

CARACTERIZAÇÃO DE ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO DE BANANAS POR MÉTODOS TRADICIONAIS E BIOSPECKLE LASER

FERNANDA FERNANDES ADIMARI PAVARIN¹, PÂMELA SANTAGUITA BETIN²,
NATÁLIA SOARES GONZALEZ³, JULIANA APARECIDA FRACAROLLI⁴

1 Eng. Agrícola, Mestranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, ffadimari@yahoo.com.br

2 Eng. Agrícola, Mestranda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, (11)97592-1754, pamelabetin.psb@gmail.com

3 Graduanda em Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, nataliasoaresgonzalez@gmail.com

4 Engenheira Agrícola, Prof. Doutora, FEAGRI/UNICAMP, juliana.fracarolli@gmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: Muitas transformações físico-químicas ocorrem durante o amadurecimento de frutos climatéricos, causando alterações em sua qualidade. A técnica não invasiva Biospeckle Laser (BSL) é promissora para analisar atividade biológica e as alterações decorrentes desta em substituição aos métodos tradicionais destrutivos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar se o método BSL é capaz de caracterizar diferentes estágios de maturação da banana. Foram analisados, ao longo do processo de maturação, os dados de BSL através do método numérico Average Value of Difference (AVD), pH, Sólidos Solúveis Totais (SST), Firmeza, Acidez Total Titulável (ATT), Flavor (SST/ATT), Respiração (produção de CO₂) e Índice de Escurecimento para 7 estágios de maturação. O método de BSL permite diferenciar estágios de maturação de frutos, todavia não foi possível a correlação destes dados com os parâmetros de maturação de forma individual.

PALAVRAS-CHAVE: banana nanica, speckle laser, análise de imagens, BSL.

CHARACTERIZATION OF MATURATION STAGES OF BANANAS BY TRADITIONAL METHODS AND BIOSPECKLE LASER

ABSTRACT: Many physicochemical transformations occur during ripening of climacteric fruits, causing quality changes. The non-invasive technique Biospeckle Laser (BSL) is promising to analyze biological activity and its characterization in place of traditional destructive methods. Therefore, the objective of this work was to verify if BSL method is capable to characterize different stage of banana maturation. Throughout the maturation process, we analyzed the BSL data using the numerical method Average Value of Difference (AVD), pH, Total Soluble Solids (TS), Texture, Total Titratable Acidity (TA), Flavor (TS/TA), Respiration (CO₂ production) and Browning Index for 7 stages of maturation. BSL method allows differentiation of maturation stages of fruits, however, it was not possible to correlate data with maturation parameters individually.

KEYWORDS: dwarf banana, speckle laser, image analysis, BSL.

INTRODUÇÃO: A banana é um fruto climatérico e passa por diversas alterações físico-químicas a medida em amadurece sendo perfeita para avaliar os métodos que diferenciam estágios de maturação.

O estudo da maturação objetiva justamente determinar, para cada espécie, como e quando ela é atingida. Os testes destrutivos para determinação dos índices de maturidade

(como firmeza da polpa, pH, Acidez Total Titulável (ATT) e Sólidos Solúveis Totais (SST)) são onerosos, desta forma, a substituição por métodos não invasivos e rápidos gera um ganho de produtividade. O Biospeckle Laser (BSL), se apresenta como uma técnica barata e simples, e vem sendo usado na determinação de atividade biológica como predição de viabilidade em sementes, detecção de danos em frutos e associado com índices de maturidade (ADAMIAK et al., 2012; BRAGA et al., 2003; PIECZYWEK et al., 2018).

A técnica de Biospeckle Laser (BSL) para produtos agrícolas proporciona a obtenção de informações importantes em relação à atividade celular. Esta atividade ocasiona o movimento de moléculas e estruturas microscópicas que causam o padrão de interferência conhecido como speckle dinâmico, que pode ser explorado para medir mudanças no funcionamento biológico de células e tecidos, a exemplo das mudanças fisiológicas que ocorrem no processo de maturação de frutos (CARDOSO et al., 2011).

Considerando o BSL um método promissor para o desenvolvimento de técnicas não destrutivas, o objetivo deste trabalho é diferenciar os estágios de maturação da banana inteira com casca através do BSL e comparar com as caracterizações físico-químicas tradicionais.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram avaliadas amostras de banana nanica (*Musa acuminata*), 20 para cada estágio de maturidade, adquiridas nos estágios iniciais de maturação e deixadas em temperatura 25°C para chegarem aos 7 estágios de maturação definidos pelo USDA (2004) e pela escala de maturação de VON LOESECKE (1950). Os estágios foram classificados visualmente em 7 subgrupos: 1= verde; 2 = verde claro; 3 – verde amarelado; 4 - amarelo esverdeado; 5 - amarelo com manchas verdes; 6 - amarelo e 7 - amarelo com pintas marrons.



FIGURA 1. Escala de Maturação de VON LOESECKE (1950).

A obtenção das imagens do *laser*, foi realizada com uma câmera *Samsung Galaxy Camera 2* em forma de filme para posterior extração dos *frames* necessários para análise da imagem por métodos numéricos, como Valor Médio das Diferenças de intensidade luminosa (*Average Value of Difference – AVD*) (BRAGA JUNIOR et al., 2016). O *laser* utilizado foi do tipo emissor de ponto com comprimento de onda de 638 nm, potência 05 mW. O esquema experimental utilizado encontra-se em Figura 2.

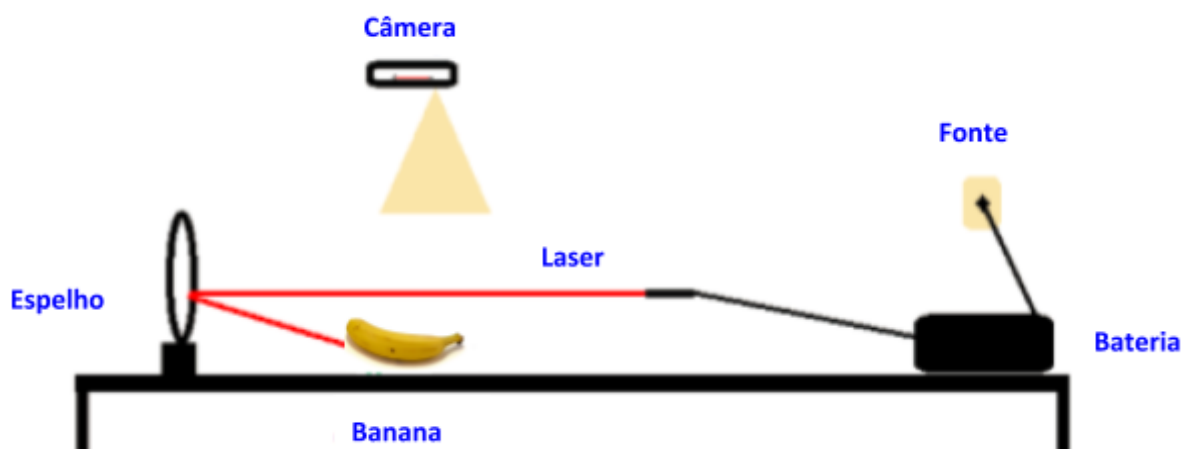


FIGURA 2: Configuração experimental do Biospeckle (adaptado de BETIN et al., 2018).

Para a análise da cor, foi utilizado o Espectrofotômetro Konica Minolta modelo CM-700d, obtendo os parâmetros L, a, e b. Para cada amostra foram realizadas 3 medições de cor e calculado, conforme PALOU *et al.* (1999), o índice de escurecimento (IE) (equação 1 e 2). Vale destacar que as análises de cor, Biospeckle e respiração foram realizadas com as bananas com casca.

$$IE = \frac{[100 * (X - 0,31)]}{0,172} \quad (1)$$

$$X = \frac{(a + 1,75L)}{(5,645L + a - 3,02b)} \quad (2)$$

em que,

L: luminosidade (0 = preto, 100 = branco);

a: coordenada de croma (-a = verde, +a = vermelho);

b: coordenada de croma (-b = azul e +b = amarelo).

Após a captura das imagens e análise de cor, as bananas passaram pelos testes físico-químicos tradicionais como Firmeza, SST, ATT, pH e respiração.

Foram reservadas 10 bananas de cada estágio para as medições de taxa respiratória (mg CO₂/Kg h) utilizando-se um analisador de composição gasosa (CO₂ e O₂) Pac Check 325 da marca MOCON. Cada banana foi colocada em um recipiente hermético de vidro e acondicionadas em geladeira a 10 °C por 30 minutos, sendo obtidas as % de CO₂ após esse período, e calculadas as taxas conforme a equação 3.

$$P_{CO_2} = \frac{\%CO_2}{100} * \frac{V_{vazios}}{m_{produto}} * \frac{1,98}{t} \quad (3)$$

em que,

%CO₂: Produção de CO₂ pelo produto em %;

V_{vazios}: Volume de vazios no recipiente, em mL;

1,98 [mg/ml]: Conversor de ml CO₂ para mgCO₂ nas CNTP;

m_{produto}: Massa de produto no recipiente, em kg;

t [h]: Tempo em que os recipientes ficaram fechados.

Para determinação da Firmeza, foi utilizada a máquina universal de ensaios Texture Analyser TA500 da marca Lloyd Instruments com acurácia de 0,5%. A banana foi descascada e fatiada em dimensões de 3 a 4cm, e realizada 2 repetições por banana. A tensão máxima em N, usada como medida de firmeza, foi registrada através de uma célula de carga de 50 kgf e registrada pelo programa Nexygen®.

Em seguida, o material foi triturado e o pH do material puro foi registrado. Para obtenção de SST, foi utilizado um refratômetro da marca ATAGO de mão, modelo ATC-1, com resultados expressos em °Brix.

A análise de ATT, foi feita através da pesagem de 10g do material triturado com NaOH (0,01N) em um Becker com 90mL de água destilada e os cálculos realizados a partir da equação 4, a seguir, conforme CARVALHO *et al.* (1990).

$$ATT_{(g/100g)} = \frac{n * N * Eq}{10 * p} \quad (4)$$

em que,

n: volume da solução de hidróxido de sódio gastos na titulação em mL;

N: normalidade da solução de hidróxido de sódio;

Eq: equivalente-grama do ácido;
p: massa da amostra em gramas.

Para análise de imagens, utilizamos o pacote BSLTL do Octave® para obter o valor de Average Value of Difference (AVD) (ANSARI; NIRALA, 2013; BRAGA JUNIOR; RIVERA; MOREIRA, 2016).

Na análise dos resultados foram aplicados testes de ANOVA e Tukey para comparação das médias, incluindo testes de regressão com dados sobre os métodos tradicionais e BSL através do Sisvar® .

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Dentre os parâmetros físico-químicos avaliados, o pH obteve valores médios variando entre 4,57 e 5,18 (Figura 1-A), tendo o estágio 1 os maiores valores de pH, decrescendo até o estágio 4 e aumentando até o último estágio, comportamento semelhante foi observado por DITCHFIELD & TADINI (2002) avaliando a banana em 8 estádios de maturação, com pH variando de 4,494 a 5,317.

Os valores de SST em °Brix (Figura 1-B) foram crescentes, com valores médios de 6,5 e 21,36 °Brix para os estágios 1 e 7, respectivamente, indicando aumento na quantidade de açúcares conforme a maturação, conforme observado também por NASCIMENTO JUNIOR et al. (2008) na avaliação das cultivares Prata e Nanicao.

A ATT por sua vez (Figura 1-C), iniciou com valores mais baixos de 0,258g de ácido málico/100g de polpa, aumentando até o estágio 4 com 0,502 e decrescendo nos estágios seguinte. Segundo BLEINROTH (1992), a banana apresenta menores valores de acidez quando não madura (casca verde), esses valores passam a aumentar conforme a maturação, atingindo valores máximos quando madura (casca amarela), e depois volta a decrescer.

Ao longo do processo de amadurecimento a relação SST/ATT aumentou (Figura 1-D), variando de 24,111 a 67,765. Essa relação açúcar/ácido, também conhecida como Flavor, é responsável pelo sabor, e quanto maior seu valor mais doce e agradável o produto é ao paladar (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A cor da casca, avaliada pelo índice de escurecimento (Figura 1-E) teve relação inversamente proporcional a firmeza das frutas (Figura 1-F), pois conforme o amadurecimento (amarelamento e por fim aparecimentos de manchas pretas) a banana foi se tornando mais “mole”, tendo menor resistência ao ensaio de penetração, fato também observado por NASCIMENTO JUNIOR et al. (2008) para banana prata e nanicao. Segundo DITCHFIELD & TADINI (2002), a firmeza é o melhor parâmetro para determinar o estágio de maturação da banana, seguido da razão SST/ATT (Flavor).

A respiração após a colheita se torna o principal processo fisiológico do fruto, promovendo a transformação de compostos orgânicos em água e dióxido de carbono com a produção de energia química, que será utilizada para a produção de outros compostos necessários ao seu amadurecimento (SIQUEIRA, 2014).

A banana, por ser um fruto climatérico, apresenta picos na atividade respiratória devido ao etileno (hormônio vegetal que estimula o amadurecimento em frutos climatéricos), que marca o início do amadurecimento, como o pico no estágio 3 em Figura 1-G. A manifestação de etileno representa um estímulo, que impulsiona rapidamente as modificações que resultam nas transformações físico química da banana, que remetem nas principais características para o consumidor, como sabor, aroma do fruto e cor (NASCIMENTO JUNIOR, 2008; CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Dentre essas modificações, encontram-se, segundo CHITARRA & CHITARRA (1984): aumento de taxa respiratória, aumento na produção de etileno, aumento na concentração de açúcares (aumento de SST, conforme Figura 1-B), degradação de pigmentos (alteração na cor, conforme Figura 1-E), aumento na concentração de fenólicos e ácidos,

produção de voláteis, variações nos teores de enzimas, vitaminas, minerais e mudanças na permeabilidade dos tecidos (alteração na firmeza, como observado em Figura 1-F) entre outros.

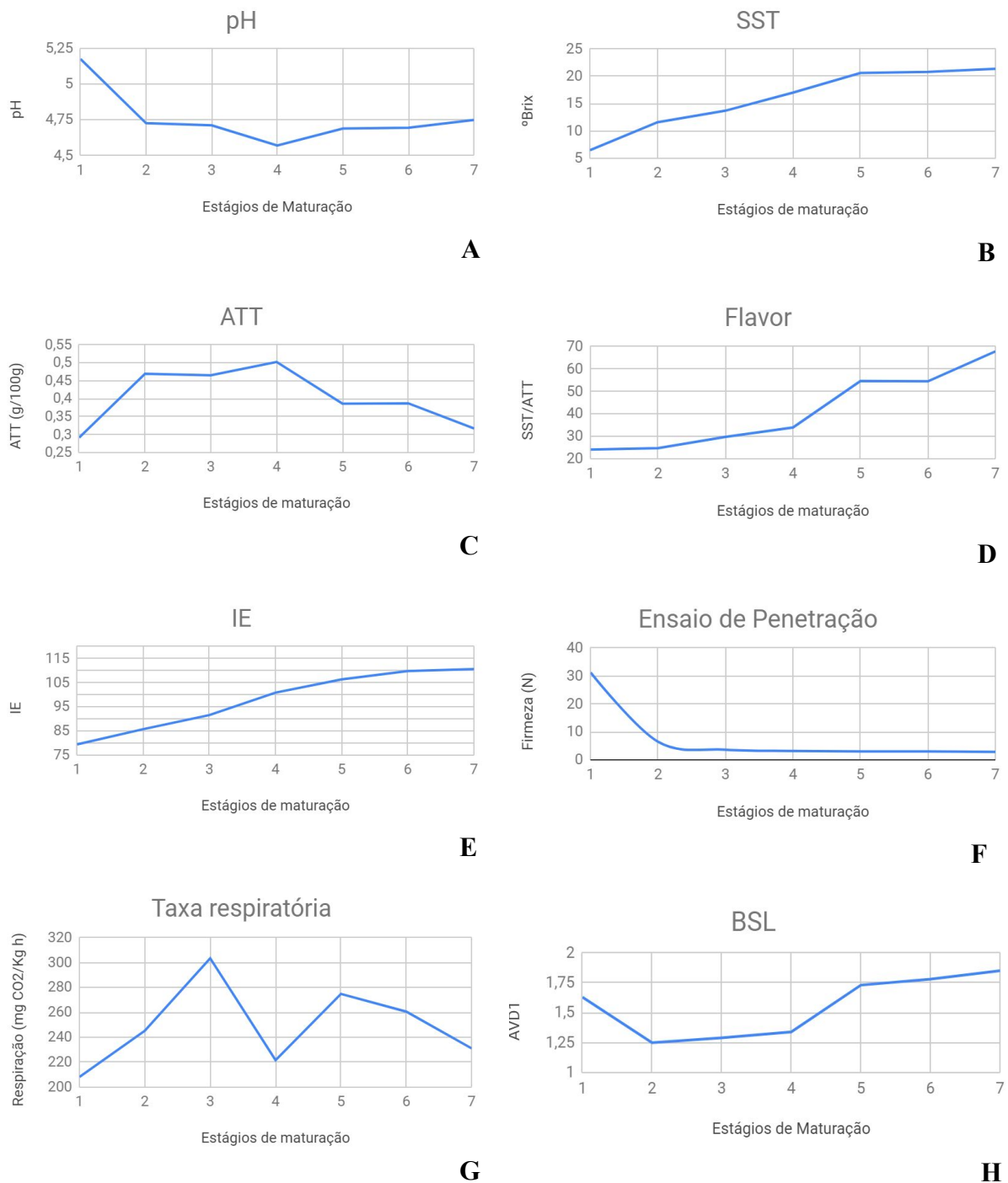


FIGURA 1. Resultados de pH (A), Sólidos Solúveis Totais (B), Acidez Total Titulável (C), relação SST/ATT (D), Índice de Escurecimento (E), Resistência a Penetração (F), Respiração (G) e AVD1 (H) em diferentes estágios de maturação.

Os resultados de BSL, medidos pelo método AVD1 (Figura 1-H), mostraram diferenciação dos estágios de maturidade em pelo menos 2 grupos enquanto outros parâmetros

de maturação como SST, Flavor e Firmeza foram melhor diferenciados entre os 7 estágios (Tabela 1).

TABELA 1: Resultados de Sólidos Solúveis Totais (SST), Flavor, Firmeza, Average Value of Differences (AVD1) para os estágios de maturação.

ESTÁGIOS	SST	FLAVOR	FIRMEZA	AVD1
1	6,5 (a) (0,103)	24,11 (a) (0,294)	31,22 (a) (0,116)	1,63 (b) (0,163)
2	11,6 (b) (0,109)	24,74 (a) (0,101)	5,85 (b) (0,451)	1,25 (a) (0,206)
3	13,7 (c) (0,049)	29,76 (a) (0,121)	3,51 (c) (0,228)	1,29 (b) (0,212)
4	17 (d) (0,062)	33,95 (a) (0,077)	3,02 (c) (0,276)	1,340647 (b) (0,304)
5	20,6 (e) (0,043)	54,62 (b) (0,163)	2,80 (c) (0,212)	1,73 (a) (0,286)
6	20,8 (e) (0,030)	54,46 (b) (0,120)	3,49 (c) (0,192)	1,78 (b) (0,146)
7	21,36 (e) (0,022)	67,77 (c) (0,073)	2,95 (c) (0,228)	1,85 (b) (0,136)

* Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação e as letras indicam as médias.

A técnica de BSL permite correlacionar os parâmetros de maturidade em condições específicas, porém o uso do laser a 638 nm em bananas com casca não permitiu diferenciar todos os estágios de maturação e nem correlacionar com os diversos parâmetros de maturidade.

Em estudos anteriores a este, a atividade de Biospeckle foi calculada usando cálculos diferentes do AVD, e mostraram alta correlação dos parâmetros de maturidade ATT e SST com o parâmetro Atividade de Biospeckle em maçãs pré-colheita (SZYMANSKA-CHARGOT; ADAMIAK; ZDUNEK, 2012). A técnica de BSL se mostrou promissora para prever índices de maturidade em tomates, mas a performance do Biospeckle apresentou variações para diferentes comprimentos de onda do laser e para variedades de tomate diferentes, indicando que a técnica é muito sensível ao produto e ao laser usado (PIECZYWEK et al., 2018b).

Em outro estudo com cenouras, foi possível correlacionar a respiração com os dados de BSL usando filtros de frequências dos dados, assim foi possível separar as variáveis desejáveis das não desejáveis (ALVES et al., 2013). Desta forma, podemos concluir que a técnica de BSL permite correlacionar os parâmetros de maturidade em condições específicas e que o uso do laser a 638 nm em bananas com casca não permite diferenciar todos os estágios de maturação e nem correlacionar os diversos parâmetros de maturidade.

Além disso, trabalhos em banana sem a casca conseguiram identificar injúrias por frio (HASHIM et al., 2013). Em estudos sobre o fenômeno de speckle laser, dependendo do material, a profundidade de penetração do *laser* permite leituras do BSL até 5mm, quanto mais profundo maior os fenômenos de dispersão e de absorção que diminuem a sensibilidade da leitura dos efeitos de speckle (RAJAN et al., 2008). Sendo assim, seriam necessários testes sem a casca para verificar se a mesma também afeta a penetração do *laser* e as informações obtidas quanto a maturação, não permitindo assim a diferenciação de todos os estágios.

A regressão do AVD1 com pH nos deu resultado de $R^2 = 1\%$ linear e 7% quadrática ($P = 0,5413$) e AVD1 com ATT, resultado de $R^2 = 20\%$ linear e 23% quadrática ($P = 0,2723$), portanto não observamos a correlação entre os parâmetros de maturidade com o BSL.

CONCLUSÕES: O método de BSL permite diferenciar os estágios de maturação, e por ser um método sensível, pode sofrer interferências dependendo do tipo de laser e das características do tecido avaliado. A correlação destes dados com os parâmetros de maturação individualmente não foi observada.

REFERÊNCIAS:

BETIN, P. S. et al. **Avaliação do fruto da goiabeira em diferentes estádios de maturação através de métodos tradicionais e biospeckle.** XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 2018.

BLEINROTH, E. W. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais** (I. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Ed.) Campinas, SP, 1992.

BRAGA, R. A. et al. Assessment of Seed Viability by Laser Speckle Techniques. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 3, p. 287–294, 2003.

BRAGA JUNIOR, et al. **A Practical Guide to Biospeckle Laser Analysis.** 1. ed. Lavras: [s.n.] 2016.

CARDOSO, R. R. et al. **Frequency signature of water activity by biospeckle laser.** Optics Communications, v. 284, n. 8, p. 2131–2136, 2011.

CARVALHO, C.R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAES, R.M.M. **Análises químicas de alimentos.** Campinas: ITAL, 1990. 121p.

CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F. **Manejo pós-colheita e amadurecimento comercial de banana.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 19, n. 6, p. 761-71, 1984.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças - fisiologia e manuseio.** 2. ed. Lavras, MG: 2005.

DITCHFIELD, C.; TADINI, C. C. **Acompanhamento do processo de amadurecimento da banana nanicão (*Musa cavendishii* Lamb.).** XVIII Congresso Brasileiro De Ciência E Tecnologia De Alimentos, p. 1–4, 2002.

HASHIM, N. et al. **An approach for monitoring the chilling injury appearance in bananas by means of backscattering imaging.** 2013.

NASCIMENTO JUNIOR, B. B. et al. **Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicão ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis.** Ciência e Tecnologia de Alimentos. Food Sci. Technol, Campinas, v. 28, n. 3, p. 649–658, 2008.

NASCIMENTO JUNIOR, B. B. **Estudo Químico de bananas *Musa spp* ap longo do amadurecimento.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

PALOU, E. et al. **Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree.** Journal of Food Science, v. 64, n. 1, p. 42-45, 1999.

PIECZYWEK, P. et al. **Postharvest Monitoring of Tomato Ripening Using the Dynamic Laser Speckle.** Sensors, v. 18, n. 4, p. 1093, 4 abr. 2018a.

PIECZYWEK, P. M. et al. **Postharvest Monitoring of Tomato Ripening Using the**

Dynamic Laser Speckle. p. 1–20, 2018b.

RAJAN, V. et al. **Influence of tissue optical properties on laser Doppler perfusion imaging, accounting for photon penetration depth and the laser speckle phenomenon.** Journal of Biomedical Optics, 2008.

SIQUEIRA M. S. B. **Caracterização da Qualidade de Banana Prata-anã Armazenada em Diferentes Condições de Atmosfera Controlada.** Universidade Estadual do Norte Fluminense. Rio de Janeiro, 2014.

SZYMANSKA-CHARGOT, M.; ADAMIAK, A.; ZDUNEK, A. **Pre-harvest monitoring of apple fruits development with the use of biospeckle method.** Scientia Horticulturae, v. 145, p. 23–28, 2012.

USDA. **Market Inspection Instructions Market Inspection Instructions for Bananas,** 2004.

VON LOESECKE, H. **Bananas.** 2nd ed. New York: InterScience, 1950.