

## Validação prática de modelos de infravermelho próximo para tomate: sólidos solúveis e acidez

*Practical validation of near infrared models for tomato: soluble solids and acidity*

**Fernanda Campos de Oliveira Aguiar** (ORCID 0000-0003-0323-9351), **Bruna Ariel Dias Guariglia** (ORCID 0000-0002-5744-1830), **Annelisa Arruda de Brito** (ORCID 0000-0003-0527-5970), **Luiz Fernandes Cardoso Campos\*** (ORCID 0000-0001-5171-5194), **Abadia dos Reis Nascimento** (ORCID 0000-0003-3952-5878), **Gilmarcos de Carvalho Corrêa** (ORCID 0000-0002-3918-7752), **Luís Carlos Cunha Junior** (ORCID 0000-0001-7490-4537)

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil. \*Autor para correspondência: luizfernandescampos@hotmail.com

Submissão: 21/10/2021 | Aceite: 07/01/2022

### RESUMO

O tomate é a hortaliça mais produzida e consumida, tendo aceitabilidade tanto para o consumo in natura quanto para a industrialização. Apesar da ampla aceitação dos tomates, o consumidor apresenta como exigência para aquisição do fruto a qualidade, mensurada através de parâmetros como sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT). Uma técnica de análise química, não destrutiva e não invasiva e de resposta rápida, é a de espectroscopia de absorção na região do infravermelho próximo que tem sido bastante utilizada em várias indústrias, desde agrícola a petroquímica. Considerando a produção em alta escala, a qualidade do tomate exigida pelos consumidores e por se tratar de uma técnica não destrutiva e não invasiva da espectroscopia no infravermelho próximo (Near Infrared Spectroscopy – NIR), faz-se necessário modelos testados em condições comerciais garantindo um modelo de infravermelho próximo para tomate facilitando a classificação. Realizou-se a validação de forma externa e prática dos modelos de infravermelho próximo para tomate in natura, comparando com os métodos destrutivos e conferindo a acurácia dos modelos na qualificação do fruto quanto aos teores de sólidos solúveis e acidez. O presente trabalho apresenta modelos do projeto executado de 2018 a 2019, construídos através dos aplicativos Model Builder e The Unscrambler e selecionados a partir de parâmetros como coeficiente de calibração, coeficiente da validação cruzada, erro médio do conjunto de calibração, e da validação cruzada e cálculo do desvio do resíduo de calibração. Os resultados foram obtidos através da previsão do modelo para os atributos sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT), do tomate de mesa com maior variabilidade de produção. O modelo para SS apresenta potencialidade para uso comercial, seja na determinação de ponto de colheita, seja na quantificação de qualidade do vegetal. Já para AT, o NIR portátil não produziu um modelo aplicável pela limitação do comprimento de onda.

**PALAVRAS-CHAVE:** NIR; espectroscopia; qualidade; *Solanum lycopersicum* L.

### ABSTRACT

Tomatoes are the most commonly used and consumed vegetables, being acceptable for fresh consumption as well as for industrialization. Despite the wide acceptance of tomatoes, the consumer presents quality as a requirement for the acquisition of the fruit, which is measured through parameters such as soluble solids (SS) and titratable acidity (TA). A chemical analysis technique, non-destructive and non-invasive and with fast response, is an absorption spectroscopy in the near infrared region that has been widely used in several industries, from agricultural to petrochemicals. Demanding large-scale production, the quality of tomatoes demanded by consumers and as it is a non-destructive and non-invasive technique of near infrared spectroscopy (NIR), it is still necessary to test models under commercial conditions, ensuring a near infrared model for tomatoes making sorting easy. An external and practical validation of the near infrared models for fresh tomatoes was carried out, comparing them with the destructive methods and checking the accuracy of the models in qualifying the fruit in terms of soluble solids and acidity. This paper presents project models obtained from 2018 to 2019, built from the Model Builder and The Unscrambler programs and selected from parameters such as calibration coefficient, cross validation coefficient, average error of the calibration set, and cross validation and calculation of the residual calibration deviation. The results obtained through the prediction of the model for the soluble solid attributes and titratable acidity, of the table tomato with greater production variability. The model for SS of table tomato has potential for commercial use, either in determining the harvest point, or quantifying the

vegetable's quality. For AT or portable NIR, it did not produce an applicable model due to the wavelength limitation.

**KEYWORDS:** NIR; spectroscopy; quality; *Solanum lycopersicum* L.

---

## INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é a hortaliça mais produzida e consumida, tendo aceitabilidade tanto para consumo in natura quanto para a industrialização (SANTOS JÚNIOR & BUENO 2019). Os países produtores com destaque são China, Índia, Estados Unidos e Brasil. No Brasil, tem-se como destaque os estados produtores, Goiás, São Paulo, Minas Gerais e Bahia (CONAB 2019).

Na safra de 2020, a produção nacional foi de 3,95 milhões de toneladas com contribuição do estado de Goiás de 1,06 milhões de toneladas (IBGE 2021) da produção de tomate industrial. Apesar da baixa produção referente a safra anterior, o Brasil segue em nono lugar no ranking de produção mundial (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS 2018).

Embora o tomate tenha ampla aceitação, o consumidor apresenta como exigência para aquisição do fruto a qualidade expressa, principalmente, pelos atributos de textura, sabor, cor e aroma (ALENCAR 2017). O alcance dos parâmetros supracitados no tomate se dá desde o plantio até a colheita, sendo o momento da colheita um dos pontos importantes que garante sua integridade, atendendo as exigências e requisitos do mercado consumidor (PINHEIRO et al. 2017).

O fruto do tomateiro, por ser climatérico, sofre transformações químicas e físicas pós-colheita que podem ser acentuadas em condições de altas temperaturas, composição atmosférica e períodos de estocagem (BASSO 2019). Essas transformações podem ser detectadas através de parâmetros de qualidade, como sólidos solúveis e acidez, podendo ser medidas em campo ou em casas de embalagens, que determinarão o ponto de colheita e a classificação do fruto (OLIVEIRA 2020).

Das análises laboratoriais de sólidos solúveis e acidez, é comum a realização de métodos destrutivos, no qual ocorre a desintegração parcial ou total do vegetal. Entretanto, tem crescido o uso de métodos não destrutivos que permitem buscar informações com facilidade e rápida resposta e repetir medições na mesma amostra (BORBA et al. 2019).

Uma técnica de análise química, não destrutiva e não invasiva e de resposta rápida, é a de espectroscopia de absorção na região do infravermelho que tem sido bastante utilizada em várias indústrias, desde agrícola a petroquímica (CALEGARI 2018). A espectroscopia de infravermelho próximo permite análises qualitativas e quantitativas em amostras líquidas ou sólidas com o mínimo de preparo, e identifica substâncias por grupos funcionais presentes (TIBOLA et al. 2018).

Em aplicações de vegetais, LEQUEUE et al. (2016) demonstraram a viabilidade do NIR (Near Infrared Spectroscopy), em estimar o teor de nitrogênio em folhas de tomate, como uma técnica que exige o mínimo de preparação do vegetal, menor custo e tempo. Já ACHARYA et al. (2017) evidenciaram a importância do NIR em projetos de melhoramento e na decisão quanto ao ponto de colheita, através de um modelo robusto avaliando a qualidade do tomate por meio de cor e matéria seca.

Considerando a produção em alta escala, a qualidade do tomate exigida pelos consumidores e por se tratar de uma técnica não destrutiva e não invasiva do NIR, faz-se necessário modelos testados em condições comerciais (validação prática) garantindo um modelo de infravermelho próximo para tomate facilitando a classificação, fruto a fruto, quanto à qualidade do vegetal contrapondo-se as análises destrutivas convencionais, realizado de forma amostral dentro de lotes.

Objetivou-se com este trabalho validar de forma externa e na prática os modelos de infravermelho próximo para quantificação dos atributos de qualidade, sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT), no tomate de mesa.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Metodologia para construção do modelo

Os frutos de tomate tipo salada e saladete, para construção do modelo, foram adquiridos na Central de Abastecimento do Estado de Goiás (CEASA-GO) semanalmente durante agosto de 2018 a julho de 2019. Os tomates apresentavam-se com amostras nos quatros estádios de maturação comercial segundo a CEAGESP (2021).

As coletas foram compostas por quatro amostras e cada amostra continham 12 frutos que foram transportados e acondicionados a temperatura de 21 °C no Laboratório de Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças (LTPC) da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás.

Os espectros foram coletados aos pares nas regiões equatoriais do fruto, o qual concentra a média de todos os compostos presentes no mesmo, pelo espectrofotômetro portátil F-750 (Felix Instruments, Washington, USA), com comprimento de onda de 250 a 1.100 nm, com geometria óptica de interactância.

Nas regiões a qual foram coletados os espectros foram coletados os valores de referência, sendo um dos lados utilizados para teor de sólidos solúveis e outro para acidez. Os teores de sólidos solúveis foram obtidos através do refratômetro digital de modelo Reichert Brix/RI-Check, foi realizado um recorte no mesmo diâmetro que a coleta espectral, o disco foi macerado e filtrado por uma gaze na lente do refratômetro e realizado a leitura. Os teores de acidez foram obtidos pelo método de titulação volumétrica com solução de NaOH 0,01 mol L<sup>-1</sup> e solução alcóolica de azul de timol a 1% como indicador (INSTITUTO ADOLFO LUTZ 2008). Foi realizado o mesmo recorte, o disco foi macerado e pesado sem a presença da casca. O macerado foi diluído em 10 mL de água destilada com três gotas de azul de timol. A mistura foi titulada e o NaOH 0,01 mol L<sup>-1</sup> gasto foi anotado.

Os dados espectrais e os valores de referência foram analisados e os modelos foram criados utilizando o aplicativo quimiométrico *The Unscrambler*<sup>®</sup> versão 10.0.3 (CAMO, Oslo, Noruega) para acidez e o aplicativo *Model Builder* versão 1.3.0.192 para sólidos solúveis.

Os modelos supracitados foram avaliados pelos seguintes parâmetros: coeficientes de calibração (Rc), coeficiente de validação cruzada total (Rcv), erro do quadrado médio do conjunto de calibração (RMSEc), e da validação cruzada total (RMSEcv), e cálculo do desvio do resíduo de calibração (SDR) (NICOLAI et al. 2007). A partir dos parâmetros foi selecionado um modelo para cada variável (sólidos solúveis e acidez) com as características mostradas na Tabela 1, de acordo com o desvio padrão de sólidos solúveis e acidez, de 0,43 e 0,08 (Tabela 2).

Tabela 1. Parâmetros quimiométricos escolhidos para criação do melhor modelo, para sólidos solúveis e acidez, utilizados no espectrofotômetro portátil F-750.

Table 1. Chemometric parameters chosen to create the best model, for soluble solids and acidity, used in the F-750 portable spectrophotometer.

Variável	Faixa <sup>1</sup> (nm)	Trat. <sup>2</sup>	VL	Rc	Rcv	RMSEC	RMSEcv	SDR <sup>3</sup>
Sólidos Solúveis	729-975	2 <sup>a</sup> SG	12	0,72	0,67	0,18	0,20	2,15
Acidez	729-975	OSC	11	0,26	0,24	0,07	0,07	1,15

Fonte: Adaptado de BRITO et al. (2021) e AGUIAR et al. (2019).

<sup>1</sup>Comprimento de onda; <sup>2</sup>Pré-processamento espectral, primeira derivada de Savitz-Golay (1<sup>a</sup> SG) e correção de sinal ortogonal (OSC); VL - Variável latente; Rc - coeficiente de calibração; Rcv - coeficiente de validação cruzada; RMSEC – erro quadrado médio do conjunto de calibração; RMSEcv – validação cruzada; SDR - desvio do resíduo de calibração. Obtido através da razão entre o desvio padrão da população de calibração e validação cruzada total (RMSEcv).

Tabela 2. Valores de máximo, mínimo, média e desvio padrão das amostras usadas para criação do modelo.

Table 2. Maximum, minimum, mean and standard deviation values of the samples used to create the model.

Variável	N	Máximo	Mínimo	Médio	DP
Sólidos Solúveis	530	5,8	3,1	4,32	0,43
Acidez	1667	1,14	0,0021	0,23	0,08

N = Número de amostras analisadas; DP = Desvio padrão.

### Validação externa do modelo de infravermelho próximo

Os modelos foram inseridos via aplicativo *Model Builder* versão 1.3.0.192 no espectrofotômetro portátil F-750. Posteriormente, os modelos foram testados *in locu* conforme descrito abaixo. Os frutos de tomate do grupo salada e saladete no estágio de maturação comercial (N = 60) foram adquiridos no mercado popular de Goiânia nos setores Goiânia 2 e Urias Magalhães, e transportados para o Laboratório de Tecnologia e Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças (LTPC). Acondicionados em temperatura a 21 °C, os frutos foram expostos aleatoriamente, ou seja, sem ordenação de grau de maturação através da cor (Figura 1).

Com o modelo de infravermelho próximo inserido no espectrofotômetro portátil F-750 (Figura 3), foram realizadas as leituras nas regiões equatoriais, local onde concentra a média de todos os compostos do fruto, antes das análises destrutivas de sólidos solúveis (SS) e acidez (AC).

Após leitura espectral, foram realizadas análise de SS e AC. Para análise de SS, foi realizado um

recorte no mesmo diâmetro da coleta espectral, o disco foi macerado e filtrado por uma gaze para obter apenas o líquido livre de sólidos não solúveis. O líquido foi sobreposto na lente do refratômetro digital e realizado a leitura.



Foto: Fernanda Campos, 2021.

Figura 1. Frutos coletados e ordenados, aleatoriamente.

*Figure 1. Fruits collected and sorted, randomly.*

Para análise de AC, foi realizado um outro recorte na região equatorial da coleta espectral. O disco foi macerado sem presença da casca, transferido para um béquer e pesado, acrescentou-se 10 mL de água destilada e três gotas da solução alcoólica azul de timol e foram homogeneizados. Após mistura, foi realizada a titulação, o volume de NaOH 0,01 mol L<sup>-1</sup> gasto foi devidamente registrado.

Os dados foram avaliados pela correlação entre valores de referência e valores de predição pelo modelo e pelo desvio padrão entre valor predito pelo modelo e valor de referência da análise.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelos para as variáveis dependentes

O modelo para sólidos solúveis (SS) apresentou resultados com erro de calibração (RMSEC) de 0,18, com variação de 0,20° Brix (RMSECV). Valor próximo de RMSECV (erro de validação cruzada) foi encontrado por SAAD et al. (2014) na avaliação da qualidade não destrutiva do tomate usando NIR, apresentando 0,22° Brix. Já BRITO et al. (2021) na determinação de sólidos solúveis em tomates comercializados usando a espectroscopia de infravermelho próximo, encontraram valor de RMSECV de 0,32° Brix.

O modelo para acidez apresentou resultados com erro de calibração de 0,07, com variação de 0,07 g de ácido cítrico/100mL. Na avaliação da viabilidade do infravermelho próximo na determinação de atributos de qualidade de tomate, CASTRIGNANÒ et al. (2019), o RMSECV encontrado foi o mesmo, de 0,07, e para BORBA et al. (2021), na análise do controle de qualidade em campo através do NIR portátil, encontrou valor de 0,06.

Segundo WALSH et al. (2020), um modelo robusto precisa ter pelo menos três temporadas de produção, considerando os atributos externos, como diferentes locais de produção, estação e variedade. Para para NICOLAI et al. (2007), um modelo robusto é aquele insensível aos fatores externos, para isso é preciso ter um conjunto de dados na calibração com o máximo de variações externas que pode acometer o vegetal. Sendo essas variações não controladas, o modelo precisa ser capaz de reproduzir seus erros ao predizer a população. Neste trabalho, os frutos utilizados foram provenientes de safras diferentes e sem procedência de origem, para garantir a insensibilidade do modelo as variações.

Os diferentes aplicativos utilizados para a construção dos modelos, foram selecionados de acordo com a resposta de cada comprimento de onda captado pelo NIR (250 a 1.100 nm) e a precisão das análises de referência. Para sólidos solúveis, a captação ocorre entre 400 a 900 nm e, a precisão do resultado da análise de referência foi suficiente para o aplicativo *Model Builder* construir um modelo com baixo erro de predição, sendo um programa simples, porém robusto. Próximos ao comprimento de onda para sólidos solúveis, foi encontrado por GUARIGLIA (2020) com faixa de 390 a 780 nm.

Para acidez, a análise de referência por meio da titulação volumétrica está passível a erros analíticos (PARRON et al. 2011) além da faixa de absorvância, dificultando a predição pelo modelo, mesmo utilizando

um programa mais sofisticado.

### Sólidos solúveis

Os valores obtidos pela análise de referência, por meio do refratômetro digital, e os valores preditos pelo modelo para sólidos solúveis (SS) foram semelhantes, com as médias dos valores de referência e predito pelo modelo foram de 4,12 e 4,13 °Brix, respectivamente (Tabela 3). Enquanto que, a diferença máxima dos teores é de 0,91 °Brix, e média de 0,22 °Brix com desvio padrão entre a diferença das populações de 0,22 °Brix (Tabela 3). Essas diferenças mostram o quão acurado é o modelo, com diferenças entre os métodos menores que 1 °Brix.

Tabela 3. Valores de máximo, mínimo, média e desvio padrão para as análises de referências e predito pelo modelo de sólidos solúveis, expressos em °Brix.

Table 3. Maximum, minimum, mean and standard deviation values for reference analysis and predicted by the soluble solids model, expressed in °Brix.

	N	Máximo	Mínimo	Média	Desvio padrão
Referência <sup>1</sup>	60	5,53	3,24	4,12	0,47
NIR <sup>2</sup>	60	5,6	2,4	4,13	0,58
Diferença <sup>3</sup>	60	0,91	0	0,22	0,22

<sup>1</sup>Análise de referência de sólidos solúveis, por meio do refratômetro digital; <sup>2</sup>Modelo de predição, por meio do NIR; <sup>3</sup>Diferença entre os valores da análise de referência e predito pelo modelo; N = Número de amostras analisadas.

Valores de RMSECV do modelo de 0,20 °Brix (Tabela 1) é confirmada por erro médio entre referência e valor predito de 0,22 °Brix (Tabela 3). Valores próximos foram encontrados por SAAD et al. (2014) na avaliação da qualidade não destrutiva do tomate usando NIR, apresentando 0,22 de RMSECV. Segundo NICOLAI et al. (2007), o valor de RMSECV é minimizado de acordo com a quantidade da variável latente, e isso foi observado por WANG et al. (2019) ao mensurar os sólidos solúveis no processamento de tomates com aplicação do NIR a qual o valor de RMSEC mudou de acordo com o aumento no número de amostras, mostrando que a escolha de 12 variáveis latentes (VL), como mostra na Tabela 1 foi acertada.

O valor de SDR, de 2,15 (Tabela 1), foi próximo ao encontrado por FENG et al. 2019, de 2,6. Em seu trabalho de medição não destrutiva da qualidade de frutas e vegetais por meio de espectroscopia, NICOLAI et al. (2007), descreveram que valores de SDR de 1,5 a 2,0 conseguem discriminar a oscilação dos valores na predição pelo modelo confirmado nos resultados na Tabela 2 e Figura 2.

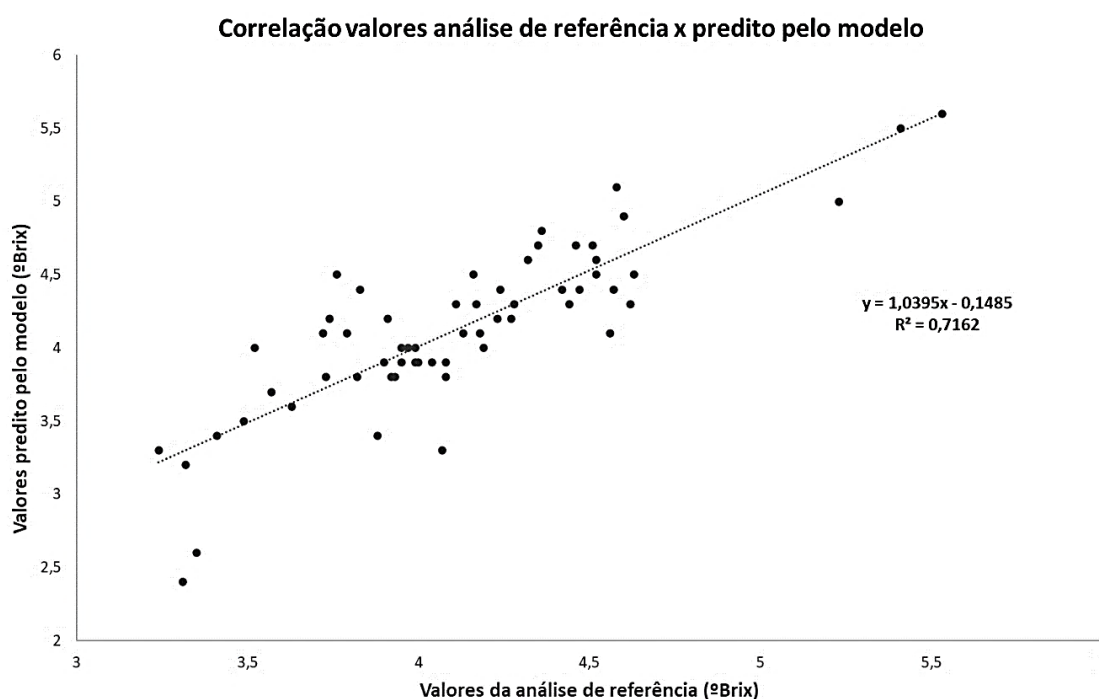


Figura 2. Correlação entre os valores da análise de referência e os valores preditos pelo modelo.

Figure 2. Correlation between the reference analysis values and the values predicted by the model.

A correlação entre os valores de referência e preditos foi de 0,86, ou R<sup>2</sup> de 0,7162 (Figura 2), mostrando que o modelo escolhido através dos parâmetros, RMSECv e SDR, é capaz de determinar os teores de SS de uma população independente, como preconizado por NICOLAI et al. (2007).

A diferença dos teores de SS de referência e predito apresentou uma frequência de 40% para valores de 0 a 0,10 °Brix e de 2% para valores entre 0,50-0,61 °Brix (Tabela 4). O maior erro observado foi de 0,91 °Brix (Tabela 3), apesar disso sua frequência foi baixa comparado aos demais e cerca de 81% das amostras tiveram diferença de até 0,50 °Brix.

Tabela 4. Frequência dos valores de sólidos solúveis, obtidos da diferença da análise de referência e da predição do modelo.

Table 4. Frequency of soluble solids values, obtained from the difference of the reference analysis and the model prediction.

Valores (°Brix)	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)
0-0,10	24	40
0,11-0,2	14	23
0,21-0,3	6	10
0,31-0,4	5	8
0,41-0,5	5	8
0,51-0,6	2	3
0,61 <	4	7
Total	60	100

Os dados apresentados e confrontados com a literatura especializada, demonstram que o modelo de sólidos solúveis utilizando a espectroscopia do infravermelho próximo, desenvolvidos no LTPC (Laboratório de Tecnologia e Pós-Colheita) da Universidade Federal de Goiás, é aplicável comercialmente, podendo ser uma ferramenta para balizar uma classificação de frutos por teores químicos de qualidade, como sólidos solúveis, sem realizar testes destrutivos e podendo ser avaliado fruto a fruto.

Para concentrar o erro e ter menor amplitude, ou seja, aumentar a frequência de erro próximo da faixa de 0-0,20 °Brix, se faz necessário aumentar o número de amostras na construção do modelo, utilizando conjunto de frutos que apresente sólidos solúveis abaixo de 3 °Brix e outro conjunto que apresente valores acima de 4 °Brix. Essa remodelagem sugerida é baseada pela constatação das maiores diferenças entre predição e referência estar em frutos com teores de SS >4-3 >SS.

**Acidez**

Os valores obtidos pela titulação volumétrica e os valores preditos pelo modelo para acidez (AC) apresentaram diferença significativa, com uma diferença máxima de 0,21% (Tabela 5). A média dos valores de referência e predito pelo modelo foram de 0,16 e 0,28%, respectivamente, e desvio padrão entre a diferença das populações de 0,04%, (Tabela 5). As diferenças encontradas para acidez mostram que o modelo para essa variável não foi robusto, tendo uma grande diferença na predição como por exemplo a amostra 3 que apresentou um valor de referência de 0,28% e a predição previu 0,17%.

Tabela 5. Valores de máximo, mínimo, média e desvio padrão para as análises de referência e predito pelo modelo de acidez.

Table 5. Values of maximum, minimum, mean and standard deviation for the reference analysis and predicted by the acidity model.

	N	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão
Ácido Cítrico (%) <sup>1</sup>	40	0,27	0,07	0,16	0,05
NIR <sup>2</sup>	40	0,38	0,21	0,28	0,04
Diferença <sup>3</sup>	40	0,21	0,00	0,12	0,04

<sup>1</sup>Análise de referência de acidez por meio de titulação volumétrica expressa em g de ácido cítrico por 100g de amostra ou em %; <sup>2</sup>Modelo de predição, por meio do NIR; <sup>3</sup>Diferença entre os valores da análise de referência e predito pelo modelo; N = Número de amostras analisadas.

O modelo testado para AC apresentou um baixo coeficiente de calibração (Rc) de 0,26% e baixos valores no erro da calibração (RMSEC) e na validação cruzada (RMSECv) de 0,07% (Tabela 1). Segundo NAJJAR & ABU-KHALAF (2021) para criar um bom modelo de predição é preciso avaliar os parâmetros: coeficiente de calibração (Rc) e o erro da calibração cruzada (RMSECv), sendo o Rc próximo a 1 e baixo

valor para RMSECv. Entretanto, o valor encontrado foi baixo referente ao que confere um bom modelo, podendo ser constatado a diferença do erro médio entre a referência e valor predito de 0,12% superior do valor encontrado de RMSECv de 0,07%.

AIKAS et al. (2020), descreveram em seu trabalho que o coeficiente de correlação R quantifica a relação entre os valores medidos e os previstos, e para isso quanto maior valor de Rcv e menor valor de RMSECv resultará em um modelo com melhor precisão na predição. Tanto os valores de Rc e Rcv, de 0,26 e 0,24 (Tabela 1), estão baixos segundo a literatura.

A correlação entre os valores de referência e predito pelo modelo foi de 0,40, ou R<sup>2</sup> de 0,1654 (Figura 3). A baixa correlação pode ser observada pela Figura 3, a qual os pontos estão dispersos, os valores de referência e preditos pelo modelo não seguem uma relação linear portanto não foram discriminados de acordo com a oscilação dos mesmos, isso se justifica pelo baixo valor de SDR, de 1,15.

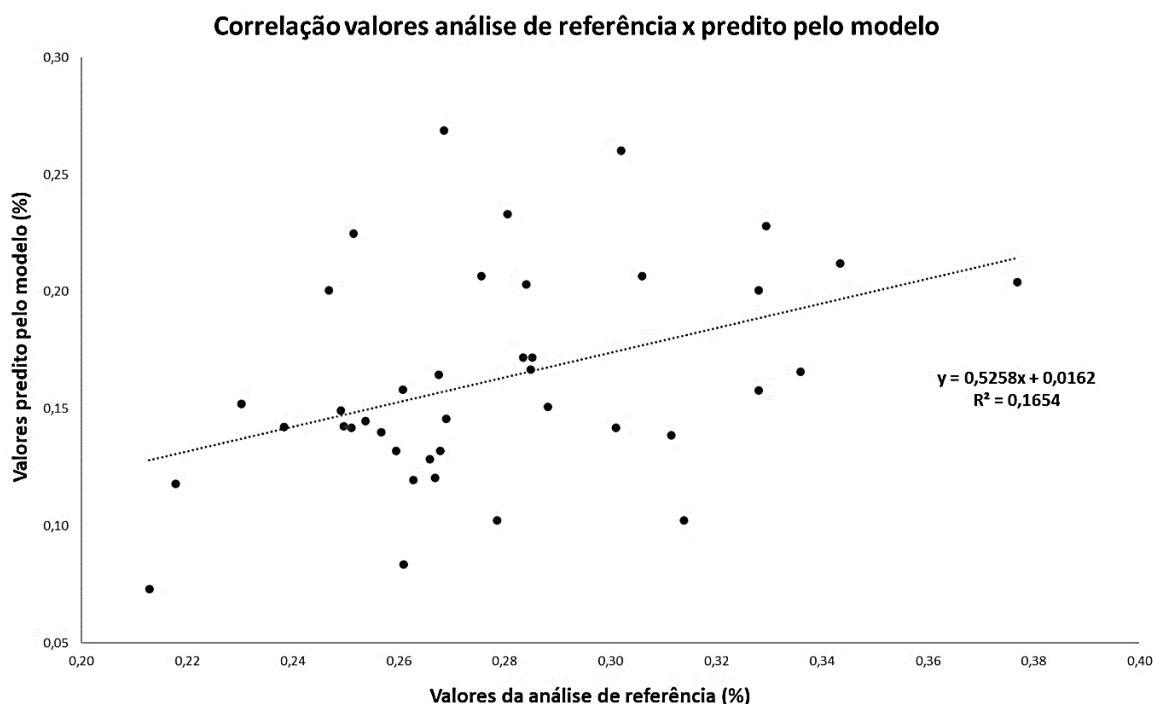


Figura 3. Correlação entre os valores da análise de referência e os valores preditos pelo modelo de acidez.  
 Figure 3. Correlation between the values of the reference analysis and the values predicted by the acidity model.

A diferença nos valores de referência e preditos apresentou a maior frequência no intervalo de 0,11 a 0,15% e menor para intervalo de 0,21 a 0,26% (Tabela 6). Comparados a média encontrada, de 0,12% (Tabela 5), os valores observados são altos em relação a variável acidez, mostrando a vulnerabilidade e alta oscilação que o modelo prediz.

Tabela 6. Frequência dos valores de acidez, obtidos da diferença da análise de referência e predito pelo modelo.

Table 6. Frequency of acidity values, obtained from the difference of the reference analysis and predicted by the model.

Valores (%)	Frequência absoluta	Frequência relativa
0-0,05	5	13%
0,06-0,1	13	33%
0,11-0,15	15	38%
0,16-0,20	6	15%
0,21-0,26	1	3%
Total	40	100%

Portanto, o modelo de AC não foi capaz para predição pela limitação do NIR portátil em trabalhar na faixa de 250 a 1.100 nm. Trabalhos como de SUN et al. (2021) mostraram que a predição para acidez ocorre no comprimento de onda acima de 1.300 nm limitando, portanto, o NIR portátil para calibração e predição de acidez.

Outra explicação para a baixa eficiência do modelo é explicada por BORIN (2003) que relatou que para as aplicações da espectrofotometria NIR, a absorção não é útil para identificar substâncias a qual os limites de detecção são da ordem de 0,1%, como é o caso da AC que na média é de 0,16%.

## CONCLUSÃO

A similaridade dos valores do modelo de infravermelho próximo para predizer teores de sólidos solúveis do tomate de mesa confirma a potencialidade deste modelo de sólidos solúveis através do NIR portátil para uso comercial, seja na determinação de ponto de colheita, seja na quantificação de qualidade do vegetal, facilitando uma rápida e fácil tomada de decisão para o produtor ou nas *packing houses*.

Quanto à predição de valores de acidez utilizando os modelos de infravermelho próximo, se faz necessário o desenvolvimento de modelos com faixas espectrais acima de 1.200 nm, pois comprimentos de ondas menores não abrangem os compostos orgânicos relacionados com a acidez que se encontram em faixas espectrais de comprimentos acima de 1.200 nm.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações “TED nº 14.0030.00/2018”, e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (processo nº 406617 / 2018-0).

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA UK et al. 2017. Robustness of tomato quality evaluation using a portable vis-swnirs for dry matter and colour. *International Journal of Analytical Chemistry* 2017: 2863454.
- AGUIAR FCO et al. 2019. Uso da espectroscopia de infravermelho próximo e regressão de mínimos quadrados parciais na avaliação do teor de sólidos solúveis em frutos íntegros de tomateiro. In: 16 Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão, Anais... Goiânia: UFG. 134p.
- AIKAS DP et al. 2020. Non-destructive quality assessment of tomato paste by using portable mid-infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Foods* 9: 1300.
- ALENCAR ES. 2017. Composição nutricional de duas variedades do tomate (*Solanum lycopersicum*) comercializado em São Luís – MA. TCC (Graduação Química). São Luís: UFMA. 51p.
- BASSO A. 2019. Decomposição fotocatalítica do etileno visando o controle de maturação de tomate cereja. Tese (Doutorado em Eng. Química). Florianópolis: UFSC. 80p.
- BORBA KR et al. 2019. Determinação de sólidos solúveis em tomates utilizando espectroscopia de infravermelho médio. In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária. Resumos... São Carlos: Embrapa Instrumentação. 675p.
- BORBA KR et al. 2021. Portable near infrared spectroscopy as a tool for fresh tomato quality control analysis in the field. *Applied Sciences* 11: 3209.
- BORIN A. 2003. Aplicação de quimiometria e espectroscopia no infravermelho no controle de qualidade de lubrificantes. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal). São Paulo: UNICAMP. 60p.
- BRITO AA et al. 2021. Determination of soluble solid content in market tomatoes using Near-infrared Spectroscopy. *Food Control* 126: 108068.
- CALEGARI MA. 2018. Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR) e calibração multivariada: desenvolvimento de modelos de PLS para a determinação da atividade antioxidante em amostras de própolis. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Pato Branco: UTPF. 75p.
- CASTRIGNANÒ A et al. 2019. Assessing the feasibility of a miniaturized near-infrared spectrometer in determining quality attributes of san marzano tomato. *Food Analytical Methods* 12: 1497-1510.
- CEAGESP 2021. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. Disponível em: <<https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/tomate/>>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- FAOSTAT. 2021. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Statistical database. Rome: FAO.
- GUARIGLIA BA. 2020. Viabilidade e aplicabilidade da espectroscopia do infravermelho próximo em laranjas. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Goiânia: UFG. 58p.
- IBGE. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. 2008. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. In: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3.ed. São Paulo: IMESP. 183p.



- LEQUEUE G et al. 2016. Determination by near infrared microscopy of the nitrogen and carbon content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) leaf powder. *Scientific Reports* 6: 33183.
- NAJJAR K & ABU-KHALAF N. 2021. Non-destructive quality measurement for three varieties of tomato using VIS/NIR spectroscopy. *Sustainability* 13: 10747.
- NICOLAI BM et al. 2007. Nondestructive measurements of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: a review. *Postharvest Biology and Technology* 46: 99-118.
- OLIVEIRA TM. 2020. Efeito de revestimentos comestíveis na qualidade do tomate cereja cultivado nos sistemas orgânico e convencional. Dissertação. (Mestrado em Olericultura). Morrinhos: IFG. 56p.
- PARRON et al. 2011. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Embrapa Florestas- Documentos (INFOTECA-E).
- PINHEIRO DT et al. 2017. Aspectos tecnológicos e qualitativos da produção de sementes de tomate. *Revista Espacios* 38: 10-24.
- SAAD AG et al. 2014. Non-destructive quality evaluation of intact tomato using VIS-NIR spectroscopy. *International Journal of Advanced Research* 2: 632-639.
- SANTOS JÚNIOR A & BUENO SM. 2019. Avaliação da viabilidade da utilização do excedente da produção do tomate de mesa para produção de tomate seco. *Revista Unilago* 1: 1-10.
- SUN D et al. 2021. Near infrared spectroscopy determination of chemical and sensory properties in tomato. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 29: 289-300.
- TIBOLA CS et al. 2018. Espectroscopia no infravermelho próximo para avaliar indicadores de qualidade tecnológica e contaminantes em grãos. Brasília: Embrapa.
- WALSH KB et al. 2020. The uses of near infra-red spectroscopy in postharvest decision support: A review. *Postharvest Biology and Technology* 163: 111139.