PREDITIVA NA DETERMINAÇÃO DE DISTÚRbio FISIOLOGICO EM PÓS-COLHEITA.

Foram utilizados 150 frutos de cada lote (ao todo 3.300 frutos), sendo identificados e avaliados com o espectrômetro NIR portátil, e após armazenados em câmara fria, durante um período de três meses, numa temperatura de 1,5°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) e umidade relativa do ar entorno de 92% ($\pm 0,2\%$).

Após o armazenamento os frutos foram retirados da câmara fria e 12 horas após realiza a análise dos frutos com o espectrômetro NIR portátil. Em seguida, os frutos foram submetidos às análises físico-químicas para determinação de MS, SS, firmeza de polpa e textura. Os dados obtidos das análises destrutivas foram utilizados para a construção dos modelos de calibração multivariados, afim, de ampliar a faixa dos valores de referências melhorando o desempenho dos modelos. Também foram realizadas, de forma visual, avaliações de incidência e severidade dos distúrbios fisiológicos (escaldadura, escurecimento da polpa e *bitter pit*). Com os dados obtidos, procurou desenvolver modelos de predição para incidência e severidade dos distúrbios fisiológicos em maçãs das cultivares do grupo 'Gala', usando dados espectrais adquiridos na colheita e após o armazenamento.

3.3.1 EQUIPAMENTO E AQUISIÇÃO ESPECTRAL

A coleta dos espectros e o equipamento utilizado foram descritos anteriormente no item 3.2.2.

3.3.2 ANÁLISES DE REFERÊNCIAS

Realizada análise físico-químico dos atributos de qualidade (MS, SS, firmeza de polpa e textura). Utilizou-se 50 frutos de cada lote, totalizando 1.100 frutos.

Os procedimentos empregados para análise físico-químicas dos atributos de qualidade dos frutos foram descritos anteriormente. Os dados obtidos foram utilizados para a construção dos modelos de calibração multivariados, a fim, de ampliar a faixa dos valores de referências melhorando os modelos de calibração.

3.3.3 ANÁLISES DE DISTÚRBIO FISIOLÓGICO

Nesse estudo, 3.300 maçãs das cultivares do grupo 'Gala' usada no estudo, foram avaliadas para a construção de modelos de previsão, a fim, de detectar precocemente distúrbios fisiológicos (escurecimento da polpa, escaldadura e *bitter pit*).

A análise de distúrbios fisiológicos foi realizada de forma visual, observando o fruto tanto externamente como internamente, sendo avaliado a incidência (apresenta o distúrbio) e severidade (o grau deste distúrbio).

Os distúrbios fisiológicos avaliados foram escurecimento da polpa (distúrbio interno), escaldadura e *bitter pit* (distúrbios externos). Para determinar severidade do escurecimento da polpa foi utilizado uma escala de 1 a 4 (1= sem distúrbio, 2= 1 a 30 % da polpa com escurecimento, 3= 30 a 60% da polpa com escurecimento e 4= mais de 60% da polpa com sintoma), conforme descrito por Magrin et al. 2017. Na avaliação de severidade da escaldadura superficial foi usado uma escala de 1 a 4 (1= ausência de sintomas, 2= 25% da fruta com o sintoma, 3= entre 25% e 50% da superfície da fruta apresentando o sintoma e 4= acima de 50% da área do fruto com sintoma) (BETINELLI, 2017). Já no caso de *bitter pit*, a avaliação de severidade foi determinada contando o número de lesões visíveis por fruto.

A construção dos modelos de previsão foi desenvolvida utilizando a faixa espectral variando entre 315 e 1131 nm. O resultado foi comparado com a faixa espectral entre 954 e 1350 nm, a qual foi utilizado por Nicolai et al. (2006), para a medição não destrutiva de *bitter pit* em maçã usando imagem hiperespectral NIR

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO 1: AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTEIS PARA A DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DE MAÇÃ ‘GALA’ NA COLHEITA.

4.1.1 ANÁLISE DE REFERÊNCIA

Os dados de referências foram obtidos através das análises destrutivas de maçãs das cultivares ‘Maxi Gala’, ‘Royal Gala’, ‘Imperial Gala’ e ‘Galaxy’. Foi observado grande variação entre frutos quanto aos resultados dos atributos físico-químicos avaliados (Tabela 2). A amplitude dos dados pode ser atribuída aos diferentes estádios de maturação e dos frutos utilizados no estudo.

Todos os atributos apresentaram alta variabilidade (Tabela 2). O SS variou entre 7,6 e 16,6 °Brix, o valor médio foi 12,3 °Brix. A MS e textura também apresentaram grande variabilidade com intervalos de 8,7 a 22,1% e 6,0 a 19,3 N, respectivamente. O mesmo foi observado para a firmeza de polpa, que apresentou valores de 26,8 a 99,8 N, com valor médio de 69,4 N. Esta variabilidade tem grande importância para a construção dos modelos de calibração, uma vez que, uma maior gama de dados melhora a robustez e o desempenho dos modelos (MARQUES, 2017; SILVA, 2019), permitindo que o espectrômetro NIR analise frutos em diferentes estágios de maturação.

Tabela 2: Intervalo de valores e médias, número de observações, desvio padrão e coeficiente de variação dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs das cultivares do grupo Gala.

Atributos de Qualidade	Faixa	Média	N ¹	DP ²	CV(%) ³
Sólidos solúveis (° Brix)	7,6-16,6	12,3	4.387	1,18	9,6
Matéria seca (%)	8,7-22,1	14,1	4.374	1,44	10,2
Firmeza de polpa (N)	26,8-99,8	69,4	4.063	15,08	21,7
Textura (N)	6,0-19,3	12,0	4.084	2,26	18,8

¹Número de amostra analisada. ²Desvio Padrão. ³Coeficiente de Variação.

4.1.2 ANÁLISE MULTIVARIADA

Diferentes pré-tratamentos foram testados para cada modelo preditivo desenvolvido, como as derivadas na primeira e segunda ordem pela filtragem de Savitzky-Golay e a variação normal padrão (SNV). O desempenho dos pré-tratamentos foi avaliado por meio dos valores de RMSECV. As derivadas pela filtragem de Savitzky-Golay não favoreceram o desenvolvimento dos modelos de calibração. Já o pré-tratamento por SNV apresentou melhores resultados. Optou-se por usar a suavização SNV, pois, é o método que apresentou os menores erros, além de ser uma técnica prática e eficiente e tem a capacidade de preservar as características espectrais (SILVA, 2019).

Os espectros de absorbância atuando na faixa espectral de 620 a 980 nm, pré-tratados por SNV, para a calibração e predição, apresentaram pico máximo, característico da banda de absorção da água, na região de 751 nm de comprimento de onda, a qual é atribuída as pontes de hidrogênio O-H. A maçã é constituída principalmente por água e, por causa deste alto teor de água, a banda de absorção da água predomina no espectro NIR, conforme relatado por Magwaza et al. (2012). Enquanto, que o amido e os açúcares exibem bandas de absorção do quarto e terceiros sobretons, relacionado ao grupo C-H, localizado no comprimento de onda de 750 nm (MARQUES, 2017; MARQUES e FREITAS, 2020). De maneira geral, os compostos que compõem os frutos (carboidratos, ácidos orgânicos e dentre outros) são difíceis de visualizar devido apresentarem banda de absorção próxima das regiões onde as bandas da água apresenta forte absorção (GOLIC et al., 2003).

4.1.3 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE CALIBRAÇÃO

A construção dos modelos de calibração multivariada foi realizada através de faixas espectrais específica, variando de 620 a 980 nm. A limitação dos espectros a esta faixa proporcionou modelos de previsão com melhores valores de RMSECV. As regiões espectrais que apresentaram ruídos significativo foram excluídos das análises, a fim, de evitar a introdução de informações ruidosas aos modelos desenvolvidos.

Com o desenvolvimento dos modelos de calibração, sem considerar a cultivar e o local de produção, foi possível observar que o coeficiente de

determinação (R^2) apresentou baixos valores para os atributos firmeza de polpa e textura, com R^2 de 0,12 e 0,08, respectivamente (Tabela 3). Contudo, valores relativamente satisfatórios para SS e MS foram observados, com R^2 de 0,35 e 0,33, respectivamente.

Os atributos firmeza de polpa e textura (Tabela 3) apresentaram valores de RMSECVr de 21,16 % e 18,08% respectivamente. Estes valores são considerados altos, uma vez que 10 % é o limite para o modelo ser considerado aceitável para o uso prático (SIMÕES, 2008; SILVA, 2019). Os resultados de RMSECVr obtidos foram insatisfatórios, quando comparado com os dados encontrados por Giovanelli et al. (2014), que alcançou em erro percentual de 4,1% para predição de firmeza de polpa em maçãs 'Golden Delicious', com a aplicação de espectroscopia NIR na faixa espectral entre 380-1690 nm. Quing et al. (2007) também apresentaram melhores resultados que os do presente trabalho, com a utilização do espectrômetro NIR, operando na faixa de 700-1100 nm, para estimativa da firmeza de polpa em maçãs 'Fuji', onde obtiveram modelos de previsão com RMSECVr de 8%. Segundo Giovanelli et al. (2014), a firmeza de polpa é um atributo de qualidade de difícil estimativa pelo método não destrutivo, resultando em modelos de previsão insatisfatório ou inconsistente quando comparado com os métodos tradicionais.

Para os SS (Tabela 3) foi possível obter um bom modelo preditivo, apresentando baixo valor de erro percentual para RMSECVr de 7,65%. Em relação a faixa espetrais utilizadas para calibração deste atributo, a utilização prática desse modelo de calibração é possível. O desempenho preditivo encontrado foi um pouco inferior ao relatado por Giovanelli et al. (2014) e Nturambirwe et al. (2019). Estes autores, utilizando um espectrômetro NIR portátil, obtiveram valores RMSECVr de 3,2% em maçãs Golden Delicious. Nturambirwe et al. (2019), por sua vez, empregando o espectrômetro NIR para determinação de SS em Golden Delicious, Granny Smith e Royal Gala obtiveram valores de RMSECVr de 4,19%, 5,05% e 2,94%, respectivamente. No entanto, os resultados encontrados no presente podem ser considerados satisfatórios, condizendo com os dados da literatura, que afirmam que a aplicação do método não destrutivo para determinar SS em maçãs é uma alternativa viável (NICOLAI et al., 2007).

A MS (Tabela 3) também apresentou modelo de calibração com bom desempenho preditivo, com RMSECVr de 8,85%. Contudo, desempenho preditivo melhores foram obtidos por outros autores em maçãs e outros frutos. Kaur et al. (2017), utilizando o espectrômetro portátil F-750, na faixa espectral de 650 a 950 nm, para determinar MS em maçãs, kiwi, ameixa, pêssego e nectarina, obtiveram valores de RMSECVr de 4,3% para maçãs, 3,4% para kiwi e 6,0% para os demais frutos. Em outro estudo, Marques e Freitas (2019), também utilizando o espectrômetro F-750, mas operando na faixa espectral de 750 a 1065 nm, obtiveram RMSECVr de 4,3% para umbu.

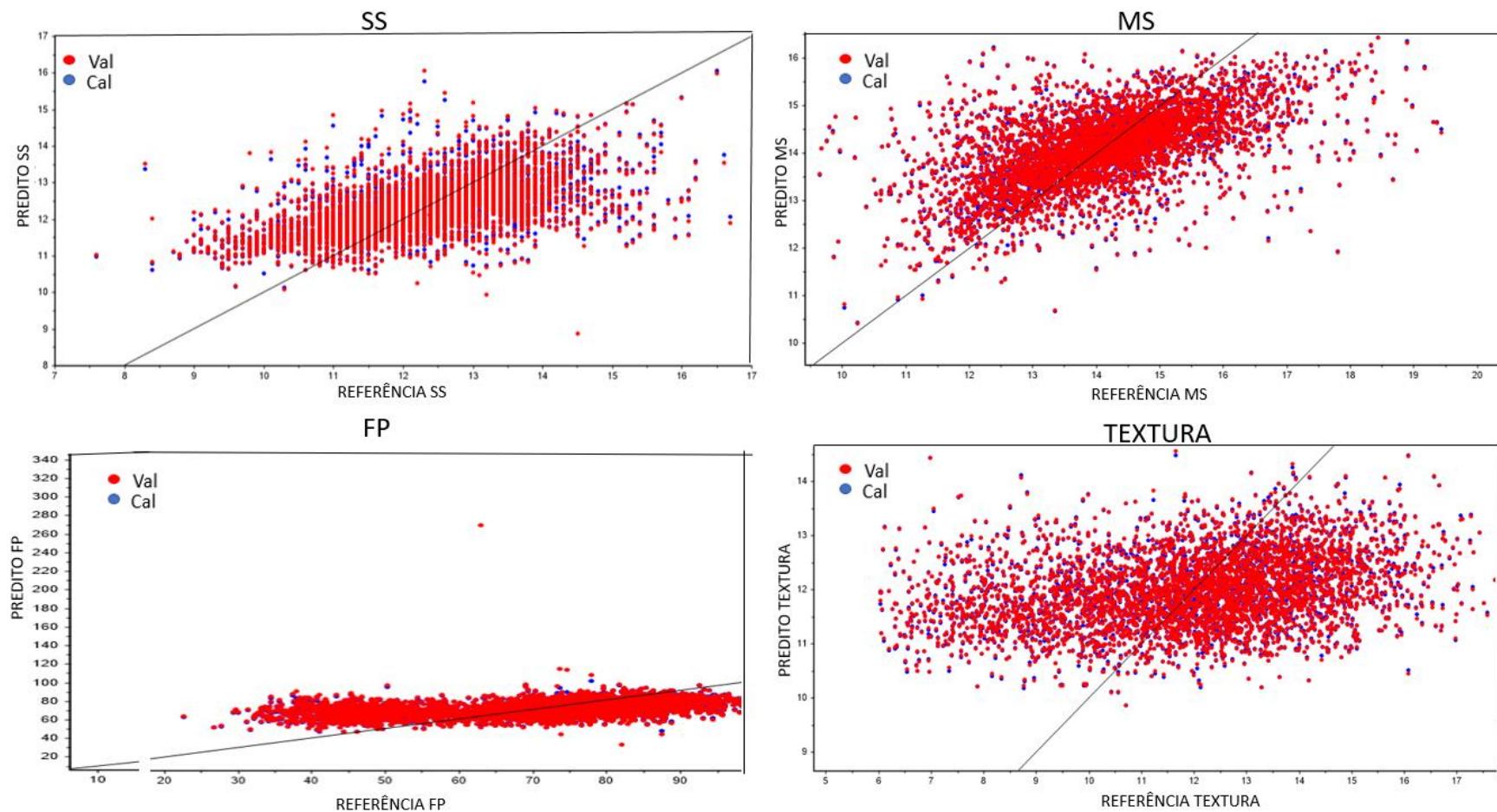
Na figura 7, a representação gráfica relacionando os dados obtidos de referência e os valores preditos, pode-se observar que a dispersão dos conjuntos de calibração (círculos azuis) e validação (círculo vermelho) não apresentaram diferença expressiva entre si, porém, as amostras estão distribuídas aleatoriamente entorno da linha bissetriz, evidenciando a existência de amostras anômalas. Através do valor predito e o valor real (referência), pode ser interpretado o erro de modelagem (EI ABASSAY et al., 2011).

Tabela 3: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs das cultivares do grupo Gala.

Atributos	Faixa ¹ (Valor Médio)	N ²	VL ³	Outliers* ⁴	R-Square	RMSEC ⁴	RMSECV ⁵	RMSECVr(%) ⁶
SS (°Brix)	7,6-16,6 (12,3)	4.387	7	62	0,35	0,93	0,94	7,65
MS (%)	8,6-22,1 (14,1)	4.374	7	89	0,33	1,14	1,15	8,17
FP (N)	2,8- 99,8 (69,4)	4.063	7	32	0,12	14,62	14,68	21,16
Textura (N)	6,0-19,3 (12,0)	4.084	4	64	0,08	2,17	2,17	18,08

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ² Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 8: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) em maçãs das cultivares do grupo Gala. A linha contínua preta representa a bissetriz.



No desenvolvimento dos modelos de calibração multivariado, por cultivar, mas sem considerar o local de produção, os atributos firmeza de polpa e textura apresentaram modelos de previsão insatisfatório para todas as cultivares do grupo Gala avaliadas no estudo (Tabela 4, 5, 6 e 7), com RMSECVr superior a 10%. Foram encontrados valores de RMSECVr para FP de 21,10%, 12,73%, 19,78% e 19,88% para as cultivares Galaxy, Maxi Gala, Royal Gala e Imperial Gala, respectivamente. Para textura foram obtidos valores de RMSECVr de 25,43%, para 'Galaxy', 13,26%, para 'Maxi Gala', 25,89%, para 'Royal Gala' e 22,44%, para 'Imperial Gala'. Os modelos de previsão não apresentaram bom desempenho para avaliar firmeza de polpa e textura, independentemente da cultivar do grupo Gala avaliada, não sendo indicado o uso prático destes modelos. Neste caso, os resultados obtidos podem ser explicados pela diferença entre os locais de produção dos frutos usados no estudo. Segundo Teh et al. (2020), a localização é um fator importante, que afeta a precisão de previsão do espectrômetro NIR, não sendo recomendado a utilização desta ferramenta em locais que são geograficamente opostos (Norte- Sul), tanto para calibração quanto na previsão de atributos de qualidade.

Os atributos SS e MS apresentaram baixos valores ($\leq 10\%$) de erro percentual para RMSECVr em todas as cultivares do grupo 'Gala' avaliadas, obtendo bons modelos de previsão. O desempenho dos modelos de calibração para SS se apresentou satisfatório, havendo uma pequena diferença nos valores de RMSECVr entre cultivares, com 7,68%, 6,35%, 6,27%, e 6,67% para 'Galaxy', 'Maxi Gala', 'Royal Gala' e 'Imperial Gala', respectivamente.

Para a MS, os parâmetros estatísticos também evidenciaram (Tabela 4, 5, 6 e 7) a boa eficiência do espectrômetro NIR para previsão deste atributo de qualidade de MS em maçãs das cultivares avaliadas. O erro de calibração (RMSEC) e de validação cruzada (RMSECV) foram próximos de 1%, correspondendo a um erro relativo entre 7% e 8,5%, resultados que indicam a capacidade preditiva do modelo.

Nas figuras 8, 9, 10 e 11 estão apresentados os conjuntos de dados das cultivares do grupo Gala utilizadas no estudo. Observa-se que as amostras estão distribuídas próximas a linha bissetriz, porém, algumas estão mais distantes,

evidenciando a existência de amostras anômalas, principalmente nos atributos firmeza de polpa e textura.

Tabela 4: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Galaxy.

Atributos	Faixa ¹ (Valor Médio)	N ²	VL ³	Outliers* ⁴	R-Square	RMSEC ⁴	RMSECV ⁵	RMSECVr(%) ⁶
SS (°Brix)	7,6-16,2 (12,1)	1.396	7	46	0,52	0,92	0,93	7,68
MS (%)	8,6-26,1 (13,8)	1.396	7	38	0,32	1,21	1,22	8,85
FP (N)	29,4- 99,6 (69,2)	1.369	6	47	0,09	13,45	14,59	21,10
Textura (N)	6,3-19,3 (12,2)	1.400	7	35	0,15	3,05	3,10	25,43

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ²Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 9: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) na cultivar Galaxy. A linha continua preta representa a bissetriz.

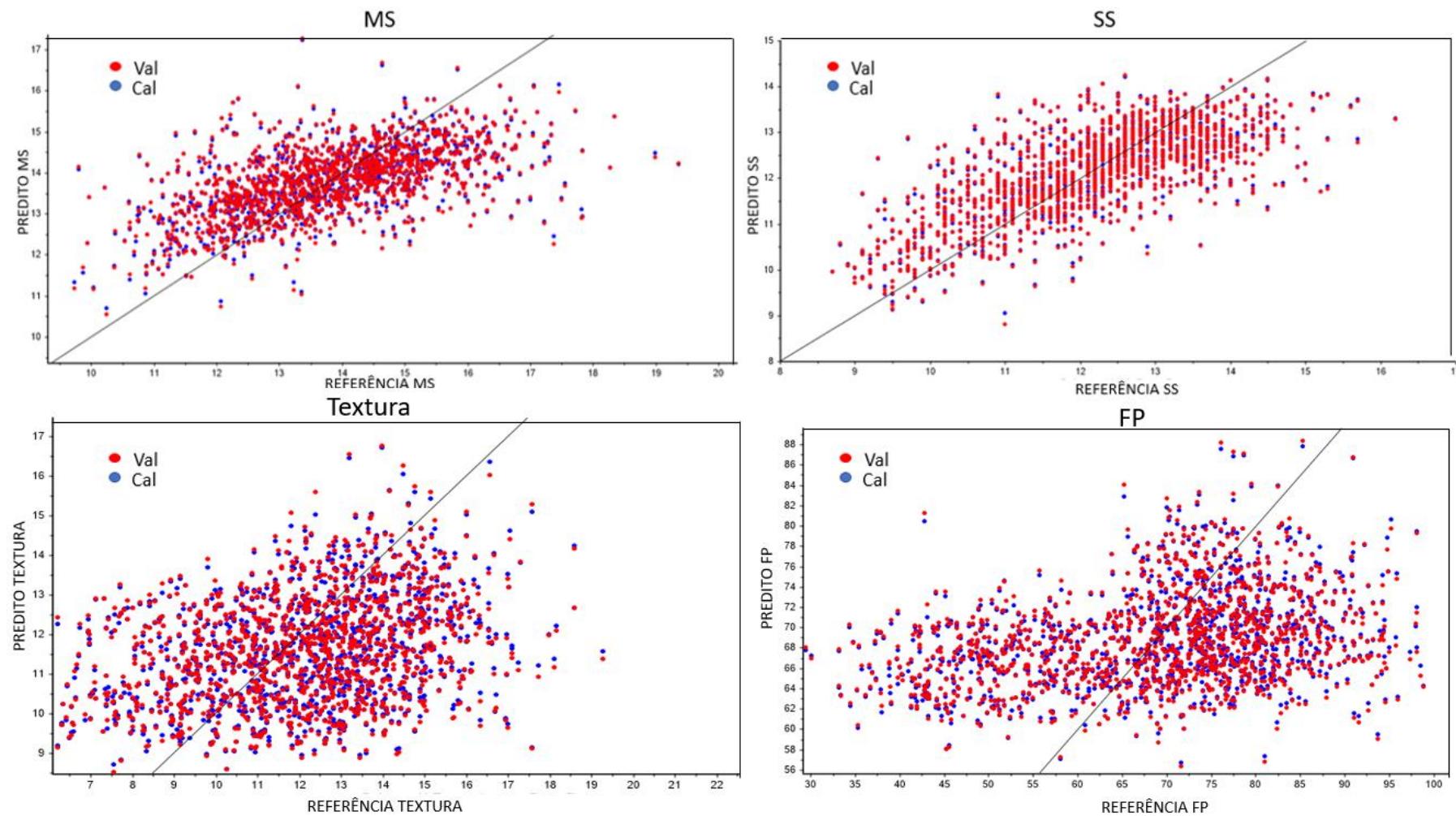


Tabela 5: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Maxi Gala.

Atributos	Faixa (Valor Médio)	N ¹	VL ²	Outliers	R-Square	RMSEC ³	RMSECV ⁴	RMSECVr(%) ⁵
SS (°Brix)	9,8-16,1 (12,4)	400	6	20	0,38	0,76	0,79	6,35
MS (%)	11,2-20,9 (15,0)	400	7	16	0,42	1,03	1,08	8,17
FP (N)	34,6- 99,9 (75,4)	380	7	13	0,66	9,21	9,60	12,73
Textura (N)	6,6-18,3 (12,9)	400	6	10	0,40	1,67	1,71	13,26

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ²Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 10: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) na cultivar Maxi Gala. A linha continua preta representa a bissetriz.

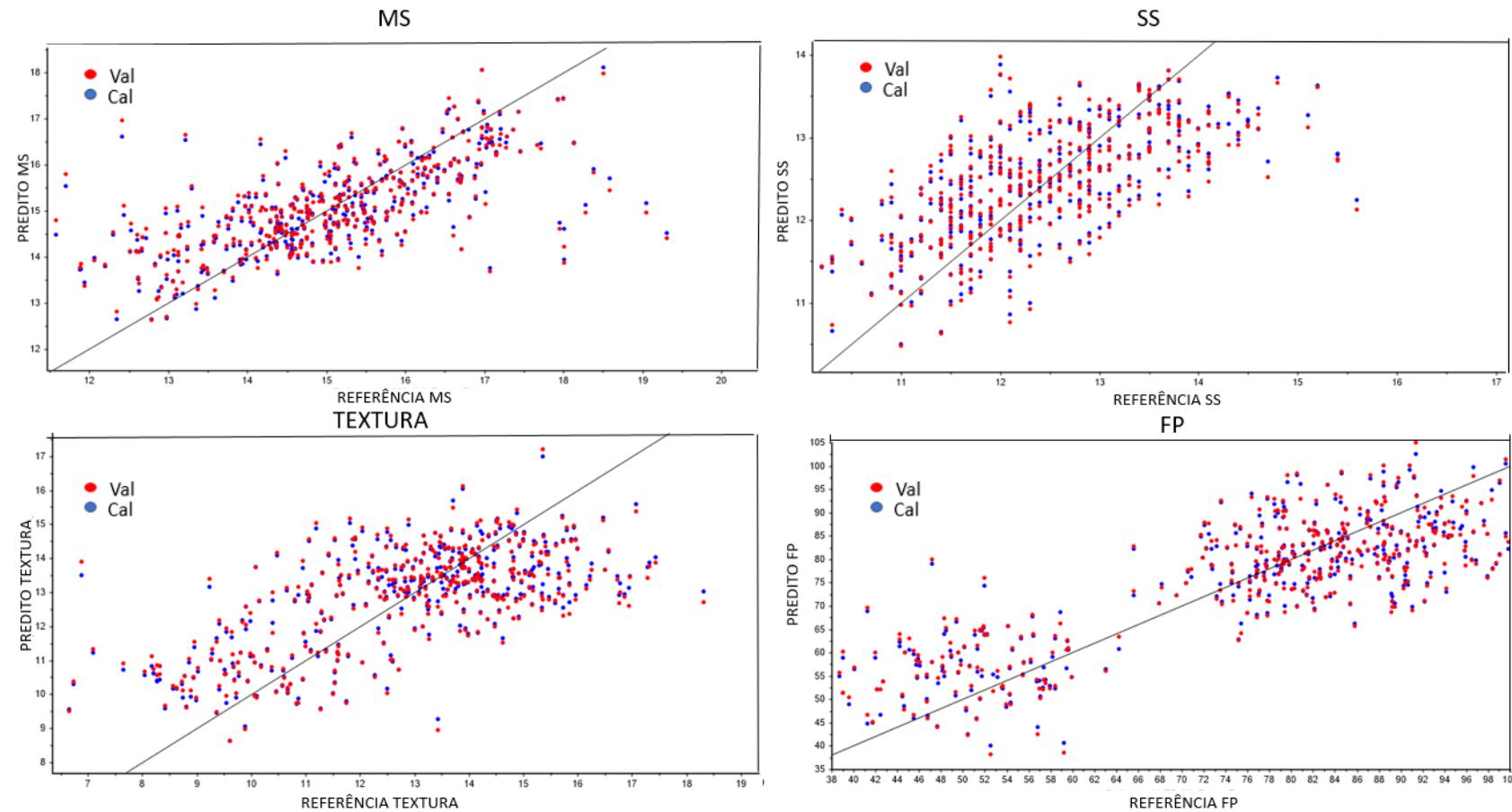


Tabela 6: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Royal Gala.

Atributos	Faixa (Valor Médio)	N ¹	VL ²	Outliers	R-Square	RMSEC ³	RMSECV ⁴	RMSECVr(%) ⁵
SS (°Brix)	9,5-16,1 (12,6)	600	7	12	0,34	0,77	0,79	6,27
	9,7-22,1 (14,36)							
MS (%)	27,7- 98,7 (66,2)	600	7	17	0,47	1,07	1,12	7,66
	6,1-18,0 (11,3)							
FP (N)		593	7	16	0,33	12,84	13,10	19,78
Textura (N)		562	4	10	0,14	2,85	2,92	25,89

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ² Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 11: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) na cultivar Royal Gala. A linha continua preta representa a bissetriz.

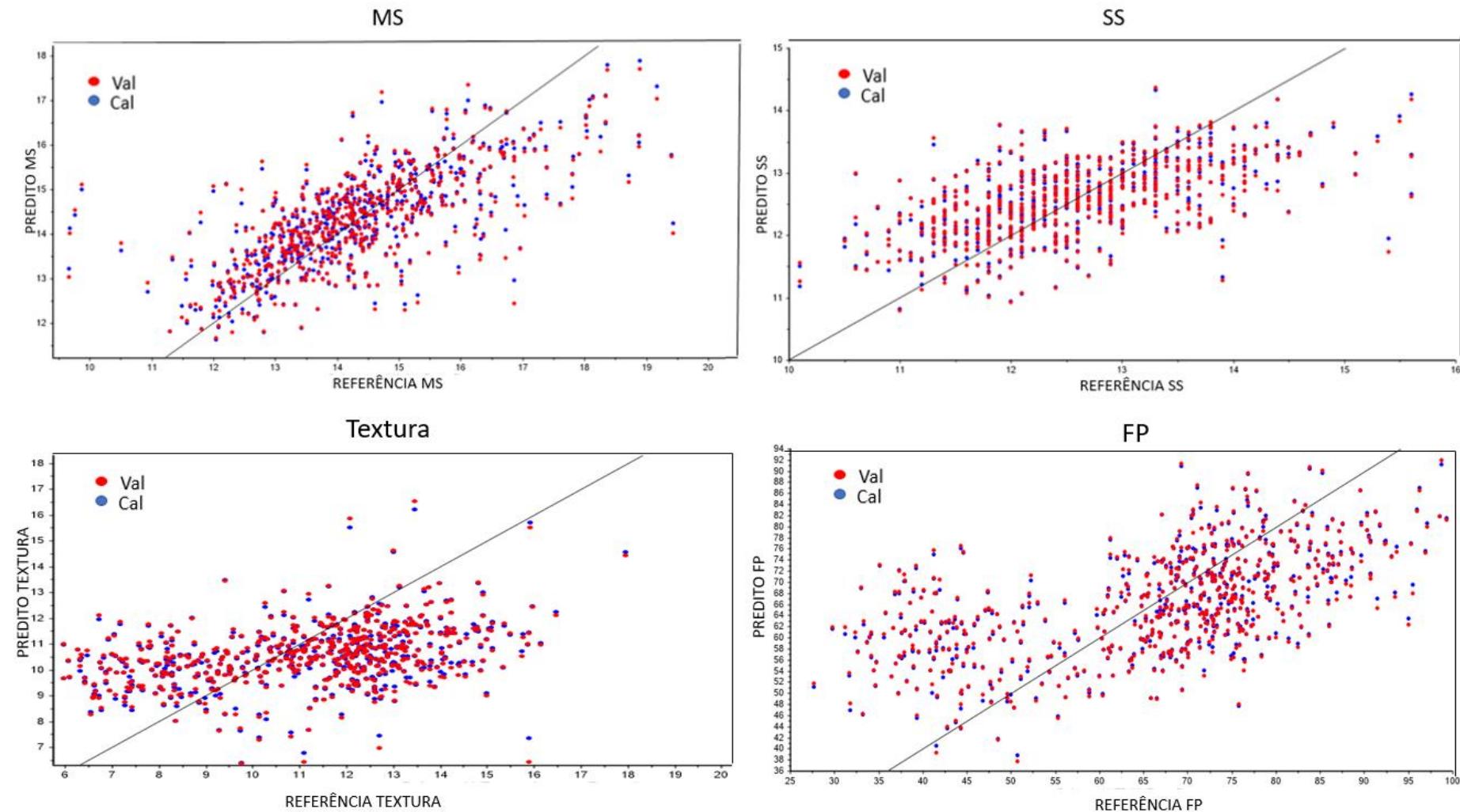
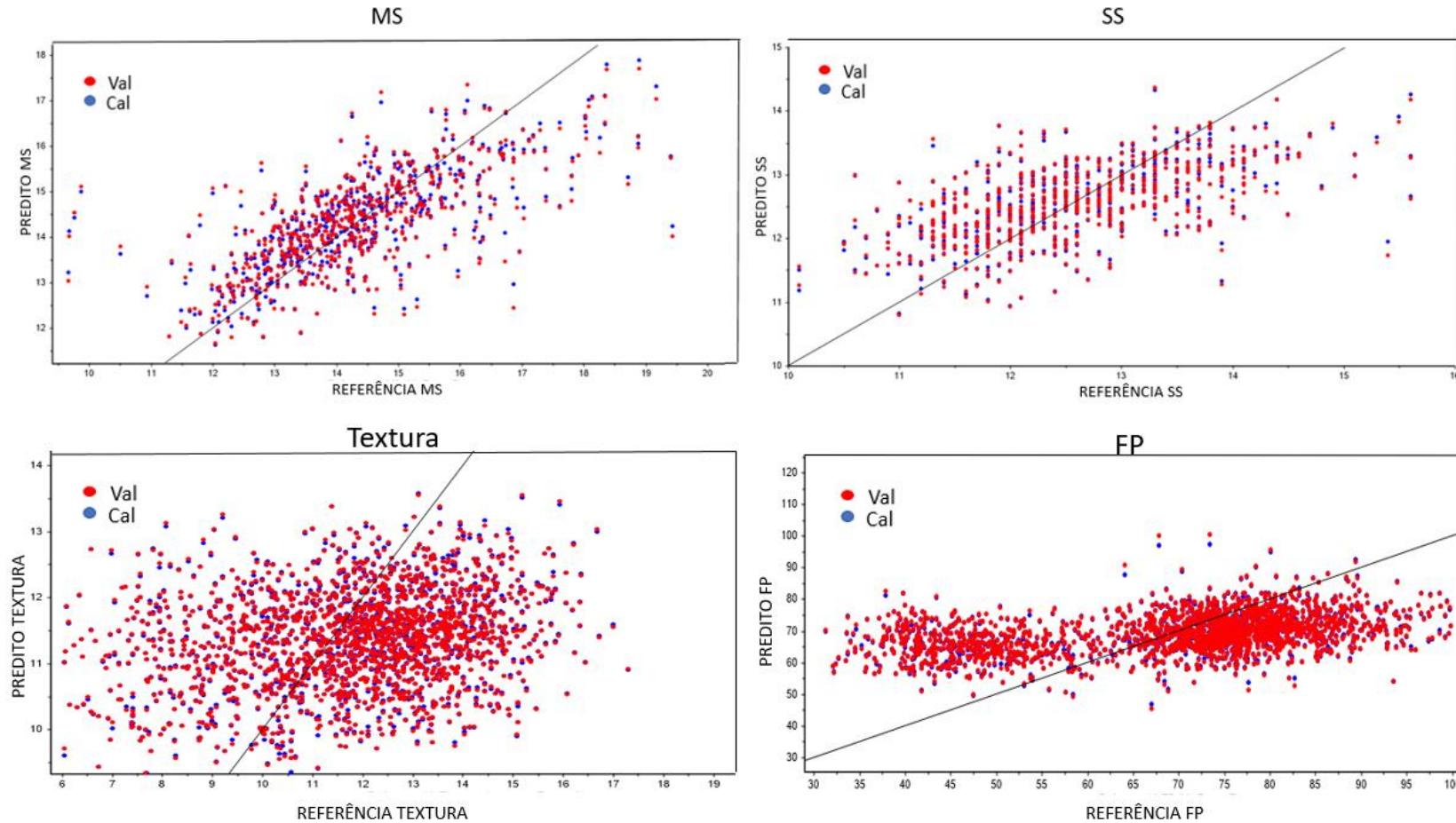


Tabela 7: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Imperial Gala.

Atributos	Faixa (Valor Médio)	N ¹	VL ²	Outliers	R-Square	RMSEC ³	RMSECV ⁴	RMSECVr(%) ⁵
SS (°Brix)	9,0-16,7 (12,3)	1.990	7	90	0,40	0,81	0,82	6,67
MS (%)	9,0-19,7 (14,0)	1.990	7	57	0,27	1,02	1,03	7,37
FP (N)	26,8- 99,8 (69,3)	1.990	7	36	0,17	13,67	13,78	19,88
Textura (N)	6,1-17,5 (11,8)	1.990	4	42	0,09	2,64	2,66	22,44

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ²Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 12: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Imperial Gala. A linha preta continua preta representa a bissetriz.



O desenvolvimento de modelos de calibração multivariado, por cultivar e local de produção apresentou modelos preditivos adequados para os atributos de qualidade SS, MS e firmeza de polpa (Tabela 8, 9, 10 e 11), apresentando valores de RMSECVr inferior ou igual a 10%. Embora o modelo desenvolvido para determinar textura apresentou menor capacidade preditiva, quando comparado aos demais atributos avaliados, os valores de RMSECVr ficaram próximos de 10%, com valores de 11,45%, 12,55%, 11,53% e 10,87% (Tabelas 8, 9, 10 e 11).

Os modelos desenvolvidos nesta última fase (Tabelas 8, 9, 10 e 11), apresentaram os melhores valores de coeficientes de determinação R^2 entre 0,37 e 0,78, para os atributos MS e SS, respectivamente e baixos valores de RMSECVr entre 4,07% e 10,06% para os atributos MS, SS e firmeza de polpa. Para firmeza de polpa, os modelos apresentaram valores de R^2 baixo, indicando que estes modelos apresentam menor confiabilidade. Contudo, observou-se que, quando os dados são organizados de acordo com a cultivar e o local de produção, ocorreu aumento na precisão dos modelos de previsão do espectrômetro NIR. Segundo Argenta et al. (2015), as características físico-químicas de maçãs 'Gala' são afetadas pela combinação dos fatores cultivar e ambiente. As regiões produtoras de maçãs apresentam uma heterogeneidade dos elementos climáticos, que influenciam tanto a produtividade como a qualidade dos frutos (MACEDO, 2014).

Nas figuras 12, 13, 14 e 15 estão apresentados os valores preditos *versus* os valores de referência para o conjunto de dados do modelo PLS, pré-tratados por SNV. Observou-se dispersão das amostras, segundo os atributos de qualidades avaliados (firmeza de polpa, SS, MS e textura). De acordo com a quimiometria, esta dispersão randômica pode ocorrer, pois, dentro de uma mesma classe, podem existir diferenças de absorção na região de infravermelho próximo (METROHM NIRSYSTEMS, 2013).

Tabela 8: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Maxi Gala. Vacaria/RS.

Atributos	Faixa (Valor Médio)	N ¹	VL ²	Outliers	R-Square	RMSEC ³	RMSECV ⁴	RMSECVr(%) ⁵
SS (°Brix)	9,8-13,7 (11,9)	200	6	0	0,48	0,49	0,53	4,45
MS (%)	11,2-19,0 (15,1)	200	7	10	0,78	0,58	0,66	4,38
FP (N)	64,2- 99,6 (88,7)	191	6	7	0,33	5,57	6,13	6,91
Textura (N)	6,9-18,3 (13,9)	200	3	10	0,06	1,51	1,59	11,45

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ²Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 13: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Maxi Gala-Vacaria/RS. A linha continua preta representa a bissetriz.

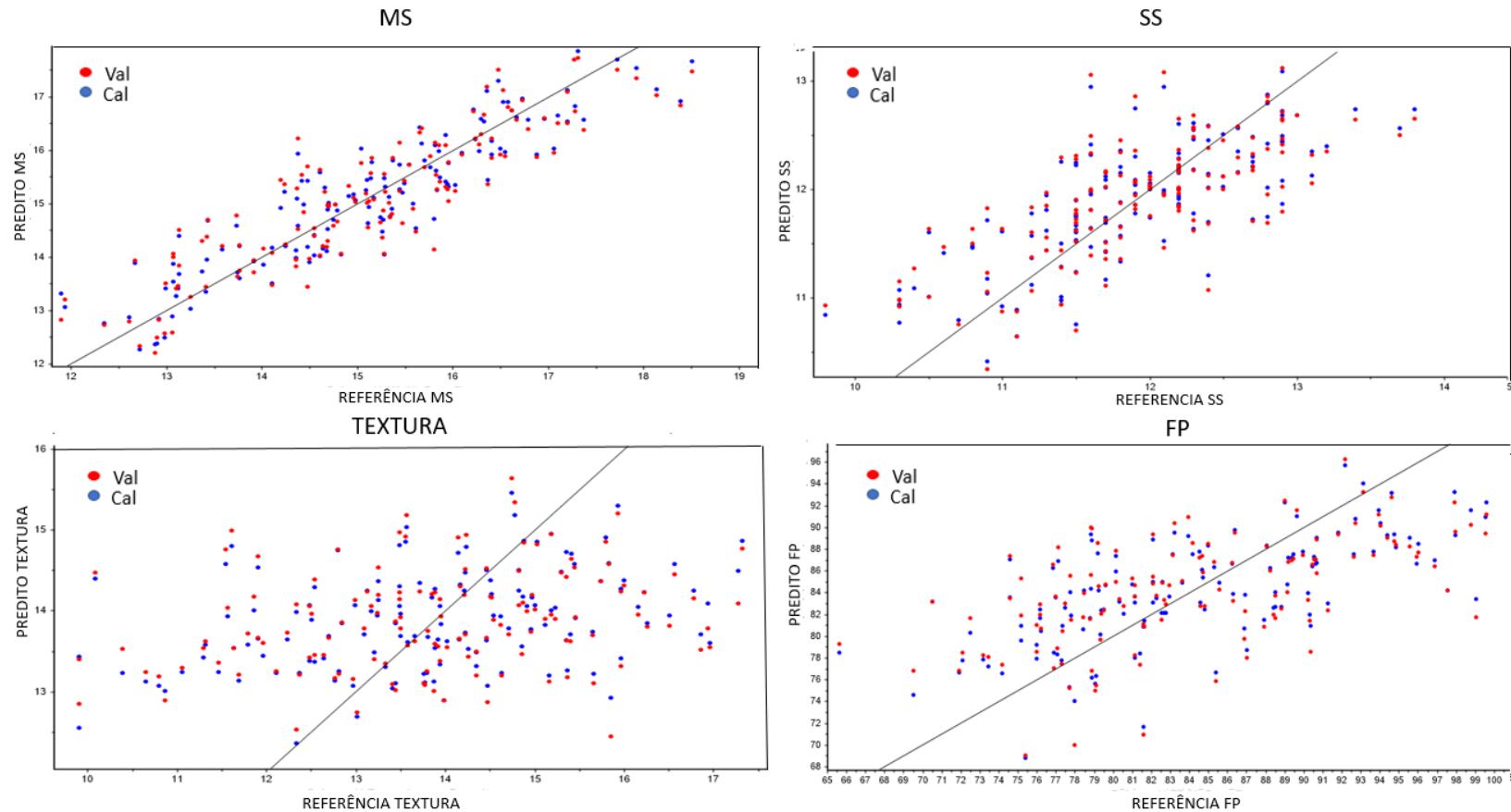


Tabela 9: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Imperial Gala. Fraiburgo/ SC.

Atributos	Faixa (Valor Médio)	N ¹	VL ²	Outliers	R-Square	RMSEC ³	RMSECV ⁴	RMSECVr(%) ⁵
SS (°Brix)	10,6-14,9 (12,5)	190	7	7	0,65	0,46	0,51	4,07
MS (%)	11,0-18,7 (14,8)	190	7	7	0,45	0,78	0,88	5,96
FP (N)	40,2- 95,5 (76,6)	200	2	0	0,25	6,05	7,06	9,22
Textura (N)	8,2-17,5 (12,8)	200	1	7	0,18	1,41	1,61	12,55

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ² Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 14: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Imperial Gala- Fraiburgo/SC. A linha continua preta representa a bissetriz.

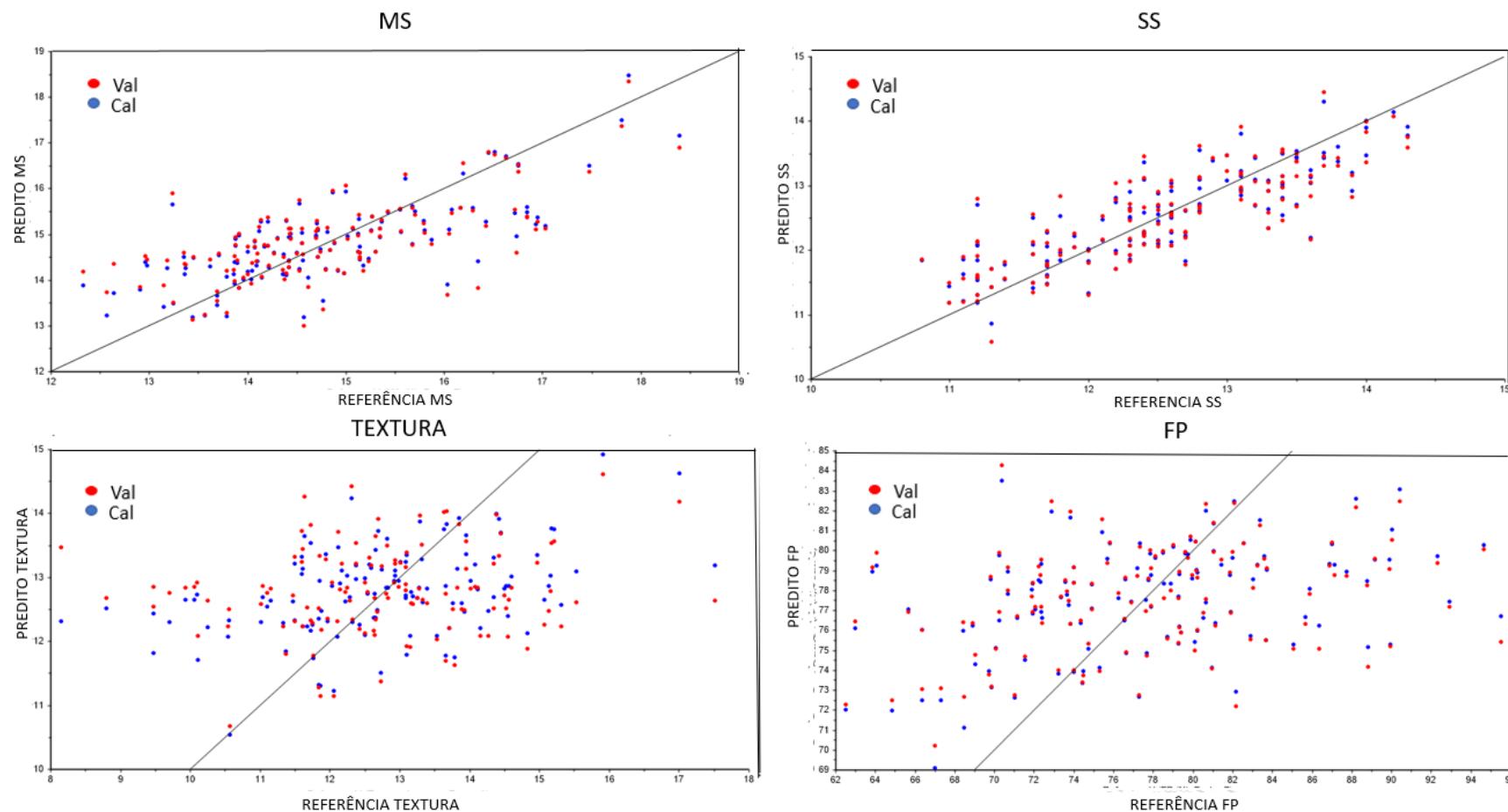


Tabela 10: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Royal Gala. São Joaquim/SC.

Atributos	Faixa (Valor Médio)	N ¹	R-					RMSECVr(%) ⁵
			VL ²	Outliers	Square	RMSEC ³	RMSECV ⁴	
SS (°Brix)	10,5-15,1 (12,86)	200	7	7	0,49	0,51	0,57	4,43
	11,6-17,4 (14,2)							
MS (%)	53,5- 82,2 (68,1)	200	7	0	0,66	0,55	0,64	4,52
	8,0-14,1 (11,6)							
FP (N)		200	2	0	0,21	4,55	5,21	7,65
Textura (N)		200	1	7	0,14	1,07	1,34	11,53

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ²Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 15: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Royal Gala- São Joaquim/SC. A linha continua preta representa a bissetriz.

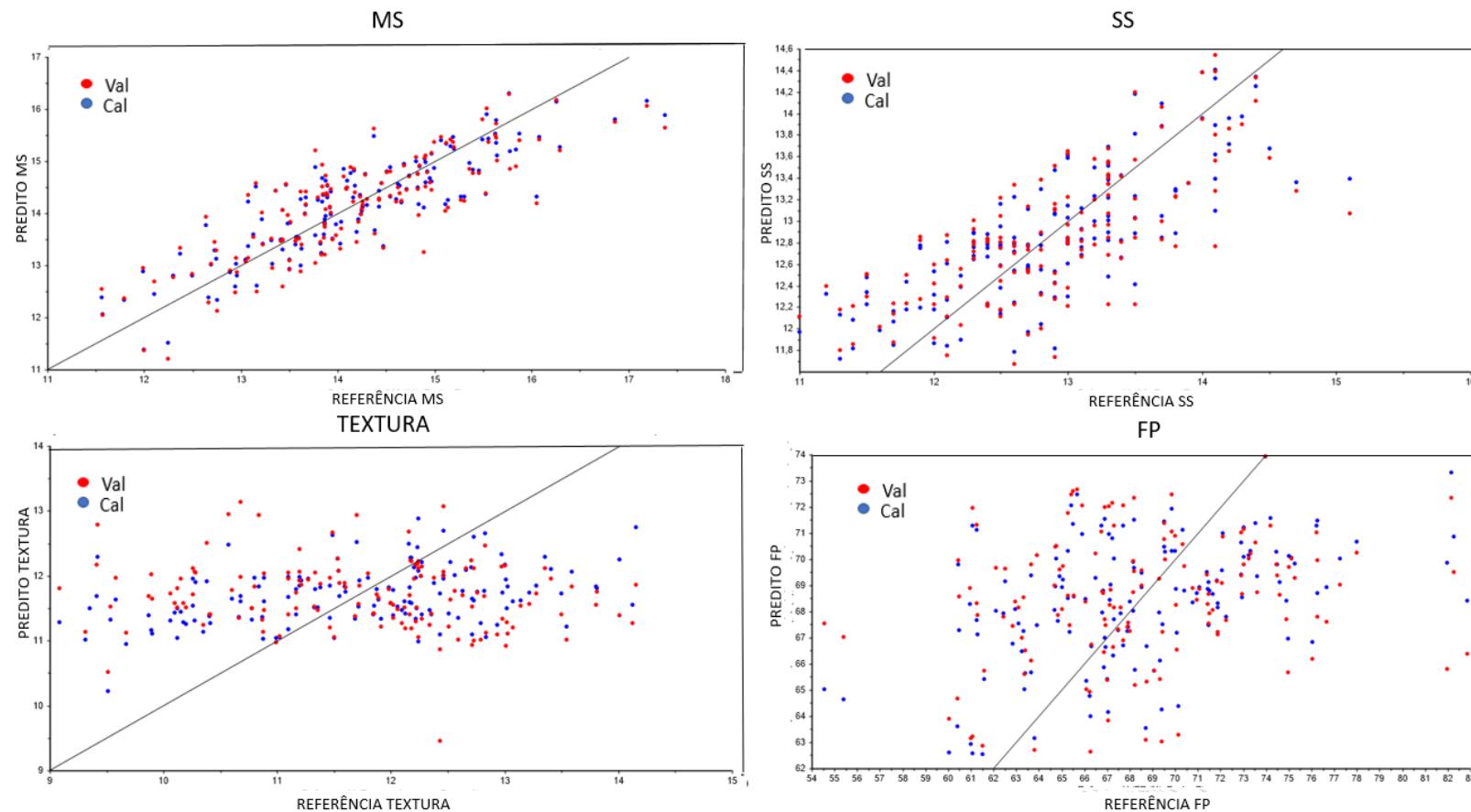
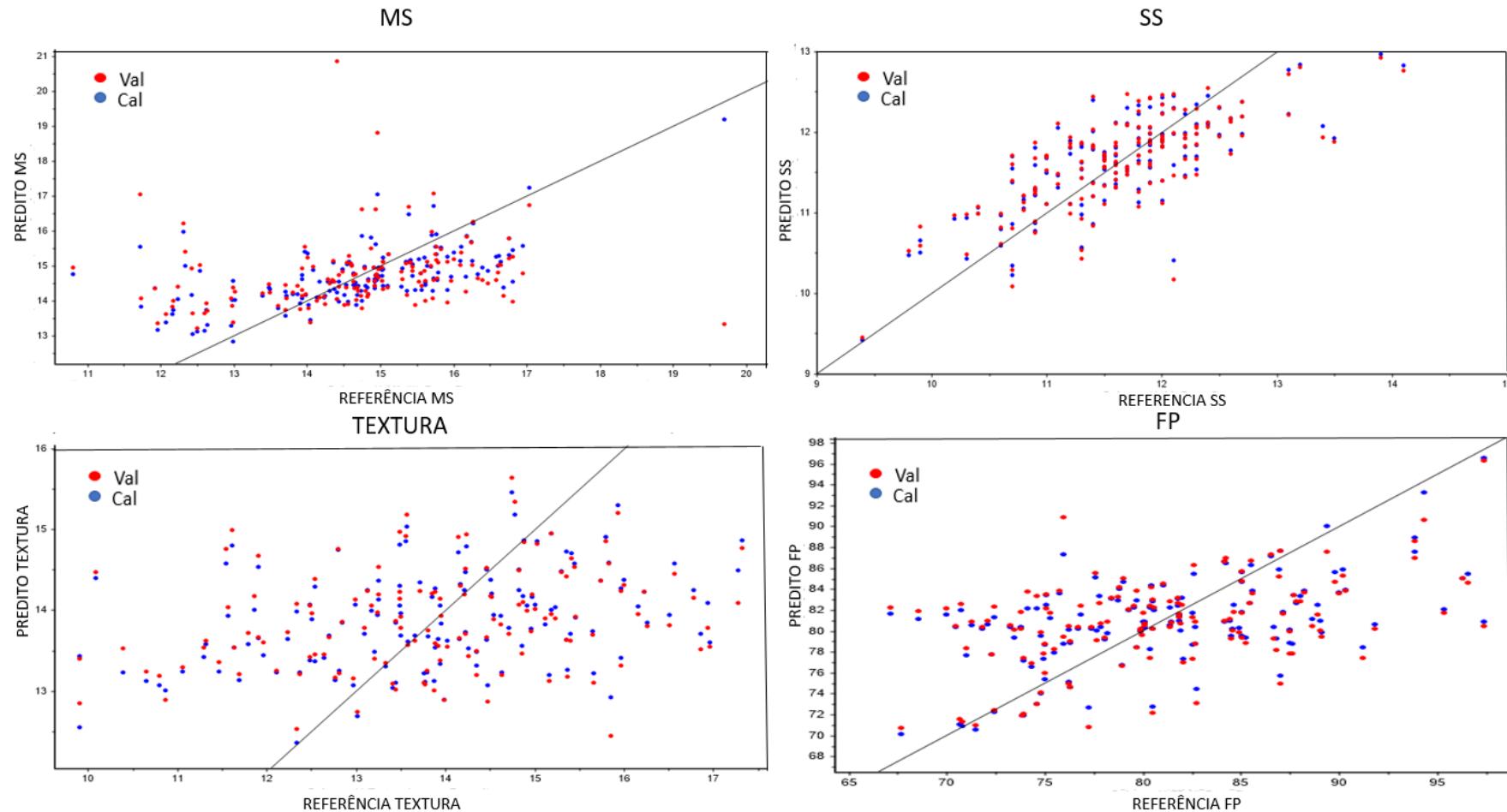


Tabela 11: Intervalo de valores e médias, número de observações, número de variáveis latentes, coeficiente de determinação, erro quadrático médio da calibração, erro quadrático médio de validação cruzada, erro quadrático médio de validação cruzada relativo dos atributos sólidos solúveis, matéria seca, firmeza de polpa e textura, de maçãs da cultivar Galaxy. Vacaria/RS.

Atributos	Faixa (Valor Médio)	N ¹	VL ²	Outliers	R-Square				RMSECV ⁴	RMSECVr(%) ⁵
					RMSEC ³	RMSECV	RMSECVr	RMSECVr(%)		
SS (°Brix)	9,4-14,1 (11,6)	200	5	7	0,51	0,49	0,53	4,56	6,52	10,06
	10,8-19,7 (14,7)									
MS (%)	47,6- 96,6 (80,8)	200	4	7	0,37	1,07	1,48	8,07	10,06	10,06
	9,0-16,7 (12,8)									
FP (N)		193	7	0	0,24	6,03				
Textura (N)		200	1	4	0,23	1,20	1,39	10,87		

¹Faixa dos valores obtidos pela análise de referência e valores médios de cada atributos de qualidade. ² Número de amostra analisadas. ³Número de fatores ou variáveis latentes. ⁴ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁵ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁶ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de cada atributo, multiplicado por 100. * Outliers sempre menor que 5% do total das amostras analisadas.

Figura 16: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos pelos modelos de calibração multivariada utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos) da cultivar Galaxy- Vacaria/ RS. A linha continua preta representa a bissetriz.



4.2 EXPERIMENTO 2: AVALIAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTEL COMO FERRAMENTA PREDITIVA NA DETERMINAÇÃO DE DISTÚRBIO FISIOLOGICO EM PÓS-COLHEITA.

Os distúrbios fisiológicos escaldadura e escurecimento da polpa apresentaram baixa incidência, 0,3 e 0,24%, respectivamente, não sendo viável o desenvolvimento de modelos de previsão para estes distúrbios.

Em relação ao *bitter pit*, um total de 38 frutos foram sintomáticas (incidência de 1,1%). Embora tenha ocorrido uma baixa incidência, foi possível o desenvolvimento de modelos de previsão do distúrbio, sendo excluídos os locais de produção (pomares) que não apresentaram ao menos um fruto com presença do distúrbio. Um conjunto de dados final de 2.266 maçãs (38 frutas com *bitter pit* e 2.228 frutas sem lesões visíveis) foram utilizados para construção de modelo para prever precocemente o *bitter pit* em maçãs de cultivares do grupo 'Gala'. A modelagem foi realizada com frutos apresentando severidade de *bitter pit* entre 1 e 27 lesões por fruto (Tabela 12).

Utilizando as duas faixas espectrais (entre 315 e 1131 nm e 954 e 1350 nm), obteve modelos preditivos com valores similares (Tabela 12). Os dados espectrais NIR fornecem informações sobre as combinações das ligações moleculares. A banda de absorção da água (ligação do Grupo O-H) predomina os espectros NIR. Em maçãs com *bitter pit* há uma menor refletância da quantidade de radiação nos comprimentos de onda específico da água. Isto decorre da desidratação dos tecidos pela destruição da parede celular, ocasionando a diminuição na refletância destas áreas (WOOLLEY, 1971; LOTZE, 2005; NICOLAI et al. 2006).

Não foi possível obter modelos de previsão de *bitter pit* satisfatório, pois o valor encontrado do RMSECVr (Tabela 12) foi elevado ($\geq 10\%$), 19,68% e 19,44%, para a faixas espectrais 315 e 1131 nm e 954 e 1350 nm, respectivamente, indicando baixa capacidade de previsão do modelo para o distúrbio fisiológico.

Todos os modelos gerados apresentaram baixo coeficiente de determinação ($R^2 0,01$) (Tabela 12). Isto pode ser explicado possivelmente pela diferença entre as diferentes cultivares utilizadas no presente trabalho, bem como pelo efeito local de produção. Como poucos frutos eram sintomáticos

foram utilizados todos os frutos, independentemente da cultivar e local de produção para a construção do modelo de previsão. Frutos de cada cultivar apresentam características distintas, por exemplo, a espessura da casca. Quanto maior a espessura, menor a penetração da radiação e, consequentemente, reduz as informações geradas sobre a composição físicas e químicas da polpa (SILVA, 2019). Além disto, outro fator que pode ter influenciado no valor do coeficiente de determinação (R^2) foi a pequena quantidade de frutos sintomáticos (38) em relação a quantidade total de frutos analisados (2.266 frutos).

A figura 16 apresenta o valor predito *versus* o valor de referência da incidência e severidade de *bitter pit* em maçãs das cultivares do grupo 'Gala' para o conjunto de predição do modelo PLS, pré-tratados com SNV. Observa-se a que as amostras estão concentradas ao longo de toda extensão do eixo y, são as amostras que não apresentaram sintomas visíveis, porém, os valores preditos que estão acima de 0,1%, o espectrômetro NIR detecta que estes frutos possivelmente apresentam *bitter pit*, porém, não manifestaram sintomas externamente. Segundo Ferguson e Watkins (1989), os sintomas de *bitter pit* iniciam na polpa da maçã, com pequenas lesões de coloração escura e ao decorrer estas áreas se tornam desidratadas e visíveis como pequenas depressões na epiderme.

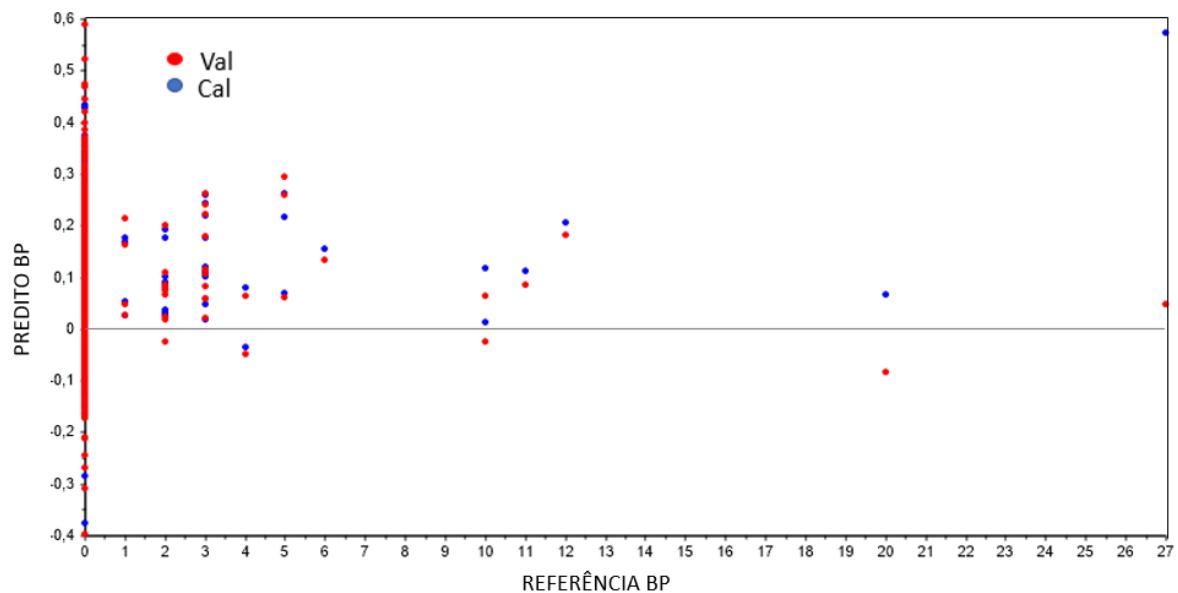
Tabela 12: Análise de regressão parcial de mínimo quadrado (PLS) em diferentes comprimentos de onda espectral para prever o desenvolvimento de *Bitter pit* em maçãs das cultivares do grupo Gala.

Distúrbios Fisiológicos	Valor Médio ¹	NL ²	NF ³	N ⁴	VL ⁵	R ²	RMSEC ⁶	RMSECV ⁷	RMSECVr(%) ⁸	Faixa espectral (nm)
<i>Bitter Pit</i>	4,68	178	38	2.266	1	0,01	0,90	0,92	19,66	315-1131
<i>Bitter Pit</i>	4,68	178	38	2.266	1	0,01	0,90	0,91	19,44	954-1350

¹ Valor médio, é calculado pela razão entre o NL e o valor de NF. ²Número de Lesões ³Número de amostra sintomáticas ⁴Número de amostras analisadas.

⁵Número de fatores ou variáveis latentes. ⁶ Erro Quadrático médio da Calibração. ⁷ Erro quadrático médio da validação cruzada. ⁸ Erro quadrático médio da validação cruzada relativo, é calculado pela razão entre o RMSECV e o valor médio de *Bitter pit*, multiplicado por 100. * R² Coeficiente de determinação.

Figura 17: Valores obtidos pelos métodos de referência *versus* valores previstos para modelos de previsão de incidência e severidade de *Bitter pit* em maçãs das cultivares do grupo Gala, utilizando a técnica de regressão por PLS, nas etapas de calibração (círculos azuis) e validação (círculos vermelhos).



5. CONCLUSÃO

O espectrômetro NIR portátil proporcionou modelos de calibração multivariado satisfatórios para a determinação dos atributos MS e SS em maçãs das cultivares 'Maxi Gala', 'Royal Gala', 'Imperial Gala' e 'Galaxy'.

Considerando o conjunto de dados utilizados, o desenvolvimento de modelos de calibração, por cultivar e local de produção, se sobressaiu em relação as finalidades propostas, uma vez que apresentou modelos de previsão com melhor precisão para a determinação dos atributos MS, SS e firmeza de polpa.

Em relação a avaliação do distúrbio fisiológico, os modelos de calibração desenvolvido para detectar precocemente *bitter pit* não apresentaram bom desempenho preditivo.

O espectrômetro NIR é uma ferramenta promissora para análises de atributos de qualidade em maçãs do grupo Gala, proporcionando rapidez, praticidade, redução de custo e auxiliando no controle de qualidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de modelos de calibração, sem considerar a cultivar e o local de produção, apresentaram modelos satisfatórios para predição dos atributos SS e MS. Nesse caso, recomenda-se a utilização prática destes modelos de previsão pelas agroindústrias, pois, permite avaliação destes atributos de forma abrangente.

Os modelos de calibração desenvolvidos de forma específica, considerando a cultivar e o local de produção dos frutos usados no estudo, obtiveram melhores resultados para prever os atributos MS e SS. Estes modelos preditivos são recomendados para serem utilizados a campo pelos produtores, por ter maior precisão.

É necessário mais estudo, na utilização do espectrômetro NIR portátil, para prever distúrbios fisiológicos em cultivares do grupo Gala.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, P. A. et al. Espectroscopia VIS/NIR para avaliar sólidos solúveis e firmeza de polpa em Caquis, Goiabas e Quivis. **Revista CONGREGA**, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/Home/Downloads/578-1818-1-PB.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2021

Do AMARANTE, C.V.T. et al. Disponibilidade de luz em macieiras 'Fuji' cobertas com telas antigranizo e seus efeitos sobre a fotossíntese, o rendimento e a qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 664-670, 2009.

ANESE, R. O. et al. Atmosfera Controlada para o Armazenamento da Maçã Cultivar 'Maxi-Gala'. In: **25º Jornada Acadêmica Integrada UFSM**. Anais. Santa Maria- RS, 2011.

ANESE, R. O; FRONZA, D. **Fisiologia pós-colheita em fruticultura**. Santa Maria: UFSM, Colégio Politécnico: Rede e-Tec Brasil, 2015. 130p.

AOAC. **Association of Official Analytical Chemistry**. Official methods of analysis. 16th ed. Arlington: AOAC, 1141 p. 2016.

ARGENTA, L. C. et al. Diagnóstico da qualidade de maçãs no mercado varejista brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 48-63, 2015.

ARGENTA, L. C. et al. Comparação de maçã de cultivares mutantes de gala e de fuji quanto à maturação e qualidade na colheita e após a armazenagem. In: Encontro Nacional sobre Fruticultura de Clima Temperado, 14., 2015, Friburgo. **Anais...** Caçador, SC: Epagri, v. 1, p. 24-28. 2015.

BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. 2007. 163 f. Tese (Doutorado) -

Universidade Federal de Viçosa, Curso de pós-graduação em Produção Florestal, Minas Gerais, 2007.

BETINELLI, K. S. et al. Estádio de maturação para colheita de maçãs 'scs426 venice'. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.30, n.2, p.57-62, 2017.

BLEICHER, J. História da macieira. In: **A cultura da macieira**. EPAGRI. Florianópolis. P. 29-36. 2006.

BONETI, J. L. S. et al. **Joaquina: nova cultivar de macieira resistente á sarna e de maturação precoce**. Epagri, SC, 2001. Disponível em: <http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=14595>. Acesso em: 15 fev. 2021.

BOSCO, L. C. **Alterações microclimáticas causadas por cobertura antigranizo e efeito sobre o desenvolvimento e produção de macieira**. 2011. 223 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de pós-graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, 2011.

BOTELHO, I. M. S. **Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (FT-NIR) como ferramenta na discriminação de espécies herborizadas de Burseraceae oriundas de diferentes locais da Amazônia Legal**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Curso de pós-graduação em Botânica, Manaus, 2017.

BRACKMANN, A. et al. Tolerância de maçã 'Gala' a baixas temperaturas durante o armazenamento. **Revista Ciência rural**. v. 40, n. 9, p. 1909-1915, 2010.

BRACKMANN, A. et al. Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' sob armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2478-2484, 2008.

BROWN, G. K. et al. Reflexão de infravermelho próximo de maçãs machucadas. Trans. **ASAE** 17, p. 17-19, 1974.

BURNS, D. A.; CIURCZAK, E. W. **Handbook of Near-Infraed Analysis**. New York: Marcel Dekker, 2001, p. 834.

CAMILO, A. P.; DENARDI, F. Cultivares: Descrição e comportamento no sul do Brasil. In: **A cultura da macieira**. Florianópolis, 2006. 743 p.

CALEGARI, M. A. **espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR) e calibração multivariada: desenvolvimento de modelos pls para a determinação da atividade antioxidante em amostras de própolis**. 2018. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Pato Branco, 2018.

CANTILLANO, R. F. F. et al. **Fundamentos e Práticas de Manejo Pós-Colheita e Rastreabilidade na Produção Integrada de Maçã**. 2010. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/maca/Fundamentos_e_Praticas_de_Manexo.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2021.

CARDOSO, B. T. et al. Avaliação preliminar da quantificação dos teores de umidade e sólidos solúveis totais em abóbora utilizando NIR. In: **V Reunião Biofortificação no Brasil**, 2015, São Paulo. In: Reunião de Biofortificação no Brasil, 2015. V. 5. p. 50-52.

CARVALHO, J. M. **Comercialização de frutos de qualidade: a importância dos tratamentos pós-colheita**. 1996. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Curso pós-graduação em Administração Rural, Lavras, 1996.

CENCI, S. A. Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortalícias na Agricultura Familiar. In: Fenelon do Nascimento Neto. (Org.). **Recomendações**

básicas para a aplicação das boas práticas agropecuárias e de fabricação na agricultura familiar. 1a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006, p. 67-80.

CÓRDOVA, K.R.V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba – PR, 2006.

CURRY, E. Effects of 1-MCP Applied postharvest on epicuticular wax os apples (*Malus domestica Borkh*) during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Davis, v. 88, p. 996-1006, 2008.

DELAZERI, E. E. Aplicação de radiação artificial e *Trichoderma asperellum* no cultivo de morangueiro. 2017. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de graduação em Agronomia, Cerro Largo, 2017.

DENNY, A.; BUTTRISS, J. Plant foods and health: focus on plant bioactives. **British Nutrition Foundation**, Synthesis Report n. 4, 64 p., 2005.

DERAL. Departamento de economia Rural. **Prognóstico 2020**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura_2020.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.

EI-ABSSAY, R.M. et al. Fast determination of milk fat content using Raman spectroscopy. **Vibrational spectroscopy**, v. 56, p. 3 – 8. 2011.

EPAGRI. Manual da cultura da macieira. Florianópolis: Epagri, 2002, 743p.

FACHINELLO, J. C. et al. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.1, p.109-120, 2011.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 30. Dez. 2020.

FELIX, J. C. et al. Predição de fósforo, carbono e nitrogênio em solos de basalto, por meio de espectroscopia NIR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 51, n. 9, p. 1405- 1416, 2016.

FOLHA, T. O. **Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para a avaliação de parâmetros de qualidade de farinhas de mandioca**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestre) – Universidade Federal de Pernambuco, Curso de pós-graduação em Química, Recife, 2014.

FREIRE, C. J. F. et al. **Maçã**. Brasília, DF: Embrapa, 1994, 107 p. (Coleção Plantar).

FRONZA, D.; HAMANN, J. J. **Implantação de Pomares**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 126 p. 2014.

GAIA, W. J. A. **Caracterização do mercado e do perfil do consumidor do fruto da pitaya vermelha “Hylocereus polyrhizus”, no município de Tomé Açu/PA**. 2018. 63 f. Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Curso bacharel em Administração, Tomé- Açu, 2018.

GIOVANELLI, G. et al. NIR spectroscopy for the optimization of postharvest apple management. **Postharvest Biology and Technology**, v. 87, p. 13-20, 2014.

GIRARDI, C. L. Mercado nacional e mundial da maçã. In: **Maçã: Produção (Coleção Frutas do Brasil)**. Bento Gonçalves, 2004. p. 9-10.

GIRARDI, C.; BENDER, R. J. Colheita e pós-colheita. In: **Produção Integrada de Maçãs no Brasil**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2003. (Sistema de Produção, 1). Disponível em:

<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Maca/ProducaoIntegradaMaca/colheita.htm>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

GIRARDI, C. L. et al. Manejo pós-colheita e rastreabilidade na produção integrada de maçãs. Bento Gonçalves/RS. Jun. 2002. (EMBRAPA, Circular Técnica, 31).

GOLIC, M. et al. Espectro infravermelho próximo de comprimento de onda curta de sacarose, glicose e frutose com relação á concentração de açúcares e temperatura. **Espectroscopia Aplicada**, n. 57, 139-147, 2003.

GOVERNO DE SANTA CATARINA. Produtores de maçãs comemoram a chegada do frio em Santa Catarina. 2019. Disponível em: <<https://www.sc.gov.br/index.php/noticias/temas/agricultura-e-pesca/produtores-demaca-comemora-chegada-do-frio-em-santa-catarina#:~:text=em%20Santa%20Catarina,Santa%20Catarina%20%C3%A9%20o%20maior%20produtor%20de%20ma%C3%A7%C3%A3o%20do%20Brasil,foi%20produzida%20em%20S%C3%A3o%20Joaquim>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

HENDGES, M. V. et al. Qualidade de maçãs 'Royal Gala' submetidas ao dano mecânico por impacto e aplicação de 1-metilciclopropeno em dois sistemas comerciais de armazenamento. **Revista brasileira de Fruticultura**. v. 33, n. 1, p. 032-039, 2011.

INMETRO. Calibração: Divisão de metrologia Óptica. 2021. Disponível em: <<http://inmetro.gov.br/laboratorios/servicos/calibDiopt.asp>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, p. 567-587 2008. 1^a Edição Digital. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/sms/files/file/analisedealimentosial_2008.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2021.

KAUR, H. et al. Comparison of hand-held near infrared spectrophotometers for fruit dry matter assessment. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, n.25, p.267-277, 2017.

KRETZSCHMAR, A. A., RUFATO, L. Maçãs: O que você ainda não sabe sobre a atividade. **Revista Campo & Negócios**, 2020 < <https://revistacampoenegocios.com.br/macas-o-que-voce-ainda-nao-sabe-sobre-a-atividade/> > Acesso em: 09 fev. 2021.

KVISTSCHAL, M. V. et al. Características das cultivares brasileiras de maçã. **Revista Campo & Negócio Hortifrúti**, 2015. Disponível em: <[>](https://revistacampoenegocios.com.br/caracteristicasdascultivaresbrasileirasdemaca/#:~:text=A%20Gala%20produz%20frutas%20crocantes,doce%20(sem%20acidez%20alguma)). Acesso em: 09 dez. 2021.

LÉCHAUDEL, M.; JOAS, J. An overview of preharvest factors influencing mango fruit growth, quality and postharvest behavior. **Braz. J. Plant Physiol.**, v. 19. p. 287-298, 2007.

FERGUSON, I.B; WATKINS, C.B. *Bitter pit* in apple fruit. **Horticultural Reviews**, New York, v.11, p.289-355, 1989.

FIORAVANÇO, J. C. et al. Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal. In: **Embrapa Uva e Vinho. Documentos/Embrapa Uva e Vinho** 71, Bento Gonçalves, ed.21, v. 2, p.10-60, 2010.

LIMA, A.; BAKKER, J. Espectroscopia no infravermelho próximo para a monitorização da perfusão tecidual. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**. v. 23, n. 3, p. 341-351, 2011.

LOTZ, E. Control of physiological post-harvest disorder. In: **Com-brink, J. (Ed.), Integrated Management of Post Harvest. Agri- Cultural Research Council-Infruitec**, Stellenbosch, South Africa, 1996.

MACEDO, C. K. B. **Qualidade de maçãs ‘Gala’ e ‘Fuji’ em função da nutrição e das condições climáticas no sul do brasil.** 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina, Curso em pós-graduação em Produção Vegetal, 2014.

MACHADO, N. P. et al. Pear quality characteristics by Vis / NIR spectroscopy. **Revista Ciência Agrária.** v. 84, n. 3, p. 854-863, 2012.

MAGRIN, F. P. et al. Índices de maturação para o ponto ideal de colheita de maçãs ‘SCS425 Luiza’. **Revista Agropecuária Catarinense.** v.30, n.3, p.55-60, 2017.

MAGRO, M. **Evolução da maturação de maçãs ‘Maxi Gala’ através de método não destrutivo de análise de frutos.** 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual de Santa Catarina, Curso de pós-graduação em Produção Vegetal, Lages, 2017.

MARQUES, E. J. N. **Desenvolvimento de métodos analíticos não destrutivos para avaliação da qualidade de frutas utilizando espectroscopia e imagem hiperespectral na região do infravermelho próximo.** 2017. 165 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Curso de pós-graduação em Química, Recife, 2017.

MARQUES, E. J. N.; FREITAS, S. T. performance of new low-cost handheld nir spectrometers for nondestructive analysis of umbu (*Spondias tuberosa arruda*) quality. **Food Chemistry.** v.323, p. 05-08, 2020.

MAGWAZA, L. S. et al. NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit – **A review.** **Food Bioprocess Technology,** v.5, p.425-444, 2012.

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

MELO, A. B. F.; VASCONCELOS, M. A. **Química dos alimentos**. Recife: UFRPE, 2011. 78p. Disponível em: <http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Quimica_de_Alimentos.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2021

MOREIRA, G. C. **Caracterização fisiológica de maçã 'Royal Gala' minimamente processada, submetida a diferentes tratamentos**. 2005. 162 p. dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista, Curso de pós-graduação em Horticultura, Botucatu-SP, 2005.

MUÑIZ, G. I. B. et al. Fundamentos da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Revista Ciência Florestal**. v. 22, n. 4, p. 865-875, 2012.

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

NÓBREGA, R. O. **Aplicação da espectroscopia NIR para a determinação de polifenóis totais em pólen de abelha produzido na província de Buenos Aires – Argentina**. 2018. 40 f. Tese (Graduação)- Universidade Federal da Paraíba, Curso em Química Industrial, Campina Grande, 2018.

NTURAMBIRW, J. F. et al. Non-destructive measurement of internal quality of apple fruit by a contactless NIR spectrometer with genetic algorithm model optimization. **Scientific African review**. v. 3, n. 00051, p.3-10, 2019.

NUNES, P. G. A. **Uma nova técnica para seleção de variáveis em calibração multivariada aplicada às espectrometrias UVVIS e NIR**. 2008. 106 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal da Paraíba, Curso de pós-graduação em Química, João Pessoa, 2008.

NUNES, J.C. **Distribuição temporal e espacial de danos de “grandes lagartas” em pomar de macieira**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado) –

Universidade Estadual de Santa Catarina, Curso de pós-graduação em Produção Vegetal, Lages, 2011.

NUVOLARI, C. M. et al. Boas práticas de fabricação e a cadeia do frio nos supermercados de Botucatu (SP). **Revista Energia na Agricultura**, v. 34, n. 4, p. 521-531, 2019.

OLIVEIRA, F. C. C. **Modelos de calibração multivariada associados á espectroscopia vibracional para análise de mistura diesel- óleos vegetais.** 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de Brasília, Curso de pós-graduação em Química, Brasília, 2006.

OLIVEIRA, E. B. et al. Cinética de degradação de cores de frutas frescas refrigeradas. **Revista Agropecuária Técnico.** v. 36, n. 1, p. 183-189, 2015.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 4603, 2014.

OLIVEIRA, J. R. **Comparação dos processos de pré-resfriamento e armazenagem para a manutenção da qualidade da maçã Fuji.** 2017. 285 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de pós-graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis-SC, 2017.

OSBORNE, B.G. et al. Practical NIR spectroscopy with applications in food and beverages analysis. **Longman Scientific & Technical**, 1993.

PEREIRA, D. **Importância da Cadeia de Frio na Segurança Alimentar de Produtos Congelados e Refrigerados.** 2011. Disponível em: <http://www.esac.pt/noronha/MEAL_Seg_Aliment/10_11/Trabalho%20Daniela_Exame.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021

PETRI, J. L. et al. **Estado atual da cultura da macieira.** Disponível em maçã; 2018. Disponível em:

<<https://www.todafruta.com.br/wpcontent/uploads/2018/03/MA%C3%87%C3%83.pdf>> Acesso em 09 mar. 2021.

PETRI, J. L. et al. Fenologia de espécies silvestres de macieira como polinizadora das cultivares Gala e Fuji. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 30, n. 4, p. 868-874, 2008.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Macieira. **Revista brasileira de fruticultura** v. 30, n. 4 p.857-1166, 2008.

PETRI, J. L. Maturação Controlada. **Revista Cultivar**. n. 84., p. 24-25, 2014.

PINTO, P. M. et al. Ponto de colheita e maturação de frutos de camu-camu colhidos em diferentes estádios. **Pesquisa Agropecuária brasileira**. v.48, n.6, p.605-612, 2013.

PUTTI, G. L. et al. Temperaturas efetivas para a dormência da macieira (*Malus domestica Borkh*). **Revista Brasileira de Fruticultura**. V. 25, n. 2, p. 210-212, 2003.

QUING, Z. et al. Wavelength selection for predicting physicochemical properties of apple fruit based on near-infrared spectroscopy. **Journal of Food Quality** 30, 511–526, 2007.

RAMBO, M. K. D. **Caracterização de resíduos lignocelulósicos por espectroscopia NIR aliadas a quimiometria para a obtenção de insumos químicos**. 2013. 182 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Curso de pós-graduação em Química, Campinas, 2013.

REICH, G. Near-infrared spectroscopy and imaging: basic principles and pharmaceutical applications. **Advanced drug delivery reviews**, v. 57, n. 8, p. 1109- 1143, 2005.

SANTOS NETO, J. P. N. **Otimização das condições de armazenamento sob atmosfera controlada de mangas ‘Palmer’ destinadas à exportação.** 2018. 165 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Curso em pós-graduação em Produção Vegetal, Jaboticabal, 2018.

SANTOS, G. A. et al. Sistema por infravermelho próximo (NIR) para análises de nitrogênio foliar. **Revista Bioscience.** v. 28, p. 83 -90, 2012.

SILVA, D. I. O. **Uma metodologia baseado em espectrometria UV-VIS e quimiometria para a determinação de N,N-Dietil-3- Metilbenzamida em repelentes.** 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal da Paraíba, Curso de pós-graduação em Química, João Pessoa, 2018.

SILVA, M. L. N. **Recomendação de espectrômetros NIR portáteis para monitoramento da qualidade de mangas ‘Keitt’ produzidas no submédio do vale do São Francisco.** 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, Curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Petrolina, 2019.

SILVA, I. D. A fruticultura e sua importância econômica, social e alimentar. In: Simpósio nacional de tecnologia em agronegócio (SINTAGRO), v.11, p.3-10. **Anais...**São Paulo: FATEC, 2019.

SILVA, D. A. et al. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Revista Floresta e Ambiente.** v. 21, n. 4, p. 561 – 568, 2014.

SILVEIRA, F. N. **Relação entre ocorrência de podridão carpelar e características morfológicas de frutos em clones de macieira “Gala”e “Fuji”.** 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Curso de pós-graduação em Produção Vegetal, Lages, 2011.

SIMÕES, S. S. **Desenvolvimento de métodos validados para a determinação de captoperil usando espectrometria NIR e calibração**

multivariada. 2008. 83 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal da Paraíba, Curso de pós-graduação em Química, 2008.

SPAGNOL, W. A. et al. Monitoramento da cadeia do frio: novas tecnologias e recentes avanços. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e. 2016069, 2018.

TEH, L. S. et al. Location, year, and tree age impact NIR-based postharvest prediction of dry matter concentration for 58 apple accessions. **Postharvest Biology and Technology**. v.166, n.111125, 2020.

TESSMER, M. A. **Características anatômicas e físico-químicas de frutos de macieira (*Malus domestica* Borkh.) e sua relação com lenticelose.** 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade de São Paulo, Curso de pós-graduação em Ciência, 2009.

TREVISAN, R. et al. Atributos de qualidade considerados pelo consumidor de PELOTAS/RS, na compra de pêssego *in natura*. **Revista Brasileira Agrociência**. v. 12, v. 3, p. 371-374, 2006.

WELTER, J. F. **Sistemas de condução e pré-formação de mudas de macieira.** 2019. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Curso de pós-graduação em Produção Vegetal, Lages, 2019.

Woolley, J.T. Reflectance and transmittance of light by leaves. **Plant Physiol.** 47, 656–662, 1971.

XING-JUN, L. et al. Comparison of anthcyanin accumulation and morpho-anatomical features in apple skin during color formation at two habitats. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 99, p. 41-53, 2004.

YAMAMOTO, E. L. M. et al. Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal de frutos. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. v.6, n.2, p. 49, 2011.

ZANELLA, V. **Maçãs Gala**. 2016 Disponível em:
<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/2794001/macas-gala>.
Acesso em: 07 nov. 2021.

