UFRRJ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

SUCO MISTO TROPICAL HOMOGENEIZADO À ALTA PRESSÃO: EFEITOS NOS COMPOSTOS BIOATIVOS, ESTABILIDADE FÍSICA E CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS

MARIAH ALMEIDA LIMA

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

SUCO MISTO TROPICAL HOMOGENEIZADO À ALTA PRESSÃO: EFEITOS NOS COMPOSTOS BIOATIVOS, ESTABILIDADE FÍSICA E CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS

MARIAH ALMEIDA LIMA

Sob orientação do Professor
Amauri Rosenthal

E Coorientação da Professora
Rosires Deliza

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia** no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica,
Março de 2020

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732s

Lima, Mariah Almeida, 1991-
Suco misto tropical homogeneizado à alta pressão: efeitos nos compostos bioativos, estabilidade física e características reológicas / Mariah Almeida Lima. - Seropédica, 2020.
71 f.: il.

Orientador: Amauri Rosenthal.
Coorientadora: Rosires Deliza.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2020.

1. Frutas tropicais. 2. Compostos bioativos. 3. Homogeneização à alta pressão. 4. Reologia. I. Rosenthal, Amauri, 1960-, orient. II. Deliza, Rosires, 1958-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. IV. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

MARIAH ALMEIDA LIMA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Tecnologia,** no curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04/03/2020

Amauri Rosenthal. Ph.D. Embrapa Agroindústria de Alimentos (Orientador)

Lourdes Maria Pessoa Masson. Dr. IFRJ

Elisa Helena da Rocha Ferreira. Dr. UFRRJ

Dedico aos meus pais, João e Maria José, meu maior exemplo de dedicação, fé e amor.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que nunca me desamparou e me permitiu chegar até aqui. Senhor, obrigado porque até aqui Tua mão me guiou, me sustentou.

À minha família, pois sem ela não teria forças para terminar essa jornada. Primeiramente, aos meus pais, João e Maria José, por não medirem esforços para que eu realize meus sonhos. Obrigada por me sustentarem com seu amor e orações. Ao meu irmão, João Paulo, pelo incentivo e amor. Ao meu namorado, Fabiano, que em meio as atribulações da vida nunca me desamparou, me incentivou e compreendeu com muito carinho. À minha sogra, Débora, por cuidar de mim como filha. Aos membros da família Paschoal, por serem a minha família aqui no Rio de Janeiro.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, pela oportunidade e cessão de suas instalações para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por todo o aprendizado e crescimento.

Aos meus orientadores, Amauri e Rosires, por todo o carinho, paciência, dedicação e por toda confiança depositada em mim. Durante esses dois anos vocês foram mais que orientadores, foram amigos e exemplos de profissionais. A vocês todo o meu carinho e eterna gratidão.

À melhor companheira de trabalho que já tive, Inayara Martins. Obrigada pela parceria, pela ajuda, pela troca de conhecimento, pelo apoio nos momentos difíceis e por dividir essa jornada comigo. Foi um enorme prazer trabalhar e aprender com você.

Aos técnicos da Planta Piloto, Érika, Luiz Fernando, William, Filé, Rodrigo e Mariana por toda a ajuda nos processamentos.

Aos queridos amigos que estiveram ao meu lado, Matheus, Gisele, Marcela, Isadora, Lucas, Gabi, Carla, por fazer os dias mais leves.

À Professora Drª. Verônica Calado por toda a ajuda e disponibilidade na execução e interpretação dos resultados das análises reológicas.

À todas as pessoas que colaboraram diretamente e indiretamente na execução desse trabalho.

RESUMO

LIMA, Mariah Almeida. **Suco misto tropical homogeneizado à alta pressão: efeitos nos compostos bioativos, estabilidade física e características reológicas.** 2020. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

A homogeneização à alta pressão (HAP) é uma tecnologia não térmica que tem sido amplamente estudada como substituta parcial ou total do processamento térmico de alimentos. A HAP é capaz de inativar enzimas e microrganismos que são responsáveis pela deterioração de alimentos, além de preservar as características sensoriais e nutricionais, garantindo a produção de alimentos com qualidade. Este estudo teve como objetivo estudar os efeitos da homogeneização à alta pressão sobre os compostos bioativos, capacidade antioxidante e sobre as propriedades físico-químicas, físicas, microbiológicas e reológicas do suco misto de frutas tropicais, composto por caju, acerola e melão. O trabalho foi realizado na Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, RJ, Brasil). O suco foi homogeneizado à alta pressão utilizando níveis de pressão de 50 MPa e 100 MPa e, posteriormente, comparado ao suco submetido à pasteurização a 90 °C/1 minuto, suco processado à alta pressão hidrostática utilizando pressão 500 MPa por 10 minutos e suco sem tratamento. Foram realizadas análises físico-químicas (pH, acidez, sólidos solúveis), microbiológicas (Coliformes a 35 °C e 45 °C, bactérias aeróbias mesófilas, fungos filamentosos e leveduras e *Salmonella* spp.), teor de fenólicos totais, vitamina C, capacidade antioxidante, estabilidade física (distribuição do tamanho de partículas, microscopia óptica, sedimentação da polpa e cor instrumental) e análises reológicas. O suco foi mantido sob refrigeração a 4 °C por um período de 42 dias, sendo as análises realizadas em 0, 14, 28 e 42 dias. Os dados foram analisados estatisticamente através da Análise de Variância (ANOVA) e testes de médias de Tukey utilizando o software estatístico R. O processo de homogeneização à alta pressão foi ineficaz na inativação da contaminação microbiana inicial do suco e, devido a essa contaminação, houve aumento da acidez e diminuição dos sólidos solúveis das amostras homogeneizadas à alta pressão. Não houve efeito negativo significativo no pH, teor de fenólicos e na capacidade antioxidante em relação a amostra controle, porém a HAP teve efeito negativo sobre a vitamina C. A HAP afetou significativamente a estabilidade física, causando redução no tamanho de partícula, estabilidade na sedimentação da polpa e manutenção da cor em relação a amostra controle. Os resultados obtidos nas análises reológicas mostraram que os sucos se adequaram ao modelo de Herschel-Bulkley e houve redução da viscosidade do suco com o aumento da tensão de cisalhamento, conforme esperado.

Palavras-chave: Frutas tropicais, compostos bioativos, homogeneização à alta pressão, reologia.

ABSTRACT

LIMA, Mariah Almeida. **High pressure homogenized tropical mixed juice: effects on bioactive compounds, physical stability and rheological characteristics.** 2020. 59 p. Dissertation (Master in Food Science and Technology). Institute of Technology, Departament of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

High pressure homogenization (HPH) is a non-thermal technology that has been widely studied as a partial or total substitute for thermal food processing. HPH is able of inactivating enzymes and microorganisms that are responsible for food spoilage, as well as preserving sensory and nutritional characteristics, ensuring quality food production. This study aimed to evaluate the effects of high pressure homogenization on bioactive compounds, antioxidant capacity and on the physicochemical, physical, microbiological and rheological properties of a mixed tropical fruit juice, composed by Cashew, Acerola and Melon. The work was carried out at Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, RJ, Brazil). The juice was homogenized at pressure levels of 50 MPa and 100 MPa and then compared to the product subjected to pasteurization at 90 ° C / 1 minute, to the juice processed at high hydrostatic pressure at 500 MPa for 10 min. and to juice without treatment. Physicochemical (pH, acidity, soluble solids), microbiological analyzes (coliforms at 35 ° C and 45 ° C, mesophilic aerobic bacteria, filamentous fungi and yeast and *Salmonella* spp.), total phenolic content, vitamin C, antioxidant capacity, physical stability (particle size distribution, optical microscopy, pulp sedimentation and instrumental color) and rheological analysis. The juice was kept refrigerated at 4 ° C for a period of 42 days, being the analyzes performed at 0, 14, 28 and 42 days. The data were statistically analyzed by the analysis of variance (ANOVA) and Tukey mean tests using the R-program. The high pressure homogenization process was ineffective in inactivating the initial microbial contamination of the juice and due to this contamination, there was an increase in acidity and decrease of soluble solids of samples homogenized at high pressure. There was no significant negative effect on pH, phenolic content and antioxidant capacity compared to the control sample, but HPH had negative effect on vitamin C. HPH significantly affected physical stability, causing reduction in particle size, sedimentation stability. and color maintenance in relation to the control. The results obtained in the rheological analysis showed that the juices fit the Herschel-Bulkley model and there was a reduction in juice viscosity with increasing shear stress, as expected.

Keywords: Tropical fruits, bioactive compounds, high pressure homogenization, rheology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de processamento do suco misto de frutas tropicais.....15
Figura 2 - Homogeneizador a alta pressão 16
Figura 3 - Equipamento de Alta Pressão Hidrostática.....17
Figura 4 - Efeito dos diferentes processamentos na distribuição do tamanho de partícula do suco misto de frutas tropicais 32
Figura 5 - Efeito do processamento no diâmetro médio da partícula (D[4,3] e D[3,2]) do suco misto de frutas tropicais.....32
Figura 6 - Efeito do processamento na microestrutura do suco misto de frutas tropicais.....34
Figura 7 - Efeito dos processamentos na sedimentação da polpa do suco misto de frutas tropicais 35
Figura 8 –Viscosidade inicial dos diferentes processamentos em relação a amostra controle. 37
Figura 9 - Variação da viscosidade do suco misto de frutas tropicais em relação a variação da taxa de cisalhamento (0,01 a 300 s^{-1}) 38
Figura 10 - Mudanças nos parâmetros de cor (a*, b* e L*) do suco misto de frutas tropicais durante o armazenamento a 4 °C.....41
Figura 11 - Efeito do processamento na cor do suco misto de frutas tropicais.....42
Figura 12 - Mudanças nos parâmetros de cor (h° e ΔE) do suco misto de frutas tropicais durante o armazenamento a 4 °C.....43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Codificação das amostras compreendendo os diferentes tratamentos utilizado no estudo 17
Tabela 2 - Contagem microbiana de suco misto de frutas tropicais com utilização de equipamento de homogeneização em duas condições de higienização e com presença ou ausência de envase asséptico 22
Tabela 3 - Análises microbiológicas das amostras de suco misto de frutas tropicais 23
Tabela 4 - pH do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tipos de processamento, durante 42 dias de armazenamento 26
Tabela 5 - Acidez do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tipos de processamento, ao longo do armazenamento 27
Tabela 6 - Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) do suco misto de frutas tropicais, submetido a diferentes tipos de processamento, ao longo do armazenamento 27
Tabela 7 - Teores de Vitamina C presentes no suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes processamentos, ao longo do armazenamento 28
Tabela 8 -Teor de compostos fenólicos totais de suco misto de frutas tropicais, submetido a diferentes tratamentos, ao longo do armazenamento 29
Tabela 9 - Capacidade antioxidante do suco misto de frutas tropicais submetidos a diferentes tratamentos, ao longo do armazenamento 30
Tabela 10 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para o suco misto de frutas tropicais submetidos a diferentes tratamentos. 39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1 Frutas Tropicais 3
2.1.1 Caju 3
2.1.2 Acerola 4
2.1.3 Melão 5
2.2 Sucos de Frutas Tropicais 6
2.3 Tecnologia de Alta Pressão 7
2.4 Homogeneização à alta pressão aplicada a sucos de frutas 9
2.5 Reologia 11

3 MATERIAL E MÉTODOS 14
3.1 Obtenção da Matéria-prima 14
3.2 Processamento da Polpa de Caju 14
3.3 Formulação do Suco Misto de Frutas Tropicais 14
3.4 Processamento do Suco Misto de Frutas Tropicais 15
3.4.1 Pasteurização térmica 15
3.4.2 Homogeneização à alta pressão 16
3.4.3 Alta pressão hidrostática 16
3.5 *Design* Experimental 17
3.6 Características Microbiológicas 18
3.6.1 Avaliação do CIP (*clean-in-place*) e envase asséptico na contagem microbiana 18
3.6.2 Análises Microbiológicas 18
3.7 Análises Físico-Químicas 18
3.8 Determinação de Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante 18
3.8.1 Vitamina C 18
3.8.2 Compostos fenólicos totais 19
3.8.3 Capacidade antioxidante 19
3.9 Efeito do Processamento na Estabilidade Física do Suco Misto de Frutas Tropicais 19
3.9.1 Determinação do tamanho das partículas 19
3.9.2 Microestrutura óptica 20
3.9.3 Análise de sedimentação da polpa 20
3.9.4 Propriedades reológicas 20

3.9.5 Análise instrumental de cor 20
3.10 Análise Estatística 21

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 22
4.1 Características Microbiológicas 22
4.1.1 Avaliação do CIP (*clean-in-place*) e envase asséptico na contagem microbiana 22
4.1.2 Análises microbiológicas do suco misto de frutas tropicais 23
4.2 Características Físico-Químicas 25
4.3 Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante 28
4.3.1 Vitamina C 28
4.3.2 Compostos fenólicos totais 29
4.3.3 Capacidade antioxidante 30
4.4 Efeito do Processamento na Estabilidade Física do Suco Misto de Frutas Tropicais 31
4.4.1 Tamanho de partículas 31
4.4.2 Microestrutura óptica 33
4.4.3 Sedimentação da polpa 35
4.4.4 Propriedades reológicas 37
4.4.5 Cor instrumental 40
5 CONCLUSÃO 45

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento no consumo de sucos de frutas e néctares se deu devido a maior conscientização dos consumidores sobre a necessidade e importância da ingestão de alimentos saudáveis, a fim de reduzir o risco de desenvolver doenças e melhorar a qualidade de vida. Nesse sentido, os sucos de frutas têm se apresentado como grandes aliados, pois são fontes de vitaminas, minerais, ácidos orgânicos e fibras, que são fundamentais para a saúde humana. Para atender à necessidade dos consumidores, o mercado de frutas e derivados tem buscado o desenvolvimento de sucos e polpas de frutas mistas, que cada vez mais tem atraído novos consumidores devido às suas características diferenciadas e aceitação sensorial, além de melhorar a composição desses produtos. A mistura de frutas pode modificar a capacidade antioxidante através da sinergia e interação entre os constituintes, que podem afetar positivamente os impactos fisiológicos (PEREIRA et al., 2014; CARVALHO et al., 2017; KAPRASOB et al., 2017).

As frutas tropicais são fontes de uma grande variedade de compostos bioativos, que apresentam mecanismos de ação como desintoxicação, modulação enzimática e efeito antioxidante. O caju apresenta-se como fonte de ácido ascórbico, terpenos, como os carotenoides, e compostos fenólicos, como o ácido anacárdico, cardol e os taninos, que promovem benefícios a saúde. O caju não é consumido apenas *in natura*, mas também é utilizado como ingrediente em sucos de frutas, geleias e néctares (PEREIRA et al., 2014; CARAMÊS et al., 2017; CURI et al., 2017). A acerola é considerada uma superfruta devido à sua alta concentração de ácido ascórbico. Em sua composição, a acerola apresenta também biocompostos como carotenoides e composto fenólicos. Devido a seu *flavor* e coloração, a acerola é consumida na forma de fruta fresca, mas também é muito utilizada na produção de polpas, sucos, geleias e sorvetes (MALEGORI et al., 2017; PRAKASH e BASKARAN, 2018; REZENDE et al., 2018). O melão é uma fruta economicamente importante e fonte de compostos nutricionais, como vitamina C, β-caroteno, antioxidantes e sais minerais. É mais comumente consumida como fruta de sobremesa, mas também utilizada em saladas, tanto de frutas como em saladas de vegetais (POVERENOV et al., 2014; ESTERAS et al., 2018; ORTIZ-DUARTE et al., 2019).

Atualmente, a maior parte dos sucos disponíveis nas prateleiras dos mercados é processada através de tratamentos térmicos convencionais. Esses tratamentos são eficazes na produção de alimentos seguros e com vida útil prolongada, porém, o uso de altas temperaturas no processo, reduz a qualidade sensorial e nutricional, devido à destruição de nutrientes e compostos bioativos (TADAPANENI et al., 2014).

A homogeneização à alta pressão (HAP) é um processo contínuo (envolvendo combinação de métodos de conservação por discreta elevação de temperatura decorrente da dissipação térmica iminente ao processo, o que atenua o uso do calor) utilizado em alimentos líquidos. Esse processo consiste na pressurização do fluido através de uma válvula estreita (2-5 μm de abertura) sob condições de alta pressão. A eficácia desse processo se dá pela ação de forças de cisalhamento, impacto, turbulência e fenômenos de cavitação atuando sobre o fluido. A HAP reduz o tamanho das partículas dispersas, destrói os microrganismos, reduz os danos aos compostos bioativos, favorecendo a obtenção de produtos que apresentem melhores características sensoriais e nutricionais. Dessa forma, a HAP se destaca como uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de novos produtos, favorecendo a manutenção da qualidade nutricional, sensorial, estabilidade coloidal e vida útil dos alimentos (POLISELI-SCOPEL et al., 2012; FERRAGUT et al., 2015; AGANOVIC et al., 2018).

A caracterização reológica dos alimentos desempenha um papel importante nos processos de desenvolvimento e otimização de produtos na indústria de alimentos, além de estar diretamente correlacionada com a qualidade e estabilidade do produto, auxiliando na melhoria das características sensoriais, que impactam diretamente na aceitação do consumidor. Sucos de frutas são compostos por duas fases: fase insolúvel (polpa), constituída de células, fragmentos dos tecidos, paredes celulares e biopolímeros insolúveis, e a fase solúvel (soro), fase aquosa composta de polissacarídeos solúveis, sais minerais, açúcares e ácidos orgânicos. As propriedades reológicas do suco são definidas através da interação entre as fases, pelo tamanho e forma das partículas e pelo grau em que as moléculas de pectina e hemicelulose são dissociadas das células (AUGUSTO et al., 2012; ZHOU et al., 2017).

O desenvolvimento da formulação do suco foi realizado por Deliza et al. (2019). Inicialmente, os consumidores, através de um questionário *on-line*, escolheram frutas para compor um *blend*, juntamente com o caju, sendo escolhidos o melão e a acerola. Em seguida, as misturas sugeridas pelos consumidores no teste *on-line* foram avaliadas sensorialmente, com o intuito de escolher a melhor formulação para o suco misto tropical

A combinação de uma tecnologia inovadora como método de preservação, com a perspectiva de desenvolvimento de um suco nutritivo, incentivou a realização deste estudo, que teve como o objetivo geral avaliar os efeitos da homogeneização à alta pressão sobre as características físico-químicas, microbiológicas, sensoriais, físicas e reológicas de suco de frutas a base de caju, acerola e melão, formulação definida de acordo com o trabalho de Deliza et al. (2019), e avaliar os efeitos do tratamento sobre os compostos bioativos e a capacidade antioxidante da bebida. E como objetivos específicos, o trabalho pretendeu:

1. Avaliar as características físico-químicas, microbiológicas e compostos bioativos do suco misto de frutas submetido à diferentes condições do processo de homogeneização à alta pressão;
2. Verificar as características reológicas e físicas do suco misto de frutas tratado por diferentes condições do processo de homogeneização à alta pressão.
3. Analisar os teores de compostos bioativos, as características físico-químicas, físicas, microbiológicas e reológicas do suco misto homogeneizado à alta pressão, em comparação com o suco processado por alta pressão hidrostática, pasteurização e suco fresco (não tratado).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Frutas Tropicais

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), em 2017 a produção mundial de frutas esteve em torno de 830 milhões de toneladas, tendo como principais produtores China, Índia e Brasil, que correspondem a 45,6% do total de frutas produzidas mundialmente. A fruticultura brasileira corresponde a aproximadamente 40,2 milhões de toneladas, com colheitas significativas de Laranja, Banana, Abacaxi, Melancia, Castanha-de-Caju e Mamão. O Brasil apresenta-se como o terceiro maior produtor mundial de frutas, porém em relação ao volume exportado se encontra na décima quinta posição, exportando apenas 2,5% do volume produzido. Esse fato demonstra que, além de ser um grande produtor de frutas, o Brasil se estabelece como grande consumidor (FAO, 2017; MAPA, 2017).

Grande parte da produção de frutas é perdida nas etapas pós colheita, processamento e distribuição, gerando desperdício de alimentos e recursos utilizados na produção. De acordo com os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, cerca de 45% da produção total de frutas é perdida após sua colheita devido a má conservação do produto (FAO, 2017; SPAGNOL et al., 2018).

No agronegócio brasileiro, a fruticultura corresponde a um dos setores de maior destaque. O Brasil é um país com geografia e características favoráveis para a produção de frutas. Entretanto, um grande número de espécies frutíferas nativas e exóticas permanece inexplorado, apesar do grande valor nutricional e potencial econômico (SCHIASSI et al., 2018).

O consumo de frutas tropicais vem aumentando nos mercados internos e externos, devido aos valores nutricionais e terapêuticos das frutas. O papel desempenhado pelos frutos é de grande importância econômica através de sua comercialização e nutricionalmente através do seu consumo. As frutas representam uma grande oportunidade de desenvolvimento para produtores locais, tendo em vista que cada vez mais os consumidores demonstram interesse por frutas com características exóticas e pela presença de nutrientes e compostos bioativos que são capazes de prevenir doenças degenerativas (ALVES et al., 2008; DE SOUZA et al., 2012).

As escolhas para o consumo de frutas se baseiam na preferência pessoal, considerando as características sensoriais e no desejo de melhorar a saúde. Nos últimos anos, a exploração dos produtos e subprodutos de frutas tem se destacado como novas fontes de ingredientes funcionais e saudáveis de dietas. O aumento do consumo de frutas e produtos à base de frutas é atribuído às crescentes preocupações do consumidor sobre a relação entre uma dieta rica em nutrientes e a melhoria da saúde (JEDDOU et al., 2017; YAHIA, 2017).

O consumo adequado de frutas é parte importante de uma dieta saudável e seu consumo frequente pode auxiliar na prevenção de câncer de esôfago, estômago, pâncreas e de outros 20 de tipos de câncer (OGUNTIBEJU et al., 2013). As frutas apresentam diversos compostos com propriedades funcionais e os compostos com atividade antioxidante, como compostos fenólicos, vitaminas, carotenoides e minerais, recebem significativa atenção devido ao seu papel de proteção ao corpo humano ao estresse oxidativo e prevenção a inúmeras doenças (DE SOUZA et al., 2012).

2.1.1 Caju

Nativo do nordeste do Brasil, o cajueiro (*Anacardium occidentale*) é uma planta que apresenta considerável capacidade de adaptação a solos de baixa fertilidade, elevadas

temperaturas e estresse hídrico, além de produzir em período seco e nas entressafras, gerando empregos no campo e indústrias. Essas características fizeram do cajueiro um importante elemento na fonte de renda dos estados do Nordeste brasileiro (SERRANO e PESSOA, 2016).

Por volta do ano de 1600, a exploração do cajueiro era exclusivamente realizada através do extrativismo. Nessa época, o plantio era realizado de forma desordenada em pomares domésticos devido à crescente valorização dos produtos dos cajueiros, que eram comercializados pelos colonizadores (SERRANO e PESSOA, 2016).

O caju foi cultivado inicialmente devido à castanha-de-caju. As castanhas compreendem apenas 10% do peso total da fruta. Após a remoção da castanha, o pedúnculo, parte polposa também conhecida como maçã do caju (pseudofruto), é deixado nos campos como resíduo, entretanto esse resíduo pode ser utilizado na produção de sucos de caju, além de oferecer usos alternativos como fermentação de vinho, bebidas probióticas e bioetanol (LEITE et al., 2015; PROMMAJAK et al., 2018).

Segundo dados apresentados pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO, 2017), o Brasil apresenta produção de 1.743.020 toneladas de pedúnculo, que são utilizados na maior parte para a produção de suco integral, néctares e polpa congelada (PROMMAJAK et al., 2014).

O caju é um resíduo agrícola que pode ser transformado em uma bebida de sabor doce e aroma específico, sendo fonte de compostos bioativos e componentes nutricionais. Essa característica torna o caju uma excelente matéria-prima para o desenvolvimento de produtos, que atendam às necessidades de consumidores que cada vez mais buscam alimentos que propiciem benefícios à saúde (KAPRASOB et al., 2018).

A indústria de sucos tem utilizado como estratégia o desenvolvimento de sucos e néctares mistos. Essa estratégia possibilita que seja ofertada ao consumidor maior variedade de opções de bebidas, além de permitir o desenvolvimento de produtos que apresentem melhores características nutricionais (SILVA et al., 2012; CURI et al., 2017).

O suco de caju é um produto complexo que contém grande variedade de açúcares e vitaminas, apresentando qualidade de aroma e sabor. O pedúnculo do caju apresenta alto teor de ácido ascórbico (180-250 mg/100 mL de suco), sendo esse conteúdo quatro vezes maior que o apresentado pelo suco de laranja e dez vezes maior que o apresentado pelo suco de abacaxi. Além disso, é fonte de vitamina do complexo B, carotenoides e compostos fenólicos, como ácido anacárdico, cardol e taninos, que podem atuar como potenciais antioxidantes e, dessa forma, o suco de caju se caracteriza como fonte de inúmeros benefícios a saúde através de seu consumo (SILVA et al., 2012; LEITE et al., 2015; KAPRASOB et al., 2018).

Algumas enzimas naturalmente encontradas no caju podem levar a deterioração do fruto. A peroxidase (POD) e a polifenoloxidase (PFO) são responsáveis pelo desenvolvimento de reações de escurecimento, através da formação de pigmentos escuros e sabores desagradáveis. Outras enzimas, como a pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG), que são enzimas hidrolíticas da parede celular, atuam em conjunto reduzindo a viscosidade dos sucos de frutas, impactando diretamente na aceitação do consumidor (PASSARDI et al., 2005; RABELO et al., 2016).

2.1.2 Acerola

Originaria das Antilhas, a aceroleira (*Malphigia emarginata* DC.) é uma planta que se dispersou para outras regiões do mundo, sendo cultivada em escala comercial em Porto Rico, Havaí, Jamaica e Brasil. A acerola é conhecida como uma fruta tropical nutritiva devido ao seu alto teor de vitamina C (1000-4000 mg/100g de fruto) e pela presença de carotenoides e compostos fenólicos (ZAMBELLI et al., 2015; MALEGORI et al., 2017; REZENDE et al., 2018).

A acerola é fonte de macro e micronutrientes. O ácido málico corresponde a 32% de todo o ácido orgânico disponível na acerola, sendo esse teor superior as quantidades de ácidos cítrico e tartárico. Dentre os açúcares, a glicose, frutose e sacarose são os que se apresentam em maiores quantidades. As propriedades físico-químicas da acerola e seus valores nutricionais são inteiramente dependentes de fatores como o local de cultivo, condições de desenvolvimento, práticas culturais, estádio de maturação, processamento e armazenamento (ZAMBELLI et al., 2015; PRAKASH e BASKARAN, 2018).

A coloração da acerola é um de seus vários atrativos. As antocianinas são as responsáveis por essa coloração e, de acordo com Musser et al.(2004), as concentrações de antocianinas variam de acordo com o genótipo e o estádio de maturação. Um estudo realizado por Vera de Rosso et al. (2008), para a identificação dos pigmentos da polpa de acerola, mostrou a presença de dois tipos de antocianinas, a cianidina-3-rhamnoside e a pelargonidina-3-rhamnoside.

Devido ao seu *flavor* e qualidade nutricional, o consumo de acerola tem aumentado na forma *in natura* ou industrializada, sob a forma de suco, polpa, geleias, sorvetes e xaropes. A polpa de acerola é muito utilizada no desenvolvimento de produtos, podendo ser adicionada para conferir aos novos produtos características desejáveis, melhorando aspectos sensoriais, nutricionais e a aceitabilidade do produto. O Brasil tem dominado a comercialização e exportação de produtos processados de acerola, como frutas congeladas, suco, polpas e licor (AMORIM et al., 2018; CAPPATO et al., 2018; PRAKASH e BASKARAN, 2018).

A degradação da qualidade da acerola *in natura* ou processada está diretamente ligada as ações das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PFO). Essas enzimas participam de uma série de reações oxidativas e de biodegradação que influenciam diretamente na qualidade nutricional da acerola. A POD e a PFO causam o escurecimento da acerola através da degradação de compostos fenólicos, formando compostos de coloração marrom, as melaninas. Elas também são responsáveis pela degradação da vitamina C, descoloração de carotenoides e antocianinas, causando alterações físicas e sensoriais indesejáveis (ZHANG et al., 2001; SOUSA, 2010).

2.1.3 Melão

Melão (*Cucumis melo L.*) é um fruto pertencente à família Cucurbitaceae e apresenta grande diversidade de variedades. De acordo com Salunkhe e Desai (1984), o melão (*Cucumis melo L.*) é derivado de formas nativas encontradas na Índia.

O melão é um dos cultivos de maior importância econômica em todo o mundo. Segundo dados da FAO (2017), o melão é a quinta fruta mais importante do mundo, com produção mundial de 31,1 milhões de toneladas, sendo 596,4 mil toneladas produzidas no Brasil (FAO, 2017). A região Nordeste se destaca como a principal produtora de melão, sendo responsável por mais de 90% da produção nacional. A expansão da cultura de melão nessa região se deve à atuação de grandes empresas, que visam a exportação de grande parte de sua produção. As condições climáticas do Nordeste favorecem a produção de melões com melhor sabor e maior teor de açúcares (SEBRAE NACIONAL, 2016). No decorrer dos últimos anos, devido à especialização em cultivo de melões, o Brasil passou a ofertar as principais variedades conhecidas e aceitas de melão, representada pelos grupos botânicos *Inodorus, Reticulatus e Cantalupensis* (CAVALCANTI, 2018).

O melão da variedade *Inodorus* é caracterizado por casca lisa ou levemente enrugada, coloração amarela, branca ou verde escura, sendo maiores que os melões das variedades *Reticulatus e Cantalupensis*. Apresenta resistência as condições de transporte e condições pós-

colheita. A polpa é caracterizada por elevado teor de açúcares, coloração variando de branco a verde claro. A variedade *Cantalupensis* apresenta frutos de aroma e sabor acentuados, mais doces que os melões da variedade *Inodorus*, polpa de coloração alaranjada, porém de baixa conservação pós-colheita. O melão da variedade *Reticulatus* é caracterizado pela casca rendilhada, aroma característico e polpa bastante doce, variando a coloração de verde-clara a salmão (RIZZO e BRAZ, 2001; BRITO, 2017).

Segundo dados do Sebrae Nacional (2016), o melão amarelo, da variedade *Inodorus* é o tipo mais cultivado no Brasil. Esse melão é originário da Espanha e conhecido também como melão amarelo espanhol, é o mais resistente ao manuseio e apresenta a melhor conservação pós-colheita.

O melão é fonte de compostos nutricionais como vitamina C, β-caroteno, antioxidantes e sais minerais. Quando comparado com as hortaliças e outras frutas, o melão se mostra rico em sais minerais. Em uma porção de 100 g de melão são encontrados 188 mg de potássio, 12 mg de fósforo e 13 mg de magnésio (POVERENOV et al., 2014; BRITO, 2017).

O perfil aromático e os carotenoides do melão são dois aspectos de extrema importância e que influenciam diretamente na qualidade da fruta. O melão é uma fruta doce, devido à presença de glicose, frutose e sacarose em sua composição, porém essa doçura é equilibrada com um leve sabor ácido, conferido através dos ácidos cítrico e málico (ESTERAS et al., 2018; ORTIZ-DUARTE et al., 2019).

Na comercialização, os melões são agrupados de acordo com suas características. A cor da casca, grau de maturação, cicatrizes, formato do fruto, cor da polpa, presença ou ausência de suturas, reticulação ou rendilhamento são os critérios de avaliação utilizados para a triagem dos frutos (CRISÓSTOMO e DE ARAGAO, 2009).

O melão é consumido *in natura*, em saladas com hortaliças ou frutas e na forma de suco. O melão fresco cortado é uma das formas de apresentação dessa fruta nos mercados e, através dela, seu consumo tem aumentado, devido ao tempo cada vez mais escasso dos consumidores para a preparação de alimentos, além da conveniência e facilidade de consumo. Os atributos nutricionais e organolépticos do melão fazem dele uma fruta altamente apreciável e utilizável na produção de sucos, que fornecem ao consumidor um alimento com excelentes características nutricionais e sensoriais (CAVALCANTI, 2018; ESTERAS et al., 2018; ORTIZ-DUARTE et al., 2019).

A perda da firmeza e escurecimento do melão e de sua polpa estão diretamente ligados a ação de enzimas. As enzimas POD e PFO são responsáveis pelo escurecimento, enquanto as enzimas PME e PG, que são capazes de degradar as substâncias pécticas encontradas na parede celular, levando a perda de firmeza e degradação do melão (ARRUDA et al., 2003; MORGADO et al., 2015).

2.2 Sucos de Frutas Tropicais

O aumento da preocupação com a saúde tem motivado a população a buscar hábitos mais saudáveis. A qualidade de vida não se restringe apenas a prática de exercícios, mas também a mudanças na alimentação e, cada vez mais, a população tem procurado alimentos que apresentem características nutricionais e sensoriais que se assemelhem aos produtos *in natura*. Com o intuito de atender a demanda dos consumidores, a indústria tem se atentado a novas tecnologias para garantir a qualidade dos produtos processados (TIMMERMANS et al., 2011).

Motivados pela mudança de hábitos e aumento do consumo de alimentos saudáveis, o mercado de bebidas à base de frutas tem apresentado grande crescimento. Os sucos de frutas se apresentam como alternativa de alimentos saudáveis devido à sua qualidade nutricional, mas

também chamam atenção devido à diversidade de sabores, cores e texturas (SOUSA et al., 2010).

Em termos de legislação, a Instrução Normativa N° 12 de 04 de setembro de 2003, sobre regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade gerais para suco tropical, define suco como um produto obtido pela dissolução em água potável da polpa da fruta de origem tropical por processamento tecnológico adequado, onde o suco pode conter um mínimo de 50% (m/m) da respectiva polpa, ressalvado o caso de fruta com alta acidez ou conteúdo de polpa muito elevado ou sabor muito forte, que neste caso o conteúdo de polpa não deve ser inferior a 35% (m/m) (BRASIL, 2003). Como complementação da Instrução Normativa, o Decreto nº 3.510, de 16 de junho de 2000, que modifica o inciso III, do Art. 40, do Decreto nº 2.314, de 1997, determina que ao suco poderá ser adicionado açúcar na quantidade máxima fixada para cada tipo, através de ato administrativo, obedecendo o percentual máximo de 10%, calculado em g açúcar/100g de suco (BRASIL, 2000).

Os sucos de frutas necessitam de processos que garantam a sua estabilidade, principalmente a estabilidade microbiológica, para que dessa forma seja armazenado por um longo período. O emprego do calor é a forma utilizada pela indústria para prolongar a vida útil desses produtos. O tratamento térmico seguro deve ser escolhido de acordo com a composição, características físico-químicas e pH do produto, além do binômio tempo-temperatura necessário para inativar os microrganismos patogênicos mais termorresistentes (AZEREDO, 2004; REZZADORI, 2010). A degradação dos sucos de frutas ocorre principalmente devido à contaminação microbiana, causada por microrganismos deteriorantes ou patogênicos. Esses microrganismos são capazes de produzir aromas e sabores desagradáveis, além de causar riscos à saúde, no caso de microrganismos patogênicos. De acordo com a FDA (*Food and Drug Administration*) os sucos devem ser processados para atingir uma redução de cinco ciclos logarítmicos no microrganismo patogênico mais relevante definido como alvo (USFDA, 2001). A escolha do melhor método para garantir a estabilidade dos sucos de frutas deve levar em conta a garantia da conservação, causando mínimas alterações às características sensoriais e nutricionais (SOUSA, 2017).

A pasteurização é a forma mais comumente utilizada pela indústria para garantir a estabilidade dos sucos, sendo este um tratamento térmico que utiliza temperaturas inferiores a 100 °C por um certo tempo, podendo ser de segundos ou minutos, dependendo da resistência térmica do microrganismo, levando à destruição ou injúria destes. Para os sucos, a pasteurização tem o intuito de ampliar a estabilidade microbiológica e enzimática, pois algumas enzimas, se não inativadas, podem causar a degradação dos sucos. Porém, o tratamento térmico pode também causar degradação da cor e alterações nutricionais e sensoriais do produto (RIBEIRO et al., 2017; FELLOWS, 2018).

Produtos pasteurizados, como os sucos, podem conter microrganismos viáveis, que pode afetar sua estocagem quando comparados aos produtos estéreis comercialmente, obtidos por processos térmicos como UHT (*ultra high temperature*). Portanto, a pasteurização é comumente associada a outro método de conservação, como redução de pH ou armazenamento sob refrigeração (REZZADORI, 2010; FELLOWS, 2018).

2.3 Tecnologia de Alta Pressão

Considerado como método alternativo de conservação de alimentos, o processo por alta pressão (AP) tem sido utilizado pela indústria como substituto total ou parcial aos processos térmicos comumente utilizados. Os processos de alta pressão são divididos em Alta Pressão Hidrostática (APH), utilizada no processamento de alimentos sólidos, pastosos ou líquidos

(VOIGT et al., 2015), e a Homogeneização à alta pressão (HAP), utilizada somente em matrizes líquidas ou pastosas (ZAMORA e GUAMIS, 2015).

Os processos de alta pressão consistem na aplicação de pressões nas faixas de 100 a 1000 MPa às matrizes alimentícias. A aplicação da pressão pode promover a inativação de microrganismos deteriorantes e patogênicos, inativação de certas enzimas, preservação da qualidade e das características sensoriais dos alimentos, estabilização coloidal, redução do uso de aditivos, redução da perda de compostos voláteis e vitaminas e aumento da vida útil dos alimentos (TORO-FUNES et al., 2014; GUAN et al., 2016; YUE et al., 2016; CODINA-TORRELLA et al., 2017).

O processo de alta pressão hidrostática se baseia em dois princípios, o princípio de *Le Chatelier* e o princípio Isostático. O princípio de *Le Chatelier* considera que "se uma mudança nas condições é imposta a um sistema em equilíbrio, o sistema reage para contrariar essa mudança e restaurar o equilíbrio". O princípio isostático afirma que o processo de pressão hidrostática é independente de volume; por conseguinte, a pressão pode ser aplicada instantaneamente e de maneira uniforme ao longo de uma amostra, e gradientes de pressão não existem, de modo que o tamanho e geometria do produto são irrelevantes (VOIGT et al., 2015).

Os primeiros alimentos tratados por APH foram comercializados no Japão, no final do século XX, porém os primeiros estudos acerca dessa tecnologia foram realizados no ano 1885, nos Estados Unidos. Em anos subsequentes, os pesquisadores descobriram que aplicação de APH ao leite promovia um aumento na vida útil do mesmo (TRUJILLO et al., 2002).

O processo de APH consiste em submeter o alimento a pressões de 100 a 1000 MPa, sendo 200 a 600 MPa em sistemas comerciais, onde a água é usualmente utilizada como meio de transmissão de pressão. Em temperatura ambiente, a aplicação de pressão na faixa de 300 a 500 MPa pode inativar microrganismos e reduzir a atividade enzimática. A APH é considerada o processo não térmico mais promissor utilizado na conservação e manutenção da qualidade sensorial de alimentos (LABOISSIÈRE et al., 2007; WANG et al., 2016)

A HAP é um processo contínuo e promissor utilizado no processamento de alimentos líquidos ou pastosos. Sua utilização permite a redução dos danos verificados nos processos térmicos e a obtenção de produtos com características sensoriais agradáveis. Dependendo da pressão utilizada, a tecnologia pode ser chamada de Homogeneização à alta pressão (HAP) ou Homogeneização a Ultra Alta Pressão (HUAP), porém não há entre os autores um consenso em relação a essas faixas de pressão. Em seus trabalhos, Augusto et al (2012), Guan et al. (2016), Leite et al.(2014), Zamora e Guamis (2015) definem que processos que utilizam até 200 MPa são considerados HAP, porém autores como Masson et al (2011), Suárez-Jacobo et al.(2011) Velazquez-Estrada et al.(2013) definem como HUAP processos que utilizam pressões na faixa de 150 a 300 MPa. Para Zamora e Guamis (2015), a HUAP utiliza faixa de pressão superior a 300 MPa, diferente de Valencia-Flores et al.(2013), que definem HUAP em faixas de pressão acima de 400 MPa. Devido a essa divergência, a denominação de HAP ou HUAP fica a critério dos autores.

A HAP (neste aspecto considerado indistintamente de HUAP) consiste na pressurização de um fluido de forma que o mesmo flua através de uma válvula estreita (2-5 μm de abertura). A eficácia da HAP é devido ao desenvolvimento de forças de cisalhamento e impacto, turbulência e fenômenos de cavitação, agindo sobre o alimento líquido ou pastoso. Os principais efeitos da HAP são a redução do tamanho das partículas dispersas e a destruição dos microrganismos. Em uma única operação é possível aumentar a estabilidade do alimento e reduzir a atividade microbiana (AUGUSTO et al., 2013; FERRAGUT et al., 2015; AGANOVIC et al., 2018).

A tecnologia HAP se baseia no mesmo princípio dos homogeneizadores convencionais utilizados na indústria de alimentos. A homogeneização consiste na capacidade de produzir uma redução de tamanho e distribuição homogênea de partículas suspensas no fluido, através

da passagem do mesmo por uma válvula de ruptura. Homogeneizadores convencionais operam em pressões de 80-100 MPa. Devido à redução da abertura (gap) da válvula (2-5 μm), quando comparada aos homogeneizadores tradicionais (10-30 μm), é permitida uma operação em pressões em torno de 400 MPa (AGANOVIC et al., 2018).

Na incessante busca por métodos alternativos para a obtenção de alimentos de alta qualidade, a HAP surge como uma promissora opção na garantia de uma boa qualidade nutricional, longa vida útil e estabilidade coloidal (POLISELI-SCOPEL et al., 2012).

2.4 Homogeneização à alta pressão aplicada a sucos de frutas

A homogeneização é uma tecnologia de processamento não térmica amplamente utilizada no processamento de leite, emulsões, modificação de proteínas e na conservação de suco de frutas (SARICAOGLU et al., 2019).

No trabalho de Kubo et al (2013), o efeito da HAP foi avaliado sobre a estabilidade física do suco de tomate. Pressões de 0, 25, 50, 75 e 100 MPa foram aplicadas sobre o produto, o qual foi avaliado em relação a distribuição do tamanho de partícula, comportamento de sedimentação, turbidez, cor e microestrutura da polpa. O resultado mostrou que a HAP influenciou todas as características avaliadas, causando uma redução no tamanho da partícula, que consequentemente aumentou a estabilidade do suco à sedimentação. A cor do suco sofreu alteração devido ao licopeno liberado das células rompidas pela HAP. Dessa forma, a HAP promoveu mudanças desejáveis ao suco de tomate, aumentando sua estabilidade física e melhorando sua aceitabilidade sensorial.

Estudos mostram que a HAP pode ser empregada para promover mudanças desejáveis nas características físicas de sucos de frutas, mas também é utilizada com intuito de aumentar a estabilidade microbiológica. Bevilacqua et al (2009) investigaram os efeitos da HAP sobre alguns microrganismos responsáveis pela deterioração de sucos de frutas. Inicialmente, os microrganismos *Lactobacillus plantarum, Lactobacillus brevis, Bacillus coagulans cells, Saccharomyces bayanus, Pichia membranaefaciens e Rhodotorula bacarum* foram inoculados separadamente em solução salina (0,9% NaCl), sendo a contagem inicial de 10^5 UFC/mL. As soluções salinas contendo os inóculos foram processadas em pressões de 10 a 150 MPa, com 1, 2 ou 3 passagens. Os resultados demonstraram que níveis de pressão 50-110 MPa levaram à inativação completa das leveduras, enquanto a contagem de bactérias lácticas, que se mostraram resistentes a HAP, foi de 1 log UFC/mL após um processamento com 3 passagens. Comportamento semelhante foi observado por Guan et al (2016) para a inativação microbiana em suco de manga. O suco foi submetido a pressões que variaram de 40 a 190 MPa, temperatura de entrada de 20 °C a 60 °C e número de passagens de 1 a 5. A inativação completa de fungos e leveduras foi obtida a 190 MPa, 60 °C e 1 a 3 passagens, e a contagem em placas nessas condições apresentou valores abaixo de 10^2 UFC/mL. O suco foi armazenado durante 60 dias a 4 °C, e durante esse período não foi observado multiplicação de microrganismos.

Corbo et al (2010) avaliaram o efeito da homogeneização à alta pressão sobre *Fusarium oxysporum, Emericella nidulans e Penicillium italicum* em suco de tomate. Os microrganismos inoculados foram submetidos a pressões que variaram de 30 MPa a 150 MPa, com 1 a 3 passagens. Os resultados mostram que o aumento progressivo da pressão foi proporcional a diminuição do número de conídios, sendo esse efeito mais evidente quando múltiplas passagens foram aplicadas. Outro efeito do aumento da pressão foi a descoloração do *Penicillium italicum*, porém a diminuição da viscosidade do suco de tomate reduziu a eficácia do processo de HAP. Donsì et al (2009) estudaram o efeito da homogeneização à alta pressão na inativação da flora microbiana endógena do suco de maçã variedade Annurca. O suco, clarificado ou com polpa, foi processado a diferentes níveis de pressão que variaram entre 150 e 300 MPa, e

posteriormente armazenados a 4 °C e 37 °C. Devido ao processo de centrifugação para a obtenção do suco clarificado, a contagem inicial de microrganismos foi diferente em relação a polpa, já que uma parte da população microbiana foi separada no processo. Os resultados obtidos mostram que, após um tratamento a 200 MPa, o suco clarificado apresentou contagem microbiana próxima ao limite de detecção do método de contagem e placas (1 UFC/mL), apresentando estabilidade microbiológica tanto a 4 °C, quanto a 37 °C. Porém, o suco com polpa exigiu níveis mais altos de pressão (300 MPa) para a estabilização microbiológica (4 °C e 37 °C). As amostras de suco com polpa armazenadas a 37 °C apresentaram uma redução no prazo de validade, porém as amostras armazenadas a 4°C exibiram uma estabilidade microbiológica desejável, representando assim uma opção em relação a pasteurização térmica.

Diversos estudos têm sido realizados com intuito de avaliar o efeito da homogeneização à alta pressão na manutenção da cor, compostos bioativos e capacidade antioxidante de sucos de frutas. O estudo realizado por Karacam et al (2015) avaliou o efeito da HAP sobre as propriedades físicas e químicas do suco de morango. O suco foi submetido a duas pressões (60 e 100 MPa) e duas condições de passagens (2 e 5 passagens). Em relação à capacidade antioxidante e compostos fenólicos totais, na pressão de 60 MPa não houve diferença significativa ($p > 0,05$) quando comparado ao suco controle, porém, na pressão de 100 MPa houve diferença significativa, havendo um aumento em ambas características avaliadas, sendo o aumento na capacidade antioxidante em torno de 22%. Em relação ao trabalho de Guan et al (2016), a HAP aumentou em 11,8% os carotenoides e 21,4% os compostos fenólicos totais de um suco manga submetido a pressão de 100 MPa, enquanto o mesmo suco tratado termicamente mostrou redução significativa nesses compostos. Joubran et al (2019) submeteram um suco de morango a níveis de pressão de 50, 100, 150 e 200 MPa, enquanto o efeito do número de ciclos (1, 3 ou 5) foi analisado apenas na pressão de 200 MPa. Os níveis de pressão afetaram ligeiramente a cor e as antocianinas, enquanto os polifenóis não foram afetados pelos níveis de pressão, mas foram significativamente aumentados (30%) após o aumento no número de ciclos, o que pode ser atribuído, segundo os autores, a extração dos polifenóis da polpa e dos aquênios

Separação de fase, turbidez e escurecimento são alguns defeitos de qualidade apresentados por sucos de frutas que podem estar relacionados a ação das enzimas. Esses defeitos estão diretamente ligados a diminuição da aceitabilidade do produto por parte do consumidor. Estudos têm sido realizados avaliando o efeito da homogeneização à alta pressão sobre enzimas comumente encontradas em sucos de frutas, como polifenoloxidase (PFO), peroxidase (POD) e pectinametilesterase (PME). Yi et al (2018) avaliaram o efeito da HAP (20, 40 e 60 MPa) e da adição de purê de kiwi (0, 10, 25, e 50% v/v) sobre a PFO e PME em um suco de maçã. Os sucos de maçã puros e sem tratamento apresentaram alta atividade para a PFO e baixa atividade para a PME. Após a HAP, alta atividade de PFO foi observada nos sucos de maçã puros e acrescidos de 10% de purê de kiwi, enquanto baixa atividade de PME foi detectada nos sucos com alta adição de purê de kiwi (25 e 50%), efeito explicado pelo aumento da concentração de ácido ascórbico. A combinação de processos pode auxiliar na inativação enzimática.

A pectinametilesterase é uma enzima relacionada com a turbidez e separação de fase dos sucos de frutas. Welti-Chanes et al (2009) avaliaram o efeito da HAP na inativação de PME em suco de laranja. As amostras de suco foram submetidas a pressões de 50, 100, 150 e 250 MPa, 1 a 5 passagens e três temperaturas de entrada (22, 35 e 45 °C). Foi observada redução de 50,4%, 49,4% e 37,8% da atividade da PME no suco homogeneizado por 1 passagem a 250 MPa e temperatura inicial de 22, 35 e 45 °C, respectivamente. Com 5 passagens, os níveis de inativação de PME foram de 30% para suco homogeneizado a 100 MPa e de 80% para o suco homogeneizado 250 MPa. Esses resultados mostram que a inativação da PME é proporcional ao aumento no número de passagens. Resultados semelhantes foram obtidos por Velázquez-Estrada et al (2012) na inativação de PME em suco de laranja. Os tratamentos consistiram na

combinação de duas temperaturas de entrada (10 e 20 °C), três pressões (100, 200 e 300 MPa) e dois tempos de retenção (≤0,7 ou 30 s). A diminuição da atividade da PME foi maior à medida que a pressão aplicada aumentou, sendo a máxima inativação (em torno de 96%) alcançada nas pressões de 200 e 300 MPa. O tempo de retenção e as temperaturas de entrada não tiveram efeito sobre a inativação da PME em pressões superiores a 200 MPa. O suco homogeneizado a 100 MPa apresentou redução da atividade de PME entre 10 e 28% nas amostras de temperatura inicial de 10 e 20 °C, respectivamente.

A combinação de métodos também tem sido estudada para a inativação enzimática. Bot et al (2018) avaliaram os efeitos individuais e combinados da HAP e ultrassom na inativação da PFO em suco de maçã. As amostras foram submetidas a homogeneização à alta pressão de 150 MPa e 10 ciclos, e o tratamento a ultrassom, sem e com controle de temperatura (para dissipar o calor gerado), foi operado a frequência de 24 KHz, 100 µm de amplitude e por tempos de 7 e 45 minutos, respectivamente. Resultados mostraram que HAP a 150 MPa e 10 ciclos foi capaz de reduzir a atividade da PFO 50%. O tratamento de ultrassom sem controle de temperatura inativou totalmente a PFO, enquanto o tratamento com controle de temperatura alcançou 90% de inativação. Segundo os autores, a temperatura afeta mais a inativação enzimática do que o método aplicado. Além do mais, a combinação de HAP com ultrassom apresentou níveis de inativação semelhante aos alcançados pelos métodos isoladamente.

2.5 Reologia

A Reologia é a ciência que estuda as mudanças de forma e fluxo de matéria resultante da aplicação de força, dependentes ou não do tempo. As leis que descrevem a alteração de volume, tamanho ou forma são utilizadas para explicar a deformação do sólido. A caracterização do escoamento de um fluido é representada por leis que descrevem a variação contínua da taxa de deformação em função das tensões aplicadas (CONTADOR et al., 2015; DIAMANTE e UMEMOTO, 2015).

De acordo com a deformação, um material pode apresentar três tipos de comportamento: elástico, plástico e viscoelástico. O comportamento elástico ocorre quando uma força é aplicada a um material e, ao ser retirada, o mesmo recupera sua forma original. Quando a deformação causada pela força aplicada permanece, diz-se que o material apresenta comportamento plástico. No comportamento viscoelástico, a deformação permanece entre os comportamentos elástico e plástico (ALI et al., 2014).

Os estudos reológicos geralmente envolvem relações entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento e, através dessa relação, os fluidos podem ser classificados em fluidos newtonianos e não newtonianos. O fluido newtoniano é aquele cuja viscosidade é constante, independente da taxa de cisalhamento à qual é submetido, numa dada temperatura. Os fluidos não newtonianos podem ser classificados em não newtoniano-independente do tempo e não newtoniano-dependente do tempo. Os fluidos não newtonianos independentes do tempo são divididos em pseudoplásticos (a viscosidade decresce com o aumento da taxa de cisalhamento), dilatantes (a viscosidade aumenta com o aumento da taxa de cisalhamento) e plástico (comporta-se como sólido em condições estáticas e flui após a aplicação de uma força). Os fluidos não newtonianos dependentes do tempo são divididos em tixotrópicos (viscosidade diminui com o tempo a uma taxa de cisalhamento constante e aumenta quando a taxa de cisalhamento diminui) e reopéticos (viscosidade aumenta com o tempo a uma taxa de cisalhamento constante) (MATHIAS et al., 2013; ALI et al., 2014; CONTADOR et al., 2015).

A caracterização reológica dos alimentos é importante para a determinação de operações unitárias, para a otimização dos processos de produção e para a garantia da alta qualidade do produto final (AUGUSTO et al., 2012; ALI et al., 2014).

A reologia dos sucos de frutas geralmente segue o comportamento não newtoniano modelo *Power-Law*. *Power-Law* é um modelo empírico utilizado em cálculos de engenharia devido a simplicidade de conter apenas dois parâmetros, $\tau = K\dot{\gamma}^n$, onde τ é a tensão de cisalhamento (Pa), $\dot{\gamma}$ é a taxa de cisalhamento (s^{-1}), *n* é o índice de fluxo (-) e κ é o coeficiente de consistência ($Pa.s^n$). Porém, o modelo geralmente utilizado para fluidos não newtonianos é o Herschel-Bulkley, que descreve materiais que combinem comportamentos de Bingham e Power-Law. O modelo de Herschel-Bulkley, $\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$, apresenta uma tensão de escoamento (τ_0) não linear, podendo exibir afinamento ou espessamento por cisalhamento. Da relação de Herschel-Bulkley, tem-se o modelo *Power-Law* quando $\tau_0 = 0$, e modelo de Bingham quando $n = 1$ (ALI et al., 2014; MONDAL et al., 2016).

Os sucos de frutas são compostos por duas fases: fase insolúvel (polpa) e dispersa em uma solução viscosa. A polpa é constituída de células e fragmentos do tecido das frutas, paredes celulares e aglomerados e cadeias de polímeros insolúveis. O soro é uma solução aquosa cuja composição engloba polissacarídeos solúveis, sais e ácidos. As propriedades reológicas do suco de fruta são definidas pelas interações que ocorrem entre a fase dispersa (partículas suspensas) e a solução (soro) (AUGUSTO et al., 2012). O estudo realizado por Ali et al. (2014) mostrou o efeito da temperatura e da concentração de sólidos solúveis na densidade e nas propriedades reológicas do suco de melão (*Cucumis melo* L. var. *Inodorus*). Os resultados obtidos mostraram que a densidade do suco de melão aumentou com o aumento da concentração de sólidos solúveis e com a diminuição da temperatura. Os valores das tensões de cisalhamento encontradas para o suco de melão a uma dada taxa de cisalhamento foram maiores para as concentrações de sólidos solúveis mais altas. A temperatura apresentou efeito inverso sobre a tensão de cisalhamento e viscosidade.

Augusto et al (2012) avaliaram o efeito da Homogeneização à alta pressão sobre o soro de suco de fruta. Os resultados mostraram que a viscosidade do produto decresceu devido ao aumento da pressão de homogeneização. O modelo do soro de suco de fruta processado em 200 MPa mostrou uma diminuição de viscosidade aparente de 20%, quando comparado ao soro sem tratamento.

Yi et al (2018) estudaram a minimização das mudanças na qualidade do suco de maçã com adição de purê de kiwi (0%, 10%, 25% e 50 % v/v) e o uso da homogeneização à alta pressão (20 MPa, 40 MPa e 60 MPa). O estudo reológico mostrou que a adição de purê de kiwi aumentou significativamente a viscosidade aparente e a tensão de escoamento quando comparado ao suco de maçã puro. Por outro lado, os sucos adicionados de purê de kiwi e homogeneizados a alta pressão apresentaram maiores viscosidade e tensão de escoamento em comparação as amostras não homogeneizadas. Durante 8 dias de armazenamento refrigerado (4 °C) os sucos puros e os sucos com purê de kiwi, ambos homogeneizados a alta pressão, apresentaram viscosidade e tensão de escoamento constantes.

Saricaoglu et al (2019) avaliaram a aplicação de múltiplas passagens na homogeneização à alta pressão para melhorar a estabilidade, propriedades físicas e bioativas do néctar de rosa mosqueta. As amostras foram submetidas a pressões de 75 MPa, 100 MPa e 125 MPa e 1 a 3 passagens. No aspecto reológico, todas as amostras apresentaram valores de viscosidade aparente menores, em relação a amostra controle (sem tratamento), dependendo do aumento da taxa de cisalhamento. Os menores valores de viscosidade aparente foram observados na amostra não homogeneizada à alta pressão (controle). A amostra controle apresentou o maior tamanho de partícula e a homogeneização à alta pressão diminuiu o tamanho das partículas em suspensão, aumentando a interação entre as partículas resultando em uma viscosidade aparente mais alta. A viscosidade do néctar tratado a 75 MPa e 100 MPa diminuiu, significativamente, com o aumento do número de passagens em menores taxas de cisalhamento. O aumento no número de passagens não causou nenhuma mudança significativa na viscosidade

aparente do néctar tratado a 125 MPa devido a não haver redução adicional do tamanho da partícula.

Zhou et al (2017) avaliaram as mudanças reológicas em suco de manga causadas pela homogeneização à alta pressão. As pressões aplicadas foram de 40, 70, 100, 130, 160 e 190 MPa, com 1, 3 ou 5 passagens. A viscosidade aparente de ambos os sucos apresentou diminuição significativa com o aumento da taxa de cisalhamento, exibindo um comportamento não newtoniano e pseudoplástico. O padrão de fluxo do suco de manga não foi alterado pela homogeneização à alta pressão e valores maiores de viscosidade aparente foram encontrados nos sucos homogeneizados, quando comparados ao suco controle (sem tratamento). Esse fato sugere que a homogeneização à alta pressão alterou as propriedades reológicas do suco de manga.

A reologia é uma ferramenta importante para o desenvolvimento de processos industriais. Conhecer o comportamento reológico e as propriedades de fluido desempenham um importante papel na indústria de alimentos, auxiliando no desenvolvimento de produtos, design e avaliação de equipamentos, como bombas, tubulações, misturadores, trocadores de calor, evaporadores e esterilizadores. A caracterização reológica dos alimentos também é um fator importante para garantir a estabilidade e os atributos de qualidade do produto final, e a correlação desses pontos garante uma qualidade sensorial que impacta diretamente na aceitação do consumidor (HAMINIUK et al., 2013; LEITE et al., 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os testes de processamento e determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios e plantas pilotos da Embrapa Agroindústrias de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ.

3.1 Obtenção da Matéria-prima

Os cajus do tipo caju-comum (*Anacardium occidentale L.*) foram adquiridos no Centro de Distribuição do Grupo Benassi (CEASA, Rio de Janeiro, RJ).

As frutas foram transportadas em embalagens anti-impacto para a Embrapa Agroindústria de Alimentos e mantidas em câmara de refrigeração, por 12 horas, até o processamento para obtenção da polpa.

As polpas não pasteurizadas congeladas de acerola e melão foram adquiridas da empresa De Marchi Indústria e Comércio de Frutas Ltda.

Foram utilizados os seguintes ingredientes para a formulação do suco misto tropical: água mineral natural (marca Crystal Coca-Cola®) e açúcar refinado (marca União). Os ingredientes foram adquiridos em mercado local.

3.2 Processamento da Polpa de Caju

Os cajus foram sanitizados através da imersão em hipoclorito de sódio 200 ppm por 15 minutos, com o objetivo de reduzir a contaminação inicial presente na superfície das frutas. Após a sanitização, as castanhas de caju foram separadas do pedúnculo, o qual foi cortado ao meio e em seguida picado para facilitar a extração da polpa.

As frutas previamente picadas foram prensadas com o auxílio de uma prensa a frio Omega J8006 (Omega Juicer), para obtenção da polpa de caju. Todo o processamento para a obtenção da polpa de caju foi realizado em ambiente climatizado por ar condicionado com temperatura controlada, 22,0 ± 1,0 °C, com o objetivo de evitar o escurecimento enzimático da polpa.

A polpa obtida foi envasada em garrafas de 500 mL (previamente sanitizadas com hipoclorito de sódio 200 ppm por 15 minutos) e rapidamente transferida para câmara de congelamento a -18 °C, onde foi mantida armazenada até a sua utilização.

3.3 Formulação do Suco Misto de Frutas Tropicais

A formulação do suco misto de Caju, Acerola e Melão foi definida de acordo com proposição de Deliza et al (2019). Este estudo utilizou um questionário *on-line* com intuito de identificar, de acordo com o consumidor brasileiro, quais frutas compõem preferencialmente um suco misto, juntamente com o caju. Em seguida, as misturas sugeridas pelos consumidores no teste *on-line* foram avaliadas sensorialmente, sendo a melhor formulação para o suco misto tropical composta de 60% de polpa de Caju, 30% de polpa de Acerola e 10 % de polpa de Melão. O total de polpa corresponde a 60% do suco misto de frutas tropicais, sendo esta a quantidade exigida pela Instrução Normativa N° 12, de 4 de setembro de 2003 para a denominação de suco (BRASIL, 2003). O restante da formulação é composto de 37% de água e 3% de açúcar refinado.

Para a formulação do suco misto, as polpas de Caju, Acerola e Melão foram pesadas, adicionadas de 3% de açúcar e processadas em multi mix. Os sucos mistos foram armazenados a 4 °C, até a realização das análises.

3.4 Processamento do Suco Misto de Frutas Tropicais

O suco misto foi produzido com três tratamentos distintos, sendo eles: suco misto homogeneizado à alta pressão, suco misto processado a alta pressão hidrostática e suco misto pasteurizado termicamente.

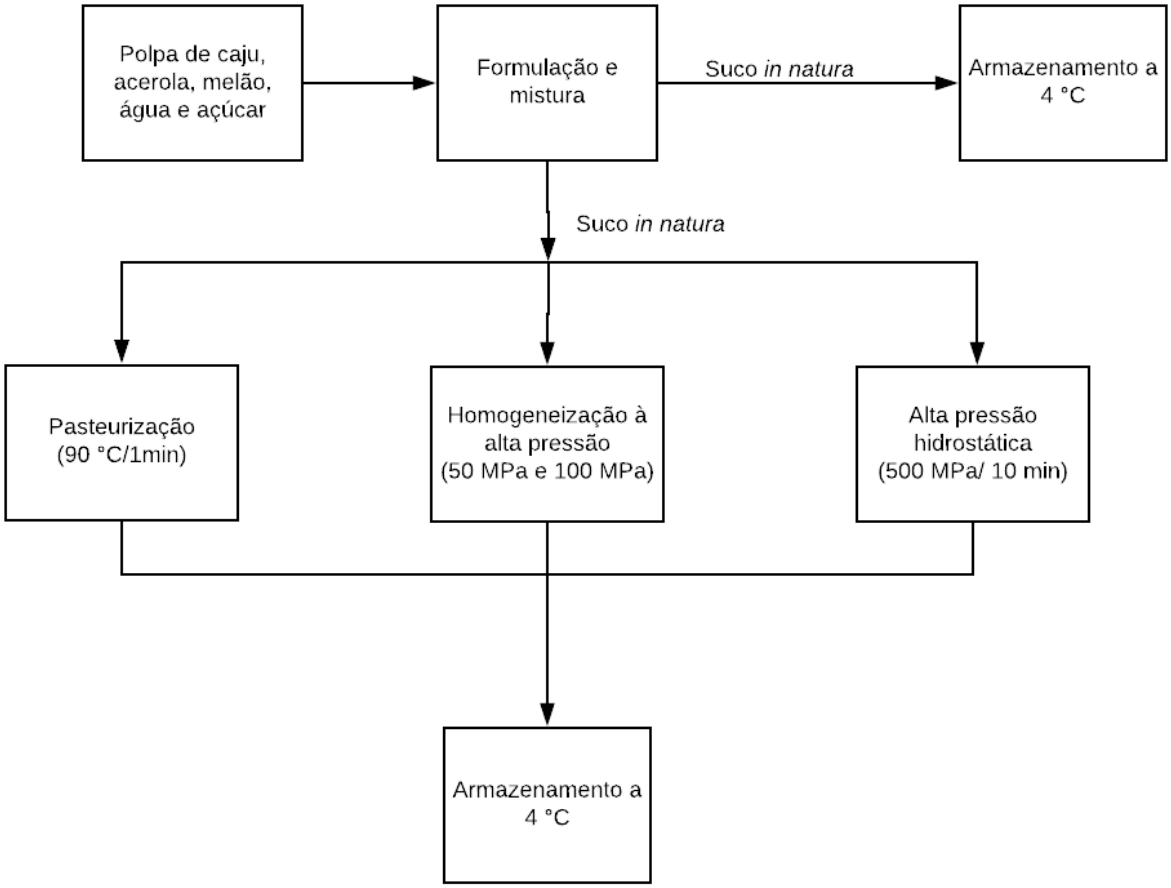

Figura 1 - Fluxograma de processamento do suco misto de frutas tropicais.
Fonte: Próprio autor, 2019.

O experimento foi dividido em duas partes. Durante a execução da primeira parte foram efetuadas as análises físico-químicas e análise de estabilidade do suco durante o armazenamento. A segunda parte do estudo foi composta das análises reológicas e estabilidade física do produto.

3.4.1 Pasteurização térmica

O suco pasteurizado termicamente foi obtido através de pasteurização a 90 °C/1 min (SOUSA et al., 2014) utilizando uma Thermomix™ (Vorwerk, Brasil). O tempo de 1 minuto foi contado a partir do momento em que o suco atingiu a temperatura de 90 °C e em seguida foi resfriado rapidamente. Após a pasteurização, o suco foi envasado em garrafas de vidro previamente esterilizadas em autoclave e armazenado a 4 °C até a realização das análises.

3.4.2 Homogeneização à alta pressão

As condições de pressão escolhidas para o processamento dos sucos mistos foram definidas com base em estudos apresentados na literatura, limites de pressão do equipamento, assim como estudos conduzidos na Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro – RJ.

O suco misto tropical foi submetido a dois tratamentos de homogeneização à alta pressão, sendo conduzido em duplicata. Para obtenção do suco misto tropical homogeneizado foi utilizado um homogeneizador à alta pressão Modelo APL (marca IBH: Indústria Brasileira de Homogeneizadores – Artepeças Ltda.) (Figura 2), com pressão máxima nominal de 100 MPa e vazão de 100 L/h. Um trocador de calor foi acoplado à saída do homogeneizador à alta pressão com intuito de resfriar a amostra logo após a pressurização.

A temperatura do suco misto na alimentação foi de 20,0 ± 1,0 °C. As amostras homogeneizadas foram submetidas a duas condições de pressão: 50 MPa e 100 MPa. Fez-se necessário o uso do trocador de calor devido as altas temperaturas atingidas pelas amostras durante a pressurização, sendo 63,0 °C para amostra submetida a 50 MPa e 78 °C para a amostra submetida a 100 MPa. Com o uso do trocador de calor, a amostra homogeneizada a 50 MPa atinge temperaturas em torno de 45 °C e a amostra homogeneizada a 100 MPa tem temperatura de saída em torno de 55 °C. Logo após o processamento, as amostras foram envasadas em garrafas de vidro previamente esterilizadas em autoclave e armazenadas a 4 °C até a realização das análises.

Figura 2 - Homogeneizador a alta pressão
Fonte: Próprio Autor, 2019.

3.4.3 Alta pressão hidrostática

O processamento do suco misto por alta pressão hidrostática foi realizado em equipamento Stansted Fluid Power (S-FL-850-09-W, Inglaterra) (Figura 3) com capacidade de 250 mL e pressão máxima nominal de operação de 900 MPa. As amostras foram previamente acondicionadas em embalagens plásticas e após o processamento foram imediatamente transferidas para ambiente refrigerado (4 °C). O binômio pressão e tempo baseou-se em Martins (2020), a partir de pesquisa

que compreende aplicação de alta pressão hidrostática no mesmo suco enfocado no presente estudo, em andamento pelo Grupo de Pesquisa. A melhor condição de processamento foi escolhida com base nos resultados das análises físico-químicas, compostos bioativos e capacidade antioxidante, e essa condição foi utilizada para a comparação com o suco homogeneizado à alta pressão, suco pasteurizado termicamente e o suco não tratado.

Figura 3 - Equipamento de Alta Pressão Hidrostática
Fonte: Próprio Autor, 2019

3.5 *Design* Experimental

Os sucos mistos de frutas tropicais homogeneizado à alta pressão, pasteurizado termicamente, processado a alta pressão hidrostática e sem tratamento foram armazenados a 4 ± 2°C e submetidos a análises físico-químicas, avaliação microbiológica, análise de estabilidade física e reológica e determinação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante.

As análises físico-químicas, microbiológicas, compostos bioativos e capacidade antioxidante foram realizadas com 0, 14, 28 e 42 dias.

Tabela 1 – Codificação das amostras compreendendo os diferentes tratamentos utilizado no estudo

Amostra	Tratamento
Controle	Sem tratamento
Pasteurizado	Pasteurização 90 °C/ 1min
HAP 50 MPa	Homogeneização à alta pressão a 50 MPa
HAP 100 MPa	Homogeneização à alta pressão a 100 MPa
APH 500 MPa/10 min	Alta pressão hidrostática a 500 MPa/10 min

HAP = homogeneização à alta pressão; APH = alta pressão hidrostática.

3.6 Características Microbiológicas

3.6.1 Avaliação do CIP (*clean-in-place*) e envase asséptico na contagem microbiana

Para garantir a higienização do homogeneizador à alta pressão e evitar contaminação microbiana das amostras, foi analisada a eficiência do CIP (*clean-in-place*) do equipamento. O procedimento CIP foi conduzido de três formas: (1) realização de CIP (*clean-in-place*) no homogeneizador a alta pressão, utilizando hidróxido de sódio 5% m/m; (2) realização de CIP utilizando solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5% m/m e solução 200 ppm de hipoclorito de sódio; (3) realização de CIP utilizando solução de hidróxido de sódio (NaOH) 5% m/m e solução 200 ppm de hipoclorito de sódio combinado com envase asséptico (cabine de fluxo laminar e sistema de envase asséptico marca Microthermics). A eficiência do CIP realizado foi verificada comparando os resultados microbiológicos obtidos após o CIP com os resultados microbiológicos da amostra controle (sem tratamento). O CIP foi realizado de acordo com orientações do fabricante do homogeneizador a alta pressão (IBH – Arte Peças Ltda.).

3.6.2 Análises Microbiológicas

As análises microbiológicas foram definidas de acordo com a Resolução RDC N° 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que estabelece os padrões microbiológicos sanitários para alimentos (BRASIL, 2001). A contagem de fungos filamentosos e leveduras, a determinação de Coliformes Termotolerantes (45 °C); de bactérias aeróbias mesófilas e de *Salmonella*, foram realizadas conforme descrito em APHA (2001).

3.7 Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com AOAC (2010). Foram determinados o pH, acidez titulável e teor de sólidos solúveis (°Brix) dos sucos mistos, de acordo com a Instrução Normativa Nº 12, de 4 de setembro de 2003 (BRASIL, 2003). A determinação da acidez total foi realizada com titulador automático, modelo 785 DMP Titrino, Metrohm, Suíça. A medida de pH foi realizada utilizando o medidor de pH do titulador automático empregado na determinação de acidez. O teor de sólidos solúveis (°Brix) foi determinado por meio de um refratômetro digital portátil (Atago®, modelo Pal-1 Co, Ltda., EUA).

3.8 Determinação de Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante

3.8.1 Vitamina C

A determinação do teor de Vitamina C no produto foi realizada através de cromatografia líquida por coluna de troca iônica de acordo com a metodologia proposta por Rosa et al.(2007). Para essa análise foi utilizado um cromatógrafo Waters Alliance 2695 (Milford, EUA).

A extração ocorreu com ácido sulfúrico suprapuro® 0,05 M com ultrassom por 10 minutos. Essa solução foi também utilizada como fase móvel. A fase estacionária do sistema cromatográfico foi a coluna BIORAD Aminex8 HPX87H. A vazão da fase móvel foi de 0,8 mL/minuto, o volume da injeção 20 µL e o comprimento de onda, 242,6 nm.

3.8.2 Compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada conforme o método espectrofotométrico proposto por Singleton e Rossi (1965), modificado por Georgé et al. (2005). A extração foi realizada com solução de acetona 70% por 30 minutos.

As leituras de absorbância da reação do extrato com o reagente de Folin-Ciocalteu foram realizadas em espectrofotômetro UV-1800 a 760 nm (Shimadzu®, Kyoto, Japão). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico/100g de amostra (mg EAG/100g), a partir de curva de calibração.

3.8.3 Capacidade antioxidante

A determinação da capacidade antioxidante foi realizada pelo método $ABTS^+$ e teve resultados expressos em *Trolox Equivalent Antioxidant Capacity* (TEAC). Os extratos foram obtidos de acordo com a metodologia descrita por Rufino et al. (2007).

Após a extração, promoveu-se reação de uma alíquota com radical $ABTS^+$. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro V-M5 (Bel photonics®, Piracicaba, Brasil) a 734 nm, após 6 minutos da reação do extrato com o radical $ABTS^+$. Os resultados foram calculados de acordo com Re et al. (1999) e expressos em μmol Trolox Equivalente/g, a partir de curva de calibração.

3.9 Efeito do Processamento na Estabilidade Física do Suco Misto de Frutas Tropicais

O efeito do processamento sobre a estabilidade física do suco misto de frutas tropicais foi avaliado através da distribuição do tamanho de partículas (DTP), microscopia óptica, sedimentação da polpa e cor do suco, comparando-se as amostras pasteurizadas termicamente, tratadas a alta pressão hidrostática e homogeneizadas à alta pressão com a amostra não tratada (controle). Todas as análises descritas foram realizadas logo após o processamento das amostras (dia 0).

3.9.1 Determinação do tamanho das partículas

A distribuição do tamanho de partículas das amostras foi medida por um difratômetro a laser Microtrac S3500 (Microtrac, Pensilvânia, EUA). O diâmetro médio foi baseado no volume, diâmetro médio do volume D [4,3] (equação 1), e na área, diâmetro médio da superfície D [3,2] (equação 2), onde n_i é o número de partículas com o diâmetro d_i. Ambos os diâmetros equivalentes foram avaliados, visto que D [4,3] é altamente influenciado por partículas grandes, enquanto D [3,2] é mais influenciado por partículas menores (KUBO et al., 2013).

$$D[4,3] = \frac{\sum_i n_i d_i^4}{\sum_i n_i d_i^3} \quad (1)$$

$$D[3,2] = \frac{\sum_i n_i d_i^3}{\sum_i n_i d_i^2} \quad (2)$$

3.9.2 Microestrutura óptica

Um volume de 50 µL de suco foi colocado em uma lâmina de microscópio e em seguida a amostra foi coberta cuidadosamente com outra lâmina, evitando-se a formação de bolhas. Para a obtenção das imagens com ampliação de 40x, foi utilizado um microscópio Leitz Laborlux (Leitz-Wetzlar, Alemanha). As micrografias foram capturadas utilizando uma câmera acoplada ao microscópio.

3.9.3 Análise de sedimentação da polpa

A sedimentação da polpa do suco misto de frutas tropicais foi avaliada usando tubos de centrífuga estéril graduados de 50 mL. O volume de polpa sedimentada foi avaliado em intervalos regulares. O índice de sedimentação foi determinado usando a equação 3 descrita por Saricaoglu et al. (2019):

$$\text{Índice de sedimentação} = \frac{\text{volume da sedimentação}}{\text{volume total da amostra}} \quad (3)$$

O índice de sedimentação (IS) índica o nível de sedimentação da polpa em relação ao volume total de suco. As amostras foram armazenadas por 42 dias a 4 °C. A avaliação da sedimentação da polpa foi realizada cinco vezes ao dia durante todos os 42 dias.

3.9.4 Propriedades reológicas

O comportamento do fluxo do suco misto de frutas tropicais foi estudado usando um reômetro MCR 501 (MCR 501, Anton Paar, Graz, Áustria) equipado com unidades de controle de temperatura das placas superior e inferior. Viscosidade vs. taxa de cisalhamento na faixa de 0,01-300 s^{-1} foi medida usando uma geometria de placa-placa com 50 mm de diâmetro, para evitar derramamento da amostra, gap de 1mm e temperatura de 25 °C. Cada amostra foi analisada três vezes e a média com erro médio padrão foram apresentados.

3.9.5 Análise instrumental de cor

A análise instrumental de cor das diferentes amostras de suco misto de frutas tropicais foi realizada em um colorímetro Color Quest XE, com escala CIELAB e CIELCh, com abertura de 0,375 mm de diâmetro, iluminante D65/10. Os parâmetros medidos foram luminosidade (L*) na escala de 0 (preto) a 100 (branco), (a*) na escala verde (-80 até 0) a vermelho (0 até +100) e (b*) na escala de azul (-100 até 0) a amarelo (0 até +70), ângulo Hue (h°) calculado através da equação (4) e a variação total de cor (ΔE), que é calculado através da equação 5.

$$h° = arc\ tg \frac{b^*}{a^*} \quad (4)$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

3.10 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada com a utilização do Software R i386 versão 3.6.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) com o intuito de verificar o comportamento das amostras através da análise de variância (ANOVA) revelando a presença de diferenças significativas entre as mesmas. O teste de Tukey foi utilizado quando houve diferença significativa, considerando $p<0,05$ para averiguar a diferença entre as médias correspondentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características Microbiológicas

4.1.1 Avaliação do CIP (*clean-in-place*) e envase asséptico na contagem microbiana

A primeira parte da caracterização microbiana consistiu em avaliar a influência da higienização CIP (*clean-in-place*) do homogeneizador a alta pressão e envase asséptico (em cabine de fluxo laminar) no crescimento microbiano no suco misto de frutas tropicais.

O hidróxido de sódio (NaOH) é considerado um detergente de alta alcalinidade, pois possui pH superior a 13, sendo utilizado para remoção de sujidades incrustradas, sendo eficiente na remoção de gorduras, proteínas, carboidratos e na diminuição da carga microbiana. Esse álcali é mais utilizado por ser o de menor custo dos agentes alcalinos e por não provocar a corrosão do aço inoxidável. O hipoclorito de sódio é o agente utilizado na etapa de sanitização do equipamento visando a eliminação dos microrganismos patogênicos e redução de microrganismos deteriorantes até níveis considerados seguros. Esse sanitizante é o mais comumente utilizado pelas indústrias de alimentos pois, além de apresentar baixo custo, possui rápida ação antimicrobiana, não ser afetado pela dureza da água, possuir ação esporicida e ser preparado e aplicado com facilidade (SISLIAN, 2012).

As cabines de fluxo laminar, também conhecidas como cabines de biossegurança, têm a função de proporcionar ambiente estéril que permita a manipulação de materiais biológicos ou estéreis de forma segura, evitando qualquer tipo de contaminação oriunda do meio ambiente ou do manipulador. No interior de algumas cabines de fluxo laminar pode existir lâmpadas UV, uma forma de aumentar a segurança biológica, que são capazes de eliminar riscos de contaminação provocados por pequenos agentes biológicos, como bactérias e fungos. As cabines possuem um fluxo de ar interior para proteger o produto e, em caso de produtos ou reagentes tóxicos, um fluxo de ar de saída (exaustão com sistema de filtração), para proteger o ambiente e o manipulador (UEKI et al., 2008).

A tabela 2 apresenta os resultados das análises microbiológicas do suco homogeneizado à alta pressão a 50 MPa e 100 MPa, com a realização de diferentes CIP (*clean-in-place*) no homogeneizador.

Tabela 2 - Contagem microbiana de suco misto de frutas tropicais com utilização de equipamento de homogeneização em duas condições de higienização e com presença ou ausência de envase asséptico

Análises Microbiológicas (UFC/mL)	**Pressão (MPa)**	**Valores de referência**	**Contagem microbiana inicial**	**Contagem (UFC/mL)**		
				CIP 1	**CIP 2**	**CIP 3**
Fungos filamentosos e leveduras	50	$2{,}0x10^3$	$4{,}4x10^3$	$1{,}8x10^3$	$1{,}2x10^3$	$3{,}5\ x10^2$
	100			$6{,}0x10^2$	$<1{,}0x10^1$	$<1{,}0x10^1$
Bactérias aeróbias mesófilas	50	——	$5{,}8x10^4$	$1{,}9x10^5$	$5{,}0x10^4$	$5{,}0x10^3$
	100			$5{,}7x10^4$	$2{,}4x10^3$	$1{,}0x10^3$

CIP (*clean-in-place*): sistema de higienização de equipamento de homogeneização. CIP 1: hidróxido de sódio 5 % m/m; CIP 2: hidróxido de sódio 5 % m/m e hipoclorito de sódio 200 ppm; CIP 3: hidróxido de sódio 5 % m/m e hipoclorito de sódio 200 ppm combinado com envase asséptico (em cabine de fluxo laminar).
Limites estabelecidos de acordo com a RDC N°12 (BRASIL, 2001) e Instrução Normativa N° 01 (BRASIL, 2000).
NMP: número mais provável.

Os resultados mostram que o processo de limpeza CIP 3 (hidróxido de sódio 5 % m/m e hipoclorito de sódio 200 ppm combinado com envase asséptico) reduziu a contagem

microbiana inicial (dia 0), demonstrando que as etapas de higienização combinadas com o envase asséptico são fundamentais para a segurança e qualidade dos alimentos, uma vez que o fluxo laminar da cabine e o ambiente asséptico evita a recontaminação do produto por agentes biológicos externos, como fungos e bactérias. O CIP 2 também apresentou contagem microbiana reduzida em relação ao CIP 1, demonstrando a eficácia do agente sanitizante no processo de higienização do equipamento.

O aumento na contagem microbiana inicial do processo de homogeneização CIP 1 indica que a higienização do equipamento, ineficiente devido a não utilização de um agente sanitizante, facilita a proliferação microbiana, devido a formação de resíduos que propiciam a aderência de microrganismos e fornecem substrato aos mesmos. De acordo com Sislian (2012), os microrganismos não removidos, por um processo de higienização eficiente, podem se aderir aos resíduos e superfícies, se multiplicando e formando uma estrutura denominada biofilme, que pode desencadear processos corrosivos, diminuir o fluxo das tubulações e tornar-se fonte de contaminação microbiana. Portanto, a realização de CIP antes e após o uso do equipamento impedem a formação de biofilme, impedindo que ocorra contaminação, garantindo produtos seguros e livres de perigos microbiológicos e químicos.

4.1.2 Análises microbiológicas do suco misto de frutas tropicais

A tabela 3 apresenta os resultados das análises microbiológicas do suco misto de frutas tropicais.

Tabela 3 - Análises microbiológicas das amostras de suco misto de frutas tropicais

		Tratamento					
Análise microbiológica	**Tempo (dias)**	**Controle**	**Pasteurizado**	**HAP 50 MPa**	**HAP 100 MPa**	**APH 500 MPa/10 min**	**Valores de Referência**
Coliformes 35 °C (NMP/g)	0	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$1,0x10^2$
	14	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	
	28	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	
	42	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	
Coliformes 45 °C (NMP/g) (UFC/mL)	0	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$1,0x10^2$
	14	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	
	28	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	
	42	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	$<1,0x10^1$	
Fungos filamentosos e leveduras (UFC/mL)	0	$4,4x10^3$	$<1,0x10^1$	$1,2x10^3$	$6,0x10^2$	$<1,0x10^1$	$2,0x10^3$
	14	$>2,5x10^4$	$<1,0x10^1$	$1,3x10^6$	$>1,5x10^6$	$<1,0x10^1$	
	28	$3,0x10^4$	$<1,0x10^1$	$1,3x10^6$	$>1,5x10^6$	$5,0x10^1$	
	42	$4,5x10^3$	$<1,0x10^1$	$8,5x10^5$	$1,2x10^6$	$5,0x10^1$	
Bactérias aeróbias mesófilas (UFC/mL)	0	$5,8x10^4$	$<1,0x10^1$	$5,0x10^4$	$2,4x10^3$	$2,5x10^2$	—
	14	$6,1x10^4$	$1,0x10^2$	$>2,5x10^6$	$>2,5x10^6$	$2,0x10^2$	
	28	$>2,5x10^6$	$2,5x10^2$	$>2,5x10^6$	$>2,5x10^6$	$1,0x10^2$	
	42	$>2,5x10^6$	$2,5x10^2$	$>2,5x10^6$	$>2,5x10^6$	$2,5x10^2$	
Salmonella spp. (ausência em 25g)	0	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	14	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
	28	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
	42	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	

Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).
Limites estabelecidos de acordo com a RDC N°12 (BRASIL, 2001) e Instrução Normativa N° 01 (BRASIL, 2000).
NMP: número mais provável.

A Resolução RDC N° 12, de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária não estabelece níveis para a contagem de bactérias aeróbias mesófilas e para fungos filamentosos e leveduras para sucos de frutas, porém esses microrganismos têm sido utilizado como indicadores das condições higiênico-sanitárias dos alimentos. De acordo com a Instrução Normativa N° 01, de 07 de Janeiro de 2000, do Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária, os níveis de fungos filamentosos e leveduras ficam estabelecidos em $2x10^3$ UFC/mL.

Os resultados das análises microbiológicas demonstraram que as amostras pasteurizada e tratada a alta pressão hidrostática (APH 500 MPa/10 min) encontraram-se aptas ao consumo, com contagens de coliformes (35 °C e 45 °C), fungos filamentosos e leveduras, bactérias aeróbias mesófilas inferiores ao permitido pela legislação vigente, incluindo ausência de *Salmonella* spp. em 25 g ao longo do armazenamento de 42 dias a 4 °C.

A amostra controle (sem tratamento) apresentou contagens de coliformes (35 °C e 45 °C) e Salmonella em 25 g de acordo com a legislação, porém com crescimento significativo de fungos filamentosos e leveduras. Logo após o processamento (dia 0), as amostras homogeneizadas à alta pressão em ambas as pressões de trabalho (HAP 50 MPa e HAP 100 MPa) apresentaram contagens de coliformes (35 °C e 45 °C), de *Salmonella* spp. em 25 g e fungos filamentosos e leveduras, inferiores ao permitido pela legislação. Porém apresentaram crescimento significativo para bactérias aeróbias mesófilas e fungos filamentosos e leveduras a partir do 14 ° dia de armazenamento a 4 °C. Tais resultados eram esperados considerando não haver processo de conservação aplicado ao controle para redução da carga microbiana, nem ter sido aplicado um sistema asséptico de envase ou área de assepsia posterior ao processo de homogeneização à alta pressão (CIP 2), permitindo recontaminação. Tal ocorrência não sucedeu no processo de pasteurização, em que o envase asséptico seguiu-se ao processamento, nem no processo de alta pressão hidrostática, em que as amostras foram pré-envasadas anteriormente ao processo, prevenindo a recontaminação. No estudo de Oliveira et al. (2006), as contagens de bactérias aeróbias mesófilas para suco de laranja *in natura* apresentaram níveis de 10^6 UFC/mL, enquanto o suco de laranja processado com condições higiênico-sanitárias adequadas apresentou contagens em torno de 10^4 UFC/ mL. Altas contagens de fungos filamentosos e leveduras e bactérias aeróbias mesófilas indicam falhas nas condições higiênico-sanitárias dos alimentos. A contaminação por estes microrganismos pode ser indicador de matéria-prima excessivamente contaminada, limpeza e desinfecção de superfícies inadequadas, e condições inadequadas de tempo e temperatura de tratamentos (LAVINAS et al., 2006). Logo após o processamento, ao comparamos o suco sem tratamento (controle) ao suco homogeneizado à alta pressão a 50 MPa e 100 MPa, podemos observar uma leve redução na contagem de fungos filamentosos e leveduras e bactérias aeróbias mesófilas, entretanto, no 14° dia de armazenamento a 4 °C, foi observado um crescimento microbiano significativo no suco homogeneizado à alta pressão, em ambas pressões de trabalho, demonstrando a instabilidade microbiana do produto. No 14° dia de armazenamento, nota-se um aumento significativo tanto na contagem de fungos filamentosos e leveduras quanto na contagem de bactérias aeróbias mesófilas, marcando o fim da vida útil do suco misto de frutas tropicais. Resultados semelhantes foram encontrados por Suarez-Jacobo et al. (2010) em suco de maçã tratado a 100 MPa e armazenado a 4 °C por 60 dias. Os autores compararam o suco de maçã tratado a 100 MPa com o suco sem tratamento, e notaram que o suco submetido a homogeneização à alta pressão apresentou maior crescimento de bactérias aeróbias mesófilas, atingindo $1,5x10^6$ UFC/mL no 15º dia de armazenamento. A pressão de 100 MPa não foi suficiente para a destruição dos microrganismos, porém causou injúrias que afetou a adaptação do microrganismo ao meio (fase lag). O aumento progressivo na contagem microbiana a partir do 15° dia de armazenamento indica que a fase lag de crescimento se encerrou no sétimo dia de armazenamento. A fase lag do crescimento microbiano é caracterizada pela adaptação do microrganismo ao meio, sendo considerada uma fase produtora de energia. Durante essa fase, pode ou não ocorrer divisão

celular e síntese de novas enzimas, que podem ser necessárias para a realização de síntese de compostos essenciais ao crescimento microbiano. A duração da fase lag depende das condições do meio e dos microrganismos. A resistência microbiana a HAP em pressões menores a 100 MPa ocorre, pois fragmentos de células e de membranas de microrganismos destruídos pela HAP tornam-se proteção para os microrganismos, dificultando sua inativação pelo processo de homogeneização à alta pressão (PEREDA et al., 2007; GUAN et al., 2016).

A inativação microbiana através da homogeneização à alta pressão é devida a destruição mecânica da integridade celular causada por diferentes mecanismos como gradiente de pressão e velocidade, tensão de cisalhamento, turbulência e cavitação durante o tratamento de HAP. A temperatura também tem papel importante na inativação, pois atua mudando as propriedades físicas da membrana celular dos microrganismos, tornando-a menos resistentes a alta pressão. Bactérias gram-positivas são mais resistentes a HAP do que as gram-negativas, devido a camada espessa de peptidioglicano. A diferença na estrutura da parede celular faz com que as leveduras sejam de mais fácil inativação (BEVILACQUA et al., 2009; CORBO et al., 2010; GUAN et al., 2016).

A inativação microbiana dos sucos de frutas submetidos a homogeneização à alta pressão é uma combinação da pressão aplicada e da temperatura de entrada da amostra, essas duas variáveis, considerando as características específicas de cada equipamento e sistema de homogeneização, são considerados fatores de letalidade associados a temperatura alcançada pela amostra, quando passa pela válvula de homogeneização. A temperatura inicial do suco misto de frutas tropicais foi de 20,0 ± 1,0 °C e, ao final do processo, o suco alcançou temperaturas de 45,8 °C para 50 MPa e 54,9 °C para 100 MPa. Suarez-Jacobo et al. (2010) combinaram temperaturas de 4°C e 20 °C a pressão de 100 MPa e obtiveram melhor inativação microbiana do suco de maçã na temperatura de 20 °C.

A ineficácia na inativação microbiana do suco misto de frutas tropicais pode ser atribuída a pressão de homogeneização utilizada no estudo, dependendo do sistema de homogeneização. Velázquez-Estrada et al. (2012) reportaram que a contagem microbiana de suco de laranja tratado a HAP a 100 MPa não foi significativamente diferente do suco de laranja sem tratamento. Entretanto, tratamentos de homogeneização à alta pressão utilizando pressões de 200 a 300 MPa foram eficazes em todos os grupos de bactérias, alcançando reduções de 4 Log, não diferindo significativamente do suco de laranja pasteurizado. Alguns autores reportaram que atingiram a inativação de bactérias aeróbias mesófilas e de fungos e leveduras utilizando faixas de pressão de 200 a 300 Mpa, com temperaturas de entrada variando de 65 a 75 °C. A inativação de esporos é uma tarefa difícil devido à resistência dos esporos a pressão e a temperatura, sendo comumente destruídos em pressões de 250 MPa a 300 MPa (SUÁREZ-JACOBO et al., 2010; POLISELI-SCOPEL et al., 2012; VELÁZQUEZ-ESTRADA et al., 2012). Pereda et al. (2007) encontraram esporos sobreviventes em leite após tratamentos a 300 MPa. Salienta-se que as faixas de pressão para inativação dependem do tipo de sistema de homogeneização utilizado, considerando design da válvula e efeitos de cisalhamento e escoamento.

4.2 Características Físico-Químicas

As tabelas 4, 5 e 6 apresentam os resultados de pH, acidez total e sólidos solúveis das amostras de suco misto de frutas tropicais. Os resultados mostraram haver diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nos valores de pH dos sucos submetidos a diferentes processos. Inicialmente (dia 0), os valores de pH variaram de 3,93 a 4,17, sendo o maior valor de pH encontrado para o suco homogeneizado à alta pressão a 50 MPa e o menor resultado apresentado pelo suco processado à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min. Ao longo

do período de armazenamento, todas as amostras avaliadas apresentaram redução nos valores de pH e, no dia 42, último de dia de armazenamento, os maiores valores foram encontrados nos sucos homogeneizados a alta pressão a 100 MPa e 50 MPa, apresentando os valores de pH de 4,05 e 3,97, respectivamente.

Tabela 4 - pH do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tipos de processamento, durante 42 dias de armazenamento

	pH			
Tratamentos	Dia 0	Dia 14	Dia 28	Dia 42
Controle	$3,99^{cA} \pm 0,02$	$3.88^{bB} \pm 0,06$	$3,86^{cB} \pm 0,08$	$3,88^{cdB} \pm 0,08$
Pasteurizado	$4,03^{cA} \pm 0,01$	$3,93^{abC} \pm 0,03$	$3,99^{abAB} \pm 0,01$	$3,95^{bcBC} \pm 0,03$
HAP 50 MPa	$4,17^{aA} \pm 0,02$	$3,81^{bC} \pm 0,01$	$3,98^{abB} \pm 0,01$	$3,97^{abB} \pm 0,03$
HAP 100 MPa	$4,13^{bA} \pm 0,04$	$4,01^{aB} \pm 0,10$	$4,05^{aB} \pm 0,05$	$4,05^{aB} \pm 0,02$
APH 500 MPa/10 min	$3,93^{dA} \pm 0,01$	$3,91^{abA} \pm 0,08$	$3,90^{bcA} \pm 0,02$	$3,83^{dB} \pm 0,02$

Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=6).
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min.).
$^{a,b,c,\ A,\ B,\ C}$ Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna e letras maiúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

O pH inicial do suco pasteurizado não diferiu significativamente ($p > 0,05$) em relação ao suco não tratado (controle). Wang et al. (2006) encontraram redução de pH em suco de cenoura pasteurizado. Segundo os autores, o aumento gradativo na temperatura ocasiona reações secundárias, como a reação de Maillard. A redução de pH é atribuída a formação de hidroximetilfurfural (HMF), resultado da reação entre aminoácidos e açúcares redutores. A pasteurização também pode favorecer a ação das enzimas presentes no suco, causando reações de hidrólise da pectina com o aumento da temperatura, liberando ácido galacturônico.

A amostra submetida a alta pressão hidrostática apresentou redução de pH em relação ao suco controle. Essa redução no pH, gerada após o processo de APH, pode ser explicada pelo fato da pressão afetar o equilíbrio de ionização da solução aquosa, pois à medida que a pressão aumenta, a reação de ionização do ácido fraco prossegue na direção da formação de H^+, resultando na diminuição do pH. A pressão também é responsável pelo aumento na liberação de ácidos orgânicos, fazendo que o teor de ácido do suco aumente (BALASUBRAMANIAM et al., 2015; PEI et al., 2018). Resultado semelhante foi observado por Pei et al. (2018), que encontraram redução de pH de suco de melão submetido a alta pressão hidrostática.

O suco homogeneizado à alta pressão, em ambas pressões de trabalho, apresentou um ligeiro aumento de pH. Durante o processo de homogeneização à alta pressão, o suco é pressurizado através de uma válvula estreita, causando ruptura dos tecidos, liberando componentes presentes no tecido que afetam, assim, o pH do suco.

Na literatura não há dados para suco composto por caju, acerola e melão, porém os resultados de pH se assemelham aos resultados encontrados por outros autores para sucos compostos individualmente de caju, acerola e melão. Pinheiro et al. (2006) encontraram valores de pH variando de 3,17 a 4,06 para o suco de caju e, para o suco de acerola, Fernandes et al. (2015) relataram valores de pH variando de 3,18 a 3,40. Em relação ao suco de melão, Fundo et al. (2019) obtiveram valores de pH em torno de 6,3.

O pH influencia na avaliação da palatabilidade, no crescimento e sobrevivência dos microrganismos durante o período de armazenamento, na temperatura requerida para a esterilização e na escolha de aditivos e produtos para sanitização (QUEIROZ et al., 2010).

Diferenças significativas ($p \leq 0,05$) foram observadas entre os tratamentos, ao longo dos 42 dias de armazenamento, para a acidez do suco (tabela 5). Logo após os processamentos, os sucos apresentaram acidez (g ácido cítrico/100g) entre de 2,65 a 3,70 %.

Tabela 5 - Acidez do suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes tipos de processamento, ao longo do armazenamento

	Acidez (g Ácido Cítrico/100g)			
Tratamento	Dia 0	Dia 14	Dia 28	Dia 42
Controle	$2,88^{bA} \pm 0,16$	$4,42^{aC} \pm 0,08$	$6,15^{aB} \pm 0,16$	$7,29^{aD} \pm 0,60$
Pasteurizado	$3,69^{aA} \pm 0,07$	$3,84^{abA} \pm 0,05$	$3,21^{dA} \pm 0,22$	$3,69^{cA} \pm 0,71$
HAP 50 MPa	$2,65^{cC} \pm 0,11$	$4,24^{aB} \pm 0,25$	$4,13^{bB} \pm 0,14$	$5,57^{bA} \pm 0,22$
HAP 100 MPa	$3,03^{bA} \pm 0,13$	$3,34^{bA} \pm 0,36$	$3,06^{dA} \pm 0,14$	$3,36^{cA} \pm 0,22$
APH 500 MPa/10 min	$3,70^{aA} \pm 0,07$	$3,90^{abA} \pm 0,28$	$3,71^{cA} \pm 0,08$	$3,80^{cA} \pm 0,04$

Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=6).
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min.).
$^{a,b,c,\ A,\ B,\ C}$ Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna e letras maiúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Ao longo do armazenamento, as amostras apresentaram aumento da acidez, porém apenas as amostras controle e HAP 50 MPa apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$) ao longo do armazenamento de 42 dias. Logo após o processamento, a acidez da amostra controle era de 2,88 % e, ao final (dia 42), 7,29 %. A acidez inicial da amostra HAP 50 MPa era 2,65 % e a final 5,57 %. O aumento na acidez é sinal claro de deterioração do produto. De acordo com Vergara et al. (2014), o aumento da acidez em sucos armazenados (especialmente por surgimento de ácido acético ou lático) é um indicador de contaminação por leveduras e/ou bactérias.

Em relação aos sólidos solúveis totais (tabela 6), os valores encontrados variaram de 7,03 °Brix (pasteurizado) a 7,85 °Brix (APH 500 MPa/10 min). As amostras controle e HAP 50 MPa apresentaram redução do teor de sólidos solúveis totais (SST) ao longo do período de armazenamento e essa diminuição do teor de SST pode indicar a contaminação microbiana do produto. De acordo com Kohatsu et al. (2011), a diminuição dos sólidos solúveis totais pode ocorrer em alimentos que apresentam contaminação microbiana, pois os microrganismos utilizam açúcares como substrato, fato que pode estar relacionado ao decréscimo dos sólidos solúveis totais do suco misto de frutas tropicais.

Tabela 6 - Teor de sólidos solúveis totais (°Brix) do suco misto de frutas tropicais, submetido a diferentes tipos de processamento, ao longo do armazenamento

	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)			
Tratamentos	Dia 0	Dia 14	Dia 28	Dia 42
Controle	$7,55^{bA} \pm 0,26$	$6,95^{aA} \pm 0,63$	$5,21^{dB} \pm 0,31$	$3,16^{cB} \pm 0,05$
Pasteurizado	$7,03^{dA} \pm 0,13$	$7,83^{aA} \pm 0,69$	$7,46^{bA} \pm 0,26$	$7,81^{aA} \pm 0,67$
HAP 50 MPa	$7,21^{cdA} \pm 0,18$	$7,05^{aAB} \pm 0,10$	$6.66^{cB} \pm 0,05$	$5,91^{bC} \pm 0,49$
HAP 100 MPa	$7,41^{bcA} \pm 0,27$	$7,46^{aA} \pm 0,19$	$7,43^{bA} \pm 0,17$	$7,50^{aA} \pm 0,15$
APH 500 MPa/10 min	$7,85^{aA} \pm 0,08$	$7,41^{aA} \pm 1.04$	$7,98^{aA} \pm 0,17$	$7,75^{aA} \pm 0,20$

Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=6).
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).
$^{a,b,c,\ A,\ B,\ C}$ Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna e letras maiúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Dentre os microrganismos envolvidos na contaminação de produtos muito ácidos, como é o caso do suco misto de frutas tropicais, as leveduras são consideradas potenciais agentes de deterioração. Sua ocorrência em alimentos acarreta alteração do pH, criando condições propicias para o crescimento de outros microrganismos deteriorantes. As leveduras são capazes de se desenvolver em condições de anaerobiose, utilizando carboidrato como substrato e tendo como produtos finais CO_2 e etanol (HOFFMANN et al., 1998).

Os microrganismos metabolizam o açúcar do suco de frutas para produzir ácidos orgânicos, diminuindo o pH, fato que explica o aumento na acidez titulável e a diminuição do pH nos resultados deste estudo.

4.3 Compostos Bioativos e Capacidade Antioxidante

4.3.1 Vitamina C

A tabela 7 apresenta os teores de vitamina C do suco misto de frutas tropicais. Os resultados obtidos apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os teores de vitamina C dos sucos submetidos aos diferentes processos. No dia 0, os maiores teores de vitamina C foram observados no suco controle (224,8 mg/100g) e este diferiu significativamente das amostras submetidas a tratamentos, indicando que ambos os processamentos analisados promoveram a degradação da vitamina C.

Tabela 7 - Teores de Vitamina C presentes no suco misto de frutas tropicais submetido a diferentes processamentos, ao longo do armazenamento

	Vitamina C (mg/100g)			
Tratamentos	Dia 0	Dia 14	Dia 28	Dia 42
Controle	$224,8^{aA} \pm 3,8$	$223,3^{aA} \pm 2,9$	$204,2^{aB} \pm 0,2$	$177,2^{aC} \pm 0,8$
Pasteurizado	$173,2^{bA} \pm 1,9$	$209,1^{bAB} \pm 3,8$	$193,9^{aB} \pm 11,3$	$180,8^{aB} \pm 3,8$
HAP 50 MPa	$152,7^{cA} \pm 10,3$	$97,49^{dB} \pm 0,7$	$82,6^{bB} \pm 2,7$	$60,2^{dC} \pm 3,5$
HAP 100 MPa	$158,0^{bcA} \pm 2,6$	$133,8^{cA} \pm 3,5$	$120,3^{bA} \pm 40,8$	$124,6^{bA} \pm 10,1$
APH 500 MPa/10 min	$154,9^{cA} \pm 3,3$	$104,3^{dB} \pm 2,9$	$102,8^{bB} \pm 0,8$	$85,6^{cC} \pm 2,1$

Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=4).
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).
$^{a,b,c,\ A,\ B,\ C}$ Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna e letras maiúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Ao longo do armazenamento houve redução no conteúdo de vitamina C e, ao final do mesmo (dia 42), o maior teor de vitamina C foi apresentado pelo suco pasteurizado (180,8 mg/100g) e o menor teor foi encontrado no suco HAP 50 MPa (60,2 mg/100g). O processo de homogeneização à alta pressão a 100 MPa se mostrou eficiente na manutenção da vitamina C ao longo do armazenamento, apresentando 124,6 mg/100g de vitamina C ao final do armazenamento.

Todos os processamentos causaram a redução no conteúdo de vitamina C em relação ao conteúdo da amostra controle. O comportamento apresentado pela vitamina C é explicado por sua baixa estabilidade e fácil degradabilidade, fazendo com que apresente perdas significativas durante o armazenamento. O ácido ascórbico (vitamina C) é oxidado (química ou enzimaticamente) a ácido deidroascórbico, que apresenta atividade vitamínica, mas que é ainda menos estável e sofre oxidação a ácido dicetogulônico, que se degrada em diferentes produtos, como: ácido oxálico, ácido xilônico e xilose (CUNHA et al., 2014; SARICAOGLU et al., 2019).

Os resultados obtidos para a amostra pasteurizada demonstram a instabilidade da vitamina C quando submetida a altas temperaturas, como é o caso do processamento a 90 °C pelo período de 1 minuto. A perda de vitamina C nas amostras homogeneizadas à alta pressão (HAP 50 MPa e HAP 100 MPa) podem ter sido provocados pelo aquecimento da amostra causado pelo atrito e pela incorporação de oxigênio (aeração) do suco havidos durante a pressurização (SUAREZ-JACOBO et al., 2011). De acordo com Oey et al. (2008), a degradação da vitamina C observada pelo processo de alta pressão hidrostática é causada pela oxidação, principalmente durante o aquecimento adiabático. Segundo os autores, a presença de oxigênio não é o único fator que influi na degradação da vitamina C, sendo a matriz do alimento um outro fator que interfere na estabilidade dessa vitamina quando um alimento é submetido à APH. Chen et al. (2015) observaram que níveis de pressão de 400 MPa ou superiores causaram a redução no conteúdo de vitamina C e de compostos fenólicos de suco de aspargos.

Suarez-Jacobo et al. (2011) observaram que a pasteurização causou redução significativa ($p \leq 0,05$) no conteúdo total de vitamina C de suco de maçã clarificado, causado pela intensidade e tempo do tratamento térmico aplicado (90 °C/ 4 min). A redução de vitamina C na amostra pasteurizada foi de 88% em relação a amostra sem tratamento. Tribst et al. (2011) reportaram perda de vitamina C, em torno de 50%, em néctar de manga submetido a homogeneização à alta pressão. Os autores sugeriram que a perda de vitamina C, causada pela HAP, pode ocorrer devido as condições de processo, como presença de oxigênio, alto cisalhamento, temperatura da amostra e presença de traços de Be e Cu provenientes da erosão de selos do homogeneizador, que podem favorecer a oxidação da vitamina C. Entretanto, Suarez-Jacobo et al. (2011) observaram que o processo de homogeneização à alta pressão (100-300 MPa) não modificou significativamente a concentração de vitamina C de suco de maçã, quando comparado ao suco sem tratamento. Comportamento semelhante foi obtido por Welti-Chanes et al. (2009), não havendo variação no conteúdo de vitamina C de suco de laranja submetido a homogeneização à alta pressão (50-250 MPa).

4.3.2 Compostos fenólicos totais

Na tabela 8 estão apresentados os dados referentes as análises de compostos fenólicos totais. Os resultados mostraram que os processos de alta pressão hidrostática, homogeneização à alta pressão e pasteurização térmica, afetaram de forma significativa as concentrações de compostos fenólicos totais. As concentrações mais altas foram observados no suco homogeneizado à alta pressão a 100 MPa (276,3 mg EAG/100g) e no suco processado à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos (259,5 mg EAG/100g).

Tabela 8 -Teor de compostos fenólicos totais de suco misto de frutas tropicais, submetido a diferentes tratamentos, ao longo do armazenamento

	Fenólicos Totais (mg EAG/100g)			
Tratamentos	Dia 0	Dia 14	Dia 28	Dia 42
Controle	$230,4^{bA} \pm 5,0$	$215,2^{bA} \pm 49,6$	$202,4^{aA} \pm 5,6$	$195,4^{bA} \pm 38,6$
Pasteurizado	$233,1^{bA} \pm 4,1$	$224,2^{bAB} \pm 11,5$	$201,5^{aBC} \pm 13,8$	$169,5^{bC} \pm 15,7$
HAP 50 MPa	$236,0^{bA} \pm 2,3$	$232,8^{bA} \pm 1,8$	$232,7^{aA} \pm 2,6$	$210,2^{abB} \pm 7,2$
HAP 100 MPa	$276,3^{aA} \pm 24,0$	$272,9^{aA} \pm 24,0$	$189,8^{aC} \pm 6,6$	$248,7^{aB} \pm 2,9$
APH 500 MPa/10 min	$259,5^{abA} \pm 22,7$	$221,2^{bAB} \pm 18,9$	$184,0^{aB} \pm 15,8$	$174,0^{bB} \pm 17,9$

Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=4); EAG = equivalente em ácido gálico.
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min.);
[a,b,c, A, B, C] Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna e letras maiúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Durante o armazenamento, houve variação nas concentrações dos compostos fenólicos totais e todas as amostras avaliadas apresentaram concentrações de compostos fenólicos totais menores do que as concentrações iniciais, sendo os maiores valores encontrados para o suco HAP 100 MPa, 248,7 mg EAG/100g, não diferindo significativamente apenas do suco homogeneizado à alta pressão a 50 MPa (210,2 mg EAG/100g). O trabalho de Joubran et al. (2019) mostrou que pressões de 200 MPa com ciclos de passagens (1-5) aumentaram em 15% a concentração de compostos fenólicos totais em suco de morango em relação a amostra sem tratamento. O aumento nos compostos fenólicos foi proporcional ao número de ciclos utilizados no processo de HAP. Resultados semelhantes foram descritos por Karacam et al. (2015), que estudaram os efeitos de pressões a 60 e 100 MPa sobre os compostos fenólicos totais de suco de morango otomano, tendo observado aumento de 10% a pressão de 100 MPa, enquanto a pressão de 60 MPa não resultou em efeito detectável. De acordo com Suarez-Jacobo et al. (2011), o aumento da concentração dos compostos fenólicos pode estar relacionado a substâncias que não correspondam aos polifenóis, que são capazes de reagir com o reagente de Folin-Ciocalteu (reação baseada na transferência de elétrons). Esses compostos podem ser produtos da degradação de carboidratos, enedióis ou redutores e produtos da reação de Maillard.

4.3.3 Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante é atribuída principalmente aos compostos fenólicos e, em menor grau, ao teor de vitamina C. Na tabela 9 estão apresentados os valores referentes a análise de capacidade antioxidante pelo método de $ABTS^{+}$. Logo após o processamento, não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) na capacidade antioxidante em relação aos tratamentos aplicados ao suco misto de frutas tropicais. A capacidade antioxidante do suco variou de 6,75 a 7,54 µmol trolox/g, sendo os maiores valores atribuídos ao suco pasteurizado.

Tabela 9 - Capacidade antioxidante do suco misto de frutas tropicais submetidos a diferentes tratamentos, ao longo do armazenamento

	Valores TEAC (µmol Trolox/g)			
Tratamentos	Dia 0	Dia 14	Dia 28	Dia 42
Controle	$7,07^{aB} \pm 0,17$	$9,30^{aA} \pm 0,11$	$9,63^{aA} \pm 2,08$	$10,23^{aA} \pm 0,17$
Pasteurizado	$7,54^{aB} \pm 0,11$	$7,59^{bB} \pm 0,67$	$8,35^{aB} \pm 0,17$	$10,32^{aA} \pm 0,17$
HAP 50 MPa	$6,84^{aB} \pm 0,80$	$7,54^{bB} \pm 0,51$	$7,94^{aAB} \pm 0,26$	$8,93^{cA} \pm 0,62$
HAP 100 MPa	$7,29^{aC} \pm 0,21$	$8,03^{bB} \pm 0,35$	$8,13^{aB} \pm 0,06$	$9,47^{bA} \pm 0,16$
APH 500 MPa/10 min	$6,75^{aB} \pm 0,12$	$6,13^{cC} \pm 0,15$	$4,97^{bD} \pm 0,12$	$7,25^{dA} \pm 0,12$

Resultados expressos como média ± desvio padrão (n=4).
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min.).
[a,b,c, A, B, C] Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna e letras maiúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferença significativa ($p \leq 0,05$).

Durante o armazenamento do suco misto de frutas tropicais, houve um aumento nos valores de capacidade antioxidante, exceto para a amostra APH 500 MPa/10 min. O suco pasteurizado manteve-se com o maior valor, 10,32 µmol trolox/g, porém não diferindo significativamente do suco controle (10,23 µmol trolox/g).

Guan et al. (2016) observaram um aumento na capacidade antioxidante de suco de manga homogeneizado à alta pressão e uma redução da capacidade antioxidante quando o suco foi submetido a pasteurização. Esses resultados indicam que o tratamento de HAP foi menos prejudicial aos compostos bioativos do suco de manga. Comportamento contrário foi encontrado por Suárez-Jacobo et al. (2011), pois observaram que os resultados da capacidade

antioxidante de suco de maçã pasteurizado foi 5% maior quando comparados aos valores encontrados para o suco de maçã homogeneizado à alta pressão. De acordo com Velázquez-Estrada et al. (2013), as diferenças em relação à capacidade antioxidante das amostras podem ser explicadas pela degradação da vitamina C e dos carotenoides presentes no suco. Além disso, o método de Folin-Ciocalteu superestima o conteúdo de compostos fenólicos, devido à falta de seletividade do reagente de Folin-Ciocalteu, que reage não somente com fenóis, mas também com compostos como carotenoides, aminoácidos, açúcares e vitamina C.

Diferentes metodologias podem ser utilizadas para avaliar a capacidade antioxidante de sucos de frutas. Métodos de análise como ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*), FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) e DPPH (2,2-difenil-1- picril-hidrazil) podem ser utilizados. Suarez-Jacobo et al. (2011) encontraram tendências diferentes nos resultados de capacidade antioxidante de suco de maçã clarificado homogeneizado à alta pressão, decorrentes dos métodos de ORAC, FRAP, TEAC e DPPH. As diferenças nos resultados obtidos pelos diferentes métodos indicam a necessidade de se utilizar mais de um método de análise para a obtenção de resultados seguros, quando possível.

4.4 Efeito do Processamento na Estabilidade Física do Suco Misto de Frutas Tropicais

4.4.1 Tamanho de partículas

A figura 4 mostra a influência dos processamentos sobre a distribuição do tamanho de partícula do suco misto de frutas tropicais. Com relação a homogeneização à alta pressão, como esperado, o tamanho médio das partículas foi reduzido com o aumento da pressão, fato esse também observado por outros autores em diferentes matrizes. Leite et al. (2014) observaram comportamento semelhante de redução no tamanho médio das partículas de suco de caju submetido a homogeneização à alta pressão.

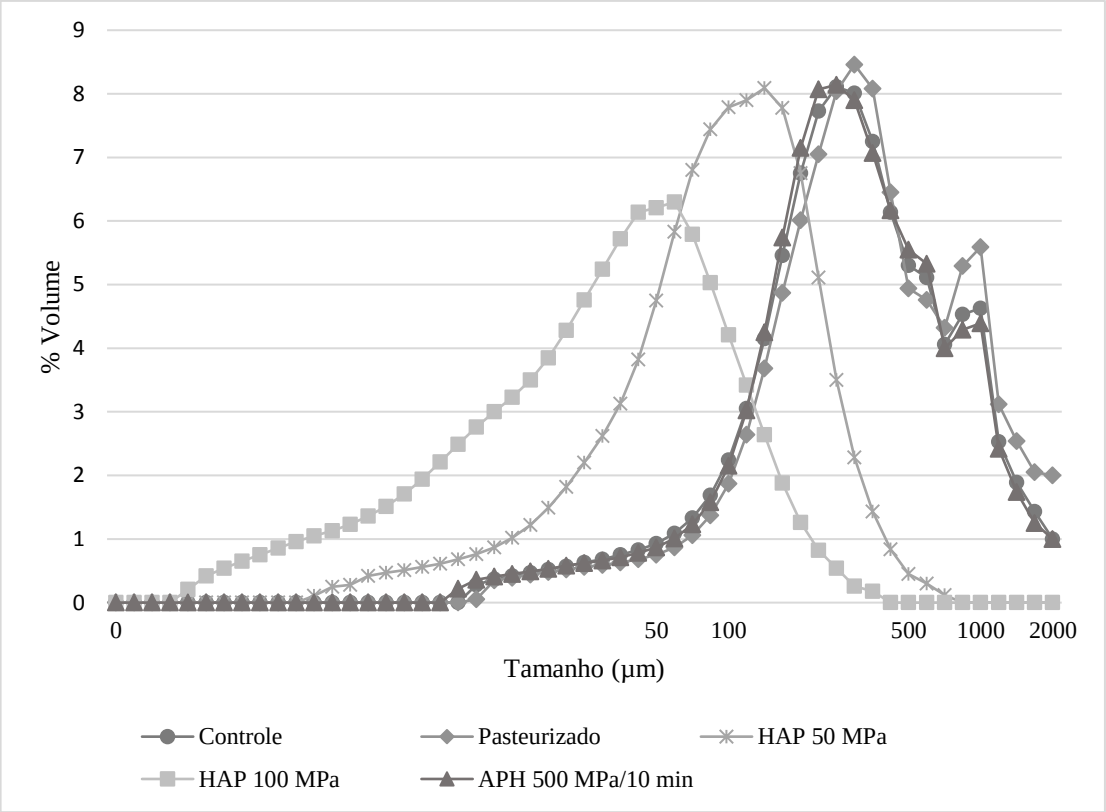

Figura 4 - Efeito dos diferentes processamentos na distribuição do tamanho de partícula do suco misto de frutas tropicais
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).

As amostras controle, pasteurizado e APH 500 MPa/10 min apresentaram distribuição de tamanho de partículas semelhantes, com tamanhos médios de partícula maiores do que aqueles observados para os sucos homogeneizados a alta pressão (HAP 50 e 100 MPa).

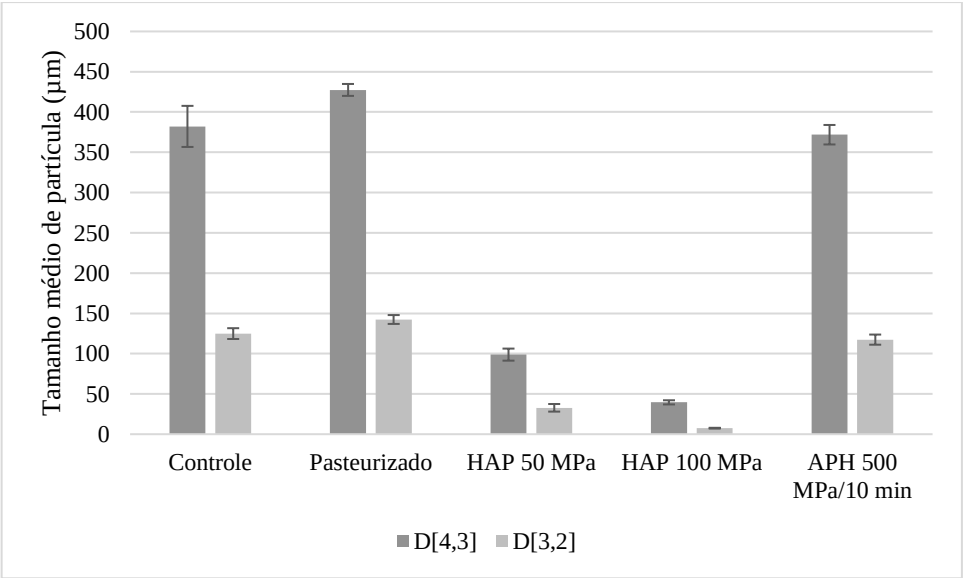

Figura 5 - Efeito do processamento no diâmetro médio da partícula (D[4,3] e D[3,2]) do suco misto de frutas tropicais.
Os segmentos verticais na porção superior das barras são o desvio padrão de cada valor.
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min.).

Os valores de D[4,3] foram três vezes maiores que os valores encontrados para D[3,2], resultado que demonstra haver maior número de partículas maiores do que partículas menores, como pode ser observado nas figuras 4 e 5. O aumento da pressão de homogeneização causou redução nos valores de D[4,3] e D[3,2]. A redução observada no tamanho das partículas é obtida com a pressurização do fluido através da válvula de ruptura. Ao passar pela válvula, o suco sofre ação de forças de cisalhamento, impacto, turbulência e fenômenos de cavitação que causam o rompimento das células, reduzindo o tamanho médio das partículas do suco (AUGUSTO et al., 2013; AGANOVIC et al., 2018).

Na figura 4, também pode-se observar o estreitamento do intervalo de distribuição do tamanho de partículas com o aumento da pressão de homogeneização. A amostra controle apresentou intervalo de distribuição variando de 7,78 a 2000 µm, enquanto a amostra homogeneizada à alta pressão HAP 100 MPa apresentou intervalo de distribuição variando de 0,486 a 352 µm. As amostras homogeneizadas à alta pressão mostraram um aumento no montante de partículas pequenas, demonstrando a ruptura das partículas da polpa do suco. Esse efeito da homogeneização à alta pressão sobre a distribuição do tamanho de partículas também foi observado por Augusto et al. (2012) em suco de tomate, Silva et al. (2010) em polpa de abacaxi e Leite et al. (2014) em suco de caju.

4.4.2 Microestrutura óptica

A figura 6 apresenta a microestrutura do suco misto de frutas tropicais, visto por microscopia ótica.

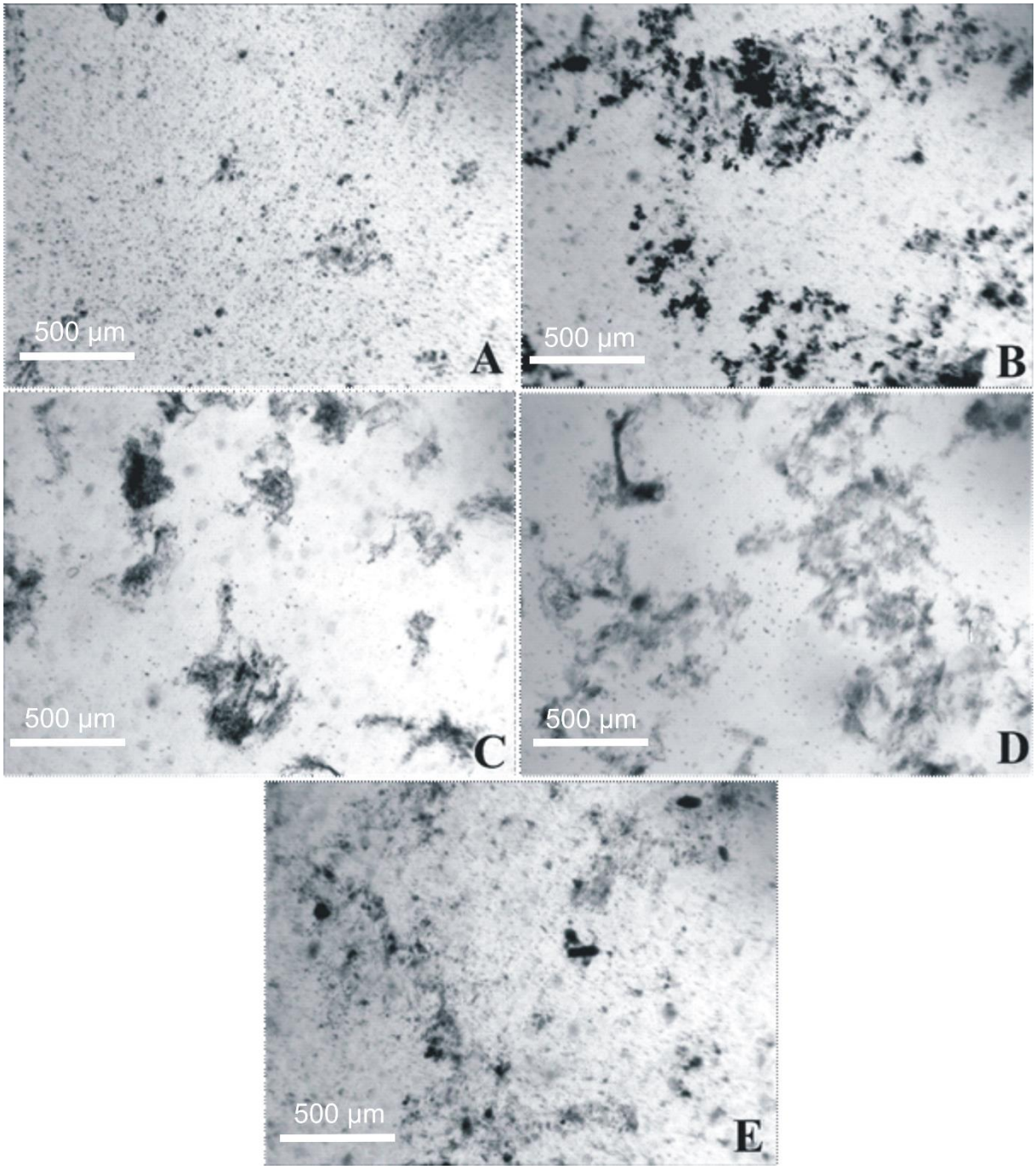

Figura 6 - Efeito do processamento na microestrutura do suco misto de frutas tropicais.
(A) Controle (sem tratamento); (B) Pasteurizado (90 °C/1 min), (C) HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); (D) HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); (E) APH 500 MPa/10 min(amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min.).

De acordo com as imagens, a amostra controle apresentou células praticamente intactas e formação de aglomerados, comportamento semelhante foi observado para a amostra pasteurizada e para a amostra processada à alta pressão hidrostática (APH 500 MPa/10 min). De acordo com a figura 4, as amostras controle, pasteurizada e APH 500 MPa/10 min apresentam distribuição de tamanho de partícula semelhante, conforme já discutido. Os sucos homogeneizados a alta pressão, em ambas pressões, apresentaram células fragmentadas, e o nível de fragmentação foi diretamente proporcional ao aumento dos níveis de pressão de homogeneização, porém apresentaram formação de aglomerados, supostamente decorrentes de

fragmentos de células aderidos a cadeias de pectina. A formação desses aglomerados pode ser explicada pelo aumento das interações partícula-partícula devido a redução do tamanho de partículas, o que aumenta a área de superfície dessas partículas em suspensão e modifica as propriedades das mesmas e do soro (KUBO et al., 2013). Leite et al. (2014) e Kubo et al. (2013) encontraram resultados de microscopia similares para suco de caju e tomate, respectivamente, ambos homogeneizados a alta pressão.

Analisando a figura 6, pode-se perceber que as células fragmentadas se tornaram menores com o aumento da pressão e maior conteúdo celular foi liberado na fase dispersa do suco. Com o aumento do número de partículas pequenas, houve um aumento de fragmentos de membrana e parede celular. Os resultados da microscopia ótica corroboram os resultados obtidos para a distribuição do tamanho de partículas do suco, que mostrou o aumento no número de partículas menores dos sucos homogeneizados a alta pressão (HAP 50 e 100 MPa).

4.4.3 Sedimentação da polpa

A sedimentação da polpa é um problema comum ao suco de caju e acerola. O efeito dos diferentes processamentos no índice de sedimentação (IS) do suco misto de frutas tropicais com o tempo é apresentado na figura 7. A determinação do IS foi realizada em duplicata e as amostras foram mantidas a 4 °C por 42 dias. As medidas foram realizadas 5 vezes ao dia em intervalos regulares durante todos os 42 dias do armazenamento.

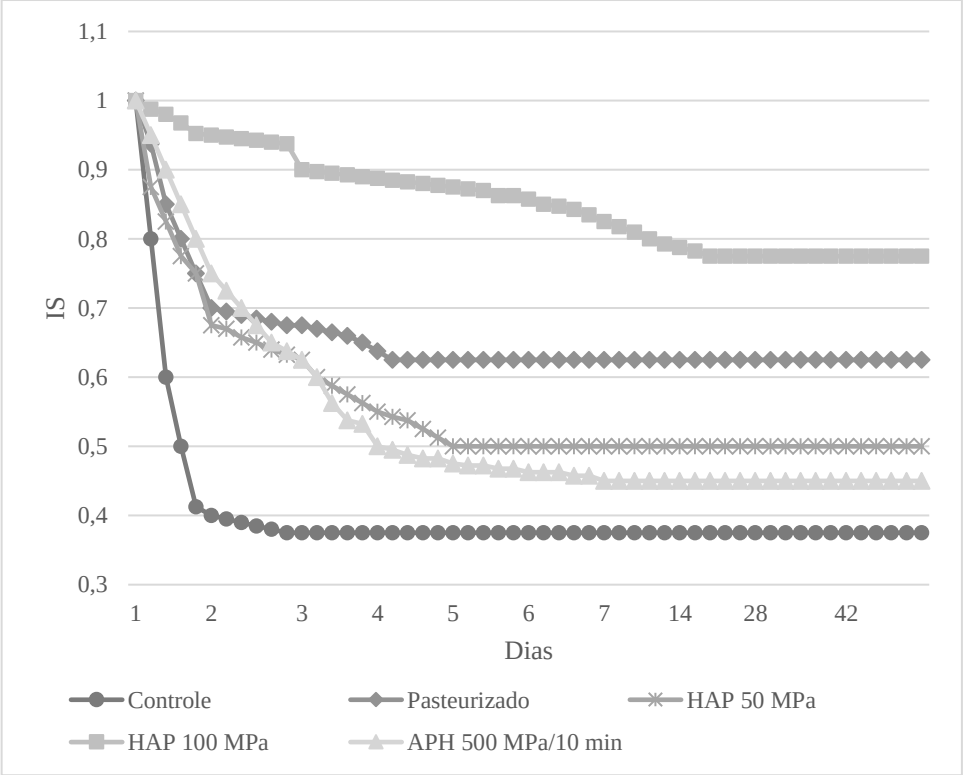

Figura 7 - Efeito dos processamentos na sedimentação da polpa do suco misto de frutas tropicais
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 min.

O suco controle apresentou um rápido decréscimo do IS, e atingiu o equilíbrio (ponto de cessação da sedimentação da polpa) em aproximadamente 3 dias. A amostra pasteurizada apresentou tempo de sedimentação semelhante à amostra controle, alcançando o equilíbrio em

4 dias. Já a amostra processada à alta pressão hidrostática atingiu o fim do processo de sedimentação da polpa em aproximadamente 7 dias. As amostras homogeneizadas à alta pressão apresentaram comportamentos muito distintos. A amostra homogeneizada à 50 MPa, diferentemente do esperado, apresentou rápida sedimentação da polpa, alcançando a fim da sedimentação em torno do 7° dia de armazenamento, enquanto a amostra homogeneizada a 100 MPa apresentou a menor sedimentação da polpa em relação as outras amostras, alcançando o equilíbrio da sedimentação apenas em torno do 16º dia de armazenamento. Os valores de equilíbrio encontrados para as amostras homogeneizadas foram significativamente diferentes ($p \leq 0,05$), sendo o equilíbrio de 0,50 para HAP 50 MPa e 0,78 para a amostra 100 MPa.

A diferença no IS das amostras pode estar relacionada à diferença na distribuição do tamanho de partícula (figuras 3 e 4). As interações intermoleculares favorecem a formação de agregados de grandes partículas que sedimentam rapidamente, mostrando uma redução do IS nos primeiros dias de análise, comportamento observado para as amostras controle, pasteurizada e APH 500 MPa/10 min. As amostras homogeneizadas à alta pressão apresentaram diferentes valores de IS, e essa divergência pode estar associada à fragmentação de agregados de grandes partículas durante a passagem do suco pelo equipamento. As forças intermoleculares entre os agregados de partículas são relativamente fracas sendo que, desse modo, a tensão de cisalhamento devido ao bombeamento pode ser suficiente para separar essas partículas. A pressão de 100 MPa mostrou maior eficiência na destruição desses agregados, reduzindo, assim, a sedimentação da polpa, quando comparada a amostra submetida a 50 MPa.

A lei de Stokes afirma que a velocidade de sedimentação das partículas é proporcional ao diâmetro quadrado da partícula, assumindo que as partículas são esféricas, e que a diferença entre as densidades das partículas e a fase dispersa são inversamente proporcionais à viscosidade da fase dispersa. A Lei de Stokes descreve um sistema onde apenas forças mecânicas atuam. No caso de polpas de frutas, apenas a Lei de Stokes não é capaz de explicar o fenômeno de sedimentação, pois as partículas sofrem influência de outras forças. Partículas pequenas sofrem ação das forças de Van der Waals, enquanto partículas maiores são afetadas por forças hidrodinâmicas.

Leite et al. (2014) encontraram tempos de sedimentação semelhantes para suco de caju homogeneizado à alta pressão, porém todos os IS tiveram valores em torno de 0,75, não apresentando diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos. A amostra controle (0 MPa) naquele estudo alcançou o equilíbrio do IS em aproximadamente 5 dias. A amostra 75 MPa alcançou o mesmo valor de IS em aproximadamente 1 semana, enquanto a amostra 150 MPa alcançou o equilíbrio em torno do 18° dia de armazenamento, com IS em torno de 0,75. Silva et al. (2010) observaram comportamento semelhante para a polpa de abacaxi, mas os valores de IS foram diferentes para cada processo. Kubo et al. (2013) encontraram comportamento contrário para suco de tomate, onde as amostras homogeneizadas não apresentaram sedimentação de polpa, tendo o IS permanecido em 1,0 durante 60 dias de armazenamento. As diferenças nos comportamentos das matrizes estão relacionadas às forças intermoleculares que atuam sobre as partículas. Em relação ao suco de caju e abacaxi, o processo de HAP não foi suficiente para causar mudanças nas forças interpartículas, permanecendo fracas, porém capazes de formar agregados que permitiram leve sedimentação da polpa. O processo de homogeneização foi capaz de mudar interações interpartículas do tomate, desfazendo os agregados e, dessa forma, evitando a sedimentação da polpa do suco. Portanto, a homogeneização à alta pressão pode ser vista como ferramenta importante na prevenção da sedimentação de polpas, através da redução do tamanho das partículas e na atuação sobre as forças interpartículas, evitando a formação de agregados. Os diferentes resultados observados corroboram o trabalho de Lopez-Sanchez et al. (2011). que afirmaram que cada matriz vegetal reage a sua própria maneira ao processo de homogeneização à alta pressão. Por exemplo, a parede celular do tecido de cenoura requer maior cisalhamento para ser

rompida pelo processo de homogeneização à alta pressão, enquanto as paredes celulares do tecido do tomate são rompidas com valores baixos de cisalhamento, devido a variação na composição de cada matriz celular vegetal, como por exemplo, o maior teor de celulose da cenoura quando comparado ao de tomate.

4.4.4 Propriedades reológicas

O conhecimento das propriedades reológicas se faz importante pois pode ser uma indicação de como o alimento se comportará sob diversas condições de processo. A mistura de frutas no desenvolvimento de produtos e a interação dos componentes dessas frutas são fatores que podem influenciar diretamente os parâmetros reológicos do produto (HAMINIUK et al., 2013).

O suco misto de frutas tropicais pode ser considerado uma suspensão de tecidos de caju, acerola e melão em uma fase contínua. Sucos de frutas são compostos de duas fases. A primeira é a fase aquosa, que é composta principalmente de água e outros compostos solúveis como ácidos orgânicos, açúcares e polissacarídeos, enzimas, peptídeos e proteínas vegetais. A segunda, a fase dispersa, contém todo o material insolúvel, como fibras, células inteiras, rompidas e fragmentadas, aglomerados e cadeias de polímeros insolúveis suspensos na primeira fase. A solubilização desses compostos na fase aquosa pode afetar as propriedades reológicas do suco (MOELANTS et al., 2013; LEITE et al., 2014). De acordo com Vitali e Rao (1984) e Augusto et al. (2012), a fase aquosa apresenta comportamento Newtoniano e, a fase dispersa, comportamento de fluido não-newtoniano. A reologia dos sucos é baseada na interação entre a fase aquosa e a fase dispersa, e na interação entre os componentes de cada fase.

A figura 8 apresenta os resultados a variação da viscosidade aparente dos diferentes processamentos. Os resultados foram obtidos a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) de 50 s^{-1} e a temperatura de 25 °C.

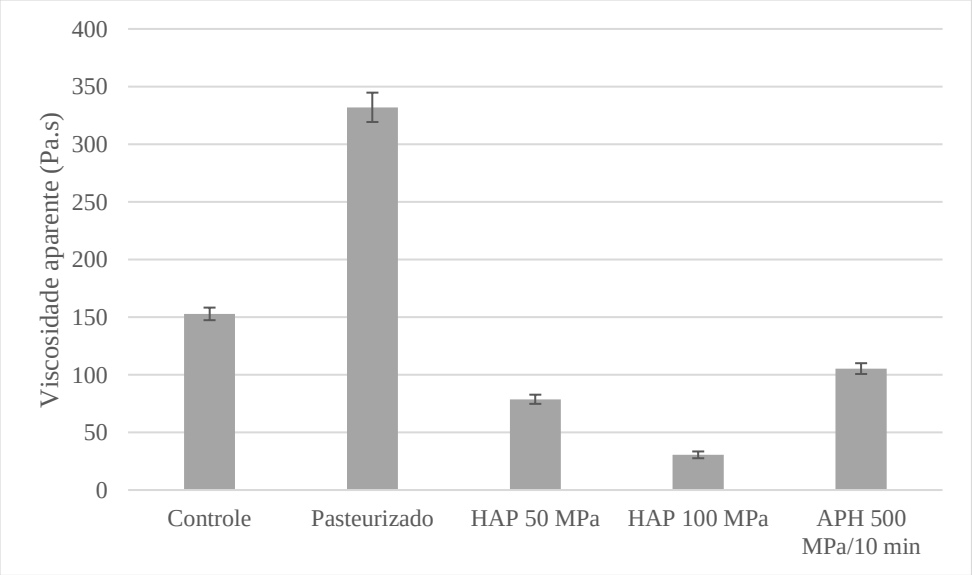

Figura 8 –Viscosidade inicial dos diferentes processamentos em relação a amostra controle.
As barras verticais são o desvio padrão de cada valor.
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).

De acordo com os resultados obtidos, pode-se perceber que houve aumento da viscosidade apenas do suco pasteurizado quando comparada à viscosidade do suco controle. O aumento de viscosidade causado pelo processo de pasteurização se explica pelo calor úmido utilizado pelo processo, que provoca o inchaço e retenção de água entre as cadeias de celulose e em fibras insolúveis, aumentando o volume das partículas em suspensão (VENDRÚSCULO, 2005). O aumento no tamanho das partículas diminui a distância entre partículas favorecendo a formação de agregados que promovem o aumento da viscosidade. Outro fato importante é a solubilização de polissacarídeos pécticos, resultando no aumento do teor de sólidos solúveis, contribuindo para o aumento da viscosidade do fluido. A pasteurização também é responsável pela redução do pectato e solubilização das fibras insolúveis (CHEFTEL e CHEFTEL, 1992). Yeom et al. (2000) observaram que, após a pasteurização, o suco de laranja apresentou tamanho de partícula maior, comparado ao suco sem tratamento, indicando um possível efeito da pasteurização sobre o tamanho da partícula. Os autores observaram também que ocorreu a coagulação do material coloidal, devido ao aumento da partícula.

O efeito dos diferentes processamentos sobre a viscosidade das amostras com a variação da taxa de cisalhamento está apresentado na figura 9.

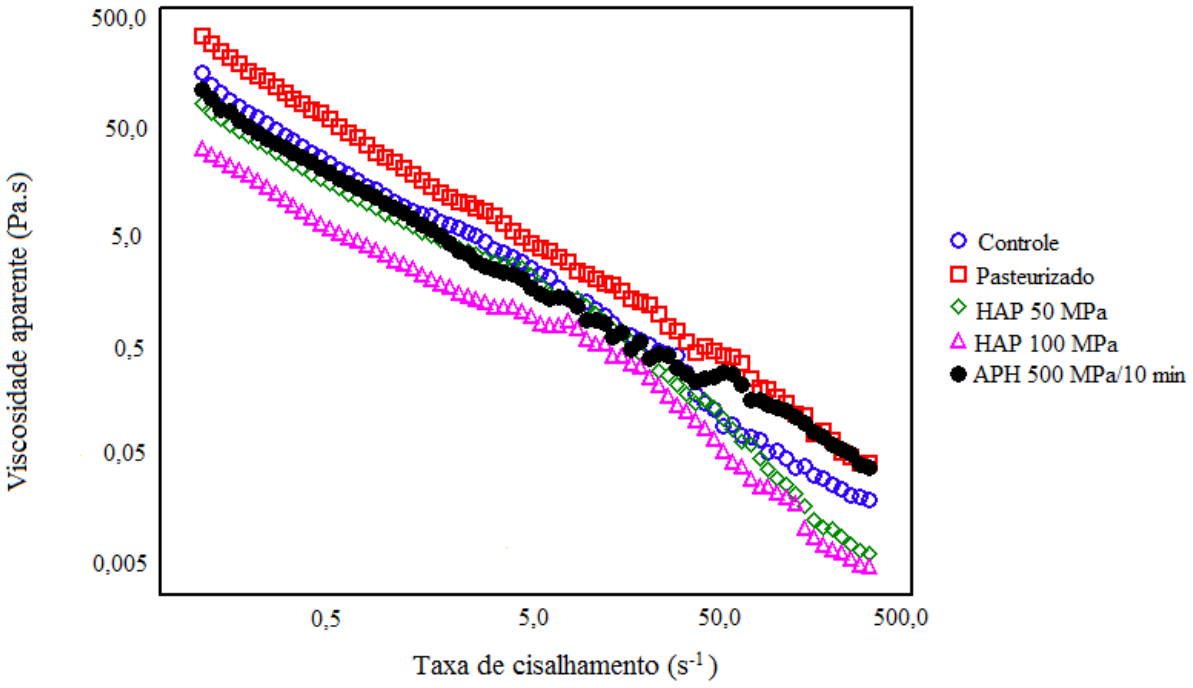

Figura 9 - Variação da viscosidade do suco misto de frutas tropicais em relação a variação da taxa de cisalhamento (0,01 a 300 s^{-1})
HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).

A viscosidade de todas as amostras de suco misto de frutas decresceu significativamente com a taxa de cisalhamento, exibindo características não-newtonianas de fluido pseudoplástico. O modelo matemático, geralmente, utilizado para fluidos não-newtonianos é o modelo de Herschel-Bulkley, que é apropriado para muitos fluidos, combinando os comportamentos de Power-Law e Bingham (ALI et al., 2014). Os parâmetros de Herschel-Bulkley obtidos estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para o suco misto de frutas tropicais submetidos a diferentes tratamentos.

Tratamento	τ_0 (Pa)	κ (Pa.s^n)	n (-)
Controle	10,75457	0,00029	-4,18947
Pasteurizado	25,09335	0,09719	-1,90683
HAP 50 MPa	6,75068	0,0004	-4,39135
HAP 100 MPa	2,767169	0,048732	-0,802062
APH 500 MPa/10 min	8,31371	0,00013	-4.23923

Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).
n = índice de fluxo; κ = coeficiente de consistência; τ_0 = tensão de escoamento.

Para o processo de homogeneização (HAP 50 MPa e HAP 100 MPa) e alta pressão hidrostática (APH 500 MPa/10 min), podemos observar que a tensão de escoamento (τ_0) diminui. Valores menores para τ_0 significam que é necessária menor tensão cisalhante para que o fluido inicie o escoamento.

Em geral, todas as amostras exibiram uma redução da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, fato que pode estar relacionado a um comportamento de desbaste por cisalhamento, onde a viscosidade diminuiu conforme a taxa de cisalhamento aumenta.

Os processos de alta pressão hidrostática e homogeneização à alta pressão acarretaram redução da viscosidade do suco com o aumento da taxa de cisalhamento (0-300 s^{-1}). Dentre as amostras pressurizadas, a amostrada tratada a alta pressão hidrostática, APH 500 MPa/10 min, apresentou a menor perda de viscosidade quando comparada as amostras homogeneizadas à alta pressão. Hsu et al. (2008) avaliaram o efeito da aplicação da APH em suco de tomate e notaram a redução de viscosidade do suco (400 MPa/15 minutos) ao longo do armazenamento a 4 °C. De acordo com os autores, a perda da viscosidade é atribuída a precipitação da polpa e a degradação da pectina devido a ação de das enzimas PME e PE. A maior perda de viscosidade foi observada para amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa (HAP 100 MPa). Esse comportamento pode ser atribuído às mudanças na distribuição do tamanho da partícula causado pela HAP, visto que após o processamento o suco apresenta um acumulado de partículas pequenas que ocupam espaço entre as partículas maiores, logo, esse fenômeno resulta em uma redução na resistência do fluxo. Segundo Augusto et al. (2012), as propriedades da fase aquosa são levemente alteradas pela HAP, e a redução da viscosidade ocorre devido a ruptura dos polissacarídeos, como a celulose e pectina. Os resultados obtidos pelos autores corroboram os resultados obtidos para o suco misto de frutas tropicais, que relacionaram que as mudanças na reologia do suco foram causadas pela mudança do tamanho das partículas da fase aquosa.

Vários estudos exploraram o efeito da homogeneização à alta pressão nas propriedades reológicas dos sucos. Esse comportamento ocorre tipicamente em dispersões sob fluxo devido a formação de camadas de partículas que diminuem a viscosidade, através da redução da dissipação causada pelas colisões entre as partículas. Silva et al. (2010) avaliaram a viscosidade da polpa de abacaxi em diferentes taxas de cisalhamento (0, 10 e 100 s^{-1}), e notaram que o aumento da pressão de homogeneização resultou em uma maior diminuição da viscosidade. Pressões até 200 bar resultaram em uma maior diminuição da viscosidade da polpa de abacaxi, enquanto pressões entre 200 bar e 700 bar causaram menor redução da viscosidade. Joubran et al. (2019) obtiveram resultados semelhantes para a viscosidade do suco de morango filtrado e não-filtrado. As amostras de suco não filtradas apresentaram redução de viscosidade em todas as taxas de cisalhamento e apresentaram valores de viscosidade maiores do que os encontrados para as amostras filtradas, pois a filtração reduz a fração volumétrica das partículas. Entretanto, comportamento contrário foi observado por Augusto et al. (2012) para sistema modelo de soro

de tomate, que mostrou uma melhora na consistência e aumento da viscosidade das amostras quando submetidas à homogeneização à alta pressão. De acordo com os autores, a ruptura e fragmentação celular, causadas pela HAP, aumentam a área de superfície das partículas suspensas e mudam as propriedades das partículas em fase aquosa, melhorando as interações partícula-partícula e partícula-fase aquosa. Zhou et al. (2017) observaram comportamento semelhante para sugo de manga, que apresentou aumento da viscosidade após ser submetido à HAP. As alterações nas propriedades reológicas do suco após o tratamento foram causadas pelo aumento da solubilização de carboidratos, como amido e pectina.

Os resultados obtidos nos diversos estudos realizados destacam o fato de que o efeito dos processamentos nas propriedades reológicas dos sucos de frutas é uma função do equilíbrio entre as mudanças estruturais da polpa e da fase aquosa.

4.4.5 Cor instrumental

A figura 10 apresenta os resultados dos parâmetros de cor instrumental método CieLAB (L*, a* e b*) imediatamente após os diferentes processamentos e durante o armazenamento de 42 dias a 4 °C. O parâmetro L* refere-se à luminosidade, podendo variar de 0 (preto) a 100 (branco), o parâmetro a* pode variar na escala verde (-80 até 0) a vermelho (0 até +100) e b* na escala de azul (-100 até 0) a amarelo (0 até +70).

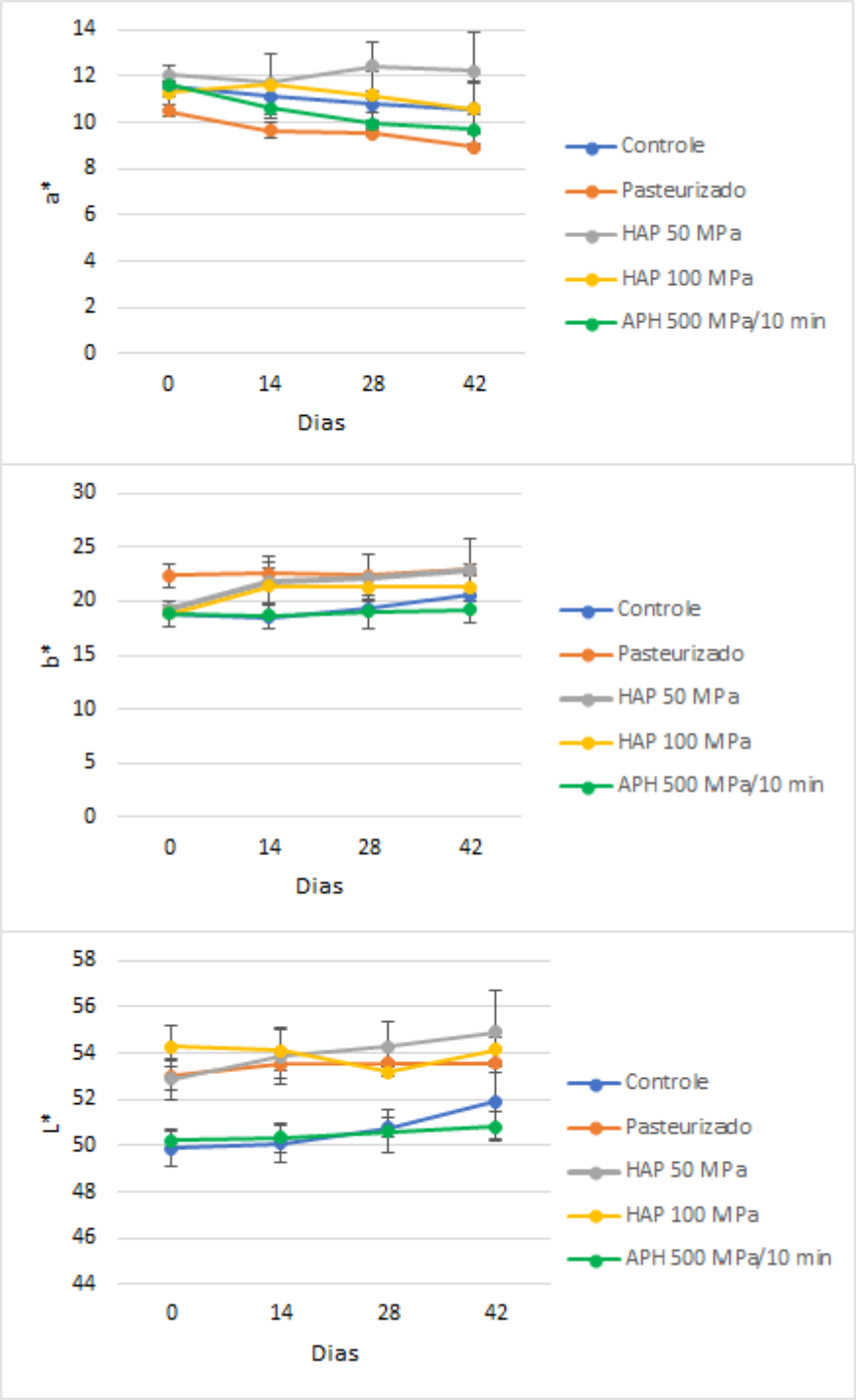

Figura 10 - Mudanças nos parâmetros de cor (a*, b* e L*) do suco misto de frutas tropicais durante o armazenamento a 4 °C. As barras verticais são o desvio padrão de cada valor médio.
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).

Mudanças nas cores das amostras foram observadas logo após os processamentos, dia 0 (Figura 11). Para o parâmetro a*, as amostras pasteurizada e homogeneizada à alta pressão à 50 MPa (HAP 50 MPa) apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em relação a amostra controle (sem tratamento). Para o parâmetro b*, apenas a amostra submetida à pasteurização diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) da amostra controle. Diferenças significativas foram observadas em relação ao parâmetro L*para as amostras homogeneizadas à alta pressão (ambas

os níveis de pressão) e pasteurizada. O aumento nos valores do parâmetro L* indicam que após o processamento, as amostras se tornaram mais luminosas. A homogeneização à alta pressão reduz o tamanho das partículas do suco e partículas menores tem maior capacidade de espalhar a luz, sendo assim, a diminuição do tamanho das partículas promovida pela homogeneização à alta pressão leva a um aumento na luminosidade das amostras .O aumento da luminosidade das amostras também pode ser explicado pelo efeito térmico da pasteurização e da homogeneização à alta pressão, que causa a proteção das antocianinas. Yu et al. (2016) observaram comportamento semelhante para o parâmetro L* da polpa de inhame, que aumentou com a homogeneização à alta pressão. Albarici e Pessoa (2012) concluíram que a pasteurização promove a proteção das antocianinas de bebida de açaí.

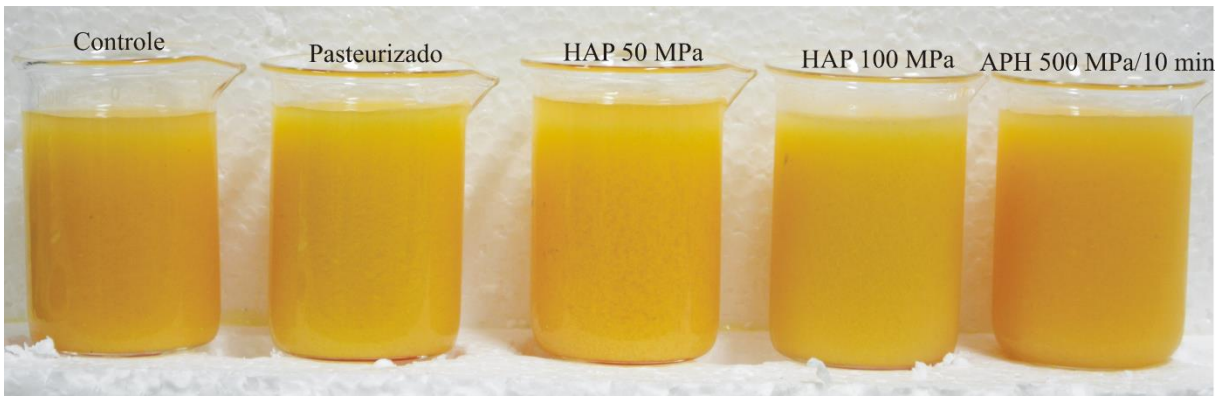

Figura 11 - Efeito do processamento na cor do suco misto de frutas tropicais
Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).

Ao longo do armazenamento de 42 dias, as amostras apresentaram comportamento distintos para os parâmetros a*, b* e L*. Todas as amostras, exceto HAP 50 MPa, apresentaram redução nos valores do parâmetro a*, indicando uma perda da coloração vermelha, que pode estar relacionada a degradação das antocianinas da acerola. A degradação das antocianinas pode ser motivada por diversos fatores, sendo o principal deles a temperatura, porém pode estar ligada a reações de escurecimento, como a reação de Maillard. Karacam et al. (2015) observaram comportamento semelhante para suco de morango otomano que apresentou maior degradação de antocianinas nas amostras submetidas a pressão de 100 MPa, quando comparadas às amostras homogeneizadas à 60 MPa. Em relação ao parâmetro b*, todas as amostras apresentaram aumento, indicando um amarelamento das amostras, que pode ser explicado pela ruptura das células e membranas e pela quebra dos complexos cromoplásticos de proteínas-carotenóides, permitindo o vazamento do material celular, incluindo pigmentos como carotenóides (LIU et al., 2019). Ao longo do armazenamento as amostras, exceto a amostra HAP 100 MPa, apresentaram aumento nos valores do parâmetro L*, indicando aumento na luminosidade das mesmas. O parâmetro L* da amostra HAP 100 MPa não apresentou diferença significativa ($p>0,05$) ao longo dos 42 dias de armazenamento.

A figura 12 apresenta os valores dos parâmetros h e ΔE do suco misto de frutas tropicais.

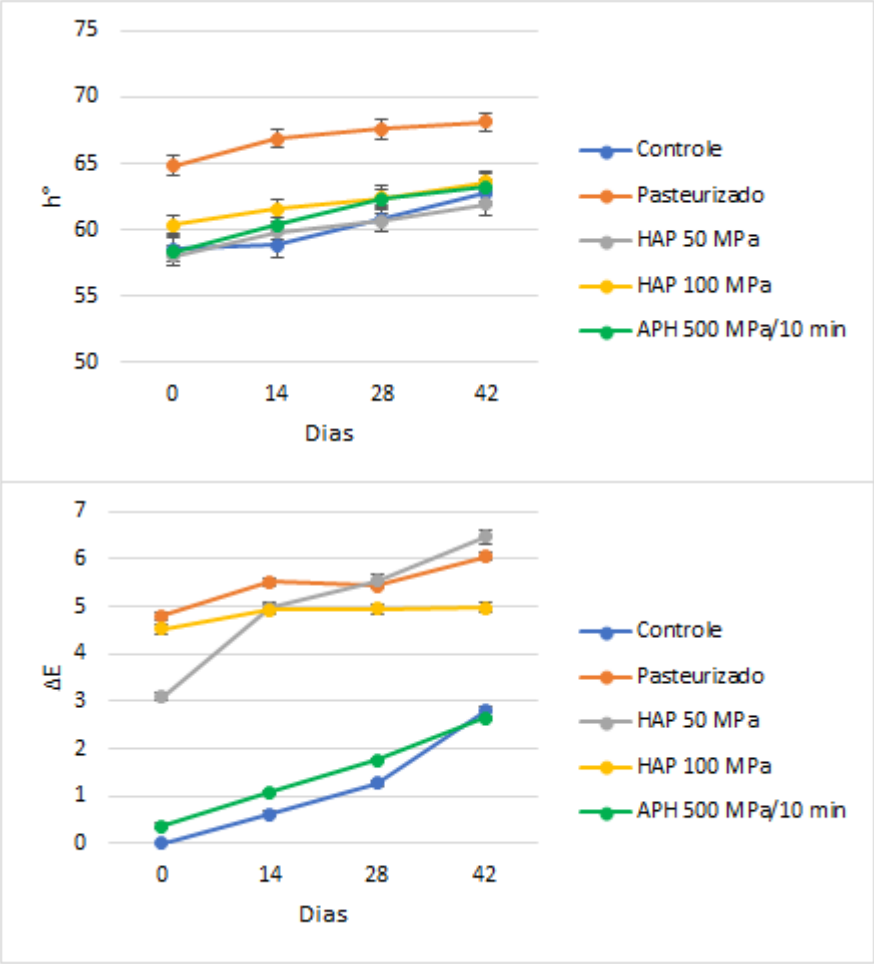

Figura 12 - Mudanças nos parâmetros de cor (h° e ΔE) do suco misto de frutas tropicais durante o armazenamento a 4 °C. As barras verticais são o desvio padrão de cada valor. Controle (sem tratamento); Pasteurizado (90 °C/ 1 min); HAP 50 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 50 MPa); HAP 100 MPa (amostra homogeneizada à alta pressão a 100 MPa); APH 500 MPa/10 min (amostra processada à alta pressão hidrostática a 500 MPa por 10 minutos).

A tonalidade do suco é indicada pelo ângulo Hue (h°), uma medida direta da cor. A análise de cor mostrou que, logo após o processamento, apenas as amostras pasteurizada e homogeneizada à alta pressão à 100 MPa diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) da amostra controle (sem tratamento) em relação ao h°. A tonalidade do suco (h°) de todas as amostras mostrou aumento com o tempo, indicando que o suco reduziu sua coloração alaranjada. Resultado semelhante foi encontrado por Kubo et al. (2013), que notaram aumento no parâmetro h° do suco de tomate ao longo de 60 dias de armazenamento a 25 °C.

A diferença total da cor é medida pelo parâmetro ΔE (Figura 12). Cserhalmi et al. (2006) definiram que a diferença de cor da amostra (ΔE) pode ser classificada como não perceptível (0-0,5), levemente perceptível (0,5-1,5), perceptível (1,5-3,0), bem visível (3,0-6,0) e ótima (6,0-12,0). Após o processamento (dia 0), as amostras diferiram significativamente ($p \leq 0,05$) em relação ao parâmetro ΔE e, de acordo com a escala as mudanças total de cor, as amostras pasteurizada (4,80 ± 0,07), HAP 50 MPa (3,09 ± 0,09) e 100 MPa (4,53 ± 0,10) apresentaram mudanças bem visíveis, e a amostra APH 500 MPa/10 min não apresentou mudança perceptível (0,37 ± 0,07) em relação ao controle. Ao longo do armazenamento, os valores de ΔE aumentaram, sendo que nos primeiros 14 dias não houve diferença significativa para a amostra pasteurizada em relação a amostra sem tratamento (controle). No fim do armazenamento (dia 42), as mudanças na cor das amostras variaram entre perceptível para as amostras controle (2,79 ± 0,10) e APH 500 MPa/10 min (2,64 ± 0,01) e bem visível para as amostras pasteurizada (6,04

± 0,09), HAP 50 MPa (6,46 ± 0,14) e HAP 100 MPa (4,97 ± 0,09). Comportamento semelhante foi observado por Kubo et al. (2013) e Zhou et al. (2017), que observaram aumento no parâmetro ΔE de suco de tomate e manga, respectivamente, ambos submetidos a homogeneização à alta pressão. As mudanças na cor das amostras homogeneizadas são relacionadas à oxidação do pigmento pelo oxigênio dissolvido no suco, uma vez que os pigmentos se tornam mais expostos após a homogeneização devido à redução do tamanho da partícula, o que aumenta a área de exposição dos mesmos, fato que está relacionado ao aumento nos valores do parâmetro L*, que mede a luminosidade da amostra. A exposição desses pigmentos ao oxigênio, juntamente com a oxidação da vitamina C, promovida pela HAP, favorecem a ocorrência de reações de escurecimento, com formação de compostos escuros que alteram a cor do suco ao longo do armazenamento, fato esse comprovado pelos aumentos nos valores de ΔE (Figura 12).

5 CONCLUSÃO

Possivelmente devido aos baixos níveis de pressão utilizados nesse estudo, a homogeneização à alta pressão (HAP) se mostrou ineficaz na inativação da contaminação microbiana inicial do suco, sugerindo ser necessária a utilização de maiores pressões de trabalho, acima de 100 MPa, para garantir a estabilidade microbiológica do suco. Devido a contaminação microbiana, houve redução significativa no teor de sólidos solúveis e pH e aumento na acidez do suco ao longo do armazenamento. Os processos de pasteurização e alta pressão hidrostática (APH) garantiram sucos que atendessem aos padrões microbiológicos exigidos pela legislação vigente.

O processo de HAP auxiliou na extração dos compostos bioativos e na manutenção da capacidade antioxidante do suco, porém houve diminuição do conteúdo de vitamina C, devido supostamente a reações de oxidação. O processo de APH também causou a redução do conteúdo de vitamina C, devido possivelmente à oxidação causada pelo aquecimento adiabático, com comportamento semelhante observado para a amostra pasteurizada devido a degradação térmica da vitamina C.

A estabilidade física do suco foi melhorada pelo processo de HAP. A redução significativa do tamanho das partículas dispersas afetou positivamente a cor do suco, que se tornou mais luminosa, e diminuiu a separação de fases do suco pela estabilidade na sedimentação da polpa. Os processos de pasteurização e APH apresentaram comportamento de sedimentação semelhante ao suco sem tratamento, devido ao fato desses processos não causarem a redução do tamanho da partícula, dessa forma partículas maiores tendem a sedimentar mais rápido. Outro fator que deve ter contribuído para a sedimentação foi a ação de enzimas que provocam a insolubilização de substâncias solúveis, e que não foram inativadas por tais processos.

A caracterização reológica mostrou que todos os sucos se adequaram ao modelo de Herschel-Bulkley. Esse modelo se adequa a fluidos que apresentam comportamento de Power-Law e Bingham. De acordo com os parâmetros de Herschel-Bulkley, ambos os sucos apresentaram comportamento pseudoplástico ($n<1$), sendo caracterizados pela diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento. Todos os sucos apresentaram redução de viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento, sendo as menores viscosidades obtidas para o suco HAP, devido à redução do tamanho de partícula, que permitiu a solubilização da pectina, reduzindo assim a viscosidade. Os menores valores de tensão de escoamento (τ_0) foram obtidos para as amostras HAP, sendo necessária menor tensão cisalhante para o escoamento do suco.

Os resultados demonstraram que a HAP foi eficiente na manutenção dos compostos bioativos e capacidade antioxidante e na melhoria da estabilidade física do suco misto, sendo necessário o emprego de maiores níveis de pressão, ou a sua combinação com outros métodos de conservação, como adição de antimicrobianos ou com outros processos como ultrassom, microondas ou campo elétrico pulsado para garantir a estabilidade microbiológica atingida pela pasteurização e APH. Em relação a reologia, a HAP reduz a tensão necessária para o escoamento do fluido, diminuindo potencialmente a força necessária para possíveis operações de bombeamento, resultando em economia energética nos processos, porém são necessários estudos sensoriais a fim de se entender como a redução da viscosidade e do tamanho de partículas do suco afeta a percepção a aceitação do produto pelo consumidor.

Novos estudos devem ser realizados, a fim de uma melhor compreensão dos efeitos da HAP nas características tecnológicas, considerando a combinação de maiores pressões e ciclos com o intuito de garantir a inativação microbiana e diminuição da perda da vitamina C, além do uso de outras metodologias laboratoriais a fim de ser ter uma melhor compreensão dos

efeitos da HAP sobre a preservação da capacidade antioxidante do suco. Dessa forma, pode-se pensar na HAP como alternativa para melhorar a estabilidade física do suco, reduzindo as alterações de cor e sedimentação de polpa, porém faz-se necessário o aumento nos níveis de pressão ou a combinação da HAP com outros métodos visando considerar essa tecnologia como alternativa à pasteurização para conservação dos sucos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGANOVIC, K.; BINDRICH, U.; HEINZ, V. Ultra-high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 45, p. 208-214, 2018. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856417310949>.

ALI, M. S.; GHAZALEH, H.; AKRAM, A. Effect of temperature and concentration on density and rheological properties of melon (*Cucumis melo L*. var. *Inodorus*) juice. **Nutrition & Food Science,** v. 44, n. 2, p. 168-178, 2014. Disponível em: < https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/NFS-06-2013-0065 >.

ALBARICI, T. R.; PESSOA, J. D. C. Effects of heat treatment and storage temperature on the use of açaí drink by nutraceutical and beverage industries. **Food Science and Technology,** v. 32, p. 9-14, 2012. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612012000100002&nrm=iso >.

ALVES, R. et al. Antioxidant activity measurement in tropical fruits: A case study with acerola. **Acta Horticulturae,** v. 773, p. 299-305, 2008. Disponível em: < https://doi.org/10.17660/actahortic.2008.773.45>.

AMORIM, T. S. et al. Influence of acerola pulp concentration on mead production by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI 796. **LWT,** v. 97, p. 561-569, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.009>.

APHA, american public health association. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. 4th Ed., Washington, DC, 2001, 31p.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. Gaithersburg, v.17, 2010.

ARRUDA, M. C. de et al. Qualidade de melão minimamente processado armazenado em atmosfera modificada passiva. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 655-659, 2003. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s0102-05362003000400017>.

AUGUSTO, P. E. D.; IBARZ, A.; CRISTIANINI, M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of a fruit juice serum model. **Journal of Food Engineering,** v. 111, n. 2, p. 474-477, 2012. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877412001136 >.

AUGUSTO, P. E. D.; IBARZ, A.; CRISTIANINI, M.. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Viscoelastic properties and the Cox–Merz rule. **Journal of Food Engineering,** v. 114, n. 1, p. 57-63, 2013. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877412003597 >.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 1. ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195 p. v. 1.

BALASUBRAMANIAM, V. M.; MARTÍNEZ-MONTEAGUDO, S. I.; GUPTA, R. Principles and Application of High Pressure–Based Technologies in the Food Industry. **Annual Review of Food Science and Technology,** v. 6, n. 1, p. 435-462, 2015. Disponível em: < https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-food-022814-015539 >.

BEVILACQUA, A. et al. Effects of the high pressure of homogenization on some spoiling micro-organisms, representative of fruit juice microflora, inoculated in saline solution. **Letters in Applied Microbiology,** v. 48, n. 2, p. 261-267, 2009. Disponível em: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1472-765X.2008.02527.x >.

BOT, F. et al. Study on high pressure homogenization and high power ultrasound effectiveness in inhibiting polyphenoloxidase activity in apple juice. **Journal of Food Engineering,** v. 221, p. 70-76, 2018. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877417304405 >

BRASIL. Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária. **Instrução Normativa Nº 01**, de 07 de Janeiro de 2000. Aprova o Regulamento Técnico geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 10 jan. 2000. Seção 1, nº 06. p.54

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto nº 3.510**, de 16 de junho de 2000. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de jun. 2000. Disponível em: <http://extranet. agricultura.gov.br>.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução Nº 12, de 02 de Janeiro de 2001**. Aprovar o "Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos". Disponível em:<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N° 12,** de 4 de setembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade Gerais para Suco Tropical. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 de set. 2003. Disponível em: <http://www.idec.org.br>.

BRITO, E. D. S. **Avaliação da capacidade antioxidante de variedades de melão (*Cucumis melo L.*) comercializadas no Brasil e determinação do teor de glutationa reduzida (GSH).** 2017. 130 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAPPATO, L. P. et al. Whey acerola-flavoured drink submitted Ohmic Heating: Bioactive compounds, antioxidant capacity, thermal behavior, water mobility, fatty acid profile and volatile compounds. **Food Chemistry,** v. 263, p. 81-88, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.115>.

CARAMÊS, E. T. S. et al. Quality control of cashew apple and guava nectar by near infrared spectroscopy. **Journal of Food Composition and Analysis,** v. 56, p. 41-46, 2017. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157516302186 >.

CARVALHO, A. V.; MATTIETTO, R. D. A.; BECKMAN, J. C. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Brazilian Journal of Food Technology,** v. 20, 2017. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232017000100421&nrm=iso >.

CAVALCANTI, A. K. D. O. **Nanoencapsulação de carotenoides de melão Cantaloupe (*Cucumis Melo L. reticulatus Naud.*): caracterização de partículas, avaliação da solubilidade em água e estabilidade de cor em iogurte**. 2018. 88p. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

CHEFTEL, J.-C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**.2. ed. Zaragoza, Ed. Acribia, 1992.v.1.

CHEN, X. et al. Effect of high pressure processing and thermal treatment on physicochemical parameters, antioxidant activity and volatile compounds of green asparagus juice. **LWT-Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 927-933, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.068>.

CODINA-TORRELLA, I. et al. Potential application of ultra-high pressure homogenization in the physico-chemical stabilization of tiger nuts' milk beverage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies,** v. 40, p. 42-51, 2017. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.023>.

CONTADOR, L.; SHINYA, P.; INFANTE, R. Texture phenotyping in fresh fleshy fruit. **Scientia Horticulturae,** v. 193, p. 40-46, 2015. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423815300522 >.

CORBO, M. R. et al. Use of high pressure homogenization as a mean to control the growth of foodborne moulds in tomato juice. **Food Control,** v. 21, n. 11, p. 1507-1511, 2010. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713510001441 >.

CRISÓSTOMO, J.; DE ARAGAO, F. Melhoramento genético do melão. Embrapa Agroindústria Tropical-**Artigo em anais de congresso (ALICE)**, 2009, In: SIMPÓSIO NORDESTINO DE GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2009, Fortaleza. Anais. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2009. p. 121-150.

CSERHALMI, Z. et al. Study of pulsed electric field treated citrus juices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.7, p.49-54, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856405001086>.

CUNHA, K. D. et al. Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento/Ascorbic acid stability in fresh fruit juice under different forms of storage. **Brazilian Journal of food technology,** v. 17, n. 2, p. 139, 2014. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/bjft.2014.016>.

CURI, P. et al. Optimization of tropical fruit juice based on sensory and nutritional characteristics. **Food Science and Technology,** v. 37, n. 2, p. 308-314, 2017. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/1678-457x.24716>.

DE SOUZA, V. R. et al. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry,** v. 134, n. 1, p. 381-386, 2012. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.191 >.

DELIZA, R. et al. Contribuição do consumidor para o desenvolvimento de novos sabores de suco tropical: estudo de caso com caju. **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2019.Disponível em: < https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1110449/1/BPD322019novossaborescaju.pdf>.

DIAMANTE, L.; UMEMOTO, M. Rheological Properties of Fruits and Vegetables: A Review. **International Journal of Food Properties,** v. 18, n. 6, p. 1191-1210, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1080/10942912.2014.898653>.

DONSÌ, F. et al. Production of shelf-stable annurca apple juice with pulp by high pressure homogenization. **International Journal of Food Engineering,** v. 5, n. 4, 2009. Disponível em: < https://doi.org/10.2202/1556-3758.1602>.

ESTERAS, C. et al. Fruit flesh volatile and carotenoid profile analysis within the *Cucumis melo L.* species reveals unexploited variability for future genetic breeding. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 98, n. 10, p. 3915-3925, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8909 >.

FAO. Faostat – Statistics Database., 2019. Disponível em: < http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC >.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos-: Princípios e Prática**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2018. 944 p. v. 1

FERNANDES, A. G. et al. Sucos tropicais de acerola, goiaba e manga: avaliação dos padrões de identidade e qualidade/acerola, guava and mango tropical juices: evaluation of identity and quality standards. **Ceres,** v. 53, n. 307, 2015. Disponível em: < http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3143>.

FERRAGUT, V. et al. Ultra-high-pressure homogenization (UHPH) system for producing high-quality vegetable-based beverages: physicochemical, microbiological, nutritional and toxicological characteristics. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 95, n. 5, p. 953-961, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1002/jsfa.6769>.

FUNDO, J. F. et al. UV-C light processing of Cantaloupe melon juice: Evaluation of the impact on microbiological, and some quality characteristics, during refrigerated storage. **LWT - Food Science and Technology,** v. 103, p. 247-252, 2019. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381930026X >.

GEORGÉ, S. et al. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, n.5, p.1370- 1373, 2005.

GUAN, Y. et al. Change of microbial and quality attributes of mango juice treated by high pressure homogenization combined with moderate inlet temperatures during storage.

Innovative Food Science and Emerging Technologies, v. 36, p. 320-329, 2016. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.009>.

HAMINIUK, C. W. I. et al. Rheological properties of ternary mixtures of yellow fruits. **Acta Scientiarum. Technology,** v. 35, n. 3, p. 433-438, 2013. Disponível em: < https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i3.16096>.

HOFFMANN, F. L. et al. Qualidade microbiológica de diferentes marcas comerciais de suco fresco de laranja integral. **Boletim do Centro Pesquisa de Processamento de Alimentos,** v. 16, n. 1, p. 99-106, 1998. Disponível em:< https://doi.org/10.5380/cep.v16i1.13942>.

HSU, K.-C.; TAN, F.-J.; CHI, H.-Y. Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during refrigerated storage. **LWT - Food Science and Technology,** v. 41, n. 3, p. 367-375, 2008. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643807001454 >.

JEDDOU, K. B. et al. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. **Food Chemistry,** v. 217, p. 668-677, 2017. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616313218 >.

JOUBRAN, A. M. et al. The effect of pressure level and cycling in high-pressure homogenization on physicochemical, structural and functional properties of filtered and non-filtered strawberry nectar. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, p. 102-203, 2019. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856419305296 >.

KAPRASOB, R. et al. Fermentation-based biotransformation of bioactive phenolics and volatile compounds from cashew apple juice by select lactic acid bacteria. **Process Biochemistry,** v. 59, p. 141-149, 2017. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511317302301 >.

KAPRASOB, R. et al. Changes in physico-chemical, astringency, volatile compounds and antioxidant activity of fresh and concentrated cashew apple juice fermented with Lactobacillus plantarum. **Journal of Food Science and Technology,** v. 55, n. 10, p. 3979-3990, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s13197-018-3323-7 >.

KARACAM, C. H.; SAHIN, S.; OZTOP, M. H. Effect of high pressure homogenization (microfluidization) on the quality of Ottoman Strawberry (F.Ananassa) juice. **LWT - Food Science and Technology,** v. 64, n. 2, p. 932-937, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.064>.

KOHATSU, D. S. et al. Qualidade de frutos de cajá-manga armazenados sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Fruticultura,** v. 33, p. 344-349, 2011. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452011000500043&nrm=iso >.

KUBO, M. T. K.; AUGUSTO, P. E. D.; CRISTIANINI, M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical stability of tomato juice. **Food Research International,**

v. 51, n. 1, p. 170-179, 2013. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691200511X >.

LABOISSIÈRE, L. H. E. S. et al. Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on sensory characteristics of yellow passion fruit juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies,** v. 8, n. 4, p. 469-477, 2007. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.001>.

LAVINAS, F. C. et al . Estudo da estabilidade quÍmica e microbiológica do suco de caju in natura armazenado em diferentes condições de estocagem. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 875-883, 2006 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612006000400026&lng=en&nrm=iso>.

LEITE, T.; AUGUSTO, P. E. D.; CRISTIANINI, M. Using High Pressure Homogenization (HPH) to Change the Physical Properties of Cashew Apple Juice. **Food Biophysics,** v. 10, n. 2, p. 169-180, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s11483-014-9385-9 >.

LEITE, T. S.; AUGUSTO, P. E. D.; CRISTIANINI, M. The use of high pressure homogenization (HPH) to reduce consistency of concentrated orange juice (COJ). **Innovative Food Science & Emerging Technologies,** v. 26, p. 124-133, 2014. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856414001350 >.

LIU, X. et al. Effects of high pressure homogenization on physical stability and carotenoid degradation kinetics of carrot beverage during storage. **Journal of Food Engineering,** v. 263, p. 63-69, 2019. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877419302420 >.

LOPEZ-SANCHEZ, P. et al. Effect of mechanical and thermal treatments on the microstructure and rheological properties of carrot, broccoli and tomato dispersions. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 91, n. 2, p. 207-217, 2011. Disponível em: < https://doi.org/10.1002/jsfa.4168>.

MALEGORI, C. et al. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. **Talanta,** v. 165, p. 112-116, 2017. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.12.035 >.

MARTINS, I. B. A. **Suco misto tropical pressurizado: características e percepção do consumidor como norteadores do desenvolvimento**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MASSON, L. M. P. et al. Effect of ultra-high pressure homogenization on viscosity and shear stress of fermented dairy beverage. **LWT - Food Science and Technology,** v. 44, n. 2, p. 495-501, 2011. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.012>.

MATHIAS, T. et al. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais. **Brazilian Journal of Food Technology,** v. 16, n. 1, p. 12-20, 2013. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s1981-67232013005000004>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura (PNDF)**. 2017. Disponível em: < http://www.agricultura.gov.br/noticias/mapa-lanca-plano-de-fruticultura-em-parceria-com-osetor-privado/PlanoNacionaldeDesenvolvimentodaFruticulturaMapa.pdf>.

MOELANTS, K. R. et al. Relation between particle properties and rheological characteristics of carrot-derived suspensions. **Food and Bioprocess Technology,** v. 6, n. 5, p. 1127-1143, 2013. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s11947-011-0718-0>.

MONDAL, S. et al. Modeling of gel layer transport during ultrafiltration of fruit juice with non-Newtonian fluid rheology. **Food and Bioproducts Processing,** v. 100, p. 72-84, 2016. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308516300645 >.

MORGADO, C. M. A. et al . Qualidade de melões 'Louis' armazenados em quatro temperaturas. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1953-1958, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015001101953&lng=en&nrm=iso>.

MUSSER, R. D. S. et al. Características físico-químicas de acerola do banco ativo de germoplasma em Pernambuco. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 556-561, 2004. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s0101-20612004000400013>.

OEY, I. et al. Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? **Trends in Food Science & Technology**, v. 19, n. 6, p. 300-308, 2008. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224407002749 >.

OGUNTIBEJU, O. O.; TRUTER, E.; ESTERHUYSE, A. The role of fruit and vegetable consumption in human health and disease prevention. In: OGUNTIBEJU, O. O. (Org.). **Diabetes Mellitus-Insights and Perspectives**, Rijeka: InTech, 2013. cap. 7, p. 117-130. Disponível em: < https://doi.org/10.5772/50109>.

OLIVEIRA, J. C. et al. Características microbiológicas do suco de laranja in natura. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 2, p. 241-245, 2006. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s0101-20612006000200002>.

ORTIZ-DUARTE, G. et al. Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon. **Postharvest Biology and Technology,** v. 147, p. 174-184, 2019. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.021 >.

PASSARDI, F. et al. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. **Plant cell reports,** v. 24, n. 5, p. 255-265, 2005. Disponível em:< https://doi.org/10.1007/s00299-005-0972-6>.

PEI, L. et al. Effects of high hydrostatic pressure, dense phase carbon dioxide, and thermal processing on the quality of Hami melon juice. **Journal of Food Process Engineering,** v. 41, n. 6, p. e12828, 2018. Disponível em: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpe.12828 >.

PEREDA, J. et al. Effects of Ultra-High Pressure Homogenization on Microbial and Physicochemical Shelf Life of Milk. **Journal of Dairy Science,** v. 90, n. 3, p. 1081-1093, 2007. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030207715953 >.

PEREIRA, A. et al. Effect of antioxidant potential of tropical fruit juices on antioxidant enzyme profiles and lipid peroxidation in rats. Food Chemistry, v. 157, p. 179-185, 2014. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.090>

PINHEIRO, A. et al. Avaliação química, físico-química e microbiológica de sucos de frutas integrais: Abacaxi, caju e maracujá. **Ciencia e Tecnologia De Alimentos.** v. 26, n. 1, p. 98-103, 2006. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s0101-20612006000100017>.

POLISELI-SCOPEL, F. H. et al. Comparison of ultra high pressure homogenization and conventional thermal treatments on the microbiological, physical and chemical quality of soymilk. **LWT - Food Science and Technology,** v. 46, n. 1, p. 42-48, 2012. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.004>.

POVERENOV, E. et al. Layer-by-layer electrostatic deposition of edible coating on fresh cut melon model: anticipated and unexpected effects of alginate–chitosan combination. **Food and Bioprocess Technology,** v. 7, n. 5, p. 1424-1432, 2014. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s11947-013-1134-4>.

PRAKASH, A.; BASKARAN, R. Acerola, an untapped functional superfruit: a review on latest frontiers. **Journal of Food Science Technology,** v. 55, n. 9, p. 3373-3384, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s13197-018-3309-5>.

PROMMAJAK, T.; LEKSAWASDI, N.; RATTANAPANONE, N. Biotechnological Valorization of Cashew Apple: A Review. Chiang Mai University Journal of Natural Sciences, v. 13, n. 2, p. 159-182, 2014. Disponível em: < https://doi.org/10.12982/cmujns.2014.0029>.

PROMMAJAK, T.; LEKSAWASDI, N.; RATTANAPANONE, N. Optimizing tannin precipitation in cashew apple juice. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences,** v. 17, n. 1, p. 13-23, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.12982/cmujns.2018.0002 >.

QUEIROZ, C. et al. Effect of high hydrostatic pressure on phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity in cashew apple juice. **High Pressure Research,** v. 30, n. 4, p. 507-513, 2010. Disponível em: < https://doi.org/10.1080/08957959.2010.530598 >.

RABELO, M. C. et al. Thermostability of antioxidant and deteriorative enzymes from soursop and cashew apple juices. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, 2016. Disponível em:< https://doi.org/10.1590/0100-29452016338>.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine,** v. 26, n. 9, p. 1231-1237, 1999. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891584998003153 >.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata DC*) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food**

Chemistry, v. 254, p. 281-291, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026 >.

REZZADORI, K. **Pasteurização térmica e com membranas de caldo de cana adicionado de suco de maracujá**. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RIBEIRO, L. D. O. et al. Avaliação do armazenamento a frio sobre os compostos bioativos e as características físico-químicas e microbiológicas do suco de umbu pasteurizado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.20, 2017. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/1981-6723.9515>.

RIZZO, A. A. N.; BRAZ, L. T. Características de cultivares de melão rendilhado cultivadas em casa de vegetação. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 370-373, 2001. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s0102-05362001000300017>.

ROSA, J. S. D. et al. Desenvolvimento de um método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografa líquida de alta eficiência e exclusão iônica. **Food Science and Technology,** v. 27, n. 4, p. 837-846, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0101-20612007000400025>.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS+.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p.4, 2007.

SALUNKHE, D. K.; DESAI, B. B. **Postharvest biotechnology of fruits**. 1. ed. Madison: CRC Press, 1984. 529 p. v. 1

SARICAOGLU, F. T. et al. Application of multi pass high pressure homogenization to improve stability, physical and bioactive properties of rosehip (Rosa canina L.) nectar. **Food Chemistry,** v. 282, p. 67-75, 2019. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814619300238 >.

SCHIASSI, M. C. E. V. et al. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food Chemistry,** v. 245, p. 305-311, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.104 >.

SEBRAE NACIONAL. O cultivo e o mercado do melão. **Sebrae**, 2016. Disponível em:< http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-melao,5a8837b644134410VgnVCM2000003c74010aRCRD>.

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P. DE. Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. **Sistema de produçãodo caju**, **Embrapa**, 2016.

SILVA et al. Estudo do comportamento reológico de polpas de caju (*Anacardium occidentale, l.*), acerola (*Malpighia emarginata, D.C.*) e manga (*Mangifera indica, l.*). **Semina: Ciências Agrárias,** v. 33, n. 1, p. 237-247, 2012. Disponível em: < http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744111022 >.

SILVA, V. M. et al. The effect of homogenisation on the stability of pineapple pulp. **International Journal of Food Science & Technology,** v. 45, n. 10, p. 2127-2133, 2010. Disponível em: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2010.02386.x >.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: (Ed.). **Methods in Enzymology**: Academic Press, v.299, 1999. p.152-178. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1>.

SISLIAN, R. **Estudo de sistema de limpeza CIP usando identificação de sistemas.** 2012. 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOUSA, T. P. de A. **Caracterização parcial da peroxidade dos frutos de aceroleira (*Malphigia emarginta* DC), clones Okinawa e Emepa em três estágios de maturação.** 2010. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SOUSA, P. H. M.; MAIA, G. A.; AZEREDO, H. M. C.; RAMOS, A. M.; FIGUEIREDO, R. W. Storage stability of a tropical fruit (cashew apple, acerola, papaya, guava and passion fruit) mixed nectar added caffeine. **International Journal of Food Science and Technology**, Hoboken, v. 45, p. 2162–2166, 2010. Disponível em: < https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02383.x>.

SOUSA, J. P. **Eficácia de óleos essenciais de *Mentha* spp. no controle de bactérias patogênicas em sucos de frutas.** 2017. 128 p. Tese (Doutorado em Nutrição) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SPAGNOL, W. A. et al. Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. BrazilianJournalFood Technology, v. 21, p. e2016070, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.07016>.

SUÁREZ-JACOBO, Á. et al. Effect of UHPH on indigenous microbiota of apple juice: A preliminary study of microbial shelf-life. **International Journal of Food Microbiology,** v. 136, n. 3, p. 261-267, 2010. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.011>.

SUÁREZ-JACOBO, Á. et al. Influence of ultra-high pressure homogenisation on antioxidant capacity, polyphenol and vitamin content of clear apple juice. **Food Chemistry,** v. 127, n. 2, p. 447-454, 2011. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.152>.

TADAPANENI, R. K. et al. High-Pressure Processing of Berry and Other Fruit Products: Implications for Bioactive Compounds and Food Safety. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 62, n. 18, p. 3877-3885, 2014. Disponível em: < https://doi.org/10.1021/jf404400q >.

TIMMERMANS, R. A. H. et al. Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electric field processes for mild pasteurization of orange juice. Part I: Impact on overall quality

attributes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies,** v. 12, n. 3, p. 235-243, 2011. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856411000701 >.

TORO-FUNES, N. et al. Changes of isoflavones and protein quality in soymilk pasteurised by ultra-high-pressure homogenisation throughout storage. **Food Chemistry,** v. 162, p. 47-53, 2014a. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.019>..

TRIBST, A. A. L. et al. Quality of Mango Nectar Processed by High-Pressure Homogenization with Optimized Heat Treatment. **Journal of Food Science,** v. 76, n. 2, p. M106-M110, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1750-3841.2010.02006.x >.

TRUJILLO, A. J. et al. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. **Innovative Food Science & Emerging Technologies,** v. 3, n. 4, p. 295-307, 2002. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856402000498 >.

UEKI, S. Y. M. et al. Monitoramento em cabine de segurança biológica: manipulação de cepas e descontaminação em um laboratório de micobactérias. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial,** v. 44, p. 263-269, 2008. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-24442008000400005&nrm=iso>.

U. S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (USFDA). Hazard analysis and critical control point (HACCP); procedures for the safe and sanitary processing and importing of juices; final rule. **Federal Register**, v. 66, p. 6138–6202, 2001.

VALENCIA-FLORES, D. C. et al. Comparing the Effects of Ultra-High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Physical, and Chemical Quality of Almond Beverages. **Journal of Food Science,** v. 78, n. 2, p. E199-E205, 2013. Disponível em: < https://doi.org/10.1111/1750-3841.12029>.

VELÁZQUEZ-ESTRADA, R. M. et al. Impact of ultra high pressure homogenization on pectin methylesterase activity and microbial characteristics of orange juice: A comparative study against conventional heat pasteurization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies,** v. 13, p. 100-106, 2012. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856411001159 >.

VELAZQUEZ-ESTRADA, R. M. et al. Influence of ultra high pressure homogenization processing on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies,** v. 18, p. 89, 2013. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.02.005>.

VENDRÚSCULO, A. T. **Comportamento reológico e estabilidade física de polpa de carambola (*Averrhoa carambola L.*)**. 2005. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VERA DE ROSSO, V. et al. Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata DC.*) and açai (*Euterpe oleracea Mart.*) by HPLC–PDA–MS/MS. **Journal of Food Composition and Analysis,** v. 21, n. 4, p. 291-299, 2008. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157508000070 >.

VEGARA, S. et al. Chemical guide parameters for Punica granatum cv.'Mollar'fruit juices processed at industrial scale. **Food chemistry,** v. 147, p. 203-208, 2014. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.122>.

VITALI, A. A.; RAO, M. A. Flow Properties of Low-Pulp Concentrated Orange Juice: Serum Viscosity and Effect of Pulp Content. **Journal of Food Science,** v. 49, n. 3, p. 876-881, 1984. Disponível em: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13232.x >.

VOIGT, D. D.; KELLY, A. L.; HUPPERTZ, T. High-Pressure Processing of Milk and Dairy Products. In: (Ed.). **Emerging Dairy Processing Technologies**: John Wiley & Sons, Ltd, 2015. p.71-92. Disponível em: < https://doi.org/10.1002/9781118560471.ch3>

WANG, C. Y. et al. Recent Advances in Food Processing Using High Hydrostatic Pressure Technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** v. 56, n. 4, p. 527-540, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84961574637&partnerID=40&md5=91c2bfbb30cb32397eeedddc4132fb53 >.

WELTI-CHANES, J.; OCHOA-VELASCO, C. E.; GUERRERO-BELTRÁN, J. Á. High-pressure homogenization of orange juice to inactivate pectinmethylesterase. **Innovative Food Science & Emerging Technologies,** v. 10, n. 4, p. 457-462, 2009. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856409000630 >.

YAHIA, E. M. The Contribution of Fruit and Vegetable Consumption to Human Health. In **Fruit and Vegetable Phytochemicals,** 2009. Disponível em: < https://doi.org/10.1002/9780813809397.ch1>.

YEOM, H. W. et al. Effects of pulsed electric fields on the quality of orange juice and comparison with heat pasteurization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 48, n. 10, p. 4597-4605, 2000. Disponível em: < https://doi.org/10.1021/jf000306p>.

YI, J. et al. Minimizing quality changes of cloudy apple juice: The use of kiwifruit puree and high pressure homogenization. **Food Chemistry,** v. 249, p. 202-212, 2018. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617320605 >.

YU, Z.-Y. et al. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the physical properties of taro (Colocasia esculenta (L). Schott) pulp. **Journal of Food Engineering,** v. 177, p. 1-8, 2016. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877415300431>.

YUE, J. et al. Impact of high hydrostatic pressure on non-volatile and volatile compounds of squid muscles. **Food Chemistry,** v. 194, p. 12-19, 2016. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615011681 >.

ZAMBELLI, R. et al. Inovação tecnológica no processamento de pães: otimização da incorporação de suco de acerola e manga, In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA (COBEQ), 2014, Florianópolis. Anais. Florianópolis **Blucher Chemical Engineering Proceedings,** v. 1, n. 2, p. 3976-3983, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-0793-23807-144188>.

ZAMORA, A.; GUAMIS, B. Opportunities for Ultra-High-Pressure Homogenisation (UHPH) for the Food Industry. **Food Engineering Reviews**, v. 7, n. 2, p. 130-142, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s12393-014-9097-4>.

ZHANG, Z. et al. Role of anthocyanin degradation in litchi pericarp browning. Food chemistry, v. 75, n. 2, p. 217-221, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/s0308-8146(01)00202-3>.

ZHOU, L. et al. Change of the rheological properties of mango juice by high pressure homogenization. **LWT - Food Science and Technology,** v. 82, p. 121-130, 2017. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643817302578 >.