

AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DE MORANGOS ATRAVÉS DO BIOSPECKLE LASER INTEGRADO COM INFORMAÇÕES EM 3D

Palavras-Chave: método não destrutivo, reconstrução tridimensional, sólidos solúveis totais

Autores/as:

Eduardo André Teixeira - Unicamp

Prof.^a Dr.^a Juliana Aparecida Fracarolli - Unicamp

INTRODUÇÃO:

O morango (*Fragaria x ananassa*) é um fruto consumido mundialmente e o Brasil é o 17º maior produtor segundo dados recentes de 2020 ("FAOSTAT", [s.d.]). Possui grande valor nutricional, sendo rico em vitaminas e minerais (XIE; LIU; GUO, 2021). No entanto, sua textura pouco firme traz fragilidade em relação a danos mecânicos e seu grau de umidade promove alta atividade microbiana, fatores que tornam o morango uma fruta de rápida deterioração (OLIVEIRA et al., 2021; YOON et al., 2020).

A avaliação da maturidade é usualmente realizada por métodos destrutivos, tal como a medição dos Sólidos Solúveis Totais (SST) em um fruto, responsáveis pelo sabor adocicado a partir da presença de açúcares, vitaminas e sais minerais. Quanto mais maduro o fruto, maior o nível de SST presente em sua composição (KWAK et al., 2021; PAVARIN, 2020).

O presente trabalho teve o objetivo de encontrar o grau de maturidade de um fruto através do uso de uma técnica óptica não destrutiva chamada de *Biospeckle Laser* (BSL) (BRAGA JÚNIOR; RIVERA; MOREIRA, 2016). O modo como o feixe de um laser se comporta ao refletir de uma superfície é chamado de *speckle* e, em uma amostra com atividade biológica é chamado de *speckle* dinâmico (FRACAROLLI, 2011, 2014). A partir da captura de uma sequência de imagens desse granulado (*Time History Speckle Pattern*, THSP) é possível realizar o processamento dos dados utilizando algoritmos de intensidade de *pixels* nas imagens e gerar um mapa de atividade do fruto. Esse é o método gráfico das Diferenças Generalizadas (GD) (ARIZAGA; TRIVI; RABAL, 1999; BRAGA JÚNIOR; RIVERA; MOREIRA, 2016; BRAGA et al., 2011; PAVARIN, 2020).

O processamento também pode ser feito a partir dos métodos numéricos do Momento de Inércia (MI) e *Average Value of Difference* (AVD). MI apresenta dois valores de saída, IM1 e IM2. IM1 representa a normalização da matriz de co-ocorrência (COM) de Cardoso e Braga (2014), enquanto o IM2 representa a normalização de Arizaga; Trivi; Rabal (1999). A normalização é feita seguindo a equação 1. A equação 2 retorna uma medida de propagação dos valores de M ao redor da diagonal principal da matriz, que é um momento de segunda ordem e sua intensidade indica o nível de atividade da amostra, baseado na variação da intensidade dos *pixels* da imagem. O AVD utiliza o valor absoluto ao invés do quadrado, diminuindo as ampliações no cálculo do Momento de Inércia. Apresenta quatro saídas, AVD1, AVD2, AVD3 e AVD4. As três primeiras são normalizações propostas por Cardoso e Braga (2014) enquanto AVD4 é uma normalização proposta por Arizaga; Trivi; Rabal (1999). A equação 3 apresenta o cálculo de AVD1, o valor padrão de saída do programa. O cálculo de AVD2 é feito da mesma maneira que o IM1 (Equação 2) e o cálculo de AVD3 segue a equação 4 (BRAGA JÚNIOR; RIVERA; MOREIRA, 2016; PAVARIN, 2020).

$$M_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum N_{ij}} \quad \text{Equação 1}$$

$$MI = \sum_{ij} M_{ij}(i - j)^2 \quad \text{Equação 2}$$

$$AVD1 = \sum_{ij} \{M_{ij}|i - j|\} \quad \text{Equação 3}$$

$$AVD3 = \sum_{ij} M_{ij}(i - j)^2 - AVD1^2 \quad \text{Equação 4}$$

Com o avanço da tecnologia, o uso de modelos de visão computacional tridimensional para colocar em perspectiva resultados está se tornando mais comum (CHEN et al., 2020; SAMPAIO; SILVA; MARENGONI, 2021; SANTOS et al., 2017). Para esse trabalho foi feita a reconstrução 3D do morango com aplicação da textura encontrada

com o BSL. O mapa de atividade gerado com o método GD foi utilizado como textura para verificar a viabilidade do modelo tridimensional.

METODOLOGIA:

Foram utilizadas 20 amostras da variedade *Sweet Charlie* obtidas em supermercado, sendo 10 no estágio maduro e 10 verdes. Primeiramente, foi realizada a gravação do vídeo com o laser dos 20 morangos, seguida da captura do modelo tridimensional dos 10 morangos maduros e finalizando com a medição dos sólidos solúveis de todas as amostras previamente identificadas.

Para o *Biospeckle* foi utilizado um pano preto opaco para evitar a reflexão da luz e cobrir a superfície em que o morango estava apoiado, a câmera de um smartphone modelo iPhone 11, com captura HD de 1080 *pixels* a 60 quadros por segundo, uma lente convergente com foco de 35 mm, um filtro polarizador para diminuir a intensidade do laser e uma caneta *Laser Pointer* verde com 532 nm de comprimento de onda (Figura 1.1). Em ambiente completamente escuro, foi

feita a captura durante 10 segundos a cada 180° de rotação do fruto. A posição vertical do fruto possibilitou a melhor captura das imagens para os morangos. O software Free Video to JPG Converter v. 5.0.92 quebrou o vídeo em 228 quadros, com descarte dos 100 primeiros. Os 128 quadros remanescentes passaram por um filtro 8-bit, transformando as imagens de RGB para escala de cinza, necessária para o processamento do BSL, a partir do software ImageJ. Por fim, o pacote BSLTL (BRAGA JÚNIOR; RIVERA; MOREIRA, 2016) do Octave® foi utilizado para obter o valor do *Average Value of Difference* e Momento de Inércia como métodos numéricos, além do método das Diferenças Generalizadas como método gráfico (ANSARI; NIRALA, 2013; BRAGA JÚNIOR; RIVERA; MOREIRA, 2016; PAVARIN, 2020).



Figura 1.1. Montagem dos equipamentos para o experimento em local completamente escuro. Fonte: autor.

A captação das imagens para a reconstrução do 3D foi feita utilizando o sensor Microsoft Kinect 360, com auxílio do software ReconstructMe (HEINDL et al., 2015). O fruto foi colocado em uma superfície plana e elevada, de modo que foi possível realizar uma revolução em volta do morango, tentando obter o máximo de pontos possíveis. O programa gerou um arquivo .ply que foi exportado para o MeshLab 2016 para realizar a reconstrução tridimensional (PAVARIN, 2020; YANG; FRACAROLLI, [s.d.]).

Para iniciar a reconstrução foi feita a eliminação de pontos indesejados gerados na imagem inicial (Figura 2.1) utilizando os comandos *Select Vertexes > Delete the current set of select vertexes*. A reconstrução pelo método de Poisson requer a computação da normal, que foi realizada seguindo o caminho *Filters > Normals, Curvature and Orientation > Compute normals for point set*. O número de vizinhos que possibilitaram a reconstrução foi 20 (Figura 2.2). O método de Poisson foi feito a partir dos comandos *Filters > Remeshing, Simplification and Reconstruction > Screened Poisson Surface Reconstruction*. A base do morango ficou aberta, sendo necessário cortá-la entre as repetições do *Poisson* utilizando os mesmos comandos da eliminação dos pontos desnecessários, até que o resultado fosse satisfatório, com cerca de 80000 vértices (Figura 2.3). Por fim, para anexar a textura do BSL seguiu-se inicialmente com os comandos *Filters > Normals, Curvature and Orientation > Normalize Face Normals* e *Filters > Normals, Curvature and Orientation > Normalize Vertex Normals*, seguido de *File > Import Raster*. A textura foi fixada sobre o 3D a partir de ajustes com imagens a cada 180° de rotação (Figura 2.4). (PAVARIN, 2020; YANG; FRACAROLLI, [s.d.]).

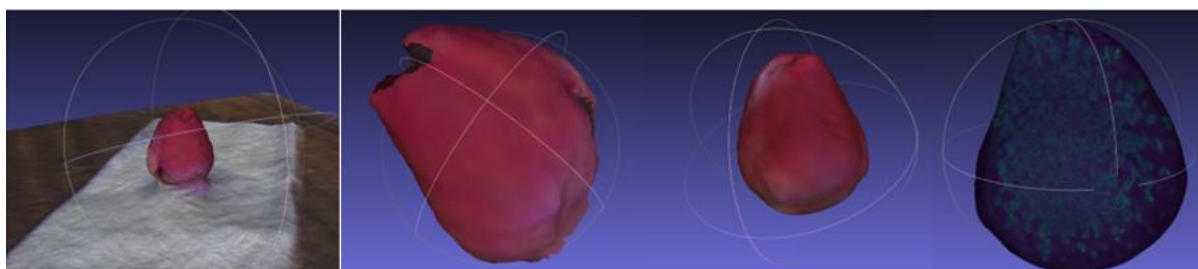


Figura 2.1

Figura 2.2

Figura 2.3

Figura 2.4

Figura 2.1. Resultado inicial da captação das imagens. Figura 2.2. Fruto após limpeza dos pontos e normalização. Figura 2.3. Morango após reconstrução pelo método de Poisson. Figura 2.4. Reconstrução final com emprego da textura obtida através do BSL. Fonte: autor.

Por fim, os morangos foram triturados para realizar a medição dos Sólidos Solúveis Totais utilizando um refratômetro portátil da marca ATAGO, modelo ATC-1. O experimento consistiu em pingar uma gota da polpa do fruto no equipamento e observar a medida (ALARFAJ et al., 2021; BARIKLOO; AHMADI, 2018; DE SOUZA et al., 2014; DONG et al., 2020; PINELI et al., 2011; SÁMEC et al., 2016; VIDRIH et al., 2013). Os resultados foram expressos em °Brix (Tabela 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os 10 morangos maduros e os 10 morangos verdes foram numerados conforme a Figura 3.1 e a Figura 3.2. A Tabela 1 apresenta os valores encontrados para os sólidos solúveis das 20 amostras.

Tabela 1 - Medição de Sólidos Solúveis Totais			
Maduros		Verdes	
Amostra	°Brix	Amostra	°Brix
1	7,9	11	6,1
2	11	12	5,9
3	7,1	13	6,5
4	9,6	14	6,1
5	12,6	15	5,4
6	9,9	16	5,8
7	7,1	17	5,7
8	6,9	18	5,1
9	10,7	19	5,8
10	8,8	20	5,7
Média	9,16	Média	5,81
Desvio Padrão	0,611410028	Desvio Padrão	0,122429118

Tabela 1. Medição de sólidos solúveis, resultados expressos em °Brix. Fonte: autor.

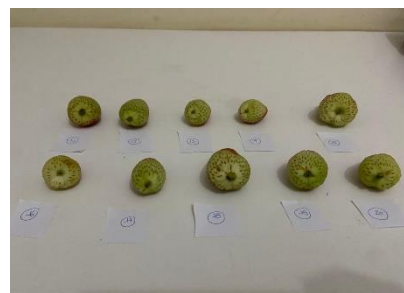


Figura 3.1. Morangos verdes utilizados nos experimentos. Fonte: autor.



Figura 3.2. Morangos maduros utilizados nos experimentos. Fonte: autor.

Os valores médios encontrados para os morangos maduros e verdes estão de acordo com a literatura. (ALI et al., [s.d.]; CAO et al., 2015; GABRIEL et al., 2019; KURCHAITD PEREIRA CAMARGO et al., 2009; NUNES et al., 2006; POZO-INSFRAN et al., 2006)

Nas Figuras 4.1 e 4.2 estão os resultados das imagens obtidas através do *Biospeckle Laser* pelo método GD. O mapa de atividade apresentou melhor visualização para os morangos verdes em comparação com os maduros.

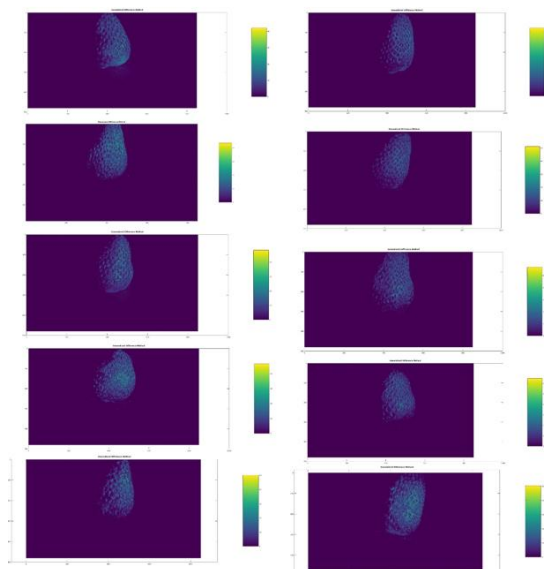


Figura 4.1. Resultado do método GD para 10 morangos maduros. Fonte: autor.

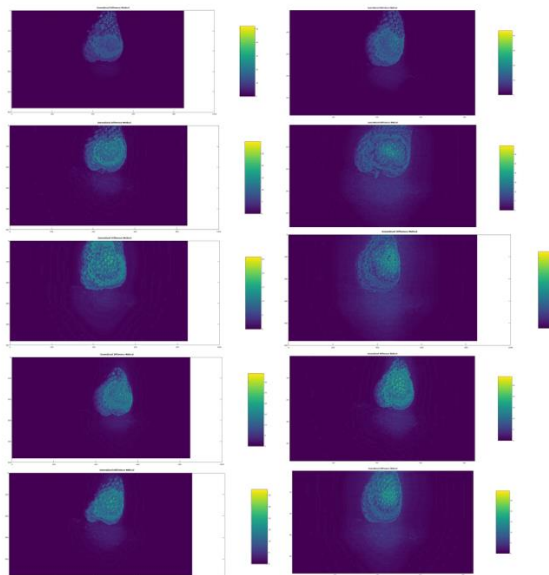


Figura 4.2. Resultado do método GD para 10 morangos verdes. Fonte: autor

Já o resultado da reconstrução tridimensional dos 10 morangos maduros pode ser observado na Figura 5. A reconstrução foi bem-sucedida, assim como a aplicação da textura referente às Figuras 4.1 e 4.2. O programa utilizado foi capaz de captar grande parte dos pontos com precisão, o que facilitou a reconstrução pelo MeshLab. Por fim temos os resultados dos métodos numéricos AVD e IM, que podem ser observados nas Tabelas 2 e 3. Como baixas variações de intensidade de *pixels* adicionam

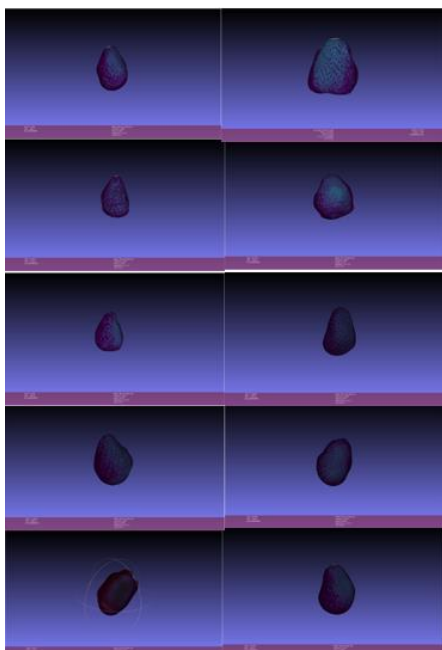


Figura 5. Reconstrução tridimensional das amostras de morango. Fonte: autor.

Tabela 2 - Medição do Average Value of Difference (AVD) e Inertia Moment (IM) - Amostras maduras							
Morango	Amostra	IM1	IM2	AVD1	AVD2	AVD3	AVD4
1	1	9,1816	1,69E+04	0,89816	9,1816	8,3749	1188,1
1	2	7,8567	6757,2	0,87419	7,8576	7,0943	631,53
2	1	6,6836	1,43E+04	0,7618	6,6836	6,1033	1121
2	2	11,359	2,81E+04	0,94757	11,359	10,462	1577,1
3	1	9,5532	1,33E+04	0,87329	9,5532	8,7906	893,29
3	2	4,3888	4765,5	0,63477	4,3888	3,9862	519,89
4	1	6,2492	9026,1	0,75975	6,2492	5,6719	710,33
4	2	2,5143	1,10E+04	0,42753	2,5143	2,3315	762,7
5	1	11,339	1,02E+04	1,1813	11,339	9,9432	959,21
5	2	6,7132	3,49E+04	0,6157	6,7132	6,3341	1282,6
6	1	5,4917	2,22E+04	0,60729	5,4917	5,1228	1169,2
6	2	3,9332	8673,2	0,5648	3,9332	3,6142	799,78
7	1	4,2271	8409,6	0,58209	4,2271	3,8883	672,1
7	2	3,7814	7954,3	0,52464	3,7814	3,5062	599,24
8	1	3,1139	4227,5	0,52805	3,1139	2,835	439,34
8	2	2,2357	7684,7	0,41402	2,2357	2,0643	678,51
9	1	5,2634	1,18E+04	0,6062	5,2634	4,8959	794,65
9	2	2,5558	6843,7	0,40449	2,5558	2,3922	497,63
10	1	2,7383	8426,1	0,50111	2,7383	2,4872	638,46
10	2	7,2486	1,16E+04	0,76449	7,2486	6,6642	854,33
Média		5,821385	1,23E+04	0,673562	5,82E+00	5,328115	8,39E+02
Variância		8,33	61391206,78	0,04	8,33	6,76	87787,44
Desvio padrão		2,88610751	7835,254098	0,204464781	2,886140919	2,600212314	296,2894576
% desvp da media		49,5776779	6,35E+01	30,35574766	4,96E+01	48,80173033	3,53E+01
Erro		0,64535326	1752,016078	0,045719715	0,645360729	0,581425149	66,25233681

Tabela 2. Valores de AVD e IM para morangos maduros. Fonte: autor.

baixos valores ao IM (Equação 2), os morangos maduros devem apresentar valores superiores em comparação com as amostras verdes (PAVARIN, 2020). A discussão é equivalente para o AVD. Para a normalização IM2 e AVD4 observamos valores médios de 4870 e 420,8229, respectivamente, para morangos verdes. Enquanto isso, os valores aumentam para 12300 e 839 nas amostras maduras. Dessa forma, os resultados foram satisfatórios para observar diferenciação no grau de maturidade dos frutos a partir dos resultados obtidos com o BSL.

Para projetos futuros é indicada a testagem com lasers de diferentes cores e comprimentos de onda para observar o comportamento do *speckle* dinâmico. Além disso, a utilização de câmeras sem lente podem auxiliar na captação das imagens para os métodos gráficos.

Tabela 3 - Medição do Average Value of Difference (AVD) e Inertia Moment (IM) - Amostras verdes							
Morango	Amostra	IM1	IM2	AVD1	AVD2	AVD3	AVD4
11	1	5,9221	3481,2	1,1165	5,9221	4,6755	410,2
12	1	4,8068	2696,2	0,89339	4,8068	4,0086	317,17
13	1	4,0697	3385,1	0,68713	4,0697	3,5976	380,7
14	1	2,5145	4495	0,525	2,5145	2,2388	366,09
15	1	3,7621	3258,4	0,88169	3,7621	2,9847	360,72
16	1	14,828	1,16E+04	1,34	14,828	13,032	856,02
17	1	8,6945	1,12E+04	0,95033	8,6945	7,7914	776,5
18	1	1,9549	1278,4	0,58216	1,9549	1,616	139,02
19	1	0,92977	321,93	0,35285	0,92977	0,80527	59,189
20	1	9,659	7023,1	1,0824	9,659	8,4874	542,62
Média		5,714137	4,87E+03	0,841145	5,714137	4,923727	420,8229
Variância		18,02	14971198,39	0,09	18,02	14,24	62222,65
Desvio padrão		4,244576204	3869,263287	0,303378931	4,244576204	3,77412972	249,444687
% desvp da media		74,28201676	7,94E+01	36,06737613	74,28201676	76,65188829	59,27545458
Erro		0,949116093	865,1935733	0,067837591	0,949116093	0,843921061	55,77752767

Tabela 3. Valores de AVD e IM para morangos verdes. Fonte: autor.

BIBLIOGRAFIA

- ALARFAJ, R. et al. Mapping QTL underlying fruit quality traits in an F1 strawberry population. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 0, n. 0, p. 1–12, 23 abr. 2021.
- ALI, A. et al. POST-HARVEST PHYSICO-CHEMICAL CHANGES IN FULL RIPE STRAWBERRIES DURING COLD STORAGE. **J. Anim. Plant Sci.**, p. 4, [s.d.].
- ANSARI, M. Z.; NIRALA, A. K. Assessment of bio-activity using the methods of inertia moment and absolute value of the differences. **Optik - International Journal for Light and Electron Optics**, v. 6, n. 124, p. 512–516, 2013.
- APARECIDA FRACAROLLI, J. **Utilização do biospeckle laser na avaliação do potencial germinativo de sementes de ipê-roxo (Tabebuia heptaphylla) (Vellozo) Toledo**. Mestre em Engenharia Agrícola—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 23 fev. 2011.
- APARECIDA FRACAROLLI, J. **Levramento das coordenadas espaciais de corpos vegetais associado ao mapeamento de bioatividade e cor**. Doutora em Engenharia Agrícola—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 12 mar. 2014.
- ARIZAGA, R.; TRIVI, M.; RABAL, H. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. **Optics Laser Technology**, v. 31, p. 163–169, 1 ago. 1999.

BARIKLOO, H.; AHMADI, E. Effect of nanocomposite-based packaging and chitosan coating on the physical, chemical, and mechanical traits of strawberry during storage. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, n. 3, p. 1795–1817, 1 set. 2018.

BRAGA JÚNIOR, R. A.; RIVERA, F. P.; MOREIRA, J. **A practical guide to biospeckle laser analysis: theory and software**. [s.l.] Ed. UFLA, 2016.

BRAGA, R. et al. Evaluation of activity through dynamic laser speckle using the absolute value of the differences. **Optics Communications**, v. 284, p. 646–650, 15 jan. 2011.

CAO, F. et al. Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 195, p. 183–187, 12 nov. 2015.

CHEN, Y. et al. Real-time 3D unstructured environment reconstruction utilizing VR and Kinect-based immersive teleoperation for agricultural field robots. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 105579, 1 ago. 2020.

DE SOUZA, V. R. et al. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**, v. 156, p. 362–368, 1 ago. 2014.

DONG, W. et al. Effect of Genotype and Plastic Film Type on Strawberry Fruit Quality and Post-Harvest Shelf Life. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 4, p. 750–767, 1 out. 2020.

FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 14 ago. 2021.

GABRIEL, A. et al. Phenotypic stability of strawberry cultivars based on physicochemical traits of fruits. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 75–81, mar. 2019.

HEINDL, C. et al. **ReconstructMe SDK: a C API for Real-time 3D Scanning**. Proceedings of the 6th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 27-28 October 2015. **Anais...** In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON 3D BODY SCANNING TECHNOLOGIES, LUGANO, SWITZERLAND, 27-28 OCTOBER 2015. Lugano, Switzerland: Hometrica Consulting - Dr. Nicola D'Apuzzo, 27 out. 2015. Disponível em: <<https://www.3dbody.tech/cap/abstracts/2015/185heindl.html>>. Acesso em: 15 fev. 2021

KURCHAIT PEREIRA CAMARGO, L. et al. Caracterização química de frutos de morangueiro cultivados em vasos sob sistemas de manejo orgânico e convencional. **Semina Ciências Agrárias**, v. 30, n. 4, p. 993–998, 2009.

KWAK, H. et al. Protective coating of strawberries with cellulose nanofibers. **Carbohydrate Polymers**, v. 258, p. 117688, 15 abr. 2021.

NUNES, M. C. N. et al. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 2, p. 180–190, 2006.

OLIVEIRA, A. S. et al. Dehydrated strawberries for probiotic delivery: Influence of dehydration and probiotic incorporation methods. **LWT**, v. 144, p. 111105, 1 jun. 2021.

PAVARIN, F. F. A. Reconstrução tridimensional de tomates com integração de dados de biospeckle laser. 2020.

PINELI, L. DE L. DE O. et al. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 11–16, 1 fev. 2011.

POZO-INSFRAN, D. D. et al. Polyphenolics, Ascorbic Acid, and Soluble Solids Concentrations of Strawberry Cultivars and Selections Grown in a Winter Annual Hill Production System. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, n. 1, p. 89–96, 1 jan. 2006.

ŠAMEC, D. et al. Assessment of the differences in the physical, chemical and phytochemical properties of four strawberry cultivars using principal component analysis. **Food Chemistry**, v. 194, p. 828–834, 1 mar. 2016.

SAMPAIO, G. S.; SILVA, L. A.; MARENGONI, M. 3D Reconstruction of Non-Rigid Plants and Sensor Data Fusion for Agriculture Phenotyping. **Sensors**, v. 21, n. 12, p. 4115, jan. 2021.

SANTOS, T. T. et al. Automatic grape bunch detection in vineyards based on affordable 3D phenotyping using a consumer webcam. **São Paulo**, p. 10, 2017.

VIDRIH, R. et al. The physico-chemical properties of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruits. **Croatian journal of food science and technology**, v. 5, n. 1, p. 29–33, 22 jul. 2013.

XIE, D.; LIU, D.; GUO, W. Relationship of the optical properties with soluble solids content and moisture content of strawberry during ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v. 179, p. 111569, 1 set. 2021.

YANG, T. S.; FRACAROLLI, J. A. RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DE MORANGOS ATRAVÉS DE NUVEM DE PONTOS E TEXTURE-MAPPING. p. 5, [s.d.].

YOON, Y. et al. Effects of electron-beam irradiation on postharvest strawberry quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 9, set. 2020.