



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

EDUARDO FELIPE DA SILVA SANTOS

**GRADIENTES DE MUDANÇAS FISIOLÓGICAS NA MATURAÇÃO,
COMPOSTOS BIOATIVOS E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA EM
ABACAXI 'PEROLA' PARCIALMENTE RECOBERTOS**

AREIA
2022

EDUARDO FELIPE DA SILVA SANTOS

**GRADIENTES DE MUDANÇAS FISIOLÓGICAS NA MATURAÇÃO,
COMPOSTOS BIOATIVOS E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA EM
ABACAXI 'PEROLA' PARCIALMENTE RECOBERTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba como exigência para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**, área de concentração Agricultura Tropical

Sob a orientação da professora

SILVANDA DE MELO SILVA

AREIA

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237g Santos, Eduardo Felipe da Silva.

Gradientes de mudanças fisiológicas na maturação, compostos bioativos e conservação pós-colheita em abacaxi 'perola' parcialmente recobertos / Eduardo Felipe da Silva Santos. - Areia:UFPB/CCA, 2022.
68 f. : il.

Orientação: Silvanda de Melo Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Fisiologia da maturação. 3. Gradiente de maturação. 4. Qualidade de fruto. 5. Recobrimento biodegradáveis. 6. . I. Silva, Silvanda de Melo. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.3)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: GRADIENTES DE MUDANÇAS FISIOLÓGICAS NA MATURAÇÃO,
COMPOSTOS BIOATIVOS E CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA EM
ABACAXI 'PEROLA' PARCIALMENTE RECOBERTOS**

AUTOR: EDUARDO FELIPE DA SILVA SANTOS

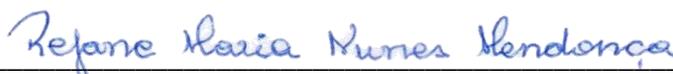
Aprovado como parte das exigências para a obtenção de título de Mestre em agronomia
(Agricultura Tropical) pela comissão organizadora:



Prof. Dra. Silvanda de Melo Silva
Orientadora
PPGA/CCA/UFPB

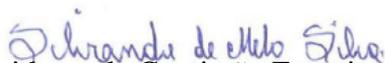


Prof. Dr. Renato Lima Dantas
Examinadora
FACENE



Prof. Dra. Rejane Maria Nunes Mendonça
Examinadora
PPGA/CCA/UFPB

Data da realização: 31 de agosto de 2020



Presidente da Comissão Examinadora
Silvanda de Melo Silva, Ph.D.

Orientadora

*Aos meus pais, **Antônio José dos Santos e Maria Vera Lucia da Silva**, pelo amor incondicional e por serem os pilares que mantiveram firme minha caminhada em busca desse sonho.*

*Aos meus irmãos, **Leonardo da Silva Santos, Lucivânia da Silva Santos e Jucineide da Silva Santos**, pelo apoio, companheirismo e carinho.*

*A minha esposa, **Tatiana**, e minha filha, **Maria Alice** pelo amor, paciência e dedicação*

*As minhas amadas sobrinhas, **Maria Clara e Clarice Isabelly**, que tem feito meus dias mais felizes.*

Dedico!

Agradeço

À Deus, pelo dom da vida, por me sustentar a cada dia, por guiar e me segurar para a superação dos obstáculos da vida.

Aos meus Pais, pela minha formação pessoal, apoio constante e compreensão nos momentos que me fiz ausente.

*A professora **Silvanda de Melo Silva**, por ser para mim um exemplo de profissional, pela orientação, compreensão e atenção a mim dispensada, enfim, por todo apoio nesse período que estive no LBTPC.*

*À equipe e amigos do LBTPC (**Renato Pereira, Fernando, Dona Rosane, George Henrique, Vanda Maria, Alex Sandro Bezerra, Ricardo, Mariane, Bruno, Jardel, Saulo, Kagiane, Paula, Pricila**), pelos momentos compartilhados e todo apoio durante esse tempo de convivência.*

*Ao professor **Renato Dantas** e a professora **Rejane**, pelas correções e valiosas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.*

*Aos grandes amigos **Joãozinh, Jose Lourivaldo, jardel e Alex** por sua amizade e ajuda na aquisição das infrutescências*

A todos, que mesmo em pensamento torceram por mim ...

Meu muito obrigado!

SANTOS, E. F. S. **Gradientes de mudanças fisiológicas na maturação, compostos bioativos e conservação pós-colheita em abacaxi ‘Perola’ parcialmente recobertos.** Areia, 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Orientador: Prof. Ph.D. Silvanda de Melo Silva, PhD.

RESUMO

O abacaxi é uma infrutescência formada pela coalescência de frutinhos com o eixo central do pedúnculo, que possuem idades fisiológicas diferentes ao longo do eixo ocasionando heterogeneidade na maturação e na qualidade, dificultando o emprego de tecnologias pós-colheita para prolongar o armazenamento. Com base no exposto, este trabalho foi realizado em dois experimentos. No Experimento I, infrutescências do abacaxizeiro ‘Pérola’ foram colhidas em três estádios de maturação (verde, verde-amarela e totalmente amarela) e avaliados em três seções (base, meio e ápice) quanto ao consumo de O₂, produção de CO₂, coloração, firmeza, sólidos solúveis, acidez titulável, açúcares redutores, não redutores e totais, ácido ascórbico, flavonoides amarelos, carotenoides totais, polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante. Cada seção de frutinhos apresenta diferente atividade respiratória, sendo maior na base, declinando na direção apical do fruto, todas apresentando, no entanto, comportamento não-climatérico típico. As mudanças na respiração e a diferente idade fisiológica dos frutinhos ocasionam mudanças em gradiente nos atributos físicos e físico-químicos da polpa. O Experimento II, teve como objetivo estudar os efeitos na qualidade e manutenção da vida útil pela aplicação de recobrimento biodegradável em diferentes seções dos abacaxis ‘Perola’ durante o armazenamento ao ambiente (24±3°C e 85±5% UR). Os abacaxis receberam recobrimento de fécula de mandioca (2,2%) e quitosana (0,3%), com total de 2,5%, em 1/3, 2/3 e 3/3 do fruto e sem recobrimento (Controle), e armazenados durante 20 dias, e avaliados a cada 4 dias, em 4 repetições. Os abacaxis foram submetidos a análises físicas, físico-químicas e compostos bioativos. Os abacaxis recobertos parcialmente em 1/3 e 2/3 da superfície apresentaram redução na taxa respiratória, atraso no desenvolvimento da coloração amarela e mantiveram a firmeza elevada por mais tempo. A aplicação parcial também manteve os teores de sólidos solúveis e a maior relação SS/AT propiciando frutos mais saborosos, além de manterem os teores de ácido ascórbico e de flavonoides amarelos mais elevados e menores teores de fenólicos extraíveis totais, indicando que estes mantiveram a qualidade sem conferir aumento nos estresses oxidativos dos abacaxis. Em conjunto, o recobrimento parcial de 1/3 e 2/3 do abacaxi com fécula de mandioca e quitosana foi mais efetivo em manter a qualidade e prolongam a vida útil de abacaxi ‘Perola’ do que quando este foi totalmente recoberto.

Palavras – chave: fisiologia da maturação; gradiente de maturação; qualidade de fruto; recobrimento parcial; compostos bioativos; qualidade sensorial.

SANTOS, E. F. S. **Gradients of physiological changes during maturation, bioactive compounds and postharvest storage in partially coated 'Perola' pineapple.** Areia, 2020. Dissertation (Agronomy Master in Science). Center of Agrarian Sciences, Universidade Federal da Paraíba. Advisor: Prof. Silvanda de Melo Silva, PhD.

ABSTRACT

Pineapple is an infructescence formed by the coalescence of fruitlets with the central axis of the peduncle, which have different physiological ages along the axis, causing heterogeneity in maturation and quality, making it difficult to use postharvest technologies to prolong storage. In the Experiment I, 'Pérola' pineapple infructescences were harvested at three maturity stages (green, yellow-green and totally yellow) and evaluated in three sections (base, middle and apex) for O₂ consumption, CO₂ production, color, firmness, soluble solids, titratable acidity, reducing, non-reducing and total sugars, ascorbic acid, yellow flavonoids, total carotenoids, total extractable polyphenols and antioxidant activity. Each fruitlet section had different respiratory activity, which was greater at the base, declining in the apical direction of the fruit, all showing, however, a typical non-climacteric behavior. Changes in respiration and these different physiological ages of the fruitlets produced gradual changes in the physical and physicochemical attributes of the pulp. Experiment II aimed to study the effects on the quality and maintenance of the useful postharvest life by applying a biodegradable coating to different 'Perola' pineapple sections during storage under room conditions (24±3°C and 85±5% RH). Pineapples were coated with cassava starch (2.2%) and chitosan (0.3%), with a total of 2.5%, in 1/3, 2/3 and 3/3 of the fruit and without coating (Control), and stored for 20 days, and evaluated every 4 days, in 4 replications. Pineapples were subjected to physical, physicochemical and bioactive compounds analysis. Pineapples partially coated on 1/3 and 2/3 of the surface showed a reduction in respiratory rate, delay in the development of yellow color and maintained high firmness for a longer time. The partial coating application also maintained the soluble solids contents and the highest SS/AT ratio, providing tastier fruits, in addition to maintaining higher ascorbic acid and yellow flavonoid contents and lower levels of total extractable phenolics, indicating that pineapples maintained their quality without conferring an increase in the oxidative stress. Together, the partial coating of 1/3 and 2/3 of the pineapple with cassava starch and chitosan was more effective in maintaining the quality and prolonging the postharvest life of 'Perola' pineapple than when it was fully coated.

Keywords: maturation physiology; maturation gradient; partial coating; fruit quality; bioactive compounds; sensory quality.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Fig. 1. Seccionamento Transversal do fruto do abacaxi (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) e modelo gráfico das capsulas utilizada na captura dos gases liberados pelo fruto para quantificar o consumo de oxigênio e a liberação de dióxido de carbono.....24

Fig. 2. Percentual de Liberação de dióxido de carbono-CO₂ (A) e consumo de oxigênio-O₂ (B) de abacaxi ‘Pérola’ em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) avaliados durante 12 dias em temperatura ambiente (24±3°C e 85±5°C UR). Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4).....28

Fig. 3. Parâmetro de Luminosidade (L), Chroma, Ângulo hue e Índice de cor avaliados em frutos de abacaxi cv. ‘Pérola’ seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4).....29

Fig. 4. Sólidos solúveis (SS), Acidez Titulável (TA), relação SS/TA e Firmeza avaliados em frutos de abacaxi cv. ‘Pérola’ seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4).....30

Fig. 5. Açúcares Redutores (RS), Açúcar Não-redutores (NRS) e Açúcar solúveis totais (TSS) avaliados em frutos de abacaxi cv. ‘Pérola’ seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4).....31

Fig. 6. Flavonoides Amarelos (L), Ácido Ascórbico (AA) e Carotenoides Totais (TC) avaliados em frutos de abacaxi cv. ‘Pérola’ seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4).....32

Fig. 7. Polifenóis Extraíveis Totais (TEP) e atividade antioxidante pelo radical liver ABTS. + avaliados em frutos de abacaxi cv. 'Pérola' seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4)33

ARTIGO II

Figura 1. Aplicação do recobrimento biodegradável em abacaxi cv. 'Pérola'. Frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C UR}$) durante 20 dias.....50

Figura 2. Efeito da aplicação de tratamento com recobrimento no amadurecimento de frutos de abacaxi cv. 'Pérola'. Fotografia (A) frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias a temperatura ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C UR}$) durante 20 dias. Controle: tratamento de água. Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4).....53

Figura 3. Efeito da aplicação de tratamento com recobrimento em diferentes seções transversais na variação de cor (ΔE) e firmeza durante armazenamento de frutos de abacaxi cv. 'Pérola'. Frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C UR}$) durante 20 dias. Controle: tratamento de água. Cada ponto de dados representa a média ± Desvio padrão (n = 4).....54

Figura 4. Efeito da aplicação de tratamento com recobrimento em diferentes seções transversais na Taxa respiratória (A) e perda de massa (B) durante armazenamento de

frutos de abacaxi cv. 'Pérola'. Frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias a temperatura ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ UR) durante 20 dias. Controle: tratamento de água. Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4).....55

Figura 5. Efeito da aplicação de recobrimento em diferentes seções transversais na Acidez titulável (A), sólidos solúveis totais (B) e relação TSS/TA (C) durante armazenamento de frutos de abacaxi cv. 'Pérola'. Frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias a temperatura ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ UR) durante 20 dias. Controle: tratamento de água. Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4).....57

Figure 6. Efeito da aplicação de recobrimento em seções transversais na ácido ascórbico (A) e flavonoides amarelo (B) durante armazenamento de frutos de abacaxi cv. 'Pérola'. Frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias a temperatura ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ UR) durante 20 dias. Controle: tratamento de água. Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4)58

Figura 7. Efeito da aplicação de recobrimento em diferentes seções transversais no conteúdo de polifenóis extraíveis totais (TEP) durante armazenamento de frutos de abacaxi cv. 'Pérola'. Frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias a temperatura ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C}$ UR) durante 20 dias. Controle: tratamento de água. Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4)59

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL 12

REFERÊNCIAS.....	14
ARTIGO I	18
Gradiente transversal de mudanças fisiológicas e de qualidade durante a maturação de abacaxi (Ananas comosus (L.) Merr.) cv. ‘Perola’	18
RESUMO.....	19
1. Introdução	20
2. Material e Métodos.....	21
2.1. <i>Material Vegetal e seccionamento das Infrutescências.....</i>	21
2.2. <i>Consumo de oxigênio (O₂) e Liberação de dióxido de carbono (CO₂)</i>	22
2.3. <i>Luminosidade, angulo hue, croma e índice de cor</i>	23
2.4. <i>Firmeza, Sólidos solúveis, acidez titulável e relação TSS/TA</i>	23
2.5. <i>Açucares redutores, não redutores e açucares solúveis totais</i>	23
2.6. <i>Compostos Bioativos.....</i>	24
2.7. <i>Polifenóis extraíveis totais e Atividade antioxidante</i>	25
2.8. <i>Análise estatística</i>	26
3. Resultados.....	26
3.1. <i>Consumo de oxigênio e Liberação de dióxido de carbono.....</i>	26
3.2. <i>Luminosidade, angulo hue, croma e índice de cor</i>	27
3.3. <i>Firmeza, Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/TA</i>	28
3.4. <i>Açucares redutores, não redutores e açucares solúveis totais</i>	29
3.5. <i>Compostos Bioativos.....</i>	30
3.6. <i>Polifenóis extraíveis totais e Atividade antioxidante</i>	31
4. Discussão.....	32
5. Conclusão	37
6. Referências	37

ARTIGO II.....	43
Influência da aplicação de recobrimentos biodegradáveis em gradiente na qualidade, potencial funcional e conservação de abacaxi ‘Pérola’	43
RESUMO.....	44
1. Introdução	45
2. Material e Métodos	47
2.1. Preparação dos recobrimentos biodegradáveis	47
2.2. Material Vegetal	47
2.3. Avaliação da Taxa Respiratória.....	48
2.4. Firmeza, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/TA	49
2.5. Compostos Bioativos	49
2.6. Polifenóis extraíveis totais e Atividade antioxidante	50
2.7. Análise estatística	50
3. Resultados.....	50
4. Discussão.....	57
5. Conclusão	61
6. Referências	62

INTRODUÇÃO GERAL

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* vr. *Comosus*) é uma planta tropical, monocotiledônea, perene considerada a principal espécie da família Bromeliaceae, do gênero *Ananas*, com centro de origem na região Amazônica (Sampaio et al., 2011; Noronha, et al., 2016). Esta cultura é considerada uma das mais importantes frutíferas das regiões tropicais e subtropicais, sendo a terceira mais produzida no mundo, atrás apenas pela banana e os citros (Nadzirah et al., 2013), isso devido à alta expansão comercial no mercado mundial nos últimos anos (Noronha, et al., 2016).

O abacaxi tem como principais países produtores Brasil, Tailândia, Filipinas, Costa Rica, Índia e Indonésia (FAOSTAT, 2019). O Brasil foi considerado em 2019 o segundo maior produtor de abacaxi, com uma área plantada de 68.618 hectares, produzindo cerca de 21,06 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da Costa Rica (FAOSTAT, 2019), sendo as principais regiões brasileiras produtoras o Nordeste, Sudeste e Norte. Em 2020 o Estado da Paraíba produziu 272,2 milhões frutos (IBGE, 2020). As principais variedades cultivadas no país são o ‘Pérola’ ou Branco de Pernambuco, Smooth Cayenne’ e ‘Jupi’, nesta ordem, além do ‘Gold’ (Dantas et al., 2015). Com o objetivo de obter variedades resistentes à fusariose, com frutos de boa qualidade, o Programa de Melhoramento Genético do Abacaxizeiro da Embrapa Mandioca e Fruticultura em lançando novas cultivares, a exemplo da ‘BRS Imperial’’, ‘BRS Vitória’, ‘BRS Arujá’ e outros híbridos (Andrade et al., 2015).

Cerca de 70% do abacaxi produzido é consumido como fruta fresca nos países produtores (Tassew, 2014). No Brasil, as variedades de maior importância econômica são a ‘Pérola’ para o consumo fresco interno e a ‘Smooth Cayenne’ na indústria, (Andrade et al., 2015; Hounhouigan et al., 2014; Martins et al., 2013; Sanches et al., 2016). Neste contexto, o abacaxi ‘Pérola’ é o mais cultivado no Estado da Paraíba, devido a sua maior resistência a pragas e doenças, boa produtividade, melhor aceitação sensorial e melhor adaptação as condições climáticas da região (Hassan e Othman, 2011; Meletti et al., 2011; Noronha et al., 2016).

A maturação da infrutescência é determinada com base em dois aspectos distintos: na maturação aparente, referente à coloração da casca, e a real, que leva em consideração as características físico-químicas que são responsáveis pelas mudanças físicas e sensoriais (Lobo e Yahia, 2017; Steingass et al., 2015). Entretanto, assim como na maioria das frutíferas o momento adequado para a colheita do abacaxi ainda é uma questão bastante

complexa, devido ser uma infrutescência comprida, formada em espiral, da base para o ápice, composta por 100 a 200 frutos individuais, denominados de frutinhos (Cunha e Cabral, 1999; Guimarães et al., 2017; Giacomelli, 1981).

Nesse contexto, devido à anatomia do abacaxi, os frutinhos da parte inferior da infrutescência têm idade fisiológica maior que os da parte média e superior (Coppens d'Eeckenbrugge e Leal, 2003). Durante o processo de maturação o abacaxi não apresenta aumento na produção de etileno, uma vez que é um fruto de padrão respiratório não climatérico (Cherian et al., 2014; Li et al. 2016). Esta infrutescência é muito perecível, com elevados níveis de perdas pós-colheita, necessitando de manuseio cuidadoso na colheita e aplicação de tecnologias adequadas (Paliyath et al., 2009).

A infrutescência do abacaxizeiro sofre diversas transformações, durante a maturação dos frutinhos, com mudanças acentuadas nas características físicas e físico-químicas (Hajar et al., 2012; Nadzirah et al., 2013) e no aumento da atividade de enzimas oxidativas como a peroxidase, cuja atividade está associada ao escurecimento interno da polpa (Raimbault et al., 2011; Soares et al., 2005) variando em gradiente que evolui no sentido da parte inferior para a superior (Luengwilai et al., 2016). Estes fatores ocasionam mudanças da coloração da casca e composição química da polpa, interferindo na qualidade, aceitação sensorial e conservação pós-colheita (Lu et al., 2014; Nadzirah et al., 2013; Reinhardt et al., 2004).

Várias tecnologias têm sido estudadas e desenvolvidas a fim de aumentar a vida útil pós-colheita do abacaxi, como o emprego de atmosfera modificada (MAP) (Zhang et al., 2016), recobrimento com cera (Li et al., 2018), além de tratamentos térmico (Weerahewa e Adikaram, 2005), com CaCl_2 (Youryon e Wongsaree, 2015), com ABA (Zhang et al., 2015) e com 1-metilciclopropano (Selvarajah et al., 2001). No entanto, grande parte desses das tecnologias desenvolvidas e aplicadas não trazem resultados relevantes, pois não levam em consideração as características morfológicas do fruto, que podem acarretar em uma heterogeneidade na qualidade da polpa.

Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar a evolução da maturação nas infrutescências e os efeitos na qualidade e manutenção da vida útil da aplicação de recobrimento biodegradável em diferentes seções dos frutos de abacaxi 'Perola' durante o armazenamento.

REFERÊNCIAS

Andrade, M.G.; Silva, S.M.; Soares, L.G.; Lima, R.P.; Souza, A.S.B.; Melo, R.S. Aspectos de qualidade de infrutescência dos abacaxizeiros “Pérola” e “Vitória”. **AGROTEC Revista Agropecuária Técnica**. V.36, n.1, p. 96-102, 2015.

CHERIAN, S., FIGUEROA, C.R., NAIR, H., ‘Movers and shakers’ in the regulation of fruit ripening: a cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit. **J. Exp. Bot.** 65, 4705–4722. 2014.

Chitarra, M.I.F.; Chitarra, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2º ed. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

Coppens d’eeckenbrugge, G.; LEAL, F. Morphology, anatomy and taxonomy. In: Bartholomew, D.P.; Paull, R.E.; Rohrbach, K.G. (Ed.) **The pineapple: botany, production and uses**. New York: CAB International, 2003. p.13-32.

Cunha, G.A.P. da; Cabral, J.R.S. Taxonomia, espécies, cultivares e morfologia. In: Cunha, G.A.P. da; Cabral, J.R.S.; Souza, L.F. da S. (Org.) **O abacaxizeiro: cultivo, agroindústria e economia**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.17-51.

Dantas, A. L. Caracterização química e bioquímica sob adubação nitrogenada e propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias em cultivares de abacaxizeiro. Areia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 2014, 106p. (**Doutorado em Agronomia**). Orientador: Profa. Silvana de Melo Silva, Ph.D.

Giacomelli, E.J.; PY, C. Abacaxi no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1981. 101 p.

Guimarães, G. H. C. et al. Impact of cassava starch-alginate based coatings added with ascorbic acid and elicitor on quality and sensory attributes during pineapple storage. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 12, n. 9, p.664-673, 23 fev. 2017.

Hajar, N., Zainal, S., Nadzirah, K. Z., Roha, A. M., Atikah, O., e Elida, T. Z. M. Physicochemical Properties Analysis of Three Indexes Pineapple (*Ananas Comosus*) Peel Extract Variety N36. **Apcbee procedia**, [s.l.], v. 4, p.115-121, 2012.

Hassan, A. and Othman, Z. Chapter 10: Pineapple. In: Yahia E, editor. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits Volume 4: Mangosteen to white sapote. **Woodhead Publishing Limited** pp. 194-197. 2011.

Hounhouigan, M. H. et al. Effect of Processing on the Quality of Pineapple Juice. **Food Reviews International**, [s.l.], v. 30, n. 2, p.112-133, 3 abr. 2014.

Li, L., Lichter, A., Chalupowicz, D., Gamrasni, D., Goldberg, T., Nerya, O., et al. Effects of the ethylene-action inhibitor 1-methylcyclopropene on postharvest quality of non-climacteric fruit crops. **Postharvest Biology and Technology**, 111, 322–329. 2016.

Li, X., Zhu, X., Wang, H., Lin, X., Lin, H., & Chen, W. Postharvest application of wax controls pineapple fruit ripening and improves fruit quality. **Postharvest biology and technology**, 136, 99-110, 2018.

Lobo, M.G., Paull, R.E. Handbook of Pineapple Technology: Production, Postharvest Science, **Processing and Nutrition**. John Wiley e Sons. 2017.

LU, Xin-hua et al. Physico-Chemical Properties, Antioxidant Activity and Mineral Contents of Pineapple Genotypes Grown in China. **Molecules**, [s.l.], v. 19, n. 6, p.8518-8532, 23 jun. 2014.

Luengwilai, Kietsuda; Beckles, Diane M.; Siriphanich, Jingtair. Postharvest internal browning of pineapple fruit originates at the phloem. **Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 202, p.121-133, set. 2016.

Martins, L.P.; Silva, S.M.; Silva, A.P.; Cunha, G.A.P.; Mendonça, R.M.N.; Vilar, L.C.; Mascena, J.; and Lacerda, J.T. Conservação pós- colheita de abacaxi Pérola produzido em sistemas convencional e integrado. **Rev. Bras. Frutic.** 34 (3), 695–7030. 2012.

Meletti, L.M.M; Sampaio A.C., Ruggiero C. Avanços na Fruticultura não Tropical Brasil. **Rev. Bras. Frutic.** 33 (1): 73-75, 2011

Nadzirah, K. Z., Zainal, S., Noriham, A., Normah, I., Siti Roha, A. M., & Nadya, H. (2013). Physico-chemical properties of pineapple variety N36 harvested and stored at different maturity stages. **International Food Research Journal**, 20(1), 225–231. 2013.

Noronha, A. D. S., Lemos, W. D. P., Fazolin, M., Sanches, N., e Garcia, M. Abacaxi. In: Silva, N.M.; Adaime, R.; Zucchi, R. (Ed.) *Pragas Agrícolas e Florestas na Amazonia*. Brasília: **Embrapa Amapá**, pg. 22-44. 2016.

Noronha, A. D. S., Lemos, W. D. P., Fazolin, M., Sanches, N., e Garcia, M. Abacaxi. In: Silva, N.M.; Adaime, R.; Zucchi, R. (Ed.) *Pragas Agrícolas e Florestas na Amazonia*. Brasília: **Embrapa Amapá**, pg. 22-44. 2016.

Paliyath, G.; Murr, D.P.; Handa, A.K.; Lurie, S. **Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers**. New York: John Wiley & Sons, 2009. 498p.

Raimbault, A.K., Marie Alphonsine, P.A., Horry, J.P., Francois-haugrin, M., Romuald, K., Soler, A. Polyphenol oxidase and peroxidase expression in four pineapple varieties (*Ananas comosus* L.) after a chilling injury. **J. Agric. Food Chem.** 59 (1), 342–348. 2011.

Reinhardt, Domingo Haroldo et al. Gradientes de qualidade em abacaxi 'Pérola' em função do tamanho e do estágio de maturação do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.544-546, dez. 2004.

Sampaio, A.C.; Fumis, T. F.; Leonel, S. Crescimento vegetativo e características dos frutos de cinco cultivares de abacaxi na região de Bauru-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 816-822, 2011.

Sanches, A. G., Da Silva, M. B., Moreira, E. G. S., Costa, J. M., e Tripoloni, F. M. Manifestação e controle do etileno em diferentes condições de armazenamento do abacaxi "Pérola". **Acta Iguazu**, V.5, n.2, p. 61-72, 2016.

Selvarajah, S., Bauchot, A. D., & John, P. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. **Postharvest biology and technology**, 23(2), 167-170. 2001.

Soares, A. G., Trugo, L. C., Botrel, N., e Da Silva Souza, L. F. Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comosus* L.) by preharvest soil application of potassium. **Postharvest Biology and Technology**, v. 35, n. 2, p. 201-207, 2005.

Steingass, Christof Björn et al. Ripening-dependent metabolic changes in the volatiles of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) fruit: II. Multivariate statistical profiling of pineapple aroma compounds based on comprehensive two-dimensional gas

chromatography-mass spectrometry. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, [s.l.], v. 407, n. 9, p.2609-2624, 5 fev. 2015.

Tassew, A.A. Evaluation of leaf bud cuttings from different sized crowns for rapid propagation of pineapple (*Ananas Comosus* L. [Merr.]). **J. Biol. Agric. Healthc.** 4, 1–7, 2014.

Weerahewa, D., & Adikaram, N. K. B. Heat-induced tolerance to internal browning of pineapple (*Ananas comosus* cv. ‘Mauritius’) under cold storage. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 80(4), 503-509, 2005.

Youryon, P., Supapvanich, S., & Wongs-Aree, C. Internal browning alleviation of Queen pineapple cv. ‘Sawi’ under cold storage using salicylic acid or abscisic acid peduncle infiltration. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 94(6), 744-752, 2019.

Zhang, M., Meng, X., Bhandari, B., & Fang, Z. Recent developments in film and gas research in modified atmosphere packaging of fresh foods. **Critical reviews in food science and nutrition**, 56(13), 2174-2182, 2016.

ARTIGO I

Mudanças fisiológicas e de qualidade em seções transversais do abacaxi 'Perola' durante a maturação

Resumo

Introdução: O abacaxi é uma infrutescência formada pela coalescência de frutinhos com o eixo central do pedúnculo. As seções de frutinhos que formam a infrutescência possuem idades fisiológicas diferentes ocasionando heterogeneidade na maturação e na qualidade ao longo da infrutescência, dificultando o emprego de tecnologias pós-colheita e, assim, armazenamento. Neste trabalho, as infrutescências do abacaxizeiro ‘Pérola’ foram colhidas em três estádios de maturação (verde, verde-amarela e totalmente amarela) e avaliados em três seções (base, meio e ápice) quanto ao consumo de O₂, produção de CO₂, coloração, firmeza, sólidos solúveis, acidez titulável, açúcares redutores, não redutores e totais, ácido ascórbico, flavonoides amarelos, carotenoides totais, polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante.

Resultados: As mudanças ocorreram em gradiente ao longo das seções transversais das infrutescências, da base para o ápice com o avanço da maturação, de modo que a seção basal possui maior atividade respiratória e mudanças mais rápidas nos atributos físicos da casca e físico-químicos da polpa durante a maturação. O conteúdo de ácido ascórbico diminuiu durante a maturação e foi maior no ápice. Os flavonoides amarelos e os polifenóis extraíveis totais e a atividade antioxidante aumentaram ao longo da maturação e foram maiores na base.

Conclusão: Os frutinhos possuem atividade respiratória decrescentes da seção basal para a apical com comportamento típico não-climatérico. As mudanças na respiração nas diferentes idades fisiológica dos frutinhos ao longo da infrutescência ocasionam mudanças também em gradiente nos atributos de qualidade físico-químicos e funcionais da polpa.

Palavras Chaves: Atividade respiratória, qualidade pós-colheita, compostos bioativos, atividade antioxidante, estádios de maturação.

1. Introdução

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* vr, Comosus) é uma das frutíferas mais valiosas nas áreas tropicais e subtropicais do mundo, devido elevada aceitação sensorial desta infrutescência, além do alto valor energético e aporte de compostos benéficos à saúde (Nadzirah et al. 2013; Hossain, 2016). Os principais produtores de abacaxi são Costa Rica, Brasil, Filipinas e China, nesta ordem, com uma produção de mais de 10 milhões de toneladas por ano (FAOSTAT, 2018). No entanto, cerca de 70% do abacaxi produzido é consumido como fruta fresca nos próprios países produtores, devido sua curta vida útil pós-colheita, o que torna-se um fator limitante ao transporte e comercialização em mercados distantes dos centros de produção (Tassew, 2014).

O abacaxi é uma infrutescência não-climatérica, por isso não apresenta aumento na produção de etileno e liberação de CO₂ durante a maturação, sendo colhida madura para garantir a melhor qualidade comestível (Cherian et al. 2014; Li et al. 2016), fator que dificulta o estabelecer seu ponto de colheita. O abacaxi é infrutescência do tipo sorose, formada pela coalescência de frutinhos individuais com o eixo central do pedúnculo (Zhang et al. 2016). Os frutinhos da região basal da infrutescência têm idade fisiológica superior aos da região mediana, que por sua vez são mais velhos que os da apical, causando uma irregularidade na maturação da infrutescência (Coppens d'Eeckenbrugge e Leal, 2003), que dificulta o controle da maturação e o emprego de tecnologias que prolonguem a vida útil (Zhang et al. 2016).

O processo de maturação no fruto do abacaxizeiro é marcado por mudanças na coloração, textura e firmeza (Li et al., 2018), nos sólidos solúveis e acidez titulável (Reinhardt et al. 2004; Li et al., 2018), nos carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas, compostos fenólicos, pigmentos, pectinas e atividade antioxidante (Ogawa et al., 2018;

Dominguez et al., 2018) que interferem na qualidade, aceitação sensorial e conservação pós-colheita das infrutescências.

A maturação do abacaxi é determinada com base em dois aspectos distintos, maturação aparente, referente à coloração da casca e maturação real, que leva em consideração as características físico-químicas da infrutescência responsáveis pelas físicas e mudanças sensoriais (Lobo e Yahia, 2017; Steingass et al. 2015). Entretanto, ainda são escassos estudos que demonstrem o avanço da maturação do abacaxi considerando os seus aspectos morfológicos e fisiológicos (Zhang et al. 2016).

As seções do abacaxi (basal, medial e apical) apresentam diferentes características físico-químicas (Reinhardt et al. 2004). A região basal apresenta maior acúmulo de açúcares que a região medial, que, por sua vez, tem maior acúmulo de açúcar que a apical (Dull et al., 2010). Isto provavelmente é devido as diferentes idades fisiológicas dos frutinhos, que possuem atividade metabólica muito diferente entre as seções (Lobo e Yaha, 2018). No entanto, ainda não há relatos da atividade fisiológica individual dos frutinhos.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças fisiológicas e de qualidade de três seções transversais (base, meio e ápice) de abacaxi 'Pérola' durante a maturação.

2. Material e Métodos

2.1. Material vegetal e seccionamento das infrutescências

Os frutos de abacaxi *Ananas comosus* vr. *Comosus*, cv. Pérola foram colhidos em três estádios de maturação, casca totalmente verde (GR), verde-amarela (GY) e totalmente amarela (YE) de plantio comercial no município de Itapororoca, Paraíba, Brasil no período da manhã. Após a colheita os frutos foram transportados para o laboratório, em caixas plásticas do tipo K. Em seguida foram selecionados por maturidade e

uniformidade, e lavados em água corrente, sanificados com solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 1 min e secos em condição ambiente.

Nas infrutescências, foram visualmente delimitadas três seções transversais no fruto íntegro, basal (BA), medial (ME) e apical (AP), com equivalente a 1/3 do comprimento total da infrutescência cada (Figura 1). As avaliações de taxa respiratória e as físicas foram realizadas em cada seção transversal estabelecida no fruto íntegro. A polpa de cada seção transversal foi processada separadamente e avaliada quanto as características físico-químico, compostos bioativos e atividade antioxidante.

2.2. Consumo de oxigênio (O_2) e Liberação de dióxido de carbono (CO_2)

O percentual de O_2 consumido e CO_2 liberado foram avaliados com cápsulas de captura de gases (10 mL) aderidas aos frutinhos, compostas por uma tampa de rosca com um septo anexado e conectada à superfície dos frutinhos das regiões transversais com silicone não corrosivo (Perez e Beaudry, 1998) (Figura 1). As cápsulas foram fechadas, após 1 hora, sendo retirado 100 μ L de gás com uma seringa, sendo, em seguida, injetado em um analisador de CO_2 CA-10 conjugado com um analisador de O_2 PA-10 (Sable System, Las Vegas, NE, USA).

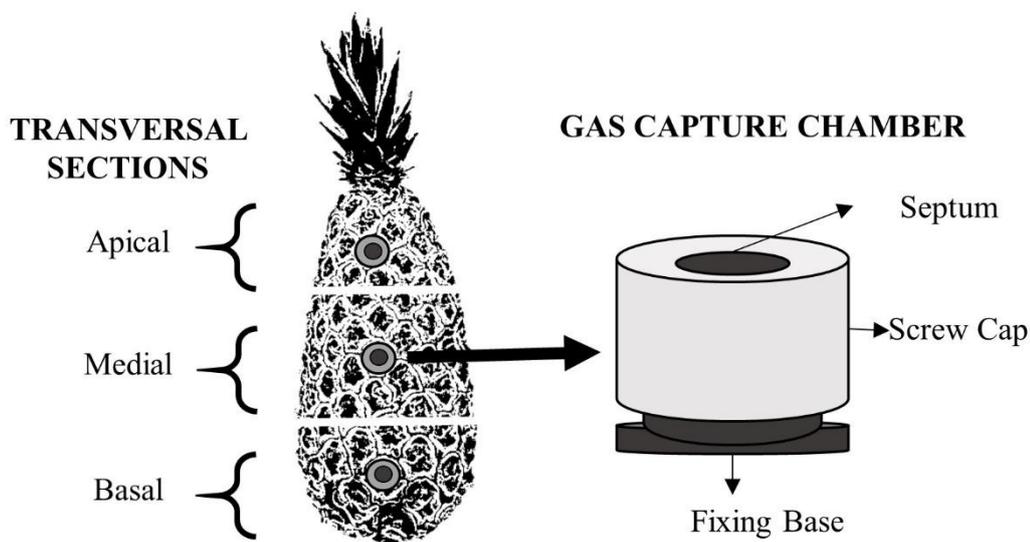


Fig. 1. Seccionamento Transversal do fruto do abacaxi (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) e modelo gráfico das cápsulas utilizadas na captura dos gases liberados pelo fruto para quantificar o consumo de oxigênio e a liberação de dióxido de carbono.

As avaliações tiveram início cerca de 12 horas após a colheita dos frutos e, a partir de então foram realizadas a cada 24 horas, em um período de 12 dias durante o armazenamento sob a condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\%$ UR). Os resultados de CO_2 e O_2 foram mensurados com base em uma curva padrão de CO_2 99,9% (0,005-1%) e O_2 99,9% (1-10%) (White Martins, Recife, PE, Brasil), expressos em percentagem.

2.3. Luminosidade, ângulo Hue, croma e índice de cor

Os parâmetros de cor luminosidade (L), ângulo Hue e croma foram obtidos por duas leituras objetivas em posições opostas, na região equatorial da superfície de cada seção transversal da infrutescência usando o colorímetro Minolta CM-508d (Ahrensburg, Alemanha). O índice de cor (IC) que indica o grau de variação do verde para o amarelo foi calculado conforme Motta, Melo Queiroz, Figueirêdo, & Sousa, (2015).

2.4. Firmeza, Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/TA

A firmeza (N) foi determinada através do penetrômetro manual Magness Taylor Pressure Tester (Drill Press Stand, Canada) em umas leituras em sobre frutinhos equidistantes na região equatorial de cada seção transversal. Os sólidos solúveis (SS) foram determinados por leitura direta com refratômetro tipo Abbe com controle de temperatura (20°C) (IAL, 2005). Acidez titulável (AT) foi quantificada por titulometria com solução de NaOH 0,1M, sendo os resultados expressos em g ácido cítrico/100g de polpa fresca (IAL, 2005). Relação SS/TA foi obtida mediante divisão dos índices de SS pelos resultados de TA.

2.5. Açúcares redutores, não redutores e açúcares solúveis totais

Os teores de açúcar foram determinados na polpa de cada seção transversal utilizando o ácido dinitrosalicílico (DNS), de acordo com Miller (1959). O extrato foi preparado na porção 1:50 (g de amostra: mL de água destilada), colocando em banho-maria (70 °C) por cinco minutos, esfriado em banho de gelo e filtrado. Para a determinação dos açúcares solúveis totais (TSS), foi retirado 25 mL do extrato anterior e adicionado 2 mL de HCl PA., seguido de banho-maria (70 °C) por 30 minutos, banho de gelo e neutralização do pH com NaOH (2 M). O volume final foi aferido em 50 mL com água destilada. Foram utilizadas alíquotas de até 1,5 mL dos extratos juntamente com 1 mL da solução de DNS. A reação foi iniciada com banho-maria a 70 °C e cessada com banho de gelo após 5 minutos. O volume final do tubo foi aferido em 10 mL com água destilada e a absorbância determinada em espectrofotometria (Geneses™ 10s UV VIS) a 540 nm. Foi utilizado uma curva padrão de glicose variando de 0 a 1801,6 µg.

2.6. *Compostos Bioativos*

O ácido ascórbico da polpa foi determinado de acordo com AOAC (2005). 1 grama de polpa foi homogeneizado com 50 mL de ácido oxálico 0,5% e titulado com solução de DFI (2,6-diclorofenolindofenol 0,002%) até obtenção de coloração róseo claro permanente. Os resultados foram expressos em mg 100g⁻¹ de polpa.

A concentração de flavonoides amarelos foi determinada conforme Francis, (1982), utilizando solução de extração de etanol PA:HCl 1,5 M (85:15 v:v). Após centrifugação a 7690 g durante 15 min, os extratos foram filtrados através de papel Whatman N.1 e lidos em espectrofotômetro a 374 nm. Os resultados foram expressos em mg 100 g⁻¹ de polpa.

Os teores de carotenoides totais foram determinados de acordo com a metodologia de Oliveira et al. (2016). Para a obtenção do extrato foi utilizando 10 g de amostra, homogeneizada com 4 mL de água destilada e 1 mL de etanol gelado (4 °C) por 1 min

com um Ultra-Turrax. Em seguida, adicionado hexano (8 mL), onde a pasta resultante foi centrifugada, após a centrifugação a camada superior foi removida para o tubo de polipropileno. A extração foi repetida duas vezes com 2,88 mL de hexano. Ambas as frações de hexano resultantes foram combinadas e usadas para saponificação com KOH metanólico 10% durante a noite em agitador orbital. A mistura foi lavada com 25 mL de NaCl 10% e três lavagens com água deionizada. Os teores de carotenoides totais nos extratos de abacaxi foram estimados em triplicatas usando uma análise espectrofotométrica a 454 nm. O β -caroteno foi utilizado como curva padrão. O conteúdo total de carotenoides foi expresso com base em mg de equivalentes de β -caroteno / g de polpa.

2.7. Polifenóis extraíveis totais e Atividade antioxidante

Os teores de Polifenóis extraíveis totais (TEP) foi determinado utilizando o reagente Folin-Ciocalteu como descrito por Budini et al. (1980), utilizando 1 g de polpa congelada. O extrato foi obtido usando metanol 50% e acetona 70% com centrifugações por 15 minutos a 9000 rpm a 25°C. Em seguida, uma alíquota do extrato fenólico foi adicionada para 1 mL do reagente Folin-Ciocalteu, 2 mL de carbonato de sódio a 20% e 2 mL de água destilada. As leituras foram realizadas a 700 nm após 30 min de incubação sob condições ambiente e ausência de luz. Os resultados foram calculados com base em uma curva padrão de ácido gálico 98% (0-50 μ g) e expressos como equivalentes de ácido gálico (GAE) mg 100g⁻¹ de polpa.

A atividade antioxidante total dos extratos fenólicos utilizando o radical ABTS^{•+} foi obtida utilizando três diferentes diluições, em triplicata, onde foram adicionados 3 mL do radical ABTS^{•+} previamente ajustado com etanol P.A. para uma absorbância de 700 \pm 0,05. As amostras foram lidas a 734 nm em espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS, após 6 minutos da adição do radical. Foi utilizada uma curva padrão Trolox e os

resultados foram expressos como TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) em μM de Trolox g^{-1} de polpa (RE et al., 1999).

2.8. Análise estatística

Os experimentos foram organizados em um delineamento inteiramente casualizado. Todos os tratamentos foram compostos por quatro repetições biológicas. Houve quatro repetições para análise de cada parâmetro. O desvio padrão foi adicionado nas médias das avaliações das seções transversais em cada estágio de maturação.

3. Resultados

3.1. Consumo de oxigênio e Liberação de dióxido de carbono

A liberação de dióxido de carbono (CO_2) foi avaliada nos frutinhos de cada seção transversal delimitadas nas infrutescências. O percentual de CO_2 declinou durante o armazenamento para todas as seções avaliadas (Figura 2A). Os frutinhos posicionados na seção basal (BA) apresentaram um percentual de liberação de CO_2 aproximadamente duas vezes maior que a seção medial (ME) e em torno de quatro vezes maior que a apical (AP).

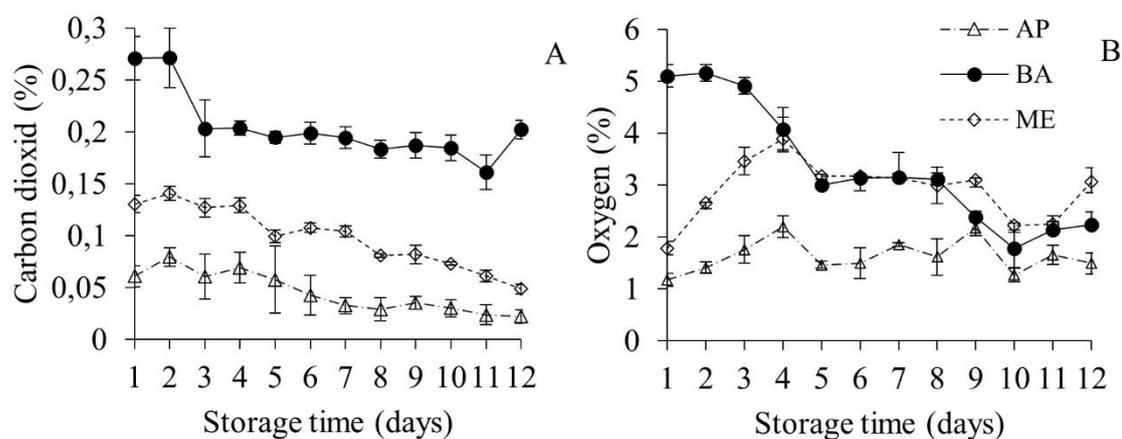


Fig. 2. Percentual de Liberação de dióxido de carbono- CO_2 (A) e consumo de oxigênio- O_2 (B) em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de abacaxi

‘Pérola’ avaliados durante 12 dias sob a condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\%$ UR). Cada ponto representa a média \pm Desvio padrão ($n = 4$).

A seção basal consome mais oxigênio (O_2) nos primeiros dias de avaliação (1–5 dias) que as demais seções (Figura 2B). Aos 4 dias, o consumo de O_2 da seção medial é aproximadamente o mesmo que o basal. Aos 10 dias armazenamento, as seções tendem a apresentar o mesmo consumo de O_2 .

3.2. Luminosidade, ângulo Hue, croma e índice de cor

A luminosidade da casca (L) dos frutinhos diminui em gradiente, da seção apical (AP) para a basal (BA) nos estádios de maturação avaliados, com maior intensidade no estágio de maturação verde (GR) e menor no estágio verde-amarelo (GY) (Figura 3).

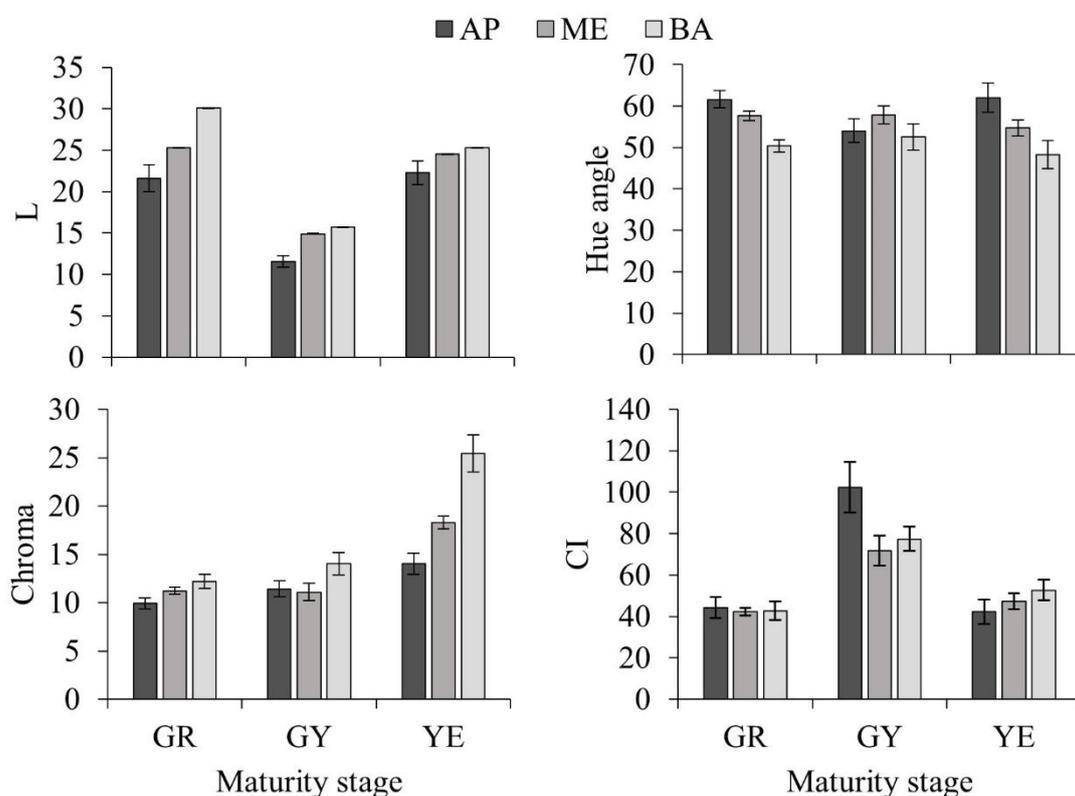


Fig. 3. Parâmetro de Luminosidade (L), Chroma, Ângulo hue e Índice de cor avaliados em infrutescências de abacaxizeiro cv. Pérola seccionadas em seções transversais (Apical-AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-

amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4).

O ângulo Hue da casca diferiu em gradiente da seção AP para BA nos estádios GR e amarelo (YE), sem diferença significativa no estádio GY. O chroma diferiu em gradiente decrescente da seção AP para BA nos estádios GR e YE, e não diferiu no estádio GY entre as seções AP e ME. O índice de cor (CI) indicou uma variação da cor verde para a amarela, com avanço da maturação, nas três seções avaliadas. O CI diferiu em gradiente decrescente da seção BA para a AP no estádio de maturação YE.

3.3. Firmeza, Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/TA

A firmeza dos frutinhos reduziu em gradiente da seção AP para BA e com o avanço da maturação (Figura 4). O conteúdo de sólidos solúveis (SS) diminuiu em gradiente da seção AP para BA, aumentando com o avanço da maturação. A acidez titulável (TA) diminuiu em gradiente da seção AP para BA e com o avanço da maturação. A relação SS/TA aumentou com o avanço da maturação. A seção AP apresentou menor relação SS/TA nos estádios GR e GY, e a seção BA maior relação no estádio YE.

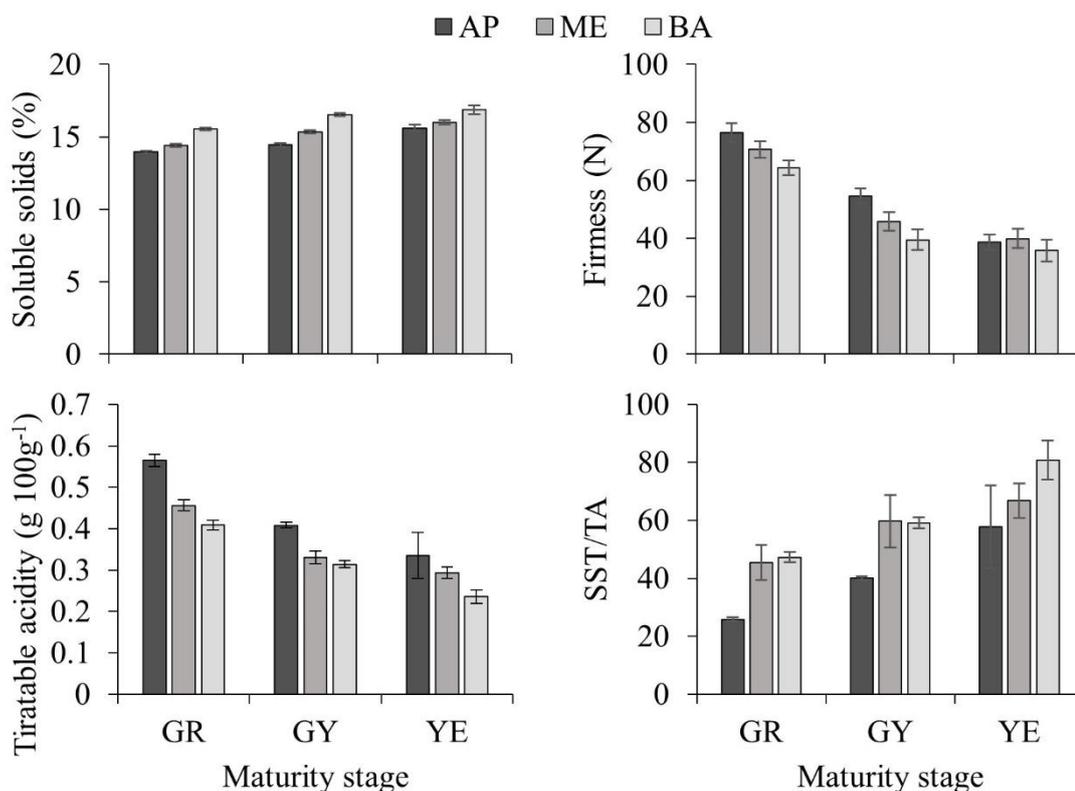


Fig. 4. Sólidos solúveis (SS), Acidez Titulável (TA), relação SS/TA e Firmeza avaliados em frutos de abacaxi cv. ‘Pérola’ seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4).

3.4. Açúcares redutores, não redutores e açúcares solúveis totais

O teor de açúcares solúveis totais (TSS) foram maiores na seção ME e aumentou ao longo da maturação. Nas seções AP e BA os teores aumentaram do estágio GR para GY, e reduziram no YE (Figura 5). O teor de açúcares redutores (SR) aumentou em gradiente nas seções transversais do AP para a BA, nos estádios GR para GY e inverteu o gradiente das seções no estágio YE, BA para AP. Os teores de açúcares não-redutores (NRS) aumentaram ao longo da maturação na seção ME. Nas seções AP e BA os teores aumentaram do estágio GR para GY, e diminuíram no YE.

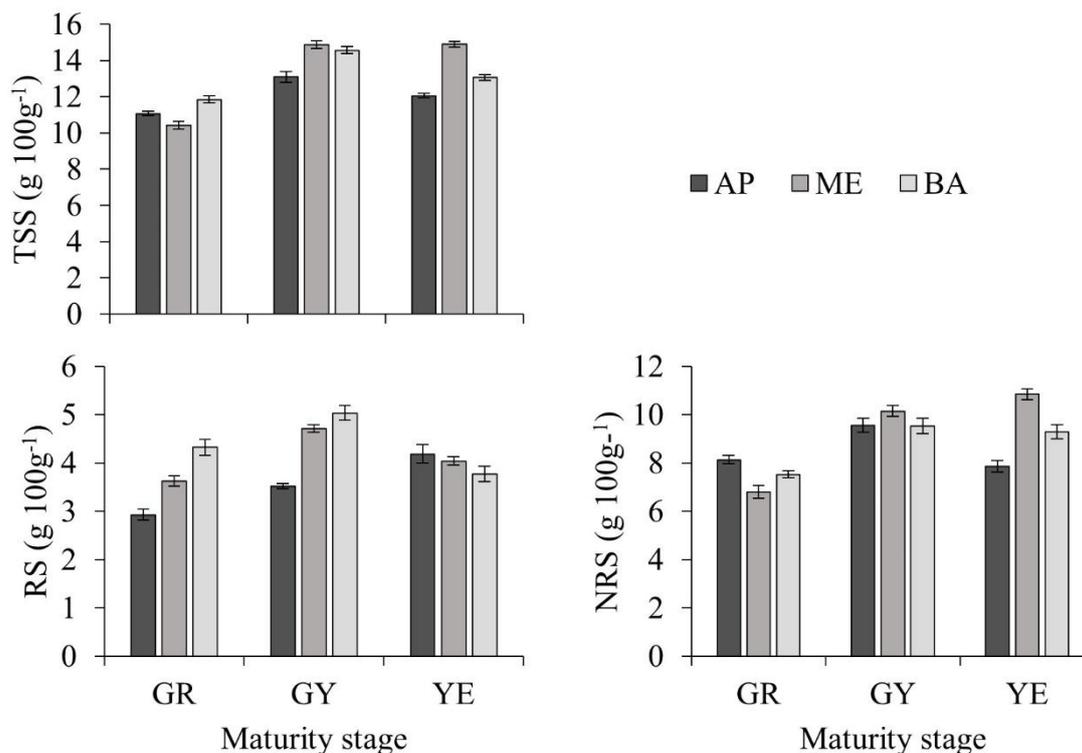


Fig. 5. Açúcares Redutores (RS), Açúcar Não-redutores (NRS) e Açúcar solúveis totais (TSS) avaliados em frutos de abacaxi cv. 'Pérola' seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4).

3.5. Compostos Bioativos

O conteúdo de ácido ascórbico (AA) reduziu nas seções transversais ao longo da maturação (Figura 6). O conteúdo de AA diminuiu em gradiente da seção AP para BA nos estádios GY e YE. O conteúdo de flavonoides amarelos (YF) aumentou em gradiente entre as seções AP para BA e nos estádios de maturação. Os maiores conteúdos de YF foram observados no estádio YE, com maior conteúdo na seção BA. O conteúdo de carotenoides totais (TC) foi maior na seção ME e aumentou ao longo da maturação. Nas

seções AP e BA os teores de TC aumentaram do estágio GR para GY, e reduziram no YE, com menor teor na seção AP.

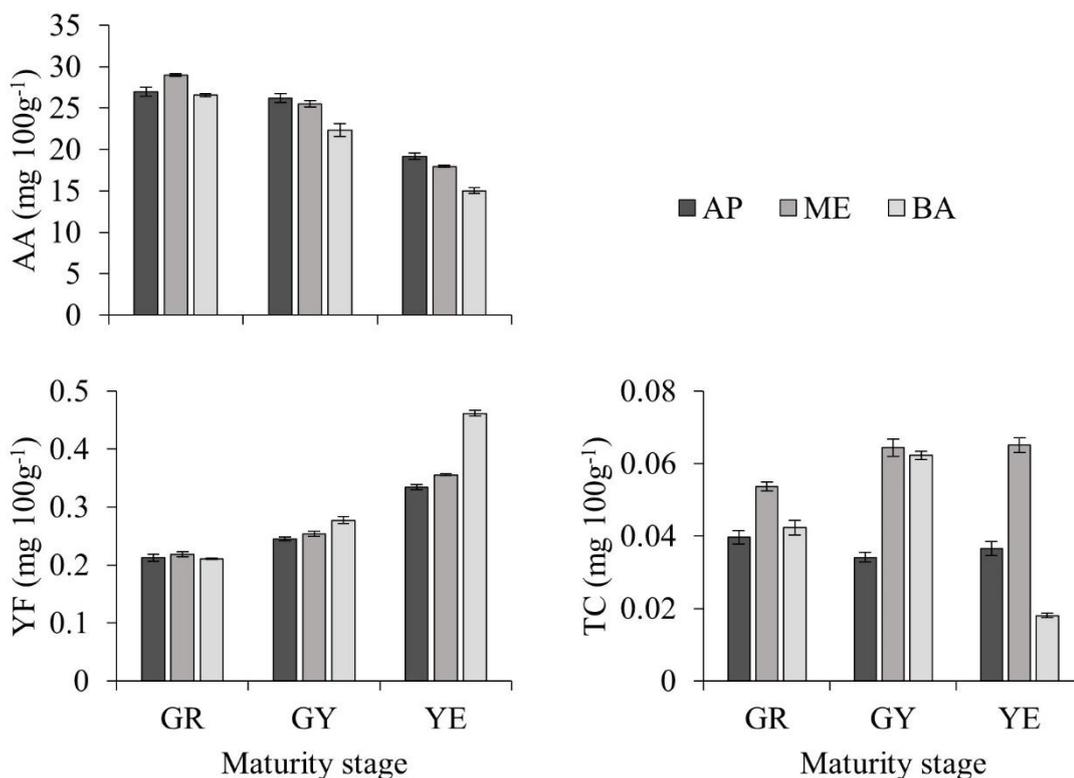


Fig. 6. Flavonoides Amarelos (YF), Ácido Ascórbico (AA) e Carotenoides Totais (TC) avaliados em frutos de abacaxi cv. 'Pérola' seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão (n = 4).

3.6. Polifenóis extraíveis totais e Atividade antioxidante

Os teores polifenóis extraíveis totais (TEP) diminuiu em gradiente do AP para BA, invertendo o gradiente nos estádios GY e YE. Os TEP aumentaram em todas as seções ao longo da maturação, com maior teor no estágio YE (Figura 7). A seção do ME apresentou maior atividade antioxidante por ABTS⁺⁺ no estágio GY. A atividade antioxidante pela captura do radical ABTS⁺⁺ nas seções AP e BA do fruto do abacaxi

aumentaram gradualmente sua atividade ao longo da maturação, com atividade máxima no estágio YE, nos frutos já maduros. A maior atividade das seções ocorreu no estágio YE e menor no GR.

se

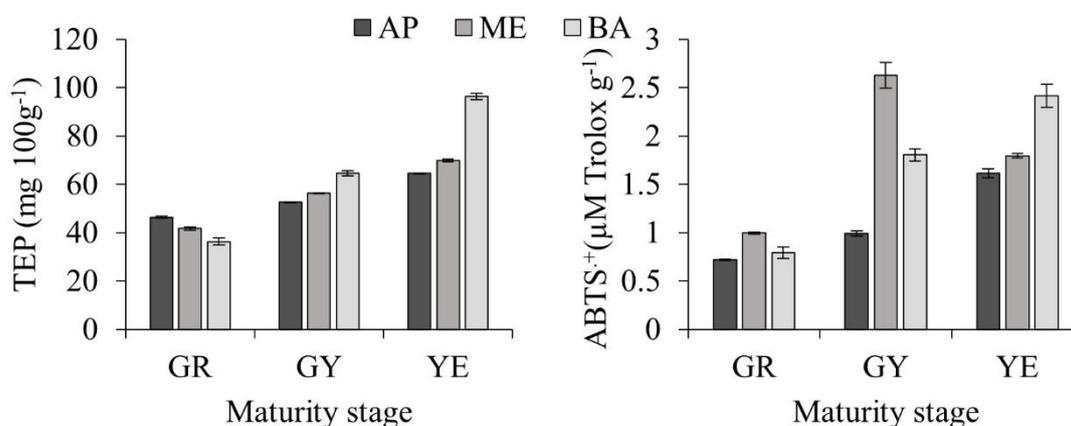


Fig.7. Polifenóis Extraíveis Totais (TEP) e atividade antioxidante pelo radical liver ABTS^{•+} avaliados em frutos de abacaxi cv. ‘Pérola’ seccionados em três seções transversais (Apical- AP, Medial-ME e Basal-BA) de três estádios de maturação (verde-GR, verde-amarelo-GY e amarelo-YE). Cada ponto de dados representa uma média ± Desvio padrão (n = 4).

4. Discussão

Os frutinhos apresentaram um comportamento respiratório característico de frutos não climatéricos como a infrutescência integra, com alta atividade respiratória no início seguido de um declínio (Saltveit, 2019). A diferença na liberação de CO₂ pelos frutinhos posicionados nas seções BA até AP pode estar relacionado as características morfológicas da infrutescência, onde a seção BA é desenvolvida primeiro, e conseqüentemente os frutinhos dessa seção são mais velhos fisiologicamente com uma maior atividade respiratória (Dull et al., 1967; Bartholomew; Pall, 2018). Outro fator que pode contribuir com esta variação é o estresse causado pela colheita, que marca o rompimento da seção

peduncular da infrutescência com a planta mãe que quando rompida ocasiona alterações fisiológicas na seção, na qual as células vivas próximas a área de rompimento com a planta mãe sofrem diversas mudanças metabólicas para curar o tecido ferido acarretando em um aumento na atividade respiratória (Finnegan et al., 2013; Gulfishan et al., 2019).

A menor atividade respiratória da seção apical pode estar correlacionada com a menor idade fisiológica, maior distância da lesão basal resultante da colheita e a permanência da coroa ligada ao fruto, que quando removida, causa o aumento do escurecimento interno, devido ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio que causam danos a membrana celular e o aumento da síntese e oxidação de compostos fenólicos (Li et al., 2018), comprometendo a qualidade do abacaxi (Steingass et al., 2015)

O alto consumo de O_2 pelos frutinhos localizados na seção BA pode ser explicado pelo aumento da atividade respiratória em resposta ao ferimento de rompimento do pedúnculo e idade fisiológica mais avançada dos frutinhos utilizando oxigênio para suprir as diversas reações oxidativas envolvidas no processo de maturação, ocasionando uma maior liberação de CO_2 (Dull et al., 1967; Bartholomew; Pall, 2018). O frutinhos da seção ME inicialmente (1–3 dias) consome menos O_2 que a BA, se igualando no quarto dia de armazenamento. Este período que antecede a paridade do consumo de oxigênio entre as seções transversais BA e AP provavelmente ocorre em decorrência do tempo necessário da sinalização do dano celular resultante do metabolismo aeróbico ocasionando um estresse oxidativo (Fonseca et al., 2002; Saltveit, 2019). O mesmo ocorre nos frutinhos da seção do AP, porém mantém o menor consumo de O_2 por mais tempo (nono dia), devido a ligação da coroa nessa seção e serem mais novos fisiologicamente conseguem manter uma maior estabilidade em seu metabolismo (Dull et al., 1967; Steingass et al., 2015).

Na literatura, não há relatos que abordem a atividade respiratória dos frutinhos por seção da infrutescência, apenas expondo pressuposições sobre o comportamento

respiratório das seções transversais (Dull et al., 1967; Bartholomew; Lobo e Yahia, 2017; Pall, 2018). Na maioria dos relatos são estudadas apenas a atividade respiratória das infrutescências integras, cuja taxa respiratória varia de 10 a 18 mL CO₂ Kg h⁻¹ (Dull et al., 1967; Lobo e Yahia, 2017; Pall, 2018; Li et al., 2019).

O aumento da luminosidade, chroma e ângulo hue entre os frutinhos das seções transversais avaliadas, pode ser explicado pela diferença de idade fisiológica entre os frutinhos dessas seções, conseqüentemente, ocasionado uma maior IC (mudança do verde para o amarelo) de forma gradual, em gradiente nas seções durante a maturação. Esses aumentos nos parâmetros de coloração da casca em gradiente da BA para o AP e nos estádios de desenvolvimento podem estar relacionados a respostas provocadas pelo avanço da maturação, ocasionando a degradação de pigmentos, como as clorofilas (Hörtensteiner et al, 2011). A degradação das clorofilas ocorre devido ao aumento do estresse oxidativo e da atividade da clorofilase, com isso os carotenoides passam a ficarem visíveis, refletindo assim a cloração amarela (Hörtensteiner et al, 2011). Nesse sentido, a avaliação dos parâmetros de coloração em infrutescência em diferentes regiões é necessária para uma melhor representação.

O declínio da firmeza, que ocorreu do AP para BA, e ao longo da maturação é comumente observado na maioria dos frutos, com o avanço da maturação provavelmente devido ao processo de degradação dos compostos da parede celular da infrutescência, resultando no amaciamento da polpa e menor resistência da casca (Dull et al., 1967; Hörtensteiner et al, 2011). A maior concentração de SS na seção basal das infrutescências pode ser explicada pelo maior acúmulo de açúcares, ácidos orgânicos, proteínas, gorduras e minerais nessa seção (Lu et al. 2014), devido maior idade fisiológica dos frutinhos e maior atividade respiratória (Dull 1967; Zhang et al. 2016). O aumento do conteúdo de SS com o avanço da maturação e os maiores teores na região basal pode ser resultante do

processo de amadurecimento, onde o amido, que é acumulado na fase de crescimento das infrutescências, é convertido em açúcares solúveis (Ogawa et al. 2018).

A variação decrescente da TA em gradiente nas seções BA para AP e ao longo da maturação pode estar relacionado com o processo de amadurecimento, onde o ácido cítrico presente nos fruto de abacaxi é utilizado como substrato na geração de ATP fazendo com que a acidez diminua (Tang et al., 2010 ; Lin et al., 2016), principalmente nas seções BA que têm uma maior atividade respiratória.

A relação SS/TA é considerada como indicador da aceitação de sabor da fruta, quanto mais alta está relação maior a percepção de sabor da polpa (Li et al., 2018). O menor teor da relação SS/AA na seção AP nos estádios GR e GY, possivelmente, pela idade fisiológica menor, com frutinhos mais verdes nessa seção com isso um teor de ácidos superior os de SS. A maior relação na seção BA no estágio YE pode é ao menor acúmulo de ácidos não voláteis que ocorre como ácidos livres nos vacúolos das células dessas seções e maior acúmulo de açúcares (Chan et al., 1973 ; Yamaki, 1984) tornando essa seção mais doce.

O menor teor de SS na seção AP e maior na ME e BA, pode estar relacionado a menor idade fisiológica e respiratória da seção AP e maior da BA, ocasionado uma maior degradação do amido e ácidos orgânicos e aumento da atividade de enzimas responsáveis pela degradação da parede celular que também ocorre ao com o avanço da maturação (Dull, 2011).

Mudanças nos SS, TA e na relação SS/TA em forma de gradiente em diferentes seções e estádios de maturação também foram também reportadas em abacaxi 'Pérola' por Reinhardt et al. 2004, ocorrendo da região basal para a apical, e ao longo da maturação, embora sem descrever as alterações nos açúcares. Os maiores teores de RS e NRS entre as seções transversais aqui observados nas diferentes regiões, que apresentam idade

fisiológica dos frutinhos e estádios de maturação diferentes ocorrem possivelmente pelo fruto de abacaxi apresentar baixa teor de sacarose quando verdes, e alto teor quando maduro (Dull, 2011).

Foi observado que abacaxis 'Pérola' apresentam alterações nos teores de açúcares ao longo da maturação e em seções transversais. Os menores teores de sacarose e glicose da seção AP quando comparadas a BA é devido a alta atividade da invertase no AP e a atividade das enzimas metabólicas dos grupos das hexoses fosfato na parte BA (Dull et al., 2010). Essas modificações nos açúcares foram também reportados em tomate (Qi et al., 2006), morango (Xie et al., 2007) e muskmelon (Zhang et al., 2003).

A redução no teor de ácido ascórbico (AA) durante a maturação do abacaxi 'Pérola' pode estar relacionada a maior demanda por AA ao longo no metabolismo antioxidante não enzimático na maturação, conseqüentemente reduzindo as concentrações nas regiões transversais que apresentam maturação diferente. A redução do AA ocorre pelo aumento de células mais oxidadas em regiões mais maduras (Wheeler et al., 1998; Liu et al., 2017). O abacaxi não é rico em AA e seus níveis podem variar em relação a fatores tais como cultivar, maturação e nutrição mineral (Lima, 2011; Guimarães et al., 2017).

O maior conteúdo de flavonoides amarelos (YF) na polpa dos frutos no estádio YE e na seção BA em gradiente crescente pode ser explicado pelas mudanças ocasionadas no processo de maturação, com o aumento da biossíntese desses compostos (Lobo e YAHA, 2017; Domínguez et al., 2018). O aumento de carotenóides totais (TC) ao longo da maturação e formação de gradiente da seção AP para BA ocorre devido ao estresse oxidativo ocasionado pelo processo de maturação onde os TC estão envolvidos na proteção das células vegetais (Asami et al. 2003; Domínguez et al., 2018).

A redução dos teores de TEP durante a maturação e o aumento da seção BA para AP provavelmente está relacionado com o aumento na atividade da enzima fenilalanina

amônia-liase, que está relacionada com o sistema defensivo da planta, que aumenta com o avanço do amadurecimento (Rinaldo et al., 2010). O aumento da atividade antioxidante ao longo da maturação e nas seções transversais, está diretamente relacionado com o aumento nos teores de TEP (Gayosso-García Sancho et al., 2011; Ogawa et al., 2018). No entanto, a atividade antioxidante proporcionada pelos TEP depende das estruturas químicas dos compostos que estes possuem (Domínguez et al., 2018) e não tão somente do seu conteúdo. Portanto, são necessários estudos mais aprofundados para avaliar as mudanças nos compostos fenólicos na maturação das seções transversais de fruto do abacaxi.

5. Conclusão

A morfologia das infrutescências do abacaxizeiro cv. 'Pérola' implicou em uma maior liberação de CO₂ na base, menor no meio e ápice com todos os frutinhos apresentando comportamento não-climatérico típico. Essa diferença morfológica associada ao dano ocasionado pela colheita modificaram os parâmetros físicos da casca e a qualidade da polpa, onde a base tem um metabolismo mais acelerado que o meio, que por sua vez mais que o ápice.

Como relatado neste estudo, para a determinação da qualidade pós-colheita do fruto de abacaxi e aplicação de tecnologias que prolonguem sua vida útil é necessário levar em consideração as mudanças nas seções transversais das infrutescências.

6. Referências

1. Domínguez CR, Avila JAD, Pareek S, Ochoa MAV, Zavala JFA, Yahia E and González-Aguilar GA, Content of bioactive compounds and their contribution to

- antioxidant capacity during ripening of pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Esmeralda. *J. Appl. Bot. Food Qual.* **91**: 61–68 (2018).
2. Rinaldo D, Mbéguié-A-Mbéguié D and Fils-Lycaon B, Advances on polyphenols and their metabolism in sub-tropical and tropical fruits. *Trends Food Sci. Technol.* **21**: 599–606 (2010).
 3. Asami, D. K., Hong, Y. J., Barrett, D. M., & Mitchell, A. E. (2003). Processing-induced changes in total phenolics and procyanidins in clingstone peaches. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(1), 56-63.
 4. AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. 17th edn. Official methods of analysis of the association of Official Analytical Chemistry, Washington (2005)
 5. Bartholomew DP, Paull RE and Rohrbach KG, *The Pineapple Botany, Production and Uses*. CAB International Publishing, Honolulu (2018).
 6. Budini R, Tonelli D, Girotti S, Analysis of total phenols using the Prussian blue method, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **28**: 1236–1238 (1980)
 7. Chan Jr HT, Chenchin E and Vonnahme P, Nonvolatile acids in pineapple juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **21**: 208–211 (1973).
 8. Chen CC and Paull RE, Sugar metabolism and pineapple flesh translucency. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **125**: 558–562 (2000).
 9. Dou MA, Yao YL, Du LQ, Sun GM, Zhang XM and Li JG, Sugar accumulation difference between the various sections during pineapple development. *Acta Horticulturae* **902**:141–149 (2011).
 10. Dull GG, Roy EY and Jacob BB, Respiratory patterns in fruit of pineapple, *Ananas comosus*, detached at different stages of development. *Physiologia Plantarum* **20**: 1059–1065 (1967).

11. Finnegan E, Mahajan PV, O'Connell M, Francis GA and O'Beirne D, Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology* **79**: 47–53 (2013).
12. Fonseca SC, Oliveira FA and Brecht JK, Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of food engineering* **52**: 99-119 (2002).
13. Francis FJ, Analysis of Anthocyanins, in: Anthocyanins as Food Colors. *Academic press*, pp.181–207 (1982).
14. Guimarães GHC, Dantas RL, Sousa ASB, Soares LG, Melo RS, Silva RS, Lima RP, Mendonça RMN, Beaudry RM and Silva SM, Impact of cassava starch-alginate based coatings added with ascorbic acid and elicitor on quality and sensory attributes during pineapple storage. *African Journal of Agricultural Research* **12**: 664–673 (2017).
15. Gulfishan M, Jahan A, Bhat TA and Sahab D, Plant Senescence and Organ Abscission, In: *Senescence Signalling and Control in Plants*, ed. by Sarwat M, Tuteja N. Academic Press, pp. 255–272 (2019).
16. Hörtensteiner S and Kräutler B, Chlorophyll breakdown in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics* **1807**: 977–988 (2011).
17. IAL - Instituto Adolfo Lutz, Métodos físico-químicos para análise de alimentos. In *Procedimentos e Determinações Gerais*, 4 ed. By Zenebon O and Pascuet NS. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, pp. 103–105 (2008)
18. Li X, Zhu X, Wang H, Lin X, Lin H and Chen W, Postharvest application of wax controls pineapple fruit ripening and improves fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* **136**: 99–110 (2018).

19. Lima RP, Silva SM, Dantas RL, Dantas AL, Sousa ASB, Pereira WE, Mendonça RMN and Guimarães GHC. Using digital image processing for evaluation of translucency in fresh-cut – ‘Pérola’ pineapple coated with biofilms. *Acta Horticulturae* **1**: 311–318 (2016).
20. Lin YX, Lin YF, Chen YH, Wang H, Shi J and Lin HT, Hydrogen peroxide induced changes in energy status and respiration metabolism of harvested longan fruit in relation to pericarp browning. *Journal of agricultural and food chemistry* **64**: 4627–4632 (2016).
21. Liu J, He C, Shen F, Zhang K, Zhu S, The crown plays an important role in maintaining quality of harvested pineapple. *Postharvest Biology and Technology* **124**: 18–24 (2017).
22. Lobo MG and Yahia E, Biology and postharvest physiology of pineapple. *Handbook of Pineapple Technology: Production, Postharvest Science, Processing and Nutrition*, pp. 39–61 (2017).
23. Miller GL, Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry* **31**: 426–428 (1959).
24. Motta JD, Melo Queiroz AJ, Figueirêdo RMF and Sousa KDSM, Índice de cor e sua correlação com parâmetros físicos e físico-químicos de goiaba, manga e mamão Jedman. *Comunicata Scientiae* **6**: 74–82 (2015).
25. Ogawa EM, Costa HB, Ventura JA, Caetano LC, Pinto FE, Oliveira BG, Barroso MES, Scherer R, Endringerc DC and Romão W. Chemical profile of pineapple cv. Vitória in different maturation stages using electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **98**: 1105–1116 (2018).

26. Oliveira A, Alexandre EM, Coelho M, Barros RM, Almeida DP and Pintado M, Peach polyphenol and carotenoid content as affected by frozen storage and pasteurization. *LWT-Food Science and Technology*, **66**: 361-368 (2016).
27. Perez R and Beaudry RM, Fractional surface coating modifies gas diffusion and ripening in bananas. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **123**:115–118 (1998).
28. Qi HY, Li TL. and Zhang J, Relationship between carbohydrate change and related enzymes activities during tomato fruit development. *Acta Horticulturae Sinica* **33**: 294–299 (2006).
29. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A., Yang M and Rice-Evans C, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* **26**: 1231–1237 (1999).
30. Reinhardt DH, Medina VM, Caldas RC, Cunha GAPD and Estevam RFH, Gradientes de qualidade em abacaxi 'Pérola' em função do tamanho e do estágio de maturação do fruto. *Revista Brasileira de Fruticultura* **26**: 544–546 (2004).
31. Saltveit, ME, Respiratory metabolism, In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, ed. by Yahia, EM and Carrillo-Lopez, A. Woodhead Publishing, pp. 73–91 (2019).
32. Steingass CB, Glock MP, Schweiggert RM and Carle R, Studies into the phenolic patterns of different tissues of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) infructescence by HPLC-DAD-ESI-MSⁿ and GC-MS analysis. *Anal Bioanal Chem* **407**: 6463–6479 (2015).
33. Tang M, Bie ZL, Wu MZ, Yi HP and Feng JX, Changes in organic acids and acid metabolism enzymes in melon fruit during development. *Scientia Horticulturae* **123**: 360–365 (2010).

34. Wheeler GL, Jones MA and Smirnoff N, The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. *Nature* **393**: 365–369 (1998).
35. Xie M, Chen JW, Qin QP, Jiang GH, Sun CB, Zhang HQ and Xu HX, The control of sugar accumulation within strawberry aggregate fruit by invertase and hexokinase. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology* **33**:213–218 (2007).
36. Yamaki S, Isolation of vacuoles from immature apple fruit flesh and compartmentation of sugars, organic acids, phenolic compounds and amino acids. *Plant and Cell Physiology* **25**: 151–166 (1984).
37. Zhang HN, Sun WS, Sun GM, Liu SH, Li YH, Wu QS and Wei YZ, Phenological growth stages of pineapple (*Ananas comosus*) according to the extended Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie scale. *Annals of Applied Biology* **169**: 311–318 (2016).
38. Zhang MF, Li ZL and Chen KS, The relationship between sugar accumulation and enzymes related to sucrose metabolism in developing fruits of muskmelon. *Journal Plant Physiology and Molecula*

ARTIGO II

Influência da aplicação de recobrimentos biodegradáveis em gradiente na qualidade, potencial funcional e conservação de abacaxi ‘Pérola’

Resumo

Introdução: O abacaxi é uma das infrutescências mais importantes da região tropical. Formada pela coalescência de frutinhos com o eixo central do pedúnculo tem a maturação em gradiente da base para o ápice. Além das características de formação do fruto, a colheita do abacaxi ocasiona um dano na base do fruto, ocasionado pela ruptura do pedúnculo, com isso proporcionando uma redução na vida útil pós-colheita e maior perda de qualidade. Buscando prolongar a vida útil pós-colheita do abacaxi recobrimentos têm sido explorados, todos aplicados na superfície total do fruto. No entanto, estes recobrimentos quando aplicados não levam em consideração as características morfológicas do fruto e o seu avanço da maturação em gradiente, que resultam em heterogeneidade na qualidade da polpa ao longo do eixo central.

Objetivo: Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos na qualidade e manutenção da vida útil pós-colheita da aplicação de recobrimento biodegradável em diferentes seções de abacaxi ‘Perola’ durante o armazenamento.

Metodologia: Os frutos foram submetidos a aplicação de recobrimento de fécula de mandioca (2,2%) e quitosana (0,3%), com total de 2,5%, em 1/3, 2/3 e 3/3 do fruto e sem recobrimento, e armazenados durante 20 dias, com períodos de avaliação a cada 4 dias. Os frutos foram submetidos a análises físicas, físico-químicas e compostos bioativos.

Resultados: Os abacaxis recobertos com 1/3 e 2/3 apresentaram redução na taxa respiratória e mais baixo consumo de oxigênio. Esses frutos também apresentaram atraso no desenvolvimento da coloração amarela, e mantiveram a firmeza elevada por mais tempo. A aplicação parcial retardou manteve nos teores de sólidos solúveis e a maior relação SS/AT propiciando frutos mais saborosos.

Conclusão: Neste estudo é demonstrado que a aplicação parcial de recobrimento em abacaxi ‘Pérola’ proporciona um retardo nos processos que resultam em perda de qualidade e um prolongamento da vida útil pós-colheita.

Palavras-chaves: Atividade respiratória, qualidade pós-colheita, compostos bioativos, atividade antioxidante, vida útil, armazenamento.

1. Introdução

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* L. Merr.) é uma planta tropical, monocotiledônea, perene considerada a principal espécie da família Bromeliaceae, do gênero *Ananas*, com centro de origem na região Amazônica (NORONHA, et al., 2016). A cultura é considerada uma das mais importantes frutíferas das regiões tropicais e subtropicais, sendo a terceira mais produzida no mundo, atrás apenas das bananas e dos citros (Nadzirah et al., 2013), isso devido à alta expansão comercial no mercado mundial nos últimos anos. No entanto, a expansão comercial é limitada pelas características de maturação do fruto sendo mais perecíveis e susceptíveis a distúrbios fisiológicos e infecções por patógenos, dificultando seu transporte a longas distancias e a manutenção da qualidade (Lobo e Yahia, 2017).

Outro fator que interfere na vida útil do abacaxi é a formação da infrutescência, que é comprida, formada em espiral, da base para o ápice e composta por 100 a 200 frutos individuais, denominados de frutinhos que apresentam idade fisiológica diferente (Coppens d'Eeckenbrugge e Leal, 2003) e o ferimento ocasionado na base pela quebra da ligação infrutescência com o pedúnculo no momento da colheita ocasionando um aumento no metabolismo dessa região (Zhang et al., 2016).

Buscando prolongar a vida útil pós-colheita do abacaxi várias tecnologias têm sido estudadas, como o emprego de atmosfera modificada (MAP) (Zhang et al., 2016), Recobrimento com cera (Li et al., 2018), tratamento térmico (Weerahewa e Adikaram,

2005), tratamento com CaCl_2 (Youryon e Wongsaree, 2015), tratamento com ABA (Zhang et al., 2015) e tratamento com 1-metilciclopropano (Selvarajah et al., 2001). No entanto, grande parte dessas tecnologias têm elevados custos e não levam em consideração as características morfológicas do fruto, que podem acarretar em uma heterogeneidade na qualidade da polpa.

O emprego de recobrimentos biodegradáveis vem se tornando frequente na conservação de frutos e hortaliças (Galus et al., 2019). Os recobrimentos podem ser formulados de ceras (Li et al., 2018), proteínas (Sharma et al., 2018) e polissacarídeos (Guimarães et al., 2017) e podem atuar como uma barreira natural reduzindo a perda de água, mantendo estrutura dos tecidos da casca, retendo os componentes voláteis e modificando as concentrações de CO_2 e O_2 internas da fruta (Baldwin, 2003, Lobo e Paull, 2017).

A utilização de fécula de mandioca na formulação de recobrimentos vem sendo empregado na conservação de manga (Camatari et al., 2018), tomate (Araujo et al., 2018) e abacaxi (Guimarães et al., 2017) por proporcionar boas características de formação de película, sendo resistente as trocas gasosas, incolor e proporcionar uma melhoria do aspecto da fruta (Guimarães et al., 2017). No entanto é possível adicionar outros compostos que melhorem ainda mais as propriedades do recobrimento, como o glicerol que proporciona melhor efeito plastificante (Fakhouri et al., 2012) e a quitosana que possui propriedades antimicrobiana possibilitando um recobrimento mais eficiente na proteção dos frutos de abacaxi (Treviño-Garza et al., 2017).

Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos na qualidade e manutenção da vida útil da aplicação de recobrimento biodegradável em diferentes seções de abacaxi 'Perola' durante o armazenamento.

2. Material e Métodos

2.1. Preparação dos recobrimentos biodegradáveis

A solução de recobrimento foi preparada a partir de suspensão aquosa de fécula de mandioca a 2,2% (w/v), sob aquecimento controlado até atingir a temperatura de 70 °C. A quitosana (Sigma Aldrich, São Paulo, Brasil) 0,3% (w/v) foi diluída em solução de ácido acético glacial (1%) por 1 hora sob agitação constante e adicionada a fécula de mandioca em ambiente (24 ±2°C). Em seguida foi adicionado glicerol 0,7% (w/v) e Tween 40 (Sigma Aldrich, São Paulo, Brasil) a solução de recobrimento, e submetidos a força de cisalhamento com auxílio de ultra turrax. As concentrações usadas na formulação dos recobrimentos foram determinadas com base em testes prévios.

2.2. Material Vegetal

Os frutos de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merr. c.v. 'Pérola') foram colhidos em uma plantação comercial no município de Lagoa de Dentro, Paraíba, Brasil. Os Frutos selecionados para o experimento foram colhidos em sua maturidade comercial, com cor e tamanho uniforme, sem presença de lesões físicas e/ou sintomas de doenças. Após a colheita os frutos foram transportados para o laboratório, em caixas plásticas do tipo K. Em seguida foram lavados em água corrente, mergulhados em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 1 min e secos em condição ambiente.

Os frutos foram separados em grupo, os quais foram parcialmente mergulhados (1/2), parcialmente mergulhados (2/3), e totalmente mergulhados (3/3) na solução filmogênicas durante 1 minuto, respectivamente (Figura 1). Outro grupo de abacaxis foi imerso em água por 1 min e usado como controle. Os frutos foram deixados secar por 12 horas a 25 °C e armazenados a temperatura ambiente (24±3°C e 85±5°C UR) sobre bandejas de poliestireno.

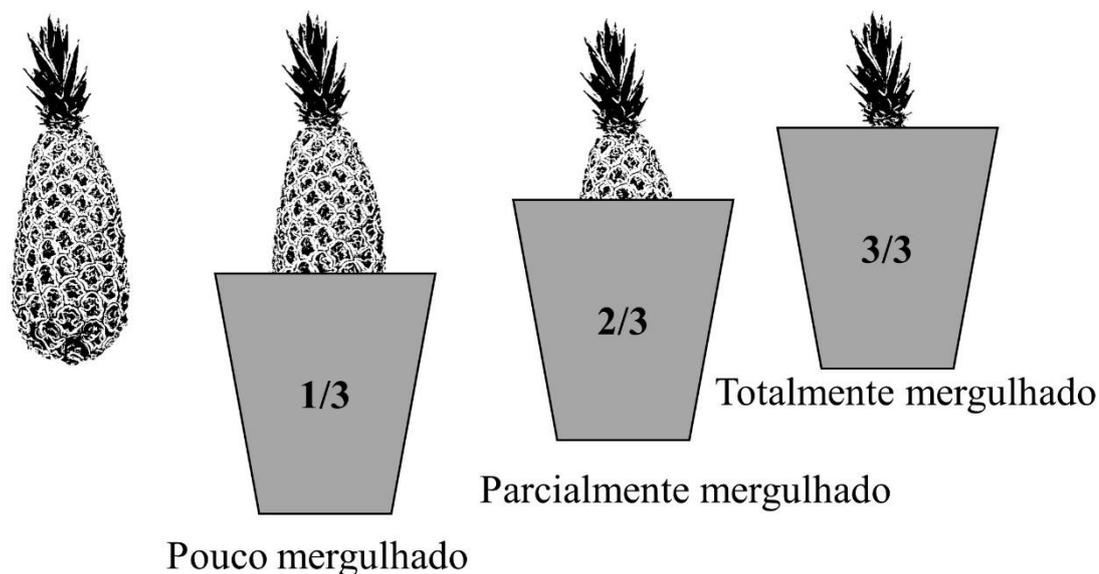


Figura 1. Aplicação do recobrimento biodegradável em abacaxi cv. ‘Pérola’. Frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\% \text{UR}$) durante 20 dias.

Os frutos foram avaliados por medições periódicas de respiração e perda de massa, por um mínimo de 4 frutos por tratamento. Análises físicas, físico-químicas e coleta de amostra foram realizadas em 1, 4, 8, 12, 16, 20 dias. Todas as amostras foram congeladas e armazenadas a -80°C em ultra frízer para análises posteriores.

2.3. Avaliação da Taxa Respiratória

A taxa respiratória foi determinada utilizando um analisador de CO_2 CA-10 (Sable System, Las Vegas, NE, USA) durante 11 dias de armazenamento em temperatura ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\% \text{UR}$) com 4 repetições por tratamento. Os frutos foram colocados em frascos de polipropileno de 10 litros e incubados por 1 hora. Os frascos de polipropileno tinham um septo de borracha e tampas de rosca herméticas para amostragem do espaço livre. O cálculo da taxa respiratória foi baseado na produção de

dióxido de carbono ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) com base em uma curva padrão de CO_2 99,9% (0,005-10%) (White Martins, Recife, PE, Brasil) (Saltveit et al., 2019).

A perda de peso dos frutos de abacaxi foi determinada pela comparação dos pesos das amostras durante os 20 dias de armazenamentos com os pesos iniciais, usando uma balança digital e expressos em porcentagem (Azarakhsh et al., 2014). A diferença de cor (ΔE) foi calculada pela equação: $\Delta E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2}$, considerando a diferença entre a cor medida através dos de cor *Luminosidade*, *a* e *b* (L_0 , a_0 e b_0) com a cor medida 1, 4, 8, 12, 16 e 20 (L , a , b) dias após o armazenamento (Allegra et al., 2017) utilizando um colorímetro Minolta CM-508d (Ahrensburg, Alemanha).

2.4. Firmeza, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/TA

A firmeza (N) foi determinada através do penetrômetro manual Magness Taylor Pressure Tester (Drill Press Stand, Canada) em umas leituras em sobre frutinhos equidistantes na região equatorial de cada seção transversal (basal, medial e apical). Os sólidos solúveis (SS) foram determinados por leitura direta com refratômetro tipo Abbe com controle de temperatura (20 °C) (IAL, 2005). Acidez titulável (AT) foi quantificada por titulometria com solução de NaOH 0,1M, sendo os resultados expressos em g ácido cítrico/100g de polpa fresca (IAL, 2005). Relação SS/TA foi obtida mediante divisão dos índices de SS pelos resultados de TA.

2.5. Compostos Bioativos

O ácido ascórbico da polpa foi determinado de acordo com AOAC (2005), 1 grama de polpa foi homogeneizado com 50 mL de ácido oxálico 0,5% e titulado com solução de DFI (2,6-diclorofenolindofenol 0,002%) até obtenção de coloração róseo claro permanente. Os resultados foram expressos em $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ de polpa.

A concentração de flavonoides amarelos foi determinada conforme Francis, (1982), utilizando solução de extração de etanol PA:HCl 1,5 M (85:15 v:v). Após centrifugação

a 7690g durante 15 min, os extratos foram filtrados através de papel Whitman N.1 e lidos em espectrofotômetro a 374 nm. Os resultados foram expressos em mg 100 g⁻¹ de polpa.

2.6. Polifenóis extraíveis totais e Atividade antioxidante

Os teores de Polifenóis extraíveis totais (TEP) foi determinado utilizando o reagente Folin-Ciocalteu como descrito por Budini et al. (1980), utilizando 1g de polpa congelada. O extrato foi obtido usando metanol 50% e acetona 70% com centrifugações por 15 minutos a 9000 rpm a 25°C. Em seguida, uma alíquota do extrato fenólico foi adicionada para 1 mL do reagente Folin-Ciocalteu, 2 mL de carbonato de sódio a 20% e 2 mL de água destilada. As leituras foram realizadas a 700 nm após 30 min de incubação sob condições ambiente e ausência de luz. Os resultados foram calculados com base em uma curva padrão de ácido gálico 98% (0-50 µg) e expressos como equivalentes de ácido gálico (GAE) mg 100g⁻¹ de polpa.

2.7. Análise estatística

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em fatorial 4 (Tratamentos) x 4 (períodos de avaliação). Todos os tratamentos foram compostos por quatro repetições biológicas e armazenados durante 20 dia em temperatura ambiente. Houve quatro repetições para análise de cada parâmetro. O desvio padrão foi adicionado nas médias das avaliações das seções transversais em cada estágio de maturação.

3. Resultados

A avaliação visual de alterações na cor dos frutos de abacaxi foi usada para demonstrar o avanço do processo de maturação. Como mostrado na Fig. 1, o tratamento com recobrimento parcial (2/3) atrasou a alteração da cor dos frutos e surgimento da translucidez da polpa, mas o tratamento totalmente recoberto (3/3) teve menos efeito em comparação com o controle. Os frutos do controle ficaram amarelos e com a polpa

translúcida rapidamente (Fig. 1). No entanto, o tratamento pouco recoberto (1/3) atrasou o amarelecimento em cerca de 8 dias (Fig. 1). O tratamento 2/3 atrasou em 12 dias a alteração da cor e o amadurecimento dos frutos.

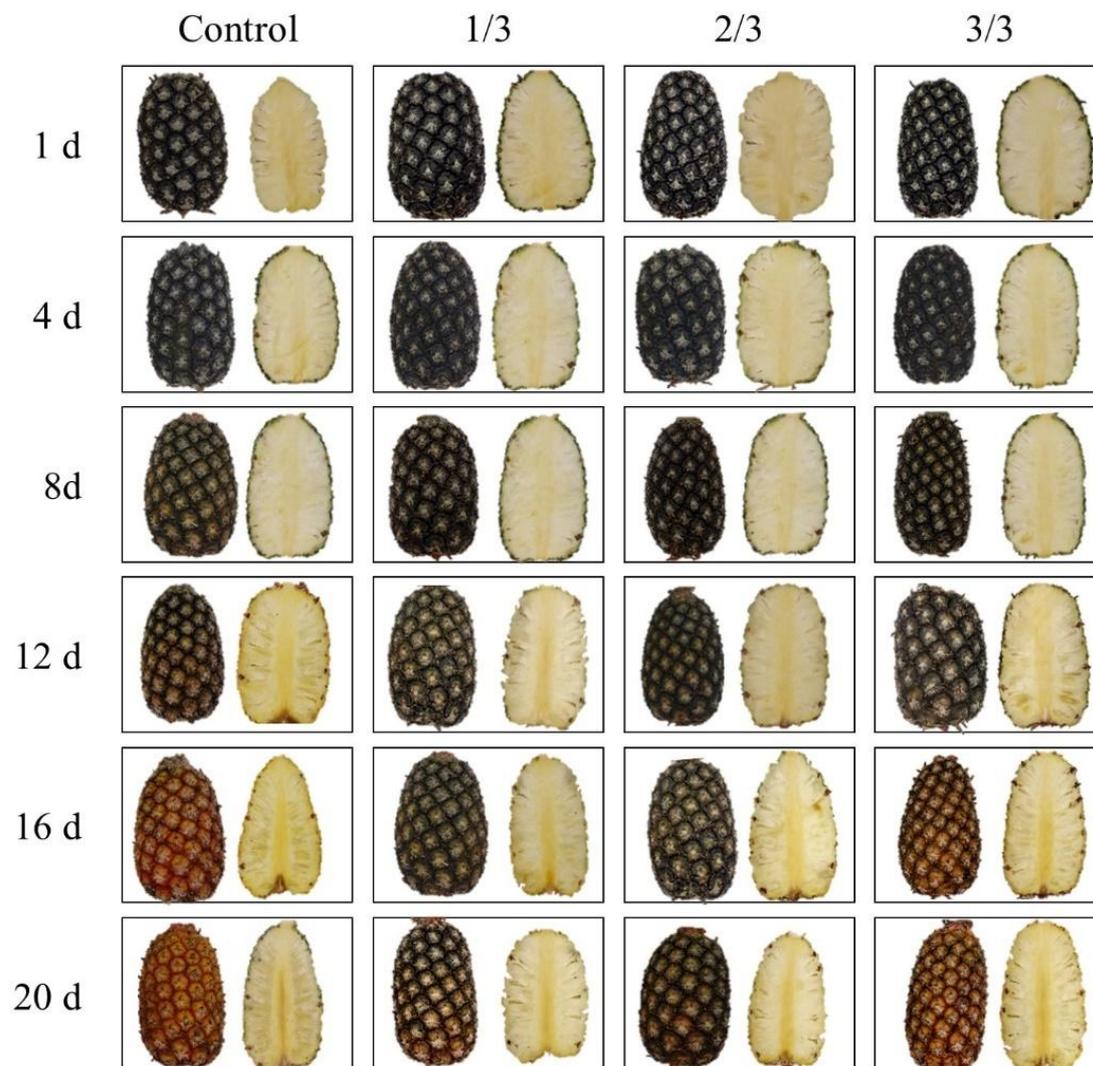


Figura 2. Efeito da aplicação de tratamento com recobrimento no amadurecimento de frutos de abacaxi cv. 'Pérola'. Fotografia (A) frutos pouco (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) recobertos com recobrimento biodegradável formulado com quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias a temperatura ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\% \text{UR}$) durante 20 dias. Controle: tratamento de água. Cada ponto de dados representa uma média \pm Desvio padrão ($n = 4$).

A variação de cor da casca (ΔE) aumentou em todos os frutos durante o período de armazenamento (Fig. 2). O controle (CO) apresentou maior variação de cor em todas as seções dos frutos avaliadas durante o armazenamento. O tratamento 1/3, quando comparado com o controle e outros tratamentos, promoveu uma menor variação de cor em todas as seções avaliadas. O tratamento 2/3 proporcionou uma menor variação de cor na seção apical e basal quando comparado com o 3/3.

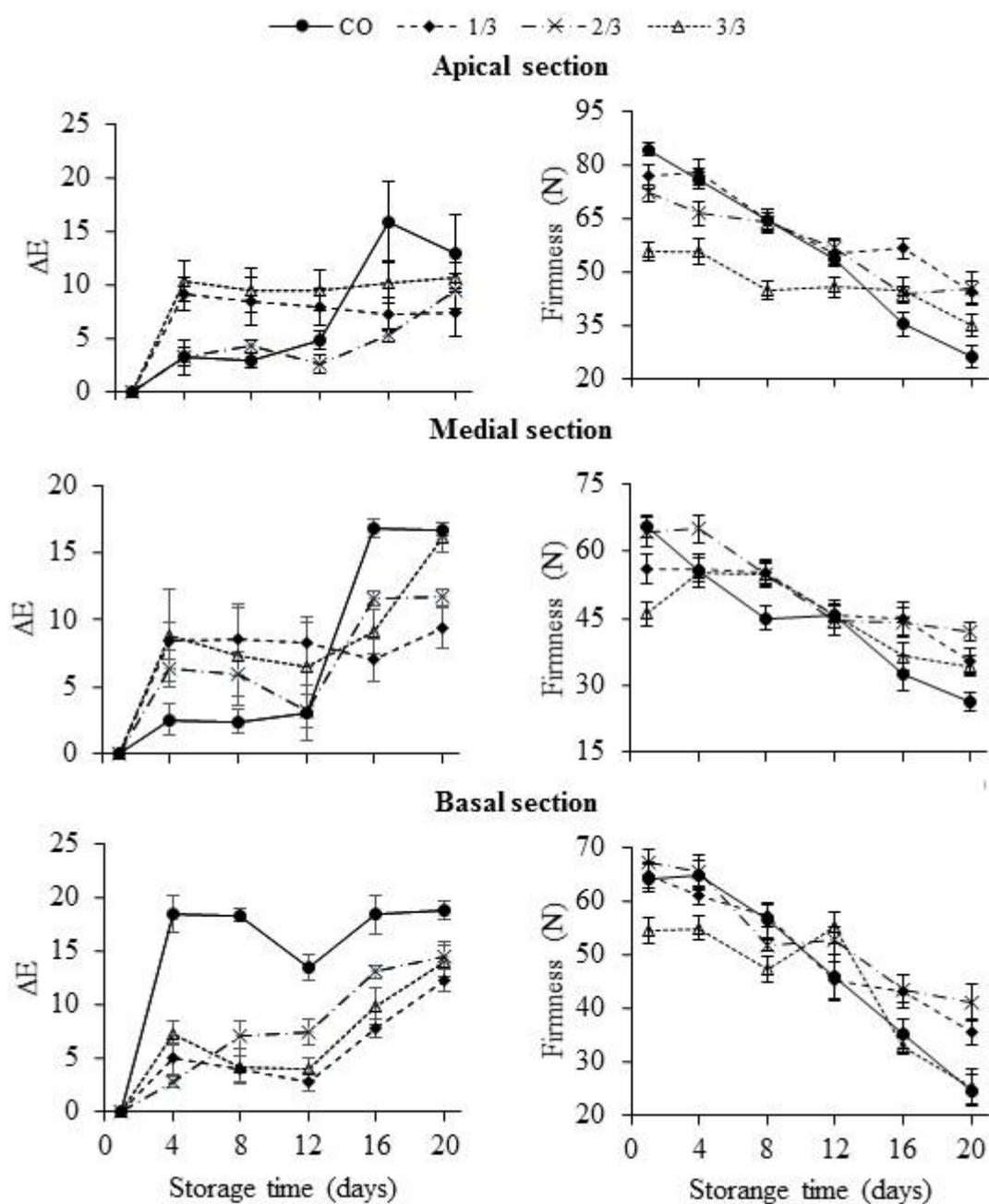


Figura 3. Efeito da aplicação de recobrimentos em diferentes seções transversais na variação de cor (ΔE) e firmeza de abacaxi cv. ‘Pérola’, recobertos na base (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) com formulações de quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^\circ\text{C}$ e $85\pm 5\% \text{ UR}$). Controle: tratamento de água. Cada ponto representa a média \pm Desvio padrão (n = 4).

Infrutescências 1/3 e 2/3 recobertas apresentaram maior firmeza na seção basal (Fig. 2). Nenhuma diferença na firmeza da seção basal nos do controle e 3/3 foi observada após 12 dias, mas abacaxis 3/3 recoberto foram menos firme do que as do controle e os demais durante 8 dias de armazenamento (Fig. 2). Na seção medial e apical, os tratamentos 1/3 e 2/3 mantiveram uma maior firmeza. No geral, 1/3 e 2/3 exercem maior efeito em retardar a maturação dos abacaxis, sem efeitos adversos na qualidade.

A taxa respiratória do abacaxi controle diminuiu do 1º ao 2º dia e aumentou do 8º ao 10º dia, que foi sempre maior comparado aos recobertos (Fig. 3A), indicando que os recobrimentos resultaram em retardo da taxa metabólica. O recobrimento de 2/3 do fruto promoveu uma redução na atividade respiratória maior que o de 1/3 entre 2 ao 8 dia de armazenamento, mas ambos aumentaram após 8 dias. A aplicação de 1/3 e 2/3 de recobrimento reduziu a perda de massa, enquanto que abacaxis controle e totalmente recobertos (3/3) favoreceram uma maior perda de massa do durante o armazenamento ao ambiente (Fig.3B), indicando possível desordem fisiológica causado por este último.

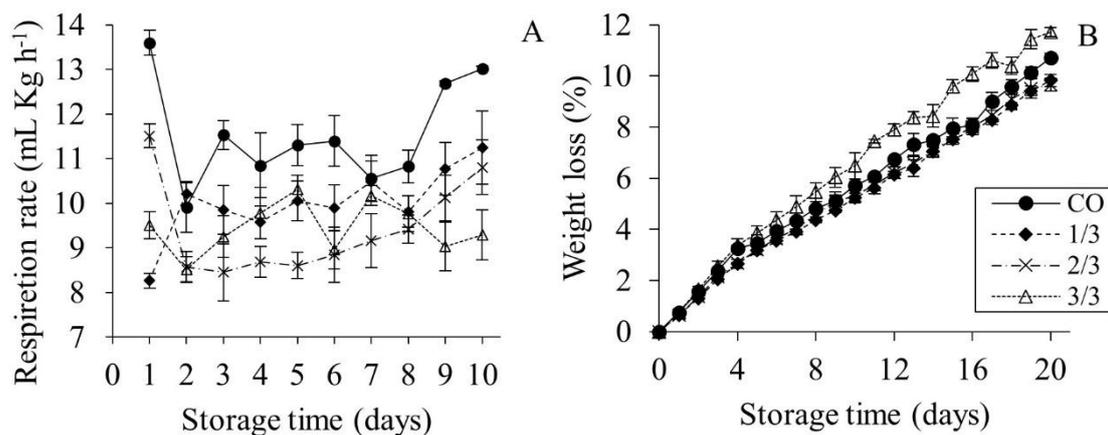


Figura 4. Efeito da aplicação de recobrimento em diferentes seções transversais na taxa respiratória (A) e perda de massa (B) de abacaxi cv. 'Pérola', recobertos na base (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) com formulações de quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5^{\circ}\text{C UR}$). Controle: tratamento de água. Cada ponto representa a média \pm Desvio padrão ($n = 4$).

Os sólidos solúveis (SS), acidez titulável (TA) e relação SS/TA foram determinados para avaliar o efeito da aplicação de recobrimento na qualidade de abacaxi (Fig. 4). Os SS do controle mantiveram-se em nível maior que os com recobrimento a partir do dia 2 e constante no intervalo de 1 a 4 dias, com maior percentual aos 16 dias (Fig. 4B). Abacaxis com recobrimento não diferiram do 1^o ao 12^o dia. No entanto, os 1/3 e 2/3 recobertos mantiveram menor percentual de SS que o controle e os com 3/3 aos 20 dias.

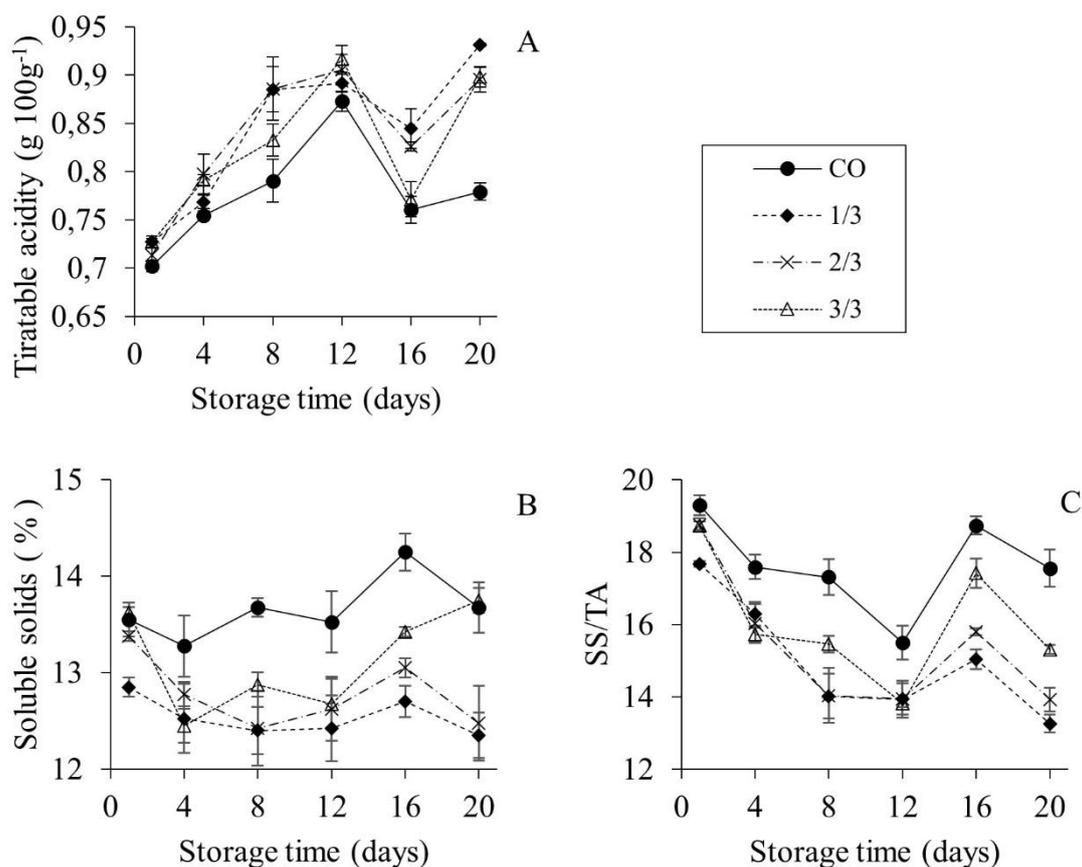


Figura 5. Efeito da aplicação de recobrimento em seções transversais na acidez titulável (A), sólidos solúveis (B) e relação SS/TA (C) em abacaxi cv. ‘Pérola’, recobertos na base (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) com formulações de quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\% \text{ UR}$). Controle: tratamento de água. Cada ponto representa a média \pm Desvio padrão ($n = 4$).

A AT foi menor aos 8 e 20 dias de armazenamento para os frutos do controle. Não houve diferença significativa entre os tratamentos, exceto no dia 9 e 16 (Fig. 4A). No entanto, o recobrimento de 1/3 apresentou maior AT aos 20 dias de armazenamento. Como resultado, o controle teve relações TSS / TA mais altas durante o armazenamento (Fig. 4B). O recobrimento de 3/3 teve relações mais altas que os outros dos 13 a 20 dias.

A aplicação de recobrimento total do fruto pode causar um distúrbio de amadurecimento dos frutos de abacaxi, como mostrado em Fig. 4, os recobrimentos de 1/3 e 2/3 mostraram os melhores efeitos no atraso do amadurecimento dos e manutenção da qualidade frutos.

O teor de ácido ascórbico (AA) diminuiu gradualmente durante o armazenamento do fruto controle e ligeiramente nos frutos recobertos com 3/3 entre 12 a 20 dias (Fig. 5A). No entanto, os tratamentos com recobrimento de 1/3 e 2/3 mantiveram o teor de AA mais altos, com uma leve diminuição durante os últimos quatro períodos.

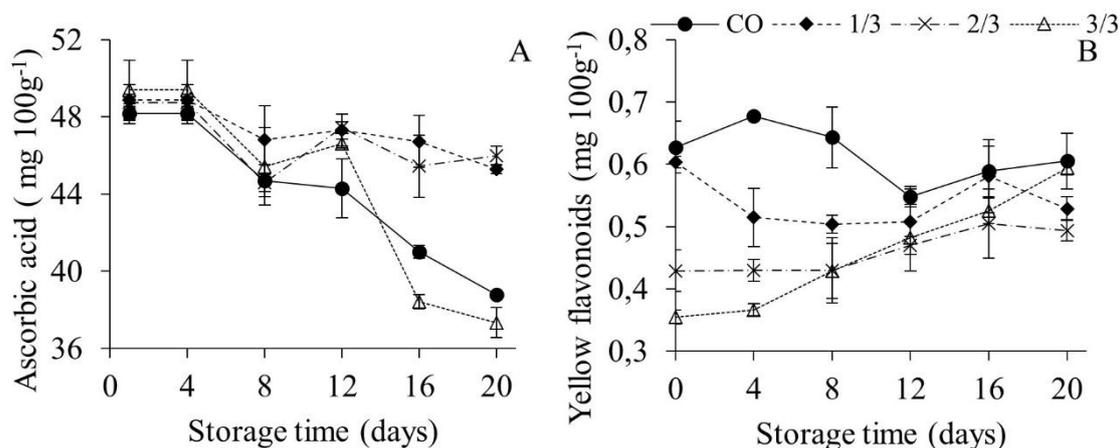


Figura 6. Efeito da aplicação de recobrimento em seções transversais nos conteúdos de ácido ascórbico (A) e flavonoides amarelo (B) de abacaxi cv. 'Pérola', recobertos na base (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) com formulações de quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\%$ UR). Controle: tratamento de água. Cada ponto representa a média \pm Desvio padrão ($n = 4$).

O conteúdo de flavonoides amarelo (YF), no intervalo de 1 a 12, foi maior no controle. Os frutos submetidos a 3/3 de recobrimento baixos conteúdo de YF nos dois primeiros períodos de avaliação, mas aumentaram seu conteúdo com avanço do armazenamento até se igualar ao controle. Os frutos tratados com 1/3 e 2/3 de recobrimento praticamente

mantiveram seu conteúdo de YF durante a maturação, com o tratamento 1/3 sendo maior que o 2/3. Nos últimos períodos de avaliação os tratamentos 1/3 e 2/3 se diferenciaram do controle e tratamento 3/3 devido a menor concentração de YF nos frutos.

Os frutos de abacaxi submetidos a aplicação de recobrimento em 3/3 apresentaram o maior acréscimo nos teores de fenólicos extraíveis totais (TEP) até os 16 dias e apresentaram o segundo maior teor aos 20 dias de armazenamento, indicando que o fruto apresentava estresse. Frutos recobertos com 1/3 e 2/3 apresentaram aumento nos níveis de TEP ao longo da maturação, no entanto menor que o controle e que os recobertos com 3/3. Os abacaxis sem recobrimento tiveram comportamento crescente de TEP durante o armazenamento, com incremento superior aos tratados com 1/3 e 2/3 a partir do quinto dia de armazenamento (Fig. 6A).

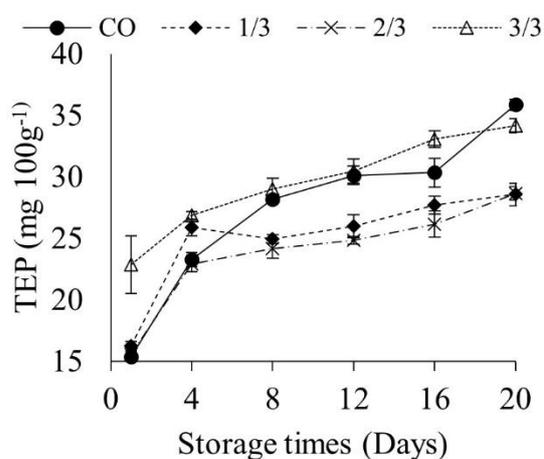


Figura 7. Efeito da aplicação de recobrimento em seções transversais no conteúdo de polifenóis extraíveis totais (TEP) de abacaxi cv. ‘Pérola’, recobertos na base (1/3), parcialmente (2/3) e totalmente (3/3) com formulações de quitosana (0,3 %) fécula de mandioca (2,2 %) e glicerol (0,7 %) e armazenados durante 20 dias na condição ambiente ($24\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $85\pm 5\% \text{UR}$). Controle: tratamento de água. Cada ponto representa a média \pm Desvio padrão ($n = 4$).

4. Discussão

Os tratamentos com aplicação de recobrimento biodegradável atrasaram o amadurecimento dos frutos, estendendo o índice de amadurecimento, mantendo a firmeza do fruto e reprimindo a taxa de respiração do fruto. A aplicação total de recobrimento nos frutos ocasionou um maior avanço na coloração da casa, conforme a fig 1 e 2, onde nos dois últimos períodos os frutos totalmente recobertos (3/3) estavam praticamente no mesmo estágio de maturação que o controle, favorecendo assim uma maior variação de cor (Fig.2). A utilização de recobrimentos pode favorecer uma maior vida útil pós-colheita, no entanto também pode causar um estresse que ocasione efeito contrário, acelerando a maturação e fermentação (Kader, 1959). A pouca (1/3) e parcial (2/3) aplicação de recobrimento promoveu retardo na maturação e retardou a incidência da translucidez nos frutos avaliados, provavelmente devido a um menor estresse causado no fruto. Provavelmente a aplicação de recobrimentos em 1/3 e 2/3 da superfície do fruto que minimizou o dano na área de rompimento com a planta e retardando a maturação inibindo a intensidade da translucidez que é causada pelo preenchimento com líquido dos espaços intercelulares livres ocasionando baixa porosidade e uma aparência liquefeita na polpa tendo início antes da colheita e se intensifica ao longo da maturação (Luengwilai, 2016; Youryon, 2019; Zhang et al., 2016).

Os frutos recobertos com 2/3 reduziram o escurecimento interno da polpa, distúrbio fisiológico pós-colheita comum do abacaxi que geralmente é intensificado por tratamentos com refrigeração (Zhang et al., 2015). Entretanto, o tratamento de 1/3 conseguiu diminuir os sintomas de Escurecimento interno, principalmente na região do talo, sob condições ambiente, mantendo a integridade das células (Hu et al., 2012).

As seções que receberam recobrimento promoveram uma menor perda de firmeza, que declinou com o avanço da maturação. A redução da firmeza do abacaxi geralmente está

associada a atividades de enzimas da parede celular, como pectina metil esterase, poligalacturonase, α -manosidase, α -galactosidase, β -galactosidase, xilanase e celulase, que participam do processo de degradação dos polissacarídeos estruturais e que podem ter sua atividade reduzida pela redução da taxa metabólica (Paull et al., 2016).

Verificou-se que os tratamentos com recobrimento tiveram um impacto significativo na taxa respiratória do abacaxi quando comparados com o controle. Este comportamento pode estar relacionado com o fechamento dos estômatos, provavelmente, ocasionado pela baixa na difusão de oxigênio em decorrência da aplicação dos recobrimentos (Else et al., 1995, Techavuthiporn e Boonyaritthongchai, 2016), com isso, quanto maior a área recoberta maior o estresse causado ao fruto. Baixas taxas de respiração podem prolongar a vida útil das frutas colhidas (Mathooko, 1996). No entanto, a aplicação de recobrimentos também pode acarretar em uma aceleração da perda de massa (Lara et al. 2010) como observado nas fig. 2B, onde o tratamento com 3/3 de recobrimento promoveu uma maior perda de massa ao final do armazenamento, isto pode estar associado a modificação de atmosfera interna ocasionada pelo uso do recobrimento aumentando os distúrbios associados ao alto teor de dióxido de carbono ou baixa concentração de oxigênio ocasionando uma maior liberação de água (Ben-Yehoshua, 1969; Smock, 1940).

O conteúdo de SS e relação SS/TA são considerados como indicadores da qualidade e maturadas das frutas, uma relação mais alta pode ser relacionada à maior qualidade da polpa e estágio ideal de consumo da fruta (Elsheshetawy et al., 2016). Os tratamentos 1/3 e 2/3 ocasionaram efeito de conservação nos teores de TSS provavelmente devido ao processo de amadurecimento, onde o amido é convertido em açúcares solúveis e acúmulo de ácidos orgânicos, proteínas, gorduras e minerais (Ogawa et al., 2018). Em decorrência de uma menor atividade respiratória.

Os frutos recobertos em 1/3 e 2/3 mantiveram o maior acúmulo de ácidos não voláteis que ocorre como ácidos livres nos vacúolos das células e menor acúmulo de açúcares proporcionando uma maior acidez (Liu et al., 2017). O maior acúmulo TA e menor acúmulo SS nos frutos recobertos em 1/3 e 2/3 proporcionaram uma manutenção na relação SS/TA, contribuindo com a manutenção da qualidade.

Os frutos tratados com 1/3 e 2/3 de recobrimento conservaram os teores de AA durante o armazenamento quando comparados com os frutos do controle e tratados com 3/3, que promoveram um declínio acentuado nos teores de AA durante o armazenamento. A diminuição dos teores de AA pode estar relacionada à degradação e oxidação do ácido ascórbico mais intensa nos frutos não recoberto (Sharma et al., 2018).

A conservação dos teores de AA nos frutos recobertos com 1/3 e 2/3 pode ter proporcionado uma queda na permeabilidade da área de rompimento com a planta, que apresenta uma alta atividade metabólica, ocasionando uma desaceleração no metabolismo e reduzindo a degradação do AA (Benítez et al., 2014). Os tratamentos com recobrimento viabilizaram menores níveis de YF até os 12 dias de armazenamento, no entanto ao final o tratamento 3/3 se igualou ao controle. Provavelmente o aumento nos níveis de YF em abacaxis do controle podem estar associados com a atuação dos flavonoides na ativação da defesa vegetal e na mudança de coloração da polpa (Bubols et al., 2013). Logo, a aplicação de recobrimento em uma maior área do fruto possivelmente ocasionou um maior estresse, aumentando assim os níveis de YF e maior expressão da coloração.

Os abacaxis do controle e os recobertos com 3/3 apresentaram maior aumento nos teores de TEP quando comparados aos recobertos em 1/3 e 2/3, provavelmente em decorrência do aumento da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase que vem sendo associado ao aumento de TEP em resposta aos estresses, que está relacionado com a defesa vegetal, em decorrência do avanço da maturação e aplicação total de recobrimento

(Neves et al., 2015), que pode ter resultado em anaerobiose. Por sua vez, diminuição dos níveis de TEP nos frutos recobertos com 1/3 e 2/3 podem estar relacionados com a diminuição da atividade da enzima polifenoloxidase que é responsável pela oxidação dos fenólicos (Rinaldo et al., 2010).

5. Conclusão

Neste estudo é demonstrado que a aplicação parcial de recobrimento em abacaxi pode proporcionar uma redução da taxa de perda de qualidade e um prolongamento da vida útil dos frutos de abacaxi.

A aplicação parcial dos recobrimentos em seções com metabolismo mais elevado, deixando livre a seção de menor atividade metabólica ocasiona uma melhoria na aparência dos frutos, redução da taxa metabólica global, sem ocasionar em fruto o processo fermentativo.

A aplicação parcial pode proporcionar uma maior economia de recobrimento e proporcionar uma maior eficiência na manutenção da qualidade e prolongamento da vida útil dos frutos. O tratamento com aplicações parciais atrasou o amadurecimento dos abacaxis, reduziu atividade respiratória manteve a qualidade dos frutos principalmente pela diminuição dos ácidos orgânicos, com menor impacto no teor total de açúcar.

Em conjunto, a aplicação parcial pode ser mais eficiente na minimização dos sintomas de escurecimento interno do fruto do abacaxi. Este estudo sugeriu um potencial de aplicação parcial de recobrimento em abacaxi, levando em consideração a fisiologia de maturação em gradiente, a morfologia do fruto e garantia da comercialização bem sucedida de abacaxi 'Pérola'.

6. Referências

1. AOAC - Association of Official Analytical Chemistry (2005). 17th edn. Official methods of analysis of the association of Official Analytical Chemistry, Washington.
2. Araújo, J. M. S., de Siqueira, A. C. P., Blank, A. F., Narain, N., & de Aquino Santana, L. C. L. (2018). A cassava starch–chitosan edible coating enriched with *Lippia sidoides* Cham. Essential oil and pomegranate peel extract for preservation of italian tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) stored at room temperature. *Food and bioprocess technology*, 11(9), 1750-1760.
3. Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., & Adzahan, N. M. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.09.004>
4. Baldwin, E. A. (2002). Coatings and other supplemental treatments to maintain vegetable quality. In *Postharvest Physiology and pathology of Vegetables* (pp. 418-440). CRC Press.
5. Ben Yehoshua, S. (1969). Gas exchange, transpiration, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. *J Amer Soc Hort Sci*.
6. Benítez, S., Soro, L., Achaerandio, I., Sepulcre, F., & Pujolá, M. (2014). Combined effect of a low permeable film and edible coatings or calcium dips on the quality of fresh-cut pineapple. *Journal of food process engineering*, 37(2), 91-99. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12063>
7. Bubols, G.B., da Rocha Vianna, D., Medina-Reyon, A., von Poser, G., Maria Lamuela-Raventos, R., Lucia Eifler-Lima, V., Cristina Garcia, S., 2013. The Antioxidant Activity of Coumarins and Flavonoids. *Mini-Reviews Med. Chem.* 13, 318–334. <https://doi.org/10.2174/1389557511313030002>

8. Budini, R., Tonelli, D., & Girotti, S. (1980). Analysis of total phenols using the Prussian blue method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(6), 1236-1238.
<https://doi.org/10.1021/jf60232a056>
9. Camatari, F. O. D. S., Santana, L. C. L. D. A., Carnelossi, M. A. G., Alexandre, A. P. S., Nunes, M. L., Goulart, M. O. F., ... & SILVA, M. A. A. P. D. (2018). Impact of edible coatings based on cassava starch and chitosan on the post-harvest shelf life of mango (*Mangifera indica*) 'Tommy Atkins' fruits. *Food Science and Technology*, 38, 86-95
10. Coppens D'Eeckenbrugge, G. (2003). Morphology, anatomy and taxonomy. *The pineapple: botany, production, and uses*, 13-32.
11. Deus, E. G., Sousa, M. S. M., & Adaime, R. (2016). Taperebá, pp. 260–265. *Pragas Agrícolas e Florestais na Amazônia*. Embrapa, Brasília, Distrito Federal, Brazil.
12. Else, M. A., Hall, K. C., Arnold, G. M., Davies, W. J., & Jackson, M. B. (1995). Export of abscisic acid, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, phosphate, and nitrate from roots to shoots of flooded tomato plants (accounting for effects of xylem sap flow rate on concentration and delivery). *Plant Physiology*, 107(2), 377-384.
<https://doi.org/10.1104/pp.107.2.377>
13. Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Bertan, L. C., Yamashita, F., Mei, L. H. I., & Queiroz, F. P. C. (2012). Edible films made from blends of manioc starch and gelatin—Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. *LWT*, 49(1), 149-154.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.017>
14. Francis, F. J. (1982). Book Review| P. Markakis, *Anthocyanins as Food Colors*, Academic Press Inc, 111 Fifth Avenue, New York, New York 10003, USA (1982), 263 pp.

15. Galus, S. (2019). Development of Edible Coatings in the Preservation of Fruits and Vegetables. In *Polymers for Agri-Food Applications* (pp. 377-390). Springer, Cham.
16. Guimarães, G. H. C., Dantas, R. L., Sousa, A. S. B., Soares, L. G., Melo, R. S. M., Silva, R. S., ... & Silva, S. M. (2017). Impact of cassava starch-alginate based coatings added with ascorbic acid and elicitor on quality and sensory attributes during pineapple storage. *African Journal of Agricultural Research*, 12(9), 664-673. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11652>
17. Elsheshetawy, H. E., Mossad, A., Elhelew, W. K., & Farina, V. (2016). Comparative study on the quality characteristics of some Egyptian mango cultivars used for food processing. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(1), 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2016.04.001>
18. Hu, H., Li, X., Dong, C., & Chen, W. (2012). Effects of wax treatment on the physiology and cellular structure of harvested pineapple during cold storage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(26), 6613-6619. <https://doi.org/10.1021/jf204962z>
19. IAL - Instituto Adolfo Lutz, Métodos físico-químicos para análise de alimentos (2008). In *Procedimentos e Determinações Gerais*, 4 ed. By Zenebon O and Pascuet NS. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, pp. 103–105.
20. Kader, A. A. (1994). Regulation of fruit physiology by controlled/modified atmospheres. *Postharvest Physiology of Fruits* 398, 59-70. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.398.6>
21. Lara, M. V., Budde, C. O., Porrini, L., Borsani, J., Murray, R., Andreo, C. S., & Drincovich, M. F. (2011). Peach (*Prunus persica*) fruit response to anoxia: reversible ripening delay and biochemical changes. *Plant and Cell Physiology*, 52(2), 392-403. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcq200>

22. Li, X., Zhu, X., Wang, H., Lin, X., Lin, H., & Chen, W. (2018). Postharvest application of wax controls pineapple fruit ripening and improves fruit quality. *Postharvest biology and technology*, 136, 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.012>
23. Liu, J., He, C., Shen, F., Zhang, K., & Zhu, S. (2017). The crown plays an important role in maintaining quality of harvested pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 124, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.09.007>
24. Lobo, M. G., & Paull, R. E. (Eds.). (2017). *Handbook of pineapple technology: production, postharvest science, processing and nutrition*. John Wiley & Sons.
25. Luengwilai, K., Beckles, D. M., & Siriphanich, J. (2016). Postharvest internal browning of pineapple fruit originates at the phloem. *Journal of plant physiology*, 202, 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.07.011>
26. Mathooko, F. M. (1996). Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology*, 9(3), 247-264. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(96\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)00019-1)
27. Nadzirah, K. Z., Zainal, S., Noriham, A., Normah, I., Siti Roha, A. M., & Nadya, H. (2013). Physico-chemical properties of pineapple variety N36 harvested and stored at different maturity stages. *International Food Research Journal*, 20(1), 225–231. 2013.
28. Neves, L. C., Tosin, J. M., Benedette, R. M., & Cisneros-Zevallos, L. (2015). Post-harvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. *Food Chemistry*, 174, 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.111>
29. Ogawa EM, Costa HB, Ventura JA, Caetano LC, Pinto FE, Oliveira BG, Barroso MES, Scherer R, Endringerc DC and Romão W. (2018). Chemical profile of

- pineapple cv. Vitória in different maturation stages using electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(3), 1105-1116. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8561>
30. Paull, R. E., Chen, N. J., Ming, R., Wai, C. M., Shirley, N., Schwerdt, J., & Bulone, V. (2016). Carbon flux and carbohydrate gene families in pineapple. *Tropical Plant Biology*, 9(3), 200-213.
31. Smock, R. M. (1940). Some additional effects of waxing apples. *Proceedings. American Society for Horticultural Science*, 1939, 37, 448-52.
32. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
33. Rinaldo, D., Mbégué-A-Mbégué, D., Fils-Lycaon, B., 2010. Advances on polyphenols and their metabolism in sub-tropical and tropical fruits. *Trends Food Sci. Technol.* 21, 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.09.002>
34. Saltveit, M. E. (2019). Respiratory metabolism. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* (pp. 73-91). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00004-X>
35. Selvarajah, S., Bauchot, A. D., & John, P. (2001). Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest biology and technology*, 23(2), 167-170. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(01\)00099-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(01)00099-0)
36. Sharma, L., Singh Saini, C., & Sharma, H. K. (2018). Development of crosslinked sesame protein and pineapple extract-based bilayer coatings for shelf-life extension

- of fresh-cut pineapple. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13527.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.13527>
37. Techavuthiporn, C., & Boonyaritthongchai, P. (2016). Effect of prestorage short-term Anoxia treatment and modified atmosphere packaging on the physical and chemical changes of green asparagus. *Postharvest Biology and Technology*, 117, 64-70. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.016>
38. Treviño-Garza, M. Z., García, S., Heredia, N., Alanís-Guzmán, M. G., & Arévalo-Niño, K. (2017). Layer-by-layer edible coatings based on mucilages, pullulan and chitosan and its effect on quality and preservation of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, 128, 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.007>
39. Weerahewa, D., & Adikaram, N. K. B. (2005). Heat-induced tolerance to internal browning of pineapple (*Ananas comosus* cv. 'Mauritius') under cold storage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(4), 503-509. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511968>
40. Youryon, P., Supapvanich, S., & Wongs-Aree, C. (2019). Internal browning alleviation of Queen pineapple cv. 'Sawi' under cold storage using salicylic acid or abscisic acid peduncle infiltration. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(6), 744-752. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1621684>
41. Zhang, H. N., Sun, W. S., Sun, G. M., Liu, S. H., Li, Y. H., Wu, Q. S., & Wei, Y. Z. (2016). Phenological growth stages of pineapple (*Ananas comosus*) according to the extended Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie scale. *Annals of Applied Biology*, 169(2), 311-318. <https://doi.org/10.1111/aab.12292>

42. Zhang, M., Meng, X., Bhandari, B., & Fang, Z. (2016). Recent developments in film and gas research in modified atmosphere packaging of fresh foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(13), 2174-2182. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.819794>
43. Zhang, Q., Liu, Y., He, C., & Zhu, S. (2015). Postharvest exogenous application of abscisic acid reduces internal browning in pineapple. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(22), 5313-5320. <https://doi.org/10.1021/jf506279x>